



Número: 337/2005
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS
ÁREA - METALOGÊNESE

CONRADO EUGENIUS BORGES PICOLO

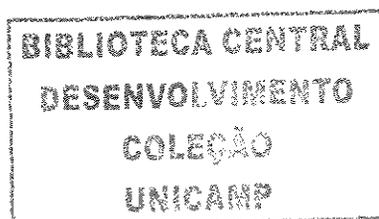
**Avaliação do Risco a Perda da Capacidade Hídrica Superficial Através de Análise Espacial
– Estudo de Caso na Bacia do Rio Jundiá Mirim.**

Dissertação apresentada ao Instituto de Geociências como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geociências.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Roberto de Souza Filho
Co-orientador: Dr. Jener Fernando de Moraes Leite

CAMPINAS - SÃO PAULO

Julho – 2005



Este exemplar corresponde à redação final da tese defendida por Conrado Eugênio B. Picolo e aprovada pela Comissão Julgadora em 30/08/2005

Carlos R. de Souza Filho
ORIENTADOR

CIDADE	CAMPINAS
CHAMADA	P587a
EX	
OMBO BC/	00669
ROC.	16-23-06
C	<input type="checkbox"/>
D	<input checked="" type="checkbox"/>
PREÇO	2400
DATA	12/11/06
Nº CPD	

374597

**Catálogo na Publicação elaborada pela Biblioteca
do Instituto de Geociências/UNICAMP**

Picolo, Conrado Eugenio Borges
P587a Avaliação do risco a perda da capacidade superficial através de análise espacial: estudo de caso na bacia do rio Jundiá-Mirim / Conrado Eugenio Borges Picolo.-- Campinas,SP.: [s.n.], 2005.

Orientador: Carlos Roberto de Souza Filho, *Carlos Roberto de Souza Filho*
Dissertação (mestrado) Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências.

1. Rios – Rio Jundiá-Mirim(SP). 2. Avaliação de riscos ambientais.
3. Sistema de informações geográficas. 4. I. Silva, Ardemirio de Barros. II. Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências. III. Título.

Souza Filho, Carlos Roberto de
Leite, James Fernando de Paiva

Keywords: - Analytical hierarchy process (AHP);
- Multi regress;
- Watershead.

Área de concentração: Metalogênese

Titulação: Mestrado *Geociências*

Banca examinadora: - Carlos Roberto de Souza Filho;
- Arlei Benedito Macedo;
- Marcos César Ferreira.

Data da defesa: 30/08/2005



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS
ÁREA - METALOGÊNESE

AUTOR: CONRADO EUGENIUS BORGES PICOLO

**Avaliação do Risco a Perda da Capacidade Hídrica Superficial através de Análise Espacial
– Estudo de Caso na Bacia do Rio Jundiáí Mirim.**

substituto

ORIENTADOR: Prof. Dr. Carlos Roberto de Souza Filho

CO-ORIENTADOR: Dr Jener Fernando de Moraes Leite

Aprovada em: 30/08/2005

EXAMINADORES:

Prof. Dr. Carlos Roberto de Souza Filho

Prof. Dr. Marcos César Ferreira

Prof. Dr . Arlei Benedito Macedo

Carlos R. S. Filho

Jener F. de Moraes Leite

Arlei B. Macedo

- Presidente

Campinas, 30 de agosto de 2005

200601028

Para Vê, Dox, Lan e
em memória de Don'Anna

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço meu orientador, Beto, pela força, paciência, auxílio, orientação, em momentos difíceis, momentos de dúvida, momentos de total desespero. Estou certo de que sem sua orientação esta dissertação de mestrado não teria saído. Obrigado Beto. E ao Barros pela orientação no início dos trabalhos.

Agradeço também ao IGE/UNICAMP pelo suporte fundamental para a execução dos trabalhos envolvidos nesta dissertação. E a todos os professores que de alguma maneira participaram de minha vida acadêmica nestes 2,5 anos de curso.

Agradeço também as secretárias do nosso instituto, sempre prestativas e dispostas a dar aquela ajudinha.

Agradeço ao IAC pelo fornecimento de material de fundamental importância para a execução dos trabalhos, em especial a Dr Jener Fernando Leite de Moraes, co-orientador deste trabalho que deu total apoio no fornecimento de dados.

Ao CAPES que propiciou apoio financeiro através de uma bolsa de mestrado.

Agradeço a minha família, Vê, por dar apoio incondicional em todos os momentos, mesmo quando estivemos em grande dificuldade. Dox, por ser um grande irmão e insistir para eu terminar os trabalhos, mesmo em momentos de dúvida, e por dar todo o apoio necessário para isso acontecer. Don'Anna, que antes mesmo de eu começar os trabalhos não estava mais entre nós, mas me deu todo subsídio para ter condições de fazê-lo.

Agradeço ainda a Ilana, namorada, companheira, amiga, mesmo nos momentos de mais pura chatice ainda ficou ao meu lado, sempre carinhosa, amorosa, compreensiva, atenciosa...

Aos amigos da SMP que propiciaram momentos de descontração fundamentais ao longo dos trabalhos, Paulão, Thadeu, Dani, Vivi, Tata, Marcão, Pablo, Paulinho, Renan, Mingas, Ju, Bonecão, em fim, todos vocês da SMP, e se num está o nome aqui é por que eu to ficando doido.

A Samuel Adami, grande amigo, deu grande apoio em trabalhos de campo e discussões, fundamentais para clarear as idéias, além de descontração e amizade.

A todos os colegas do IGE, em especial a Otão, Carol, Cleiton, Du, Gimena, Marcelo, Marcelo, Zé.

Agradeço também a toda galera da Arquipelago, sem exceção.

Em fim, agradeço a todos que de alguma forma me ajudaram na realização deste trabalho.

CAPÍTULO 1 - APRESENTAÇÃO	1
1.1. Introdução	1
1.2. Objetivos	3
CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	4
2.1. Introdução	4
2.2. Caracterização fisiográfica da Bacia	4
2.3. Geologia regional	4
2.3.1. <i>Embasamento Cristalino Pré-Cambriano</i>	5
2.3.2. <i>Depósitos Paleozóicos</i>	6
2.3.3. <i>Depósitos Terciários</i>	6
2.3.4. <i>Cobertura Quaternária</i>	7
2.4. Geologia Estrutural Regional	8
2.5. Análise de Variáveis – Regressão Múltipla	8
2.6. Ciclo hidrológico e bacias hidrográficas	9
2.7. Freqüência Estrutural	10
2.8. Análise Multicriterial	11
2.9. Fisiografia de bacia hidrográfica	12
CAPÍTULO 3 – MATERIAIS E MÉTODOS	13
3.1. Introdução	13
3.2. Mapa litológico	15
3.3. Mapas de freqüência e densidade estrutural	17
3.4. Mapa de Solo	20
3.5. Mapa de Áreas Impermeabilizadas	23
3.6. Mapa de área das sub-bacias	25
3.7. Mapa de declividade do terreno	26
3.8. Mapa de Densidade de Canais	27
3.9. Mapa de distância de canais	28
3.10. Coeficiente de manutenção	29
CAPÍTULO 4 - INTEGRAÇÃO E ANÁLISE ESPACIAL DE DADOS POR PROCESSO ANALÍTICO HIERÁRQUICO (PAH) E REGRESSÃO DE MULTIVARIÁVEIS EM AMBIENTE SIG	31
4.1. Análise por Processo Analítico Hierárquico (PAH)	33
4.2. Consistência da Matriz Proposta e Mapa de PIs Integrados pelo Método PAH	39
4.3. Análise por Regressão de Multivariáveis	40
4.4. Comparação entre os Métodos PAH e Regressão Multivariável	47
4.5. Retro-ajuste da Matriz de Hierarquia do Modelo PAH a partir da Análise de Regressão Múltipla	49
4.6. Determinação do Risco a Perda da Capacidade Hídrica das Sub-bacias da Bacia do Rio Jundiá Mirim em Função de sua Ocupação	51
4.7. Discussões	55
CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES	57
CAPÍTULO 6 – REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
ANEXO 1 - ARTIGO	64
ANEXO 2 – CÁLCULO DA MATRIZ PAH	80

FIGURAS

Figura 1.1. Localização da bacia do rio Jundiáí Mirim.....	1
Figura 2.1. Mapa geológico do Estado de São Paulo em escala 1:500.000.....	5
Figura 3.1. Mapa de sub-bacias da Bacia do Rio Jundiáí Mirim.....	15
Figura 3.2. Mapa litológico da bacia do Rio Jundiáí Mirim.....	17
Figura 3.3. Mapa de densidade estrutural (fraturas, juntas e falhas) da bacia do rio Jundiáí Mirim.....	18
Figura 3.4. Mapa de densidade estrutural calculado por sub-bacia da bacia do rio Jundiáí Mirim.....	19
Figura 3.5. Modelo conceitual simplificado e esquemático de percolação de água em uma bacia hidrográfica.....	20
Figura 3.6. Mapa de solos da bacia do rio Jundiáí Mirim.....	21
Figura 3.7. Mapa de solo da bacia do Rio Jundiáí Mirim modificado de IAC (2001) segundo o método de classificação de Lombardi Neto et al (1991).....	22
Figura 3.8. Mapa de uso e ocupação da bacia do rio Jundiáí Mirim.....	23
Figura 3.9. Mapa de índice de áreas impermeabilizadas por sub-bacia da bacia do rio Jundiáí Mirim.....	25
Figura 3.10. Mapa de área das sub-bacias da bacia do rio Jundiáí Mirim.....	26
Figura 3.11. Mapa de declividade do terreno da bacia do rio Jundiáí Mirim.....	27
Figura 3.12. Mapa de densidade de canais por sub-bacia da bacia do rio Jundiáí Mirim.....	28
Figura 3.13. Mapa de distância entre canais da sub bacia do rio Jundiáí Mirim.....	29
Figura 3.14. Mapa do coeficiente de manutenção por sub-bacia da bacia do rio Jundiáí Mirim(m ² /metro de drenagem).....	30
Figura 3.15. Mapa da área mínima necessária para a manutenção dos canais principais de cada sub-bacia em m ²	30
Figura 4.1. Fluxograma-síntese dos métodos aplicados para a obtenção do mapa de favorabilidade a manutenção da recarga hídrica.....	32
Figura 4.2. Mapa de integração dos PIs pelo método PAH, indicando as condições mais favoráveis (próximas a zero) e menos favoráveis (próximas a 1) para a manutenção da capacidade hídrica superficial da bacia do rio Jundiáí Mirim.....	39
Figura 4.3.a. Correlação entre Mapa PAH vs Área das sub-bacias.....	40

Figura 4.3.b. Correlação entre Mapa PAH vs Coeficiente de manutenção.....	41
Figura 4.3.c. Correlação entre Mapa PAH vs Declividade do terreno.....	41
Figura 4.3.d. Correlação entre Mapa PAH vs Densidade de drenagem.....	42
Figura 4.3.e. Correlação entre Mapa PAH vs Declividade estrutural.....	42
Figura 4.3.f. Correlação entre Mapa PAH vs Solo.....	43
Figura 4.3.g. Correlação entre Mapa PAH vs Distância dos canais.....	43
Figura 4.3.h. Correlação entre Mapa PAH vs Índice de impermeabilização das sub-bacias.....	44
Figura 4.3.i. Correlação entre Mapa PAH vs Inverso do comprimento dos canais.....	44
Figura 4.4. Mapa de integração dos PIs pelo método de Regressão de Multivariáveis, indicando as condições mais favoráveis (próximas a zero) e menos favoráveis (próximas a 1) para a manutenção da capacidade hídrica superficial da bacia do rio Jundiáí Mirim.....	47
Figura 4.5. Correlação entre os mapas de favorabilidade de manutenção da capacidade hídrica superficial da bacia do rio Jundiáí Mirim gerados pelo método vs método de regressão de multivariáveis.....	48
Figura 4.6. Mapa de integração dos PIs pelo método PAH ajustado indicando as condições mais favoráveis (próximas a zero) e menos favoráveis (próximas a 1) para a manutenção da capacidade hídrica superficial da Bacia do rio Jundiáí Mirim.....	50
Figura 4.7. Síntese da metodologia e etapas para a geração de um mapa de risco a perda da capacidade hídrica das sub-bacias da bacia do rio Jundiáí Mirim.....	51
Figura 4.8. Mapa de máxima área de impermeabilização, produzido pela ocupação antrópica, para a manutenção dos canais principais das sub-bacias (Km ²).....	52
Figura 4.9. Mapa de favorabilidade a manutenção da capacidade hídrica em um cenário de máxima impermeabilização do terreno por ocupação antrópica.....	53
Figura 4.10. Mapa comparativo (subtração) entre (i) o mapa de favorabilidade a manutenção da capacidade hídrica derivado pelo PAH ajustado e (ii) o mapa de favorabilidade a manutenção da capacidade hídrica derivado pelo PAH ajustado em cenário de máxima ocupação.....	54
Figura 4.11. Classes de risco á perda da capacidade hídrica do rio Jundiáí Mirim.....	55

TABELAS

Tabela 3.1. Parâmetros de georreferenciamento do mapa geológico de Neves (1999).....	16
Tabela 3.2. Reclassificação do mapa de solos baseado em Lombardi Neto et al (1991)..	22
Tabela 3.3. Reclassificação do mapa de uso e ocupação da bacia do rio Jundiá Mirim...	24
Tabela 4.1. Escala de valores e atributos proposta por SAATY (1990).....	34
Tabela 4.2. Cálculo da matriz W^T	34
Tabela 4.3. Cálculo da matriz de comparação.....	35
Tabela 4.4. Rln calculado por SAATY (1990).....	35
Tabela 4.5. Matriz de valores relativos entre PIs utilizados para análise da bacia do rio Jundiá Mirim.....	36
Tabela 4.6. Correlação entre o mapa de favorabilidade da manutenção da capacidade hídrica (derivado pelo método PAH) vs parâmetros da bacia do rio Jundiá Mirim.....	45
Tabela 4.7. Grau de importância relativo dos PIs.....	46
Tabela 4.8. Estatística da regressão.....	46
Tabela 4.9. Diferenças entre os pesos de cada PI entre os dois métodos utilizados: PAH e Regressão.....	48
Tabela 4.10. Relação de pesos entre PIs – matriz ajustada com base no modelo de regressão de multivariáveis.....	49
Tabela 4.11. Pesos obtidos a partir dos métodos PAH, Regressão e PAH ajustado.....	50



UNICAMP

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS
ÁREA - METALOGÊNESE**

Resumo

A bacia do Rio Jundiaí Mirim, compreendida nos municípios de Jundiaí, Jarinu e Campo Limpo Paulista, embora seja considerada, na sua maior parte, como uma área de conservação ambiental, tem sido atingida por pressões antrópicas, incluindo ocupação desordenada, operações mineiras, práticas agrícolas inadequadas, desmatamento, entre outras. Cerca de 97% do abastecimento de água da cidade de Jundiaí, o principal pólo consumidor local, é captado dessa bacia. Apesar dessa situação preocupante do uso da terra na área da bacia, nenhum estudo consistente foi realizado até hoje sobre seu impacto potencial sobre o abastecimento de água na região.

Nesse contexto, esta pesquisa teve como principal objetivo traçar uma metodologia de análise do risco a perda da capacidade hídrica da bacia do Rio Jundiaí Mirim em função da impermeabilização do solo ocasionada pela ação antrópica, relacionando características morfométricas da bacia à informações pedológicas e ocupacionais.

Dois métodos básicos foram utilizados para integração e análise espacial dos dados: o Processo Analítico Hierárquico (PAH) (método dirigido pelo conhecimento) e a Regressão de Multivariáveis (RM) (método dirigido pelos dados). Mapas de favorabilidade da manutenção da capacidade hídrica da bacia foram gerados através do método PAH, retro-ajustado pelo método RM, para dois cenários: (i) ocupação atual da bacia e, (ii) ocupação máxima para manutenção da capacidade hídrica dos canais principais da bacia. A análise cruzada nem os mapas gerados para esses dois cenários permitiu a derivação do produto-alvo desse estudo: um mapa de classes de risco a perda da capacidade hídrica da bacia. DezCinco sub-bacias foram classificadas como de muito baixo e baixo risco a perda de suas capacidades hídricas. Segundo os critérios utilizados na análise e considerando as condições atuais de ocupação, a bacia do rio Jundiaí Mirim não apresenta áreas de alto risco quanto a sua capacidade de fornecer água para as cidades da região.



UNICAMP

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS
ÁREA - METALOGÊNESE**

Abstract

The Jundiaí Mirim river watershed (JMRW) is comprised within the cities of Jundiaí, Jarinu and Campo Limpo Paulista. Although a large portion of this watershed is considered a site of environmental protection, the area has been increasingly submitted to anthropic-related changes, including intricate house settlement, mining operations, damaging farming practices, deforesting, etc. Some 97% of the city of Jundiaí water supply, the main consuming center in the area, comes from the JMRW. Albeit this improper land use within the watershed is widely acknowledged, there have been no comprehensive scientific investigations as regards the potential impacts and threats that such anthropic changes may inflict in the water supply of the region.

In this context, the main objective of this project is to develop a method for risk assessment of the potential loss of the JMRW hydric capacity, focusing on the effects of soil impermeability driven by antropic events and considering the synergy between morphometric, pedological and landuse characteristics of the watershed.

Two basic methods were employed for data integration and spatial analysis: the Analytical Hierarchy Process (AHP – a knowledge-driven method) and the Multivariable Regression (MR – a data-driven method). Maps of favorability of hydric capacity maintenance were produced through AHP, and the model was retro-adjusted by MR calculations. Two scenarios were considered: (i) present occupation of the watershed; and (ii) maximum possible occupation within a protective limit to maintain the hydric capacity of the main rivers of the watershed. Cross analysis of the favorability maps created for these two scenarios yielded the aimed risk assessment map for the JMRW. Five sub-basins were classified within very low and low risk to loose their hydric capacity. Considering the criteria employed in this work and the existent pattern of landuse, the JMRW shows a situation of overall low risk and it has the necessary resources to keeping the water supply of the region.

CAPÍTULO 1 - APRESENTAÇÃO

1.1. Introdução

A bacia do Rio Jundiáí Mirim, foco desse estudo, se estende ao longo de três municípios - Jundiáí, Jarinu e Campo Limpo Paulista - e tem uma área de 10.860 hectares (Figura 1.1). O principal acesso à bacia é feito através da rodovia João Cereser, que liga Jundiáí à Jarinu. Essa rodovia, por sua vez, é ligada à rodovia Anhanguera (SP-330), num entroncamento a 63 Km de São Paulo e a 42 Km de Campinas.



Figura 1.1. Localização da bacia do rio Jundiáí Mirim

A bacia do rio Jundiáí Mirim é de ocupação mista, com pólos residenciais urbanos e rurais, áreas destinadas à agropecuária, áreas de indústria, áreas comerciais e áreas de mineração. Todas

estas atividades estão concentradas em uma bacia hidrográfica que é responsável pelo abastecimento de 97 % da água da cidade de Jundiaí.

Segundo o Plano Diretor do Município de Jundiaí, de 29 de dezembro de 2004, toda a área da bacia do Rio Jundiaí Mirim pertence a uma Zona de Conservação Ambiental (ZCA), que prevê a criação de unidades de preservação para proteção, preservação e recuperação do ecossistema (Art 15 do Plano Diretor) e cuidados quanto à forma de ocupação.

O abastecimento de Jundiaí atualmente acontece através desta bacia, por intermédio de uma represa inaugurada em 2001. Antes da construção dessa nova represa, a cidade era abastecida por uma represa de menor capacidade, que passou a não atender a demanda da cidade na década de 90, comprometendo o abastecimento em épocas de estiagem (inverno).

Além do problema da capacidade da represa, a própria capacidade do rio, de baixa vazão, trouxe problemas no abastecimento. Segundo o DAE (2005), o rio Jundiaí Mirim tem a capacidade de fornecer cerca de 500 l/s na estiagem e já chegou a 200 l/s na pior estiagem. Por este motivo, foi construído o sistema de recalque da Reversão do Rio Atibaia, o qual, através de duas adutoras (com 1.200 mm e 700 m), de 11 km de comprimento, aduz outros 1.200 l/s para consumo. Atualmente, o consumo de água tratada na cidade de Jundiaí é de 1.200 l/s.

Até 1997 a cidade possuía uma represa de captação com um volume útil de 350.000 m³. Em 1995, iniciou-se a construção de uma nova barragem, finalizada em 2004, o que resultou numa represa com capacidade 12.000.000m³. Dessa forma, o problema de falta de água em períodos de estiagem foi sanado e deverá se manter sem problemas, com base no consumo projetado pelo DAE-Jundiaí, por aproximadamente 30 anos.

Outras situações verificadas na bacia Jundiaí Mirim são as seguintes:

- (1) a ocupação desordenada, o que compromete as áreas de recarga dos aquíferos superficiais, responsáveis pela recarga dos rios que compõe a bacia;
- (2) a extração de argilas das formações sedimentares locais por mineradoras, o que gera sedimentos que contribuem para o assoreamento dos canais locais e reservatórios;
- (3) as práticas agrícolas inadequadas para o uso da terra pelos agricultores e pecuaristas, o que acaba por diminuir a capacidade de absorção do solo com métodos deficientes de cultivo e posicionamento de gado, aumentando a carga de sedimentos e contribuindo também com o assoreamento dos canais e reservatórios;

(4) o desmatamento, que agrava a retenção de água no solo, contribuindo com o rebaixamento do nível d'água local, reduzindo as cargas de água nos corpos superficiais.

Observadas as problemáticas desta bacia optou-se, neste trabalho, em focalizar a pesquisa sobre a questão da ocupação da terra e seus efeitos sobre a impermeabilização do solo. Este tema foi enfocado pois a bacia sustenta seus canais através de água subterrânea e, caso haja recuperação e/ou deficiência de qualquer natureza dessa fonte, há a possibilidade de se perder parte da vazão nos canais da bacia.

As outras três problemáticas listadas acima também têm importância sócio-econômica no contexto da bacia. A extração mineral local tem impactos sobre a economia da região, sendo esta a matéria prima para a produção de tijolos e telhas, produtos comercializados regionalmente. A agro-pecuária é uma das atividades mais freqüentes na área, e responsável pela renda de muitas famílias. O desmatamento é uma atividade meio para a construção e ocupação da terra, para mineração e para a condução de práticas agro-pecuárias.

1.2. Objetivos

O principal objetivo deste trabalho é traçar uma metodologia de análise do risco a perda da capacidade hídrica em função da impermeabilização do solo ocasionada pela ocupação antrópica, relacionando características morfométricas, tais como área da bacia, declividade, índice de manutenção, distância dos canais e densidade de canais, à informações pedológicas e ocupacionais. Desta forma, pretende-se estabelecer uma relação de importância para cada um desses parâmetros e traçar uma análise das condições de ocupação da bacia e sua capacidade de fornecimento de água.

CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Introdução

Neste tópico são apresentados conceitos básicos compreendidos nos temas abordados nessa dissertação, assim como uma breve revisão de algumas feições geomorfológicas e geológicas da bacia do Rio Jundiá Mirim.

2.2. Caracterização fisiográfica da Bacia

A bacia do Rio Jundiá Mirim, segundo ROSS & MOROZ, (1997), situa-se na Morfoestrutura do Cinturão Orogênico do Atlântico, Morfoescultura do Planalto Atlântico, especificamente no Planalto de Jundiá. A altimetria predominante na bacia está entre 800 e 900 metros. As formas do relevo são compostas por colinas e morros altos, de topos convexos, com vales de entalhamento médio (40 a 80 metros) e dimensão interfluvial média (750 a 1750 metros). As declividades dominantes estão entre 10 e 30%, e podem chegar a 60%. ROSS & MOROZ (1997) classificam esta área como de fragilidade potencial média, isto é, com formas de dissecação média a alta, com vales entalhados e densidade de drenagem média a alta. São áreas sujeitas a forte atividade erosiva.

No mapeamento do Projeto RADAMBrasil (Brasil, 1983), na avaliação do relevo, a área é considerada na categoria fraca, na qual existe certo equilíbrio entre os processos morfogenéticos, mas suscetível à ocorrência de sulcos, ravinas e voçorocas em função de culturas cíclicas e criação extensiva.

2.3. Geologia regional

Na região de Jundiá afloram rochas pertencentes ao embasamento cristalino, depósitos sedimentares Paleozóicos, depósitos Terciários e coberturas coluvionares e aluvionares Quaternárias (Figura 3.1).

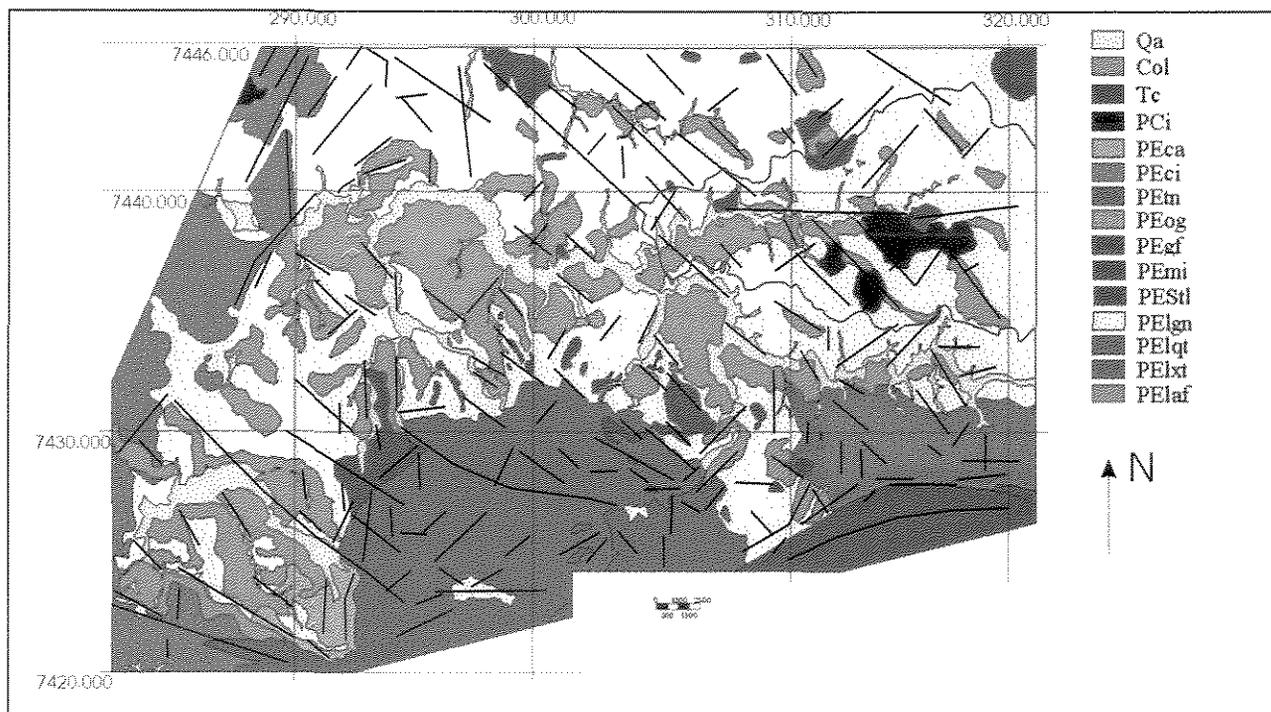


Figura 2.1 – Mapa geológico do Estado de São Paulo em escala 1:500.000 (Bistrichi et al 1981).

Col – Depósitos coluvionares, geralmente em linhas de pedra. PCi - Grupo Itararé: diamictitos, folhelhos, ritmitos, argilitos e siltitos. PEca – Granito Cachoeira: biotita sienogranitos, biotita monzogranitos e sino/monzogranitos. PEgf – granito cinza foliado. PELaf – anfíbilito. PEIgn – biotita gnaisses com alternância de biotita xistos, intercalações de quartzito, gonditos e anfíbilitos. PEIqt – quartzitos puros, micáceos, feldspáticos com intercalações de micaxistos e biotita gnaisse. PEIxt - biotita muscovita xistos e quartzitos . PEmi - Migmatitos estromáticos. PEog - hornblenda ortognaisses e biotita ortognaisses. PESTl – muscovita filitos com ou sem biotita e/ou clorita. PETn – Granito Terra nova: granitos róseos com intercalações de micaxistos. Qa – depósitos aluvionares: cascalhos, areia e argilas. Tc – Depósitos terciários: diamictitos, conglomerados, arenitos e argilitos.

2.3.1. Embasamento Cristalino Pré-Cambriano.

O Complexo Amparo (**Figura 2.1**) é delimitado, a sul, pelas falhas de Itu, Jundiuvira e Camanducaia; a norte, pela falha de Jacutinga, e encontra-se recoberto, a oeste, por sedimentos da Formação Itararé. Nesta região, o Complexo Amparo é constituído principalmente por gnaisses com biotita, hornblenda e granada, com grau variável de migmatização, e contém intercalações de quartzitos, xistos, anfíbilitos, gonditos e metaultrabásicas (Hassui et al 1981). Segundo Hassui et al. (1989), trata-se de um complexo gnáissico-granitóide, constituído por gnaisses do tipo TTG (tonalito – thronjemitito - granodiorito) com supracrustais associadas, bem

como por corpos metabásicos e meta-ultrabásicos, os quais podem representar antigas seqüências vulcânicas ou intrusivas.

Parte das rochas consideradas por Hassui et al (1989) como pertencentes ao Complexo Amparo, foram interpretadas por Santoro (1985) e Batisti et al (1986) como uma seqüência supracrustal composta por para-gnaisses, quartzitos, xistos, metarcósios e anfibolitos e incluídas no Complexo Itapira.

A sul das falhas Itu e Jundiauvira, ocorre o Grupo São Roque, composto por metassedimentos, tais como filitos, metassiltitos, xistos e quartzitos (Hassui et al 1981). Ainda são encontradas intercalações de calcários dolomíticos e rochas calcossilicatadas, além de lentes de quartzito com metarcósios e metagrauvas.

Ao longo de toda a região, ocorrem intrusões granitóides. Granodioritos e granitos caracterizam a Fácies Itu, tendo o seu corpo de maior expressão pertencente ao Complexo Itu. Segundo Hackspacher et al (apud Neves 1999) o alojamento destas intrusões, assim como o Granito Cachoeira e outros pequenos corpos micrograníticos, ocorreu no Neoproterozóico, indicando o início de uma fase de extensão crustal associada a estruturação da bacia do Paraná.

2.3.2. Depósitos Paleozóicos.

Segundo Neves (1999), as primeiras citações sobre os sedimentos Paleozóicos de origem glacial da região de Jundiaí foram feitas por Knecht e assinalados na Carta Geológica do Estado de São Paulo, editada pelo IGG, em 1947. Ainda segundo NEVES (1999), a origem glaciogênica para esses sedimentos foi contestada por Almeida (1952, 1964).

Martin et al. (1959) também propuseram a origem glacial destes sedimentos e os correlacionaram aos depósitos do Grupo Itararé. As rochas são caracterizadas por diamictitos, folhelhos, ritmitos e siltitos. Os autores consideram a bacia como sendo de origem atectônica, porém, relatam que há um sistema de diáclases nos folhelhos e ritimitos da região coincidente com o das rochas Pré-cambrianas, sugerindo uma possível reativação dessas estruturas durante a instalação da bacia.

2.3.3. Depósitos Terciários

Na região de Jundiaí, Atibaia, Bragança Paulista e Piracicaba ocorrem depósitos de sedimentos Terciários muito descontínuos. Vários trabalhos foram feitos na tentativa de

correlacionar tais depósitos com os depósitos Terciários das bacias de São Paulo, Taubaté e Curitiba.

Panelva (1971, apud Neves 1999) descreve os sedimentos como sendo de natureza essencialmente clástica, com raros restos orgânicos e leitos limonitizados. Também descreve os pacotes com poucos metros de espessura, podendo localmente alcançar 60 metros. O ambiente de sedimentação sugerido é o de planícies aluviais alagadiças e com curto transporte dos sedimentos. Panelva (op cit.) admite uma idade Pliocênica a esses sedimentos, porém não descarta a possibilidade de serem mais recentes.

Hassui et al (1976) relacionam tais sedimentos com antigas drenagens semelhantes às atuais dos rios Jundiáí, Sorocaba, Tietê, Atibaia, Jaguari e Mogi-Guaçu, de idade Terciária.

Ponçano (1981) atribui a estes sedimentos idade Quaternária, relacionando-os, com períodos de alargamento dos vales regidos pela intensa remoção de detritos e formação de terraços, em sincronismo com os episódios glaciais.

Neves (1999) cita perturbações tectônicas registradas nestes sedimentos, associadas à falhas normais.

Fulfaro et al (1985) interpreta os sedimentos Cenozóicos da região de Atibaia (SP), a nordeste de Jundiáí, como uma consequência de um episódio distensivo. Afirma ainda que eventos posteriores teriam erodido parte dos depósitos, restando então apenas corpos isolados.

Melo et al (1985) descreve uma similaridade faciológica entre camadas das bacias tafrogênicas de São Paulo, Taubaté, Resende e Volta Redonda.

Batista et al. (1986), descrevem os depósitos em questão como sendo uma seqüência de leques aluviais, de idade Terciária, com sua área fonte situada na Serra do Japi.

2.3.4. Cobertura Quaternária

As coberturas aluvionares da área aparecem ao longo das principais drenagens da bacia do rio Jundiáí. São compostas por areias inconsolidadas de granulação variável, argilas e cascalho fluvial subordinado. A distribuição espacial dessas coberturas foi registrada no mapa geológico do Estado de São Paulo – escala 1:500.000 (Bistrichi et al 1981).

2.4. Geologia Estrutural Regional

Segundo Hassui et al (1977, 1978), o leste paulista é compartimentado tectonicamente por uma malha de grandes falhas transcorrentes e zonas de cisalhamento que controlam a estruturação do embasamento cristalino e condicionam a formação das bacias terciárias. As falhas de Itu, Pirai, Cururu e Cachoeira são ramificações da falha Jundiuvira em forma de leques. O processo deformacional nestas zonas são heterogêneos - há uma variação da deformação entre rochas justaposta, desde rochas sem deformação, passando por protomilonitos, milonitos, ultramilonitos e blastomilonitos.

As falhas de Itu e Jundiuvira são definidas por Hackspacher et al (1989) como uma zona de cisalhamento transcorrente dextral.

Hassui et al (1982) relaciona falhas normais Mesozóico-Cenozóico com o desenvolvimento de bacias tafrogênicas do sudeste do Brasil – essas bacias apresentam cunhas clásticas associadas a falhas sin-sedimentares.

2.5. Análise de Variáveis – Regressão Múltipla

A relação entre uma variável Y, independente de qualquer outra variável, e uma variável X, dependente da anterior, pode ser expressa através de um gráfico de dispersão. A partir deste gráfico pode-se construir uma curva de tendência que melhor se ajuste à nuvem de distribuição dos dados. O método mais simples para o cálculo desta curva, segundo Landim (2001), é o da regressão linear simples, que fornece a equação da reta:

$$Y = \alpha + \beta \cdot X_i + \varepsilon_i \quad (\text{equação 1})$$

onde α e β são os coeficientes desconhecidos a serem determinados e ε é o resíduo, ou o erro da modelagem.

Quanto menor for o ε_i melhor será a modelagem de Y para X. Quando o valor de ε_i for muito alto, será necessário a utilização de outras variáveis X, para melhorar a relação entre as variáveis independentes e a variável dependente. Entretanto, essa noção não pode ser aplicada a modelos geológicos, que raramente são tão simples e condicionadas a apenas uma variável. Logo é necessária a adição de variáveis independentes, porém respeitando a condição da equação da

regressão linear simples (equação 1). Um modelo de variáveis múltiplas pode ser representado então pela seguinte equação:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_1 + \beta_2 \cdot X_2 + \dots + \beta_m \cdot X_m + \varepsilon_i \quad (\text{equação 2})$$

Os coeficientes β_i são conhecidos como parciais de regressão, uma vez que representam a taxa de mudança na variável dependente correspondente a respectiva variável independente. Tal equação pode ser resolvida através da seguinte matriz:

$$\begin{bmatrix} n & \Sigma X_{1i} & \dots & \Sigma X_{mi} \\ \Sigma X_{1i} & \Sigma X_{1i}^2 & \dots & \Sigma X_{1i} X_{mi} \\ \Sigma X_{2i} & \Sigma X_{2i} X_{1i} & \dots & \Sigma X_{2i} X_{mi} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \Sigma X_{mi} & \Sigma X_{mi} X_{1i} & \dots & \Sigma X_{mi}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Sigma Y_i \\ \Sigma X_{1i} Y_i \\ \Sigma X_{2i} Y_i \\ \vdots \\ \Sigma X_{mi} Y_i \end{bmatrix} \quad (\text{equação 10})$$

Calculada dessa maneira, essa equação é a que melhor representa as relações entre as variáveis dependentes e as variáveis independentes.

2.6. Ciclo hidrológico e bacias hidrográficas

O ciclo hidrológico pode ser descrito sucintamente como todo movimento e condições de armazenamento que a água passa na natureza, desde sua formação primária até sua chegada ao oceano, passando pela etapas de precipitação, evaporação, absorção no solo, migração, ressurgência em nascentes, lagos e rios e absorção pelas plantas (Fatter, 1994).

Silveira (1993) descreve o balanço hídrico com uma forma de quantificar e monitorar a quantidade de água na superfície da terra, utilizando-o como uma quantificação básica no estudo de bacias hidrográficas.

Botelho (1999 e referências ali citadas) aborda a bacia hidrográfica como uma unidade natural de análise superficial. Sugere que, desde que compreendida desta forma, a bacia hidrográfica representa uma unidade de planejamento para o uso da terra, pois a delimitação da mesma segue critérios geomorfológicos bem definidos. Botelho (op. cit.) destaca também alguns

fatores do meio físico que são necessários para o planejamento ambiental em bacias hidrográficas, entre os quais: o clima, a geologia, o relevo, o solo, a rede de drenagem e a cobertura vegetal.

Um dos fatores analisados para o balanço hídrico é o armazenamento da água no subsolo, que é relacionado à vazão do canal (Silveira 1998).

Segundo Fatter (1994) e Silveira (1998) quando há precipitação, o solo absorve a água até um determinado ponto de saturação. Essa água, então, gera um fluxo (denominado fluxo basal), com movimento lento em direção aos pontos de surgência, e que abastece os canais. Nas épocas de chuva, esse fluxo é incrementado pela água de escoamento superficial. No entanto, em épocas de seca, a fonte das águas dos canais, lagos e demais corpos superficiais, são dependentes quase que exclusivamente da água saturada no solo

2.7. Frequência Estrutural

Zakir (1999) ressaltou a importância do uso de mapas de frequência estrutural, os quais permitem a fusão de informações estruturais quantitativas com outras informações geológicas no ambiente de um Sistema de Informações Geográficas.

Mostafa (1995) apresentou uma técnica para a contagem de lineamentos para a determinação de mapas de frequência estrutural. Na sua proposta, uma matriz (quadrada, retangular ou circular) é utilizada, cobrindo toda a área das estruturas. Pesos foram criados para os contatos dos lineamentos com os limites desta matriz e para a intersecção entre lineamentos. A soma dos pesos encontrados nos cruzamentos dos lineamentos com a matriz permitiu a obtenção da frequência de lineamentos dentro dessa matriz, e a geração, através de interpolação, de um mapa de frequência estrutural. As intersecções entre lineamentos foram utilizadas por Mostafa (op. Cit.) em estudos de dinâmica de fluidos.

Zakir (1999) apresentou um método para determinação da dimensão ótima da matriz de contagem para a construção de mapas de frequência estrutural. O autor considerou uma seqüência de dados de frequência de fraturas e uma de intersecção de fraturas com a matriz. As duas seqüências foram plotadas em um gráfico di-log (gráfico fractal) de “frequência/intersecção” vs “dimensão das células”, d’onde ficou demonstrado a natureza fractal das seqüências. Em determinado ponto do gráfico di-log, tais curvas apresentaram um ponto de intersecção, o qual foi

tomado por (Zakir, op. cit) como o ponto ótimo da dimensão das células, uma vez que neste ponto verificou-se a similaridade entre os dois métodos de contagem.

2.8. Análise Multicriterial

A análise de uma bacia hidrográfica deve ser realizada considerando-se vários fatores fisiográficos e hidrológicos simultaneamente. Esses fatores influenciam direta ou indiretamente a vazão de uma bacia e é fundamental que sejam estabelecidas formas de ordená-los, relacioná-los e quantificá-los objetivamente.

O “Analytic Hierarchy Process” (PAH) é um método multi-criterial ponderado que permite esse tipo de análise. Este método, segundo Marques (2002), consiste basicamente na criação de hierarquias de decisão, que obedece a um determinado modelo.

O modelo hierárquico desenvolvido por SAATY (1977) consiste num processo de escolha baseada na lógica de comparação pareada (*pairwise comparison*), onde os vários níveis hierárquicos são comparados entre si, gerando um valor de importância relativa entre os fatores.

Este método é um método dirigido pelo conhecimento, de forma que é imprescindível ter um bom conhecimento do processo sob análise. Segundo VARGAS (1990) tal método tem 4 axiomas:

1. Comparação Recíproca: o tomador de decisões deve ser capaz de fazer comparações e manifestar suas preferências. A intensidade dessas preferências deve satisfazer a condição recíproca: se A é ‘n’ vezes preferível a B, B é 1/n vezes preferível a A;
2. Homogeneidade: a preferência é representada por meio de uma escala limitada.
3. Independência: quando as preferências são expressas, critérios são assumidos independente das propriedades das alternativas.
4. Expectativa: com a finalidade de tomar decisões, assume-se que a estrutura hierárquica está completa.

ROSENBLOOM (1996) e ZAHEDI (in MARQUES, 2002) apresentam 5 passos para se resolver os problemas de decisão por este método:

1. criação da hierarquia de decisão;
2. obtenção de valores de frequência relativa entre os elementos;
3. teste de consistência;
4. cálculo de pesos relativos; e
5. agregação de pesos relativos aos elementos.

O método utilizado, assim com a forma de criação das matrizes, determinação dos pesos e sua aplicação, será visto em maior detalhe no Capítulo 4.

2.9. Fisiografia de bacia hidrográfica

Silveira (1998) descreve, como principais, os seguintes fatores para caracterização fisiográfica de uma bacia:

- Área – é um dado fundamental para a determinação da potencialidade hídrica, uma vez que multiplicando-se a lâmina d'água pela área da bacia, é possível derivar o volume de água captado pela bacia em uma precipitação;
- Índices de drenagem – diversos índices podem ser atribuídos a malha de drenagem, tais como comprimento, relação de bifurcação, relação de comprimento, densidade de drenagem, densidade de confluências, etc;
- Índices de declividade – assim como os índices de drenagem, são os vários índices relacionados à declividade, entre os quais, a declividade equivalente, a declividade média, a declividade de vertentes, etc;

CAPÍTULO 3 – MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Introdução

A base de dados constituída para este trabalho foi obtida junto ao IAC e compreende os seguintes dados:

- Mapa de uso e ocupação do solo na escala 1:25.000;
- Modelo digital de elevação construído a partir de mapa topográfico com curvas de nível espaçadas de 4 metros;
- Mapa de susceptibilidade a erosão na escala 1:25.000;
- Mapa de solos na escala 1:25.000;
- Fotos aéreas do levantamento feito sob solicitação do IAC em 1972 na escala 1:30.000;
- Ortofotos de levantamento aéreo de 2001 na escala 1:20.000;
- Levantamento plani-altimétrico da cidade de Jundiaí (base disponibilizada pela Prefeitura Municipal de Jundiaí);

Ainda foi utilizado o mapa geológico apresentado por Neves (1999) baseado em Batista (1986), na escala 1:50.000, incluindo dados litológicos e estruturais. A partir deste mapa foram derivados dois outros mapas: o litológico e o de frequência estrutural quantitativa. Foram realizadas atividades de campo para sua verificação. Nos pontos visitados, foram obtidas informações geológicas adicionais em escalas compatíveis com aquelas apresentadas no mapa de Neves (1999). Os dados estruturais foram verificados e complementados a partir de nova foto-interpretção das fotos aéreas de 1972.

Para atingir os objetivos dessa pesquisa, de se estimar o risco de perda da capacidade hídrica da bacia hidrográfica do Rio Jundiaí Mirim em função da ocupação humana, a bacia foi tratada como uma zona de recarga e descarga de um aquífero, sendo este o responsável pela manutenção dos canais de escoamento superficial. Tratar a capacidade hídrica da bacia como uma dependente apenas de precipitação é uma visão muito simplista, uma vez que os eventos de precipitação são esporádicos e representam apenas picos na vazão dos canais. A alimentação dos canais pelos aquíferos são constantes em toda época do ano, apenas com variações quantitativas

em função de épocas de muita ou pouca umidade. Sendo assim, os canais foram abordados como uma extensão do aquífero superficial. As zonas impermeabilizadas pela ocupação humana foram áreas consideradas como obstáculos à penetração de água para a recarga dos aquíferos superficiais, o que implica na diminuição de manutenção destes canais.

Uma matriz, relacionando alguns dos principais fatores para a recarga do aquífero superficial, foi confeccionada utilizando-se os seguintes planos de informação (PI's):

- Mapa de densidade de fraturas;
- Mapa de solos;
- Mapa de área impermeabilizada das sub-bacias;
- Mapa de área das sub-bacias;
- Mapa de declividade do terreno;
- Coefficiente de manutenção;
- Mapa de densidade de canais; e
- Mapa de distâncias dos canais.

Dados estes utilizados anteriormente para análises de bacias hidrográficas em trabalhos como de Mello et al. (2003) e Steinguer et al. (2000).

Para que os mapas possam ser comparados e relacionados é necessário que eles tenham compatibilidade em suas unidades. Dessa maneira, todos os mapas foram normalizados com valores de 0 a 1, com valores intermediários divididos linearmente, onde 0 representa valores mais favoráveis à manutenção da capacidade hídrica superficial das bacias e 1 representa valores menos favoráveis. A atribuição dos valores para cada PI são explicadas a seguir.

Em todos os PIs, as sub-bacias foram adotadas como unidade de área, onde possível. Tais sub-bacias foram geradas segundo o sistema de drenagem e relevo e o mapa de distribuição das mesmas em toda Bacia do Rio-Jundiá Mirim é ilustrado na **Figura 3.1**.

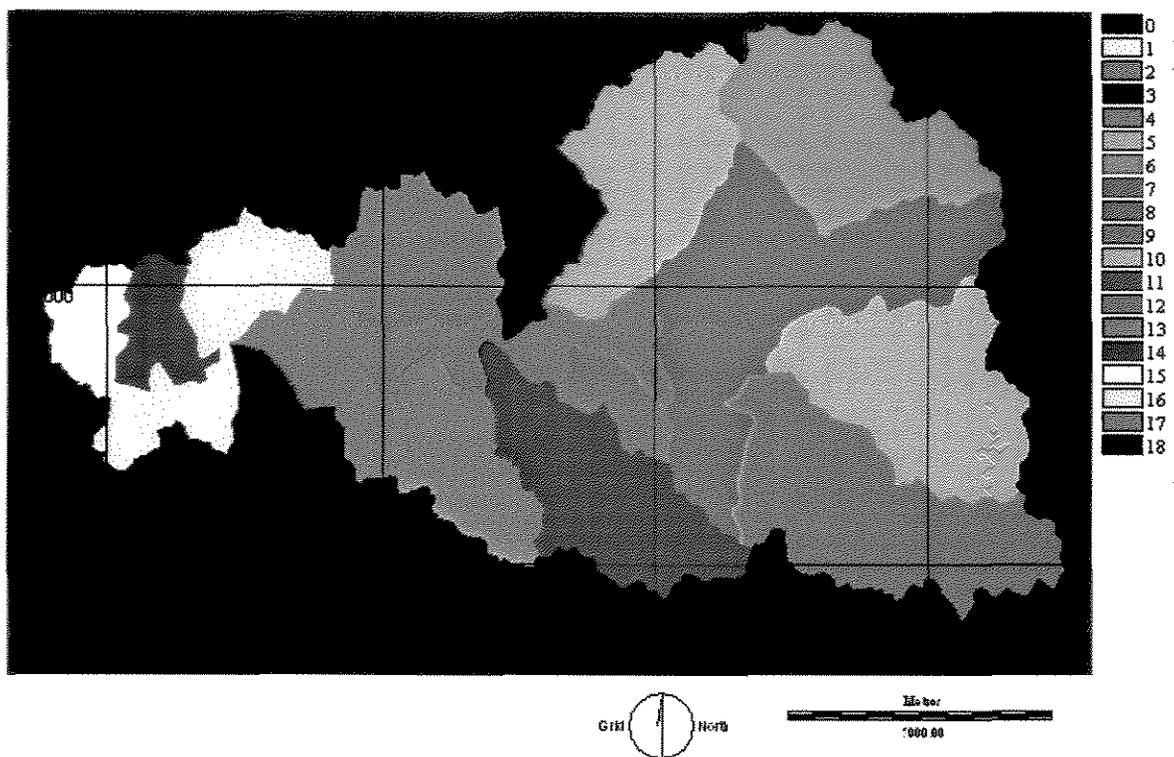


Figura 3.1. – Mapa de sub-bacias da Bacia do Rio Jundiá Mirim.

3.2. Mapa litológico

O mapa litológico foi extraído diretamente do mapa original, o qual foi transformado para o formato matricial com resolução de 300 dpi, através de um escaner de rolo, e digitalizado através do software Ilwis 3.1. O geo-referenciamento do mapa foi feito também no ambiente do Ilwis 3.1, a partir de pontos conhecidos, como drenagens e outros pontos notáveis cujas coordenadas foram extraídas do mapa original, em papel. Os dados relativos ao referenciamento são apresentados na **Tabela 3.1.**

Tabela 3.1 - Parâmetros de geo-referenciamento do mapa geológico de Neves (1999)

ID	X	Y	ROW	COL	Active	Drow	Dcol
1	315.000.000	7.446.000.000	588	4524	True	0.15	0.25
2	310.000.000	7.446.000.000	589	3932	True	-0.28	0.09
3	282.000.000	7.430.000.000	2476	628	True	0.04	-0.24
4	290.000.000	7.425.000.000	3063	1573	True	-0.04	0.32
5	290.000.000	7.430.000.000	2475	1572	True	0.10	0.09
6	295.000.000	7.443.000.000	946	2160	True	0.05	0.12
7	300.000.000	7.425.000.000	3062	2754	True	-0.19	-0.33
8	320.000.000	7.430.000.000	2471	5122	True	0.09	0.32
9	304.800.873	7.434.417.368	1953	3320	True	0.03	0.06
10	297.562.978	7.430.789.657	2381	2465	True	0.02	0.00
11	310.810.199	7.428.354.455	2666	4033	True	0.01	0.09
12	315.345.067	7.439.242.190	1383	4566	True	0.01	-0.77
13	306.314.642	7.438.349.547	1490	3498	True	0.00	0.00

O mapa de Neves (1999) não cobre toda a área de estudo. O restante da área, compreendida entre as coordenadas E-320770 e E-322480 & S7432996 e S7445004 (UTM 23), foi mapeada com atividades de campo e com o subsídio das informações que constam no mapa geológico da folha Atibaia. O mapa final compilado, verificado e complementado com trabalhos de campo, é apresentado na **Figura 3.2**.

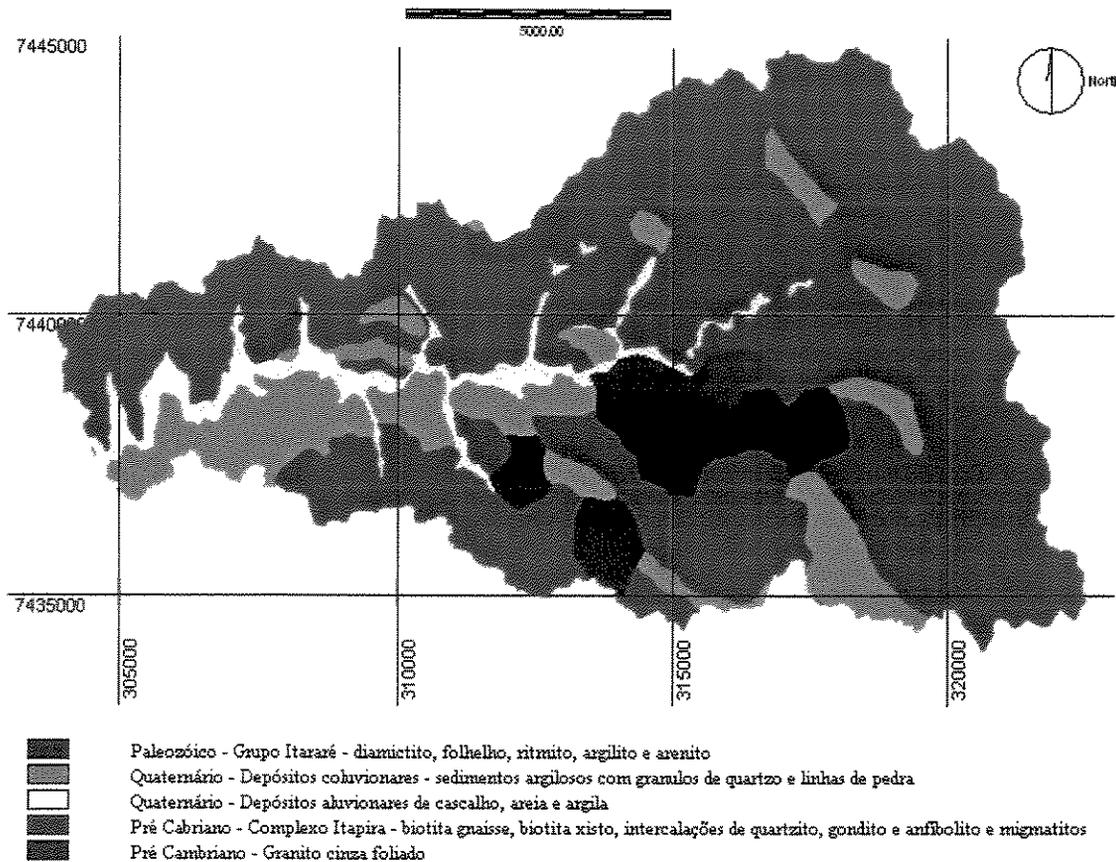


Figura 3.2. Mapa litológico da bacia do Rio Jundiá Mirim

3.3. Mapas de freqüência e densidade estrutural

O mapa de freqüência estrutural foi obtido através do mapa de estruturas rúpteis baseado nos lineamentos apresentados por Neves (1999), e também foi verificado no campo e complementado por interpretação de fotos aéreas. Estas fotos foram geo-referenciadas através do software Ilwis 3.1, tendo com base de coordenadas o mapa plani-altimétrico de Jundiá em conjunto com o modelo digital de elevação. Para o geo-referenciamento, foram respeitados os valores de sigma máximo de 4,0. Após o geo-referenciamento foram gerados os pares estereoscópicos das fotos e seus respectivos anaglifos, em verde e vermelho, utilizados para a fotointerpretação. Com o mapa de estruturas rúpteis concluído, foi possível a geração dos mapas de freqüência e densidade estrutural (**Figura 3.3**).

A metodologia utilizada para geração desses mapas, assim como os resultados obtidos, podem ser observados no **Anexo 1**, onde é apresentado um artigo sobre a representatividade da dimensão da matriz de contagem para a construção de mapas de densidade estrutural.

Os mapas foram ajustados para um total de 3000 linhas e 5000 colunas, com pixels de 4,004 metros, cobrindo as coordenadas UTM entre E 302998.002, N 7432996.002 e E 323013.998, N 7445003.998.

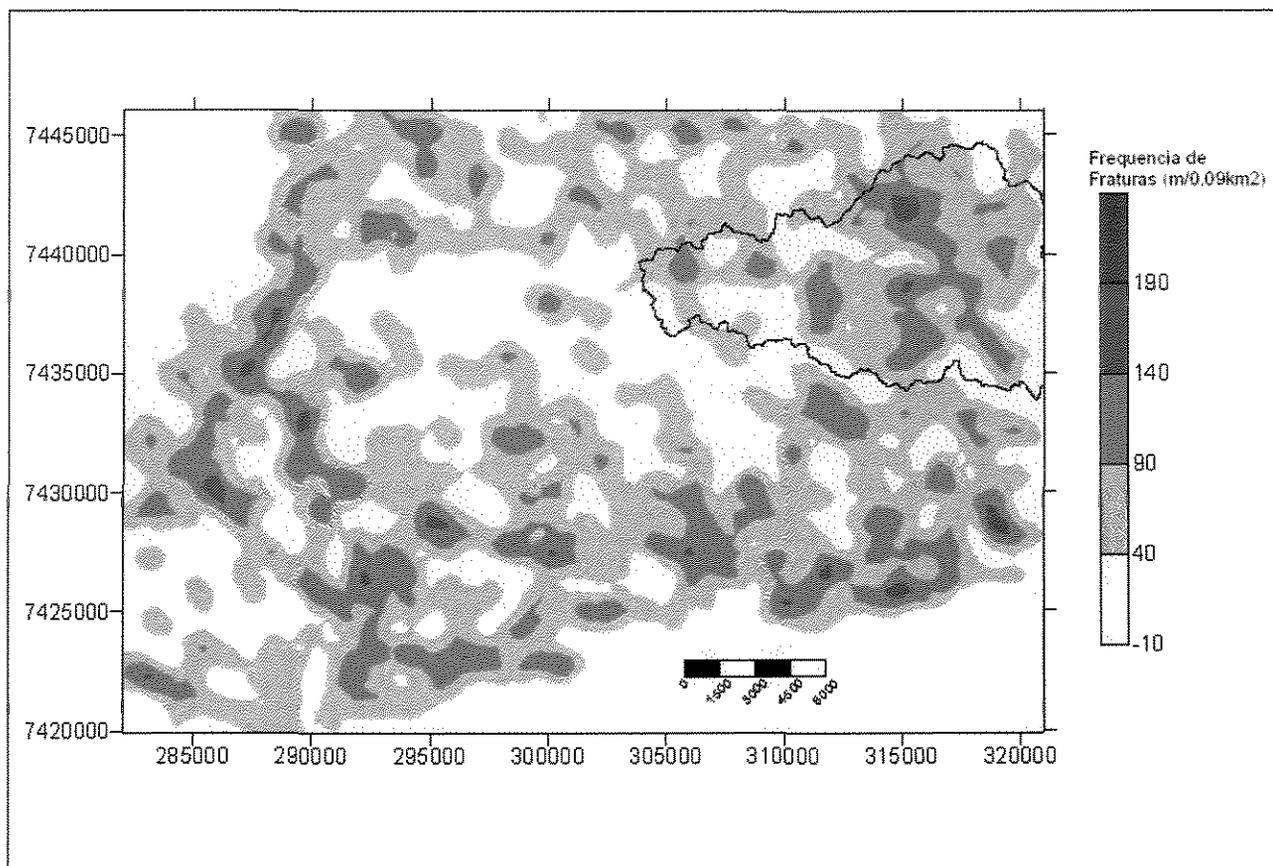


Figura 3.3. Mapa de densidade estrutural (fraturas, juntas e falhas) da bacia do rio Jundiá Mirim.

Adotando-se a área das sub-bacias como unidade padrão, um novo mapa de densidade estrutural foi computado (**Figura 3.4**). Este PI foi gerado através dos seguintes passos:

- (i) quantificação do comprimento das estruturas rúpteis no interior de cada sub-bacia, feito através do algoritmo Perímetro do software IDRISI. Como resultado obteve-se o

comprimento de todas as laterais da feição, com valor real dobrado – que foi corrigido posteriormente, por divisão simples;

(ii) divisão dos comprimentos totais das fraturas de cada sub-bacia pela área das mesmas;

(iii) normalização entre 0 e 1, onde à sub-bacia com maior densidade de fraturas foi atribuído o valor 1 - mais prejudicial ao modelo devido a maior perda de água; e à sub-bacia com menor densidade estrutural foi atribuído o valor 0 - menos prejudicial ao modelo.

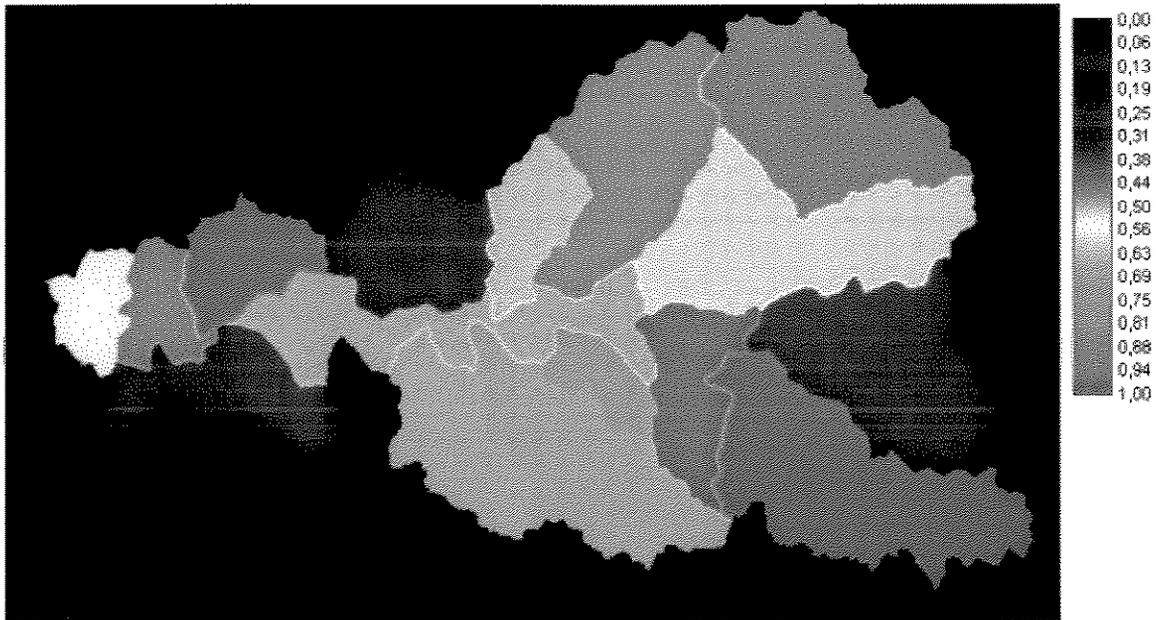


Figura 3.4. Mapa de densidade estrutural calculado por sub-bacia da bacia do rio Jundiá Mirim.

Este método de quantificação das estruturas foi utilizado anteriormente por Lima (2000), para quantificação de canais de drenagem.

A densidade de fraturas foi selecionada para esta análise pois têm influência direta na perda de água do aquífero superficial (freático) para o aquífero fraturado profundo. Esta perda se dá pela percolação da água que sai dos poros primários do solo passando para a porosidade secundária das rochas que embasam os solos (Silveira, 1998). Este arranjo pode ser observado na Figura 3.5.

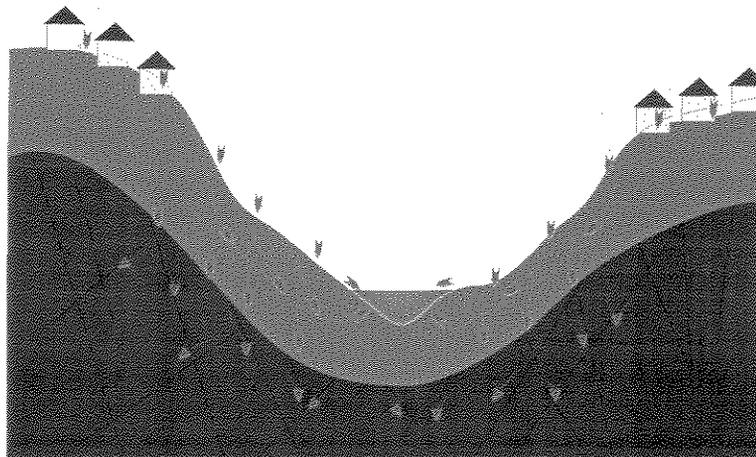


Figura 3.5. Modelo conceitual simplificado e esquema de percolação de água em uma bacia hidrográfica (modificado de Silveira, 1998)

3.4. Mapa de Solo

O mapa de solos utilizado foi adquirido do IAC, na 1:25.000, com pixels de 4,0 metros, com 3001 linhas e 5001 colunas e em coordenadas UTM em formato DXF. O mapa não foi verificado em campo por se tratar de um resultado de trabalhos recentes do IAC, parcialmente acompanhados durante essa pesquisa. Esse mapa foi convertido para o formato matricial no software Ilwis. O mapa foi formatado para 3000 linhas e 5000 colunas com pixels de 4,004 metros, ajustando-se às coordenadas UTM entre E 302998.002, N 7432996.002 e E 323013.998, N 7445003.998 (**Figura 3.6**).

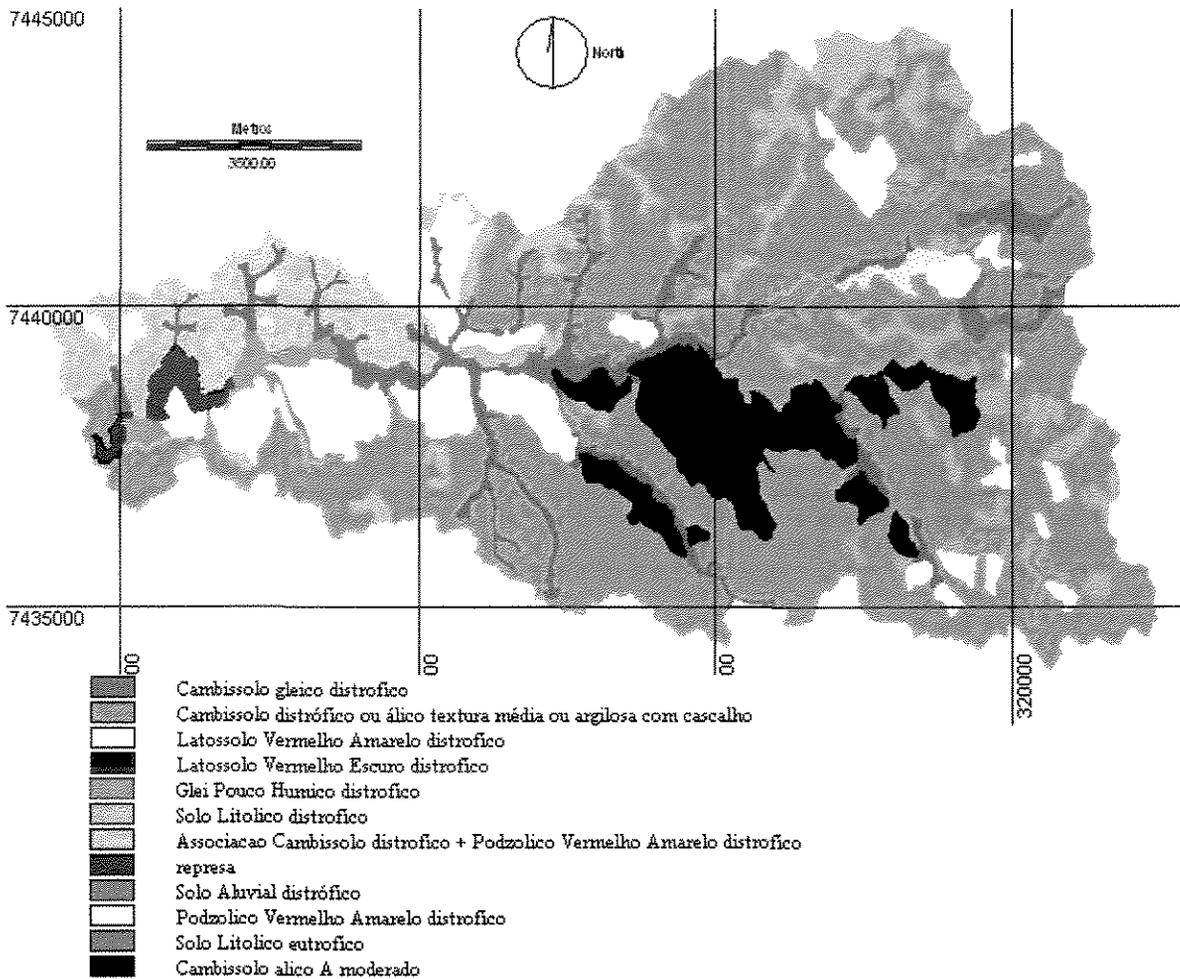


Figura 3.6. Mapa de solos da bacia do rio Jundiá Mirim.(Fonte: IAC 2000)

O PI de solos foi gerado a partir deste mapa seguindo os seguintes passos:

- (i) reclassificação em função de sua permeabilidade segundo Lombardi Neto et al (1991) (**Tabela 3.2**);
- (ii) os valores propostos por Lombardi Neto et al (1991) foram normalizados entre 0 e 1, segundo uma função linear (Figura 3.7), onde 0 foi atribuído ao solo mais permeável e 1 ao solo menos permeável.

Tabela 3.2 – Reclassificação do mapa de solos baseado em Lombardi Neto et al (1991)

Classe de solo no mapa de solos do IAC (2001)	Classificação segundo Lombardi Neto et al (1991)
Cambissolo	2
Cambissolo gleico	1
Latossolo	8
Podzólico	5
Solo litólico	5
Solo aluvial	8
Glei solo	2

O PI de solo tem grande importância para esta análise uma vez que representa o meio onde é armazenada a água que alimenta os canais superficiais em épocas de seca e também é o meio pelo qual a água subterrânea se propaga desde sua entrada na bacia, em forma de precipitação, até sua surgência nos canais superficiais.

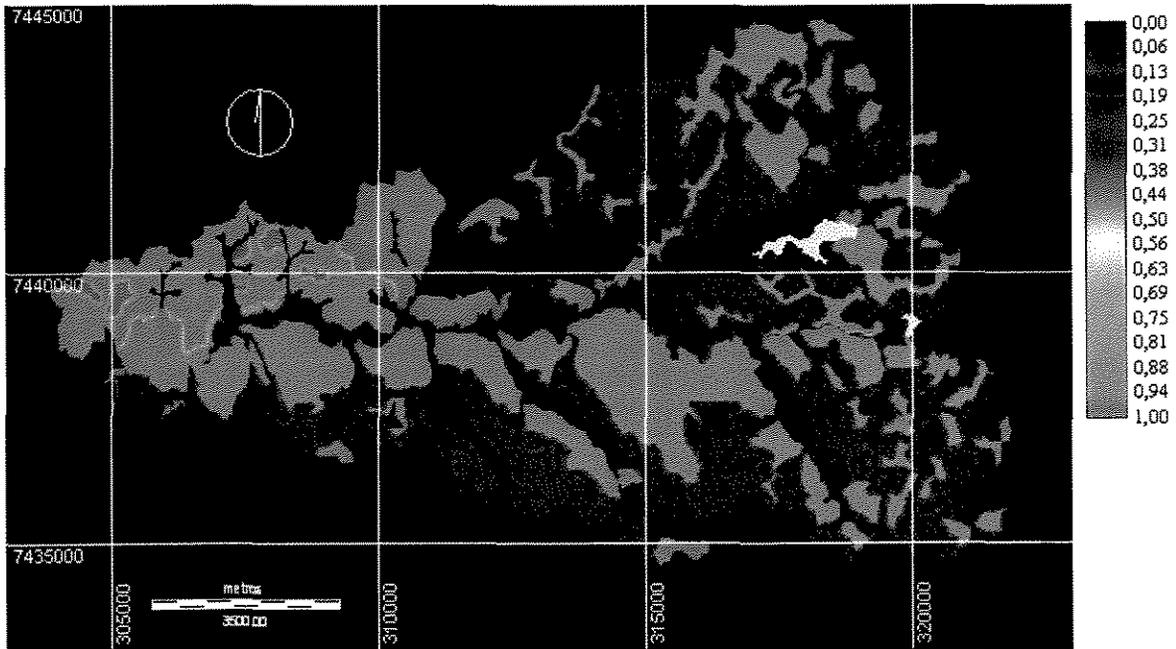


Figura 3.7 – Mapa de solos da bacia do rio Jundiá Mirim, modificado de IAC (2001), segundo o método de classificação de Lombardi Neto et al (1991).

3.5. Mapa de Áreas Impermeabilizadas

O mapa de áreas impermeabilizadas foi gerado a partir do mapa de uso e ocupação da terra, o qual foi também adquirido do IAC na escala 1:25.000, com pixels de 4,0 metros, com 3001 linhas e 5001 colunas e em coordenadas UTM em formato matricial. Esse mapa foi verificado e complementado com dados de campo coletados durante essa pesquisa e através da interpretação de ortofotos obtidas em levantamento realizado em 2001. O mapa foi formatado com 3000 linhas e 5000 colunas com pixels de 4,004 metros, ajustando-se às coordenadas UTM entre E 302998.002, N 7432996.002 e E 323013.998, N 7445003.998 (Figura 3.8).

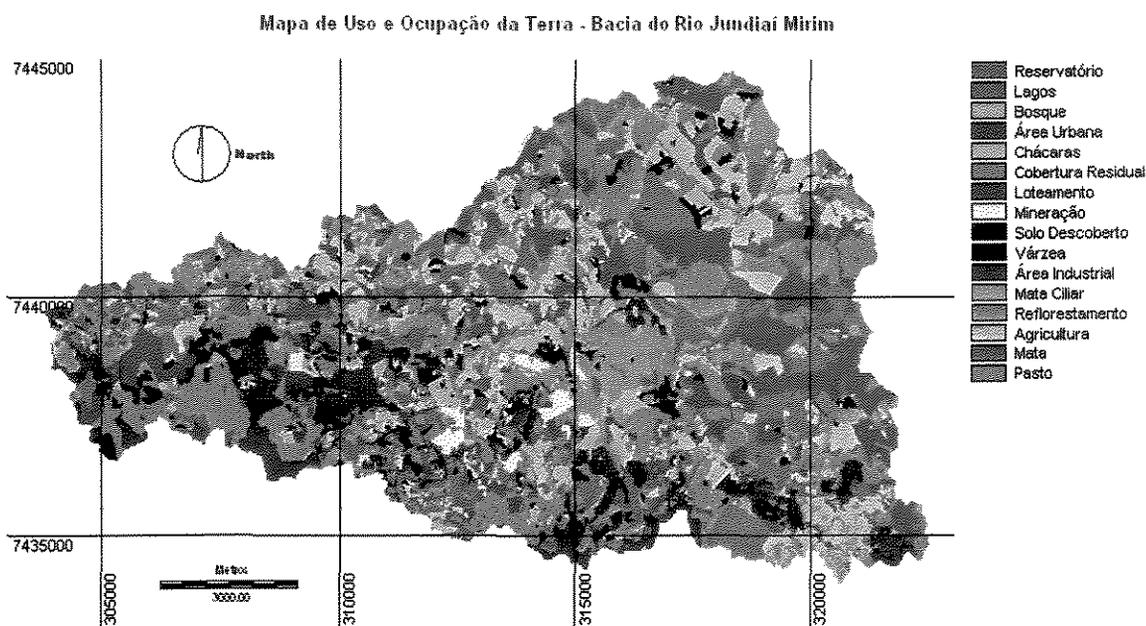


Figura 3.8. Mapa de uso e ocupação da bacia do rio Jundiáí Mirim

O mapa de índice de áreas impermeabilizadas (Figura 3.9) foi gerado da seguinte forma:

- reclassificação do mapa de uso e ocupação da bacia do rio Jundiáí Mirim, segundo a Tabela 3.3;
- separação do mapa resultante da etapa (a) por sub-bacia.s;
- determinação da área de valor 1 (área impermeabilizada) em cada sub-bacia. nos mapas resultantes da etapa (a);
- determinação do índice de área impermeabilizada por sub-bacia. através da divisão das áreas impermeabilizadas pela área das respectivas sub-bacia.s; e

(e) normalização deste índice entre 0 e 1, sendo atribuído 1 à área mais impermeabilizada, e 0 a menos impermeabilizada.

Tabela 3.3. Reclassificação do mapa de uso e ocupação da bacia do rio Jundiá Mirim.

Classe	Mapa de uso e ocupação da bacia do rio Jundiá Mirim	Mapa de área impermeabilizada
Reservatórios	1	0
Lagos	2	0
Bosques	3	0
Área urbana	4	1
Chácara	5	1
Cobertura residual	6	0
Loteamento	7	1
Mineração	8	0
Solo descoberto	9	0
Várzea	10	0
Área industrial	11	1
Reflorestamento	12	0
Mata ciliar	13	0
Agricultura	14	0
Mata	15	0
Pasto	16	0

Este índice demonstra a proporção, em área, em que cada sub-bacia foi impermeabilizada em função da ocupação antrópica. Com o solo impermeabilizado a recarga do aquífero fica comprometida, uma vez que é através da superfície do solo que a água penetra para recarregar o aquífero superficial e, posteriormente, seus compartimentos mais profundos.

Tal classificação foi feita baseada na existência ou não de impermeabilização do terreno, independentemente da quantificação desta impermeabilização, desta forma, áreas urbanas, chácaras, loteamentos, e áreas industriais recebem a mesma classificação qualitativa.

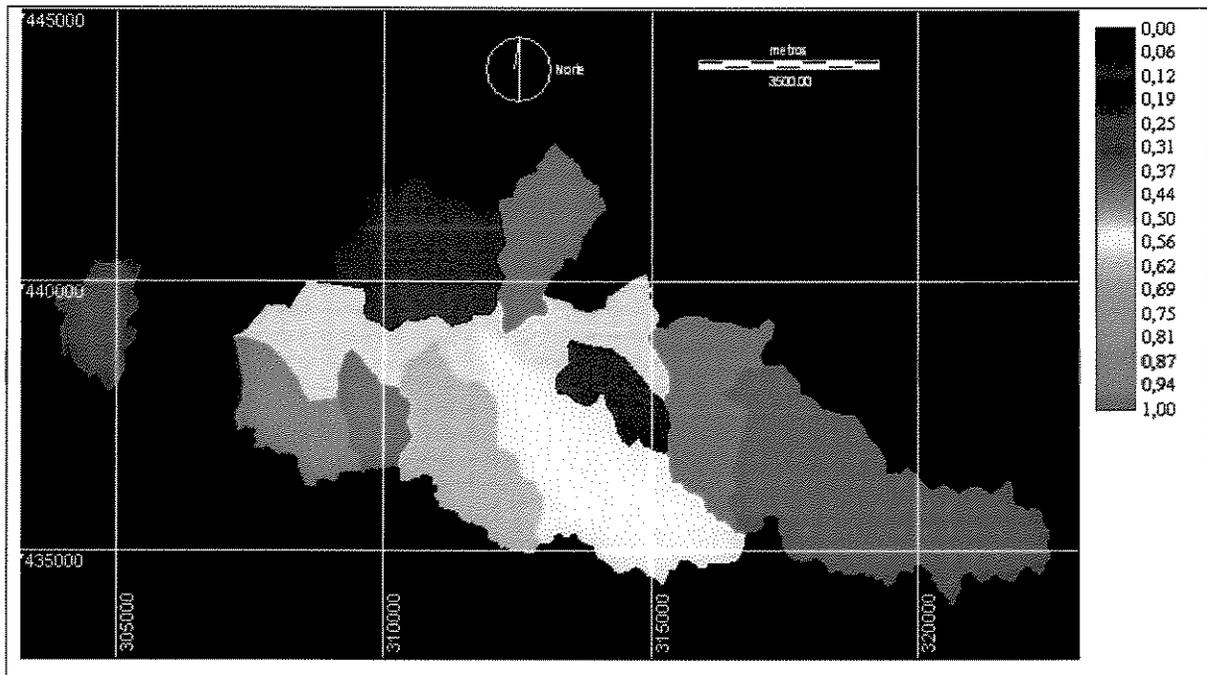


Figura 3.9. Mapa de índice de áreas impermeabilizadas por sub-bacia da bacia do rio Jundiá Mirim

3.6. Mapa de área das sub-bacias

A área da bacia tem influência direta na captação da água. Quanto maior a área da bacia maior será a captação de água de chuva (Figura 3.10). Para este PI a área de todas as sub-bacias foi determinada através do algoritmo “ÁREA” do software IDRISI. As áreas foram normalizadas entre 0 e 1 através de uma função linear, atribuindo a maior área o valor 0 e à menor área o valor 1.

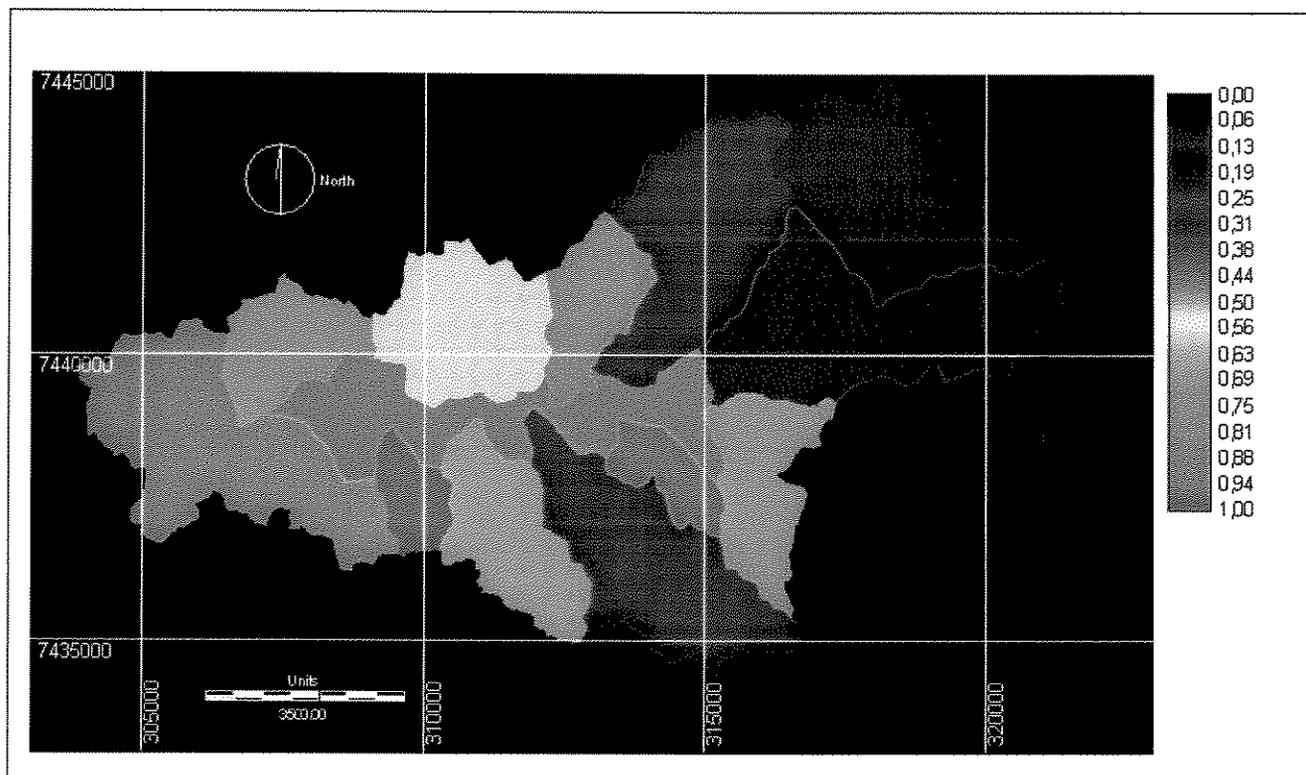


Figura 3.10. Mapa de área das sub-bacias da bacia do rio Jundiá Mirim.

3.7. Mapa de declividade do terreno

O mapa de declividade do terreno foi gerado a partir do modelo digital de elevação através da função “SLOPE” do software IDRISI, onde foram determinados índices percentuais de declividade. Este método de determinação da declividade através dos modelos digitais de elevação foi descrito por Monmonier (1982), e calcula a tangente do ângulo no pixel através dos pixels vizinhos. Este PI foi normalizado entre 0 e 1, onde a maior declividade foi contemplada com o valor 1 – maior escoamento superficial e, conseqüentemente, menor infiltração; e a menor com o valor 0 – menor escoamento superficial e, conseqüentemente, maior infiltração (Figura 3.11).

A declividade do terreno foi utilizada devido a sua relação direta com o escoamento superficial. Quanto maior a declividade, maior é o escoamento superficial e menor é a penetração no solo, já que a penetração de água no solo é desfavorecida sob alta declividade. Assim, na área de baixa declividade, a água não esco imediatamente quando atinge a superfície do solo e tem

tempo para alimentar o aquífero superficial que, por sua vez, alimenta os corpos de água superficiais e os aquíferos profundos.

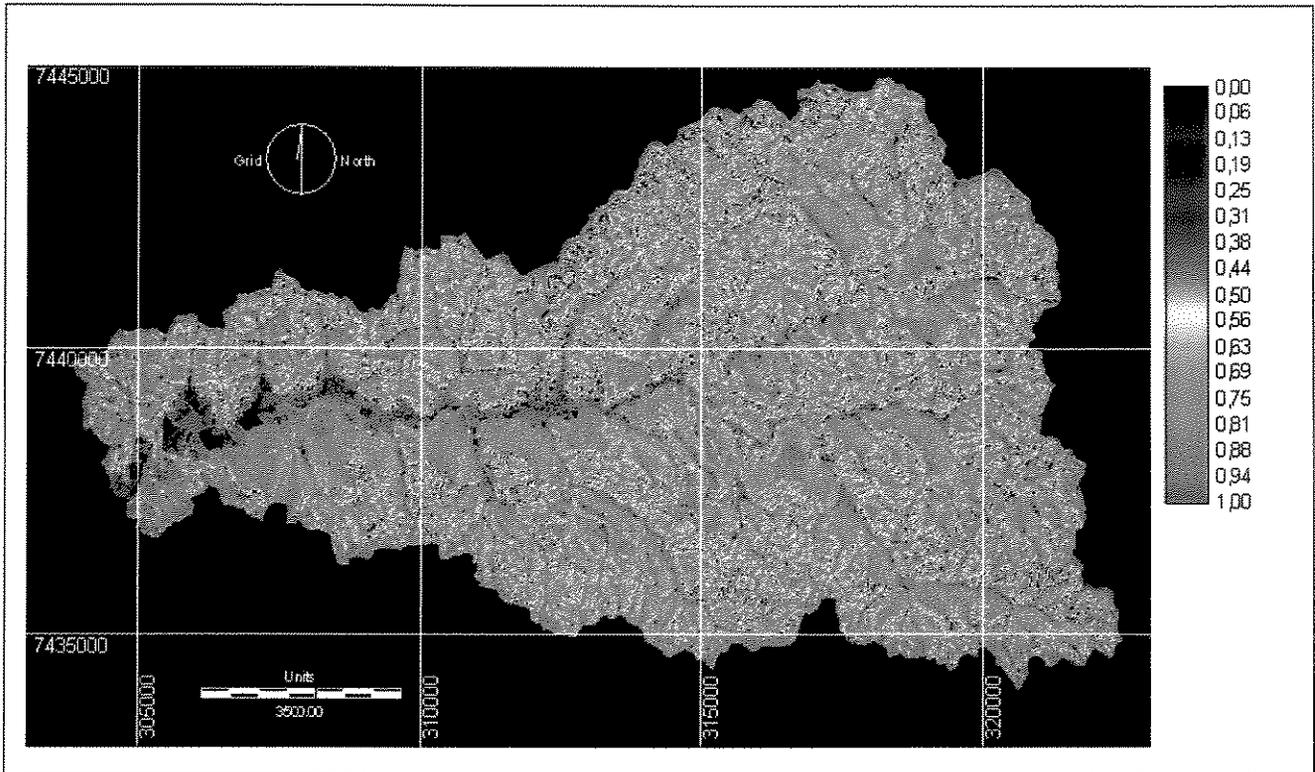


Figura 3.11. Mapa de declividade do terreno da bacia do rio Jundiá Mirim.

3.8. Mapa de Densidade de Canais

O mapa de densidade de canais (Figura 3.12) foi obtido através dos seguintes procedimentos (Lima, 2000):

- (i) atribuição de um valor aleatório para os canais dentro de cada sub-bacia para diferenciar canais de sub-bacias distintas;
- (ii) quantificação linear dos canais dentro de cada sub-bacia, calculando o perímetro dos canais e os dividindo pela metade;
- (iii) divisão dos comprimentos totais pela área da bacia, obtendo-se então a quantidade linear de canal por unidade de área de cada sub-bacia.

Este plano de informação foi utilizado por apresentar os pontos potenciais de surgência da água subterrânea na superfície dos canais. Foi considerado como valor 1 para a sub-bacia com maior concentração de canais, já que quanto maior a quantidade de canais na sub-bacia, maior a quantidade de água necessária para alimentá-los. Em contraste, o valor 0 foi atribuído para a sub-bacia com menor quantidade de canais.

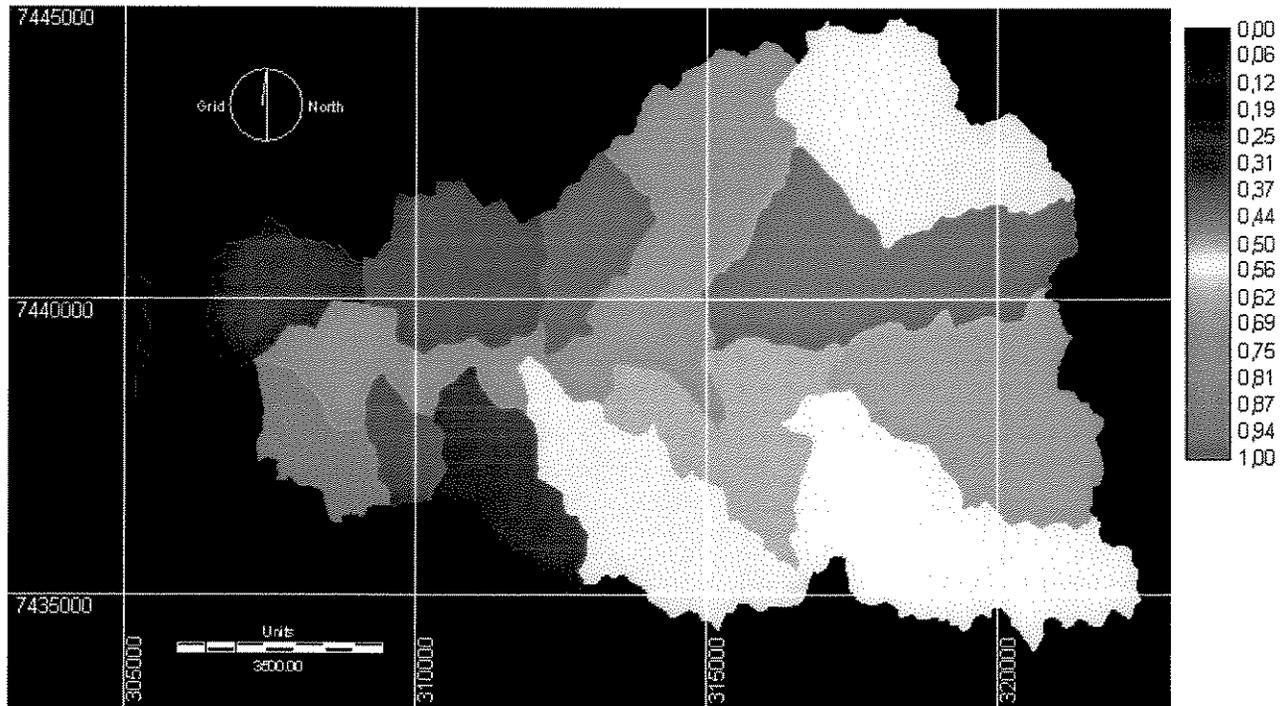


Figura 3.12. Mapa de densidade de canais por sub-bacia da bacia do rio Jundiá Mirim.

3.9. Mapa de distância de canais

O mapa de distância entre canais (Figura 3.13) foi gerado através do mapa matricial de drenagens modificado de IAC (2000), seguindo os seguintes procedimentos:

(i) o cálculo das distâncias entre os canais foi feito através do algoritmo “DISTANCE” do software IDRISI que, nesse caso, foi adaptado para calcular distâncias através da construção de *buffers* de largura de um pixel a partir dos canais.

(ii) normalização entre 0 a 1, atribuindo 0 a menor distância e 1 a maior distância dos canais.

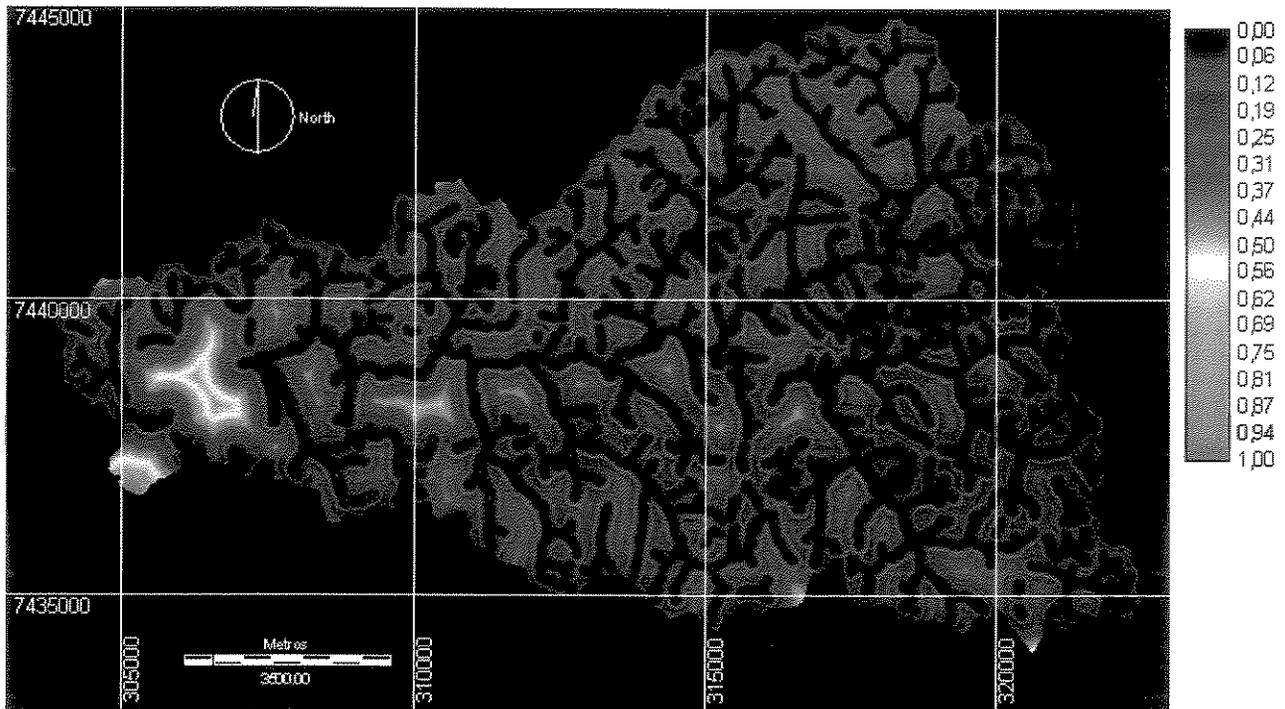


Figura 3.13. Mapa de distância entre canais da bacia do rio Jundiá Mirim.

3.10. Coeficiente de manutenção

O coeficiente de manutenção fornece a área mínima necessária para a manutenção de cada metro de canal de escoamento (Schumm, 1956) e é dado por:

$$CM = \frac{1}{Dd} * 1000$$

onde: CM – Coeficiente de manutenção;

Dd – Densidade de drenagem (Tópico 3.8).

Com este coeficiente pretende-se obter a mínima área necessária para a manutenção dos canais principais de cada sub-bacia. Desta maneira foi adotado o seguinte procedimento:

- Cálculo do coeficiente de manutenção de cada sub-bacia (Figura 3.14);
- Determinação do comprimento dos canais principais de cada sub-bacia;

Multiplicação do coeficiente de manutenção pelo comprimento dos canais principais (Figura 3.15)

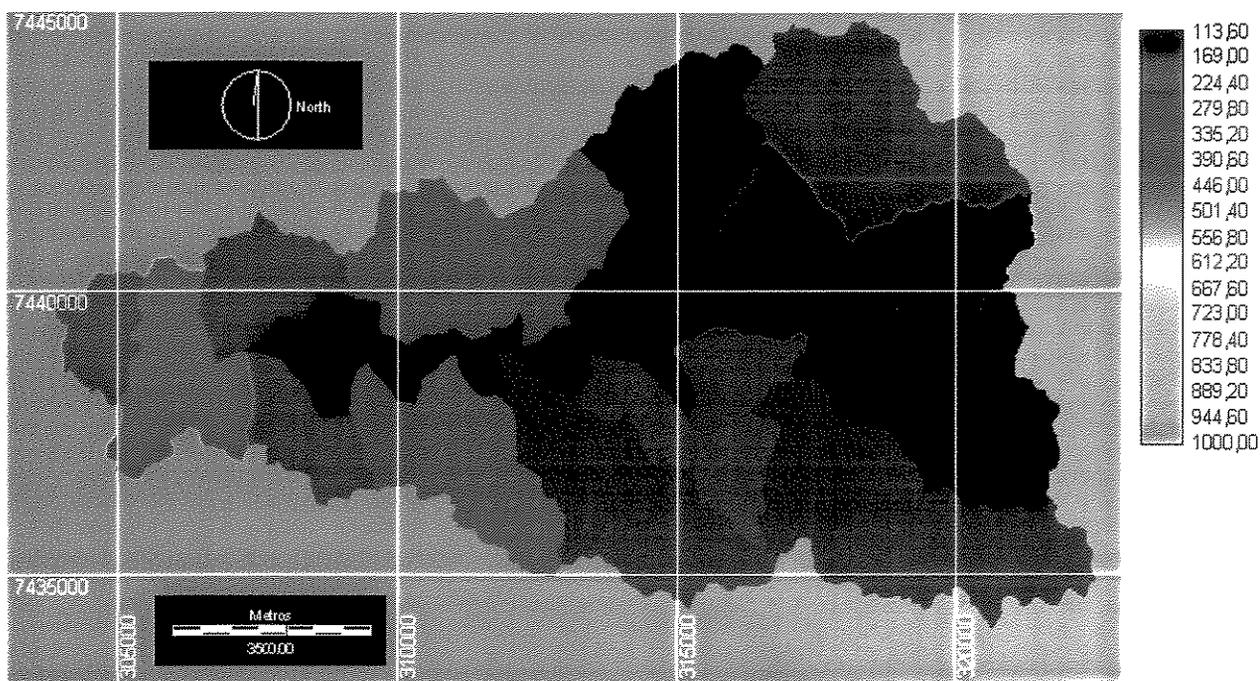


Figura 3.14. Mapa do coeficiente de manutenção por sub-bacias da bacia do rio Jundiá Mirim (m²/metro de drenagem).

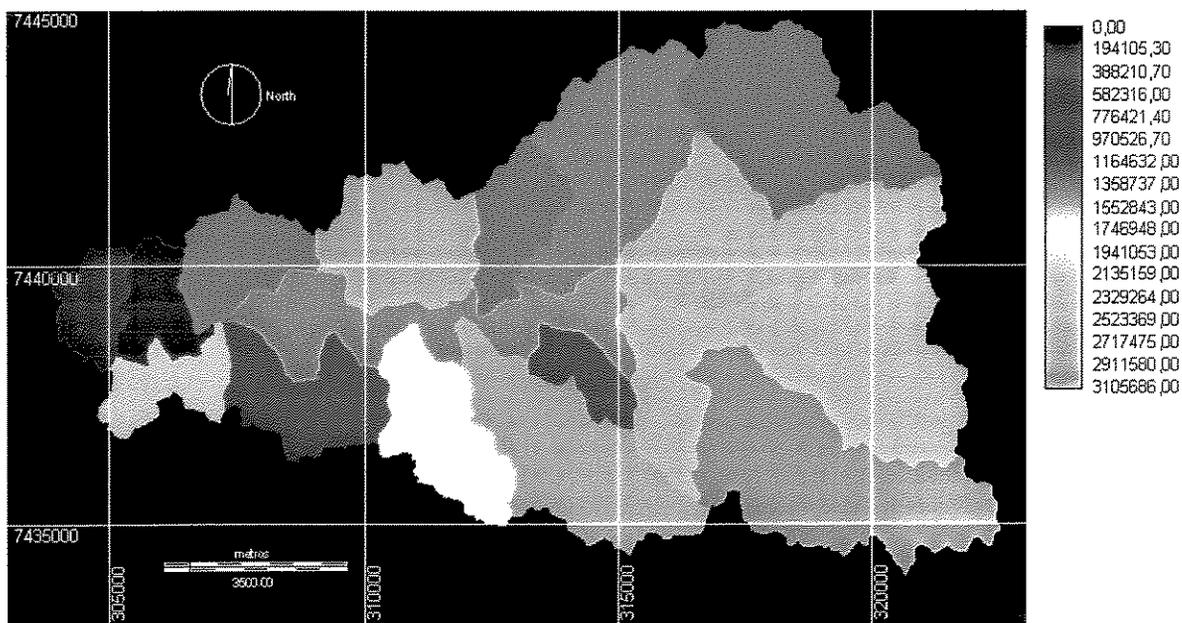


Figura 3.15. Mapa de área mínima necessária para a manutenção dos canais principais de cada sub-bacia em m²

CAPÍTULO 4 - INTEGRAÇÃO E ANÁLISE ESPACIAL DE DADOS POR PROCESSO ANALÍTICO HIERÁRQUICO (PAH) E REGRESSÃO DE MULTIVARIÁVEIS EM AMBIENTE SIG

Neste capítulo os vários níveis de informação apresentados no Capítulo 3 serão integrados através de dois métodos principais: Processo Analítico Hierárquico (PAH – um método dirigido pelo conhecimento e mais conhecido como *Analytical Hierarchy Process* (SAATY, 1990)) e Regressão de Multivariáveis (método dirigido pelos dados).

O PAH é um método bastante explorado em estudos sobre o meio ambiente, principalmente na seleção de aterros (Marques, 2002), planejamento territorial (Nunes da Silva, 2002), planejamento de bacias hidrográficas (Steiguer et al. 2000), locação de reservatórios para coleta de água (Jabr & El-Awar, 2004; Zhai et al, 2004), e análise de áreas sujeitas a inundação (Yalçin & Akyürek, 2004).

A regressão de multivariáveis também vem sendo explorada para análises ambientais. Por exemplo, Mello et al. (2003) utilizaram a regressão para análise da precipitação em micro bacias; Baccini (2000) avaliou os impactos ambientais causados pela exploração mineral em uma pedreira de diabásio na região de Campinas/SP a partir de análises de regressão.

Esses métodos serão utilizados como suporte para geração de mapas temáticos e de um mapa integrado de favorabilidade da manutenção da capacidade hídrica da bacia do Rio Jundiá Mirim. Esse produto integrado será baseado em dados fisiográficos das sub-bacias, tais como área, área impermeabilizada, declividade do terreno, solo, densidade estrutural, distância entre canais e densidade de drenagem e suas relações.

O fluxograma da Figura 4.1. apresenta as principais etapas do trabalho desenvolvido nesse capítulo.

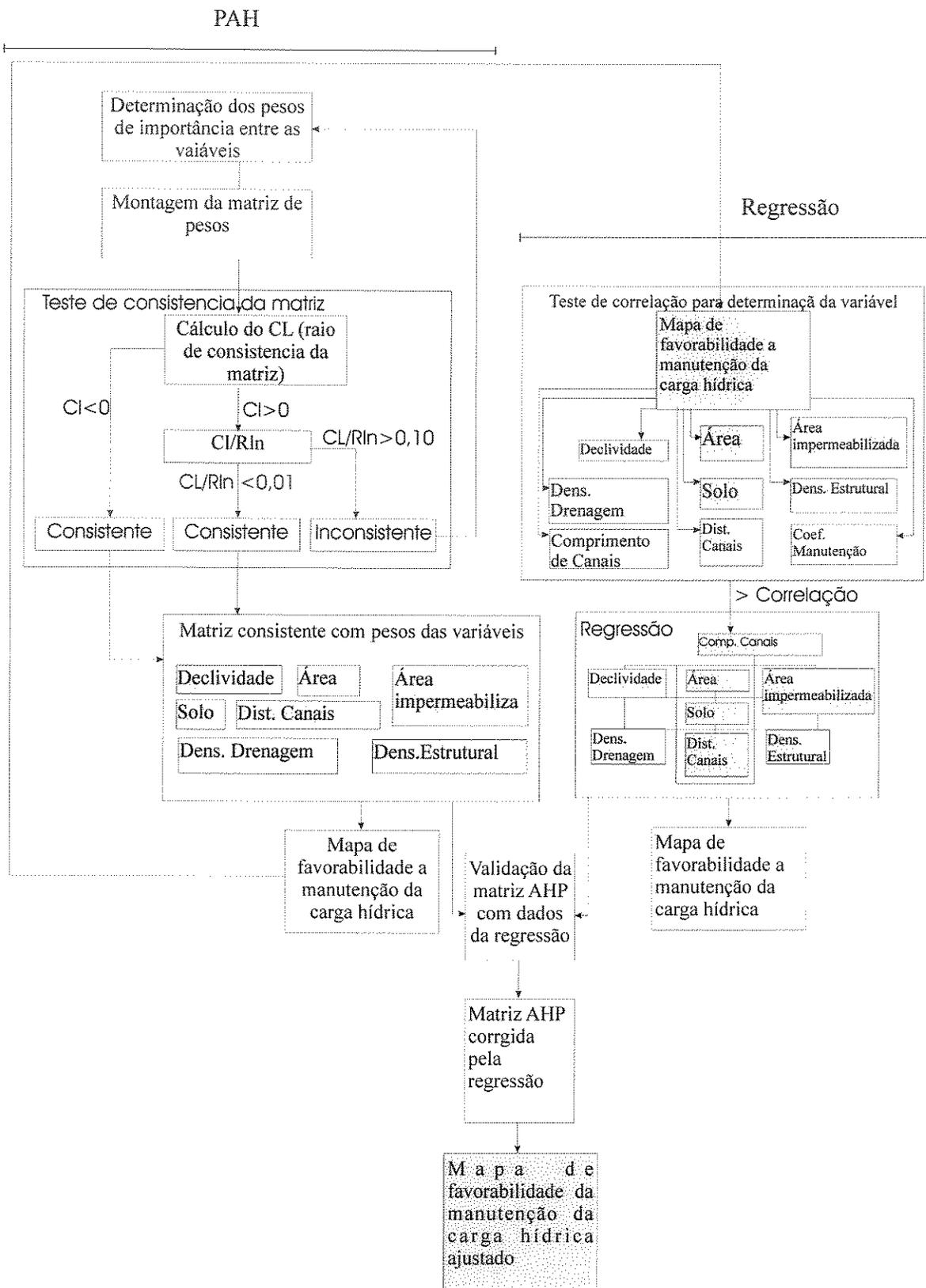


Figura 4.1 – Fluxograma-síntese métodos aplicada para a obtenção do mapa de favorabilidade a manutenção da recarga hídrica.

4.1. Análise por Processo Analítico Hierárquico (PAH)

Para correlacionar os planos de informação (PIs) apresentados no Capítulo 3, objetivando a quantificação da relação destes PIs com a manutenção da capacidade hídrica superficial da bacia sob estudo, foi utilizado um sistema de pesos orientado pelo conhecimento: o Processo Analítico Hierárquico (PAH). Esse método usa a relação de importância entre todos os planos de informação do modelo para gerar coeficientes de hierarquia entre os PIs. Esses coeficientes, por sua vez, são utilizados para a integração de cada PI.

O método PAH, como mencionado no Capítulo 2, trabalha por etapas. Primeiramente, é montada uma matriz de relação de importância relativa entre cada variável (PIs), denominada de matriz "A". Essa matriz padrão tem a seguinte forma:

	A	B	C	D
A	a/a	b/a	a/c	a/d
B	b/a	b/b	b/c	b/d
C	c/a	c/b	c/c	c/d
D	d/a	d/b	d/c	d/d

onde a/a é a relação de importância da variável "a" sobre a variável "a", a/b é a relação de importância da variável "a" sobre a variável "b", e assim sucessivamente.

Nessa matriz são determinadas as relações de todas as classes sob investigação, entre seus pares. Desta forma, tem-se uma matriz consistente, onde todos as variáveis tem valores relativos consistentes entre si – a comparação entre A e B, e B e C é consistente com a comparação entre C e A, e assim sucessivamente, para todas as variáveis.

Para a determinação da relação de importância entre cada variável por esse método, SAATY (1990) instituiu uma escala relativa com valores entre 1 e 9, considerando também seus inversos. Adicionalmente, o autor separou as relações quantitativas entre as variáveis através de 5 atributos qualitativos básicos – igual, fraco, forte, muito forte e absoluto (**Tabela 4.1**).

Tabela 4.1 – Escala de valores e atributos proposta por SAATY (1990)

Mais importante								Menos importante								
9	8	7	6	5	4	3	2	1	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	1/7	1/8	1/9
Absoluto		Muito Forte		Forte		Fraco		Igual		Fraco		Forte		Muito Forte		Absoluto

Segundo SAATY (1990), ao atribuir valores desta escala relativa às variáveis, em função de conhecimentos sobre as mesmas, pode-se obter uma matriz totalmente inconsistente. A consistência da matriz pode ser medida a partir do cálculo do Raio de Consistência da matriz (CL), dado pela equação:

$$CL = \frac{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{A^* W^T}{W^T}\right) - n}{n - 1}$$

Para tanto, os seguintes procedimentos devem ser seguidos:

- (a) cálculo da matriz W^T (Tabela 4.2) em função da matriz dos valores de relação (Matriz A da Tabela 4.2), calculada da seguinte forma:
 - i. normalização dos valores de relação das variáveis em função de suas somatórias (Matriz B da Tabela 4.2); e
 - ii. cálculo da média dos valores de relação de uma variável em função das demais (Matriz W^T da Tabela 4.2).
- (b) cálculo da matriz de comparação - $A^* W^T$ – multiplicando-se a Matriz “A” (matriz padrão) pela Matriz “ W^T ”(Tabela 5.3).

Tabela 4.2 – Cálculo da matriz W^T

Matriz A					→	Matriz B				W^T
	A	B	C	D		A	B	C	D	média
A	1	1/2	1/3	1/5	0,091	0,059	0,091	0,103	0,086	
B	2	1	1/3	1/4	0,182	0,118	0,039	0,029	0,130	
C	3	3	1	1/2	0,273	0,353	0,118	0,059	0,289	
D	5	4	2	1	0,455	0,471	0,235	0,118	0,496	
	11	8,5	3,67	1,95	1	1	1	1		

Tabela 4.3 – Cálculo da matriz de comparação

Matriz A						W^I		$A * W^I$
	A	B	C	D	X		=	
A	1	1/2	1/3	1/5		0,086		0,346
B	2	1	1/3	1/4		0,130		0,521
C	3	3	1	1/2		0,289		1,183
D	5	4	2	1		0,496		2,021

As matrizes consistentes apresentam CL calculado igual a “0” (zero). Quando o CL calculado é superior a zero, calcula-se então a razão CL / Rln , onde Rln é um índice randômico proposto por SAATY (1990) para matrizes de tamanho entre 1 e 15 (Tabela 4.4). Nessa razão, valores menores ou iguais a 0,10 indicam uma matriz suficientemente consistente, ao passo que valores acima de 0,10 indicam que a matriz é completamente inconsistente.

Tabela 4.4. Rln calculado por SAATY (1990).

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Rln	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Para a área de estudo, foi montada uma matriz com base na relação de importância (valores relativos) entre cada plano de informação (Tabela 4.5).

Tabela 4.5 – Matriz de valores relativos entre planos de informação utilizados para análise da bacia do Rio Jundiá Mirim.

	Área Final	Área impermeabilizada	Declividade	Solos	Densidade estrutural	Distância dos canais	Densidade drenagem	W ^T
Área Final	1	3,03	3,03	5,00	6,67	9,09	8,00	0,3919
Área impermeabilizada	0,33	1,00	1,00	3,03	5,00	8,00	6,67	0,1996
Declividade do terreno	0,33	1,00	1,00	3,03	5,00	8,00	6,67	0,1996
Solos	0,2	0,33	0,33	1,00	3,00	6,00	5,00	0,1021
Densidade de fraturas	0,15	0,20	0,20	0,33	1,00	5,00	3,03	0,0571
Distância dos canais	0,11	0,13	0,13	0,15	0,20	1,00	1,00	0,0228
Densidade de drenagem	0,125	0,15	0,15	0,2	0,33	1	1	0,0269

A quantificação das relações de importância entre os PIs seguiu o padrão exposto na Tabela 4.1, segundo o método PAH. Tais relações, integradas na Tabela 4.5, foram assumidas fixando a área das sub-bacias como a variável de maior importância e agregando valores de menor importância às demais variáveis (porção inferior da Tabela 4.5), com base nas seguintes premissas:

- **Área da Bacia vs Área Impermeabilizada**

A área da bacia hidrográfica, como comentado anteriormente, tem a maior influência na captação de água em uma bacia - quanto maior a área, maior quantidade de água poderá ser captada em uma dada precipitação. Porém, a quantidade de área impermeável tem influência direta no aproveitamento da água para a recarga do aquífero. A impermeabilização do terreno causa o aumento do escoamento superficial e, por conseguinte, quanto maior for o escoamento superficial, menor será a recarga do aquífero. Considerando-se essa análise, tomou-se a área impermeabilizada como a segunda maior influência sobre a capacidade hídrica superficial da

bacia, atribuindo-se a mesma uma relação com a área da bacia de 0,33 (1/3), ou seja moderadamente menos importante.

- **Área da Bacia vs Declividade do terreno**

A declividade do terreno, assim como a impermeabilização, está relacionada ao aumento do escoamento superficial da bacia - quanto maior a declividade, menor a infiltração. Neste caso foi adotada uma relação moderadamente menos importante do que a área da bacia (0,33), já que mesmo sob condições de permeabilidade favoráveis, se a declividade for alta, não haverá infiltração.

- **Área da Bacia vs Solos**

O tipo de solo influencia diretamente na permeabilidade. Um solo mais argiloso tem menos permeabilidade que um arenoso. Porém, a transmissão de água para um aquífero através de determinado tipo de solo, é função também da área ocupada por esse solo na bacia - uma área pequena, mesmo contendo exclusivamente solo arenoso, por exemplo, pode disponibilizar menor quantidade de água a ser transmitida para um aquífero quando comparada a áreas maiores ocupadas por outros solos, pouco porosos. Assim, a importância da área da bacia em relação ao parâmetro solo é maior para a manutenção dos corpos de água superficial.

O solo tem menor significância para a manutenção dos canais também em relação à declividade do terreno. Quanto maior a declividade do terreno, maior é o escoamento superficial, o que impossibilita a penetração da água no solo. Isso faz com que a influência do solo seja menor do que a declividade para a manutenção da capacidade hídrica superficial. A mesma noção se aplica a área impermeável da bacia. A superfície impermeável impede que a água atravesse o solo, o que indica que impermeabilização do solo tem maior importância que o tipo do solo para a manutenção da capacidade hídrica superficial.

Dessa forma, as relações entre (i) tipo de solo e a área das bacias; (ii) tipo de solo e declividade e (iii) tipo de solo e área impermeabilizada, foram classificadas como fortemente menos significativa (0,2 ou 1/5).

- **Área da Bacia vs Densidade de Fraturas**

A densidade de fraturas tem influencia na permanência de água no aquífero superficial. Quando a água é captada na superfície, essa é transportada ao subsolo, por capilaridades, até encontrar uma superfície menos permeável. Nessas circunstâncias, o fluxo de água vertical é interrompido, propiciando apenas o fluxo de água horizontal, quando a água então se desloca em direção a um ponto de descarga, que no caso da área de estudo, são os corpos de água superficial. No entanto, a água, ao percolar uma camada menos permeável, pode encontrar um novo caminho de fluxo vertical, materializado por uma fratura.

As fraturas, assim, podem propiciar a perda de água do aquífero superficial, a depender da sua capacidade de transmissão. Entretanto, sem a captação de água, intrínseca a área da bacia, esse mecanismo de escoamento não tem efeito.

Com base nessa análise, a densidade de fraturas foi então colocada entre fortemente e muito fortemente menos importante do que a área da bacia.

- **Área da Bacia vs Distância do canal ao ponto de recarga**

A distância do canal ao ponto de recarga se relaciona com o tempo de permanência da água no aquífero - quanto maior o tempo, maior a possibilidade da água disponível penetrar em uma fratura ou, durante o percurso, de se aprisionar em poros sem interligação. Ademais, a maior distância pode representar um reservatório maior, propiciando uma maior permanência de água no sistema. Porém a água contida no aquífero é consequência da sua captação, fator diretamente relacionado à área da bacia, declividade e tipo de solo, guardadas as proporções descritas acima.

Desta maneira, esse PI foi considerado extremamente menos importante que a área da bacia (1/9), declividade do terreno (1/8) e da área impermeabilizada da bacia (1/8) e fortemente menos importante que o solo (1/5).

As demais correlações dos PIs foram realizadas em função das dependências entre os mesmos, de forma que se A for mais importante que B e B mais importante que C, A deverá ser muito mais importante que C, e assim sucessivamente para todos os PIs.

4.2. Consistência da Matriz Proposta e Mapa de PIs Integrados pelo Método PAH

Após a construção da matriz, foi então computada a sua consistência, de cujo cálculo se obteve um CL igual a 0,074. Dividindo-se o valor do CL pelo Rln para matrizes de tamanho 7 (1,32), obteve-se CL/Rln igual a 0,056, o que a caracteriza como suficientemente coerente. Desta forma, observa-se que os pesos calculados para cada um dos PIs têm consistência e podem ser integrados satisfatoriamente entre si. Estes cálculos encontram-se no **Anexo 2**.

A multiplicação dos pesos derivados do PAH aos seus respectivos PIs resultou no mapa da **Figura 4.2**. Este mapa mostra uma interação entre cada PI, considerando as condições de hierarquia previamente determinadas. Desta forma, tem-se um mapa onde os valores indicam uma somatória de fatores que determinam as condições para a manutenção da carga hídrica superficial – nesse caso, os maiores valores são os menos favoráveis à manutenção da carga hídrica.

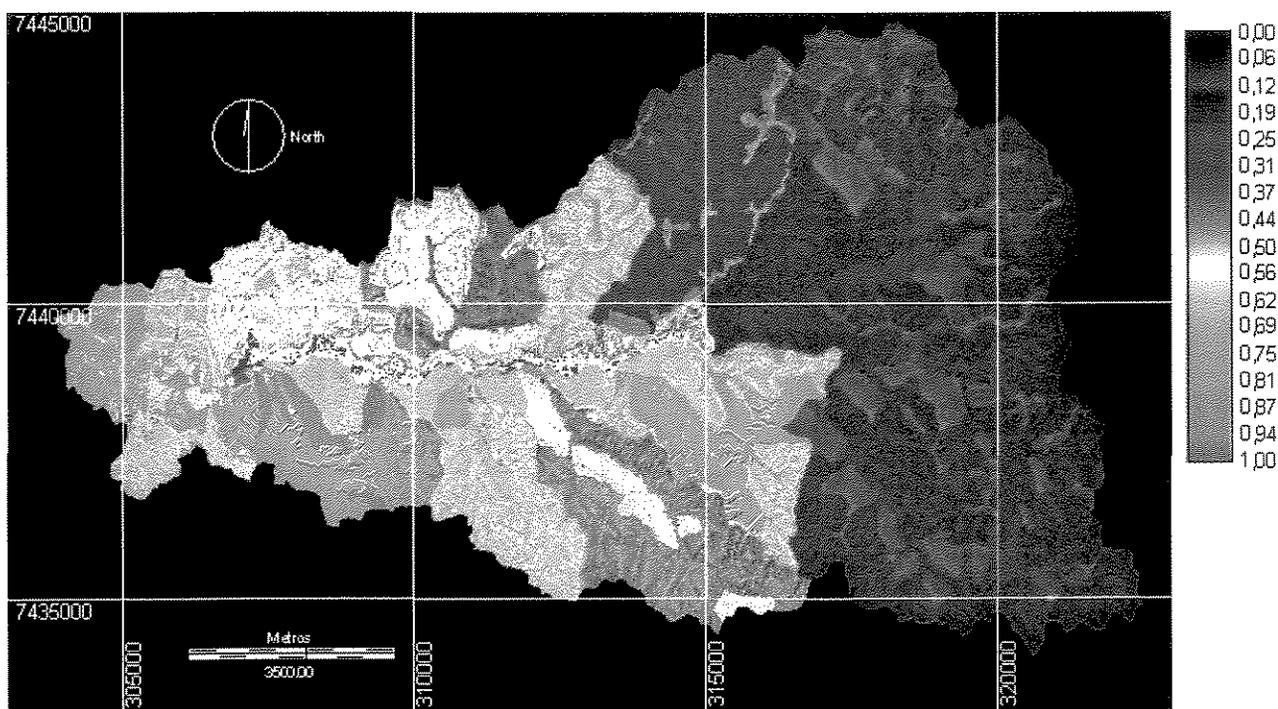


Figura 4.2 – Mapa de integração dos PIs pelo método PAH, indicando as condições mais favoráveis (próximas a zero) e menos favoráveis (próximas a 1) para a manutenção da capacidade hídrica superficial da Bacia do rio Jundiá Mirim.

4.3. Análise por Regressão de Multivariáveis

A análise por regressão de multivariáveis teve início pela definição da variável dependente, que deve representar a favorabilidade da manutenção da capacidade hídrica. A seleção foi feita pela análise de correlação do mapa de favorabilidade a manutenção da carga hídrica (derivado do método PAH) com alguns parâmetros da bacia, tais como área das sub-bacias, declividade, densidade estrutural, densidade de drenagem, distância entre canais, comprimento dos canais e coeficiente de manutenção.

As correlações foram feitas por regressão linear e os resultados são apresentados na Tabela 4.6. e nas Figuras 4.3 a - i.

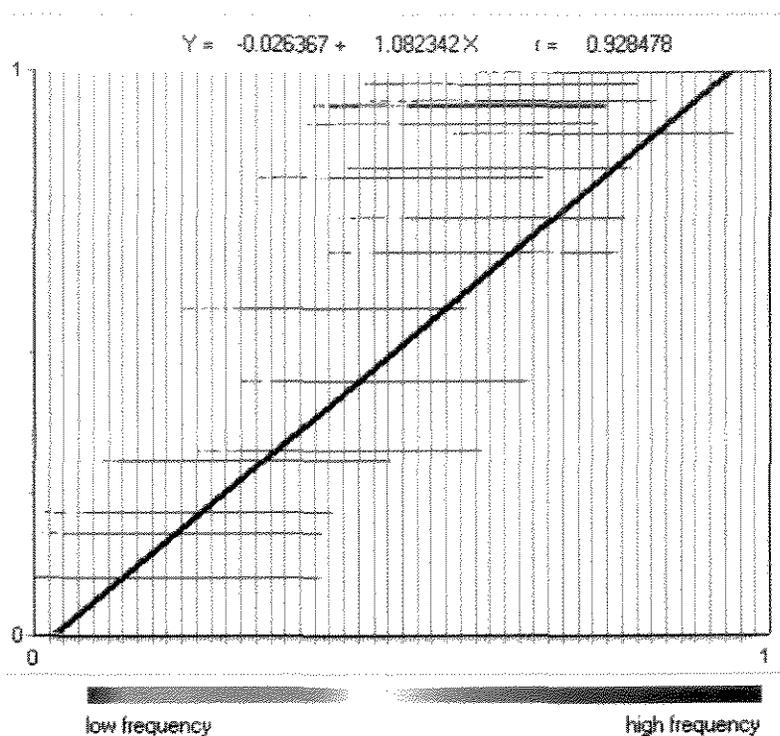


Figura 4.3.a. Correlação entre Mapa PAH vs Área das sub-bacias

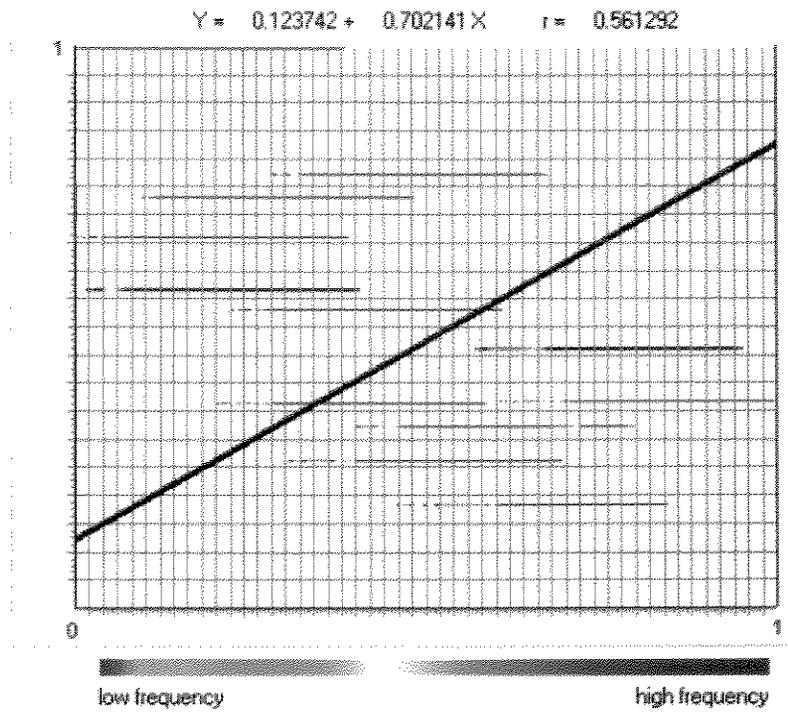


Figura 4.3.d. Correlação entre Mapa PAH vs Densidade de drenagem

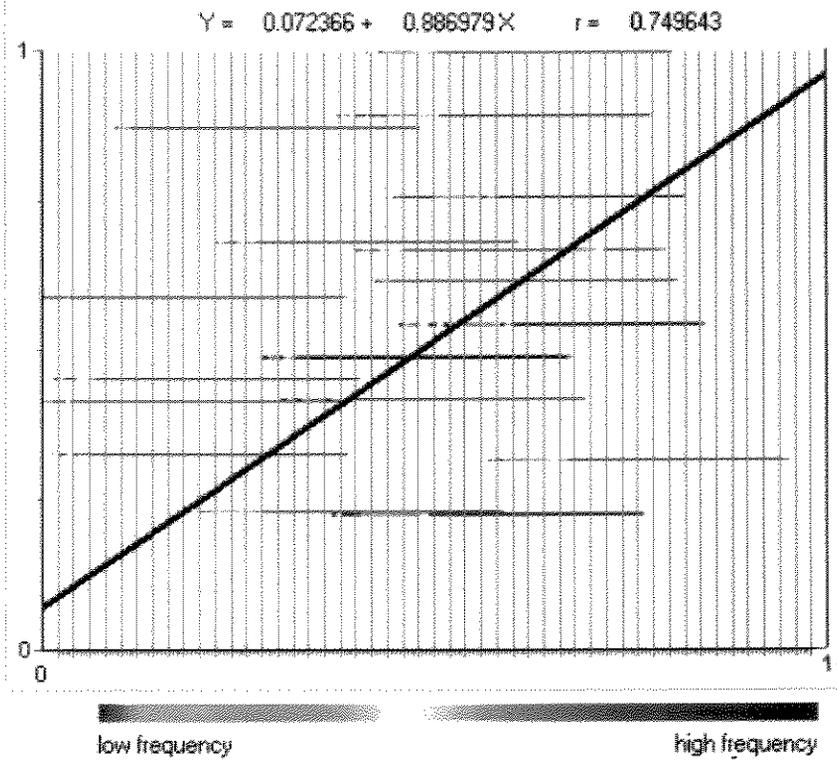
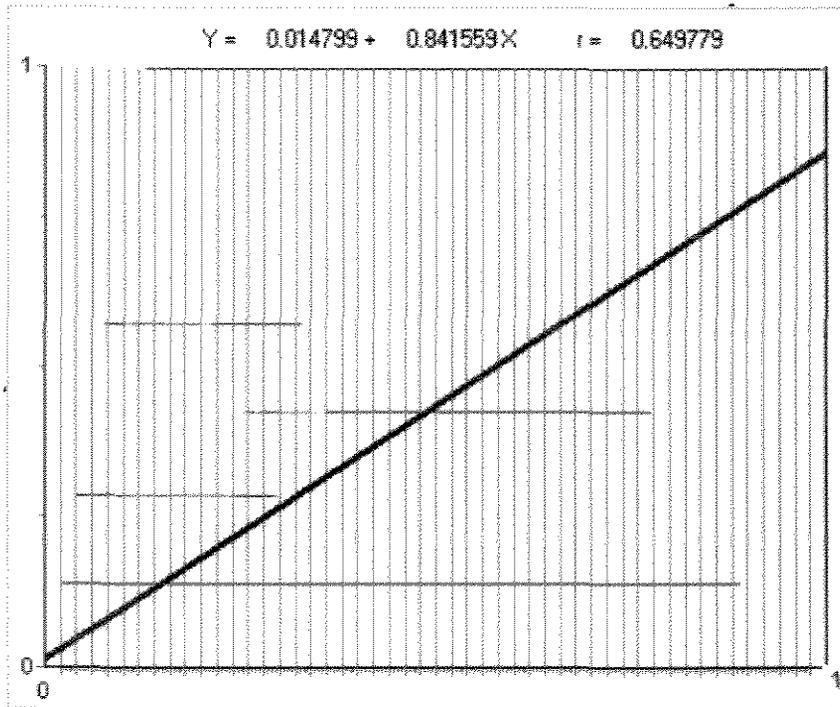


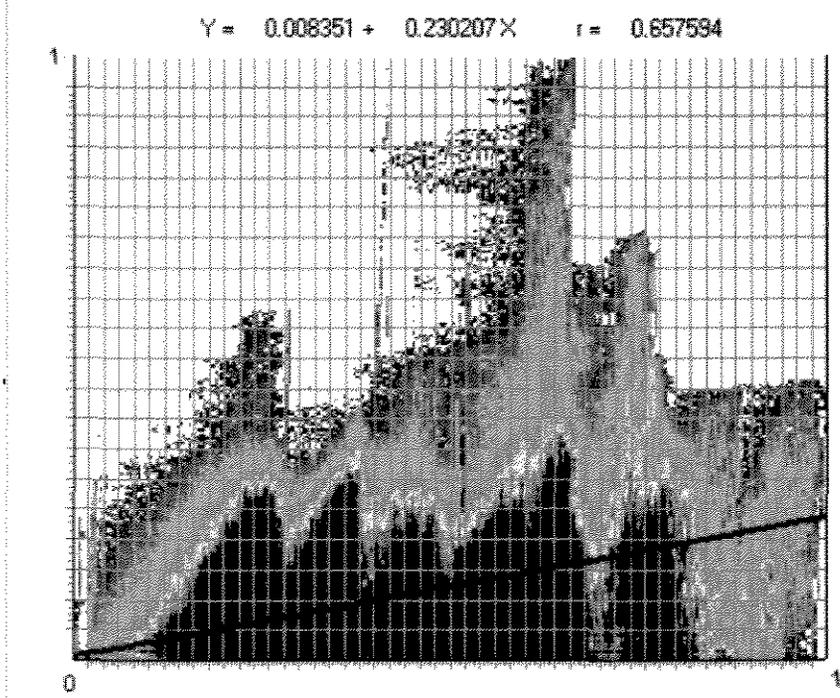
Figura 4.3.e. Correlação entre Mapa PAH vs Densidade estrutural.



low frequency

high frequency

Figura 4.3.f. Correlação entre Mapa PAH vs Solo.



low frequency

high frequency

Figura 4.3.g. Correlação entre Mapa PAH vs Distância dos canais.

Tabela 4.6. Correlação entre o mapa de favorabilidade da manutenção da capacidade hídrica (derivado pelo método PAH) vs parâmetros da bacia do Rio Jundiá Mirim.

	Área	Coefficiente de Manutenção	Declividade	Densidade de drenagem	Densidade de fraturas	Solo	Distância dos canais	Comprimento dos canais	Índice de impermeabilização
Mapa	92,84	72,45	84,25	56,12	74,96	64,97	65,75	93,00	75,25

Como pode-se observar na **Tabela 4.6** e nas **Figuras 4.2 e 4.3 a-j**, as correlações entre o mapa de favorabilidade da manutenção da capacidade hídrica (derivado pelo método PAH) e todos os parâmetros da bacia utilizados variou de 56% (densidade de drenagem) a 93% (comprimento dos canais).

Nota-se que somente os gráficos de {Mapa favorabilidade da manutenção da capacidade hídrica (derivado pelo método PAH) vs área das sub-bacias} e {Mapa de favorabilidade da manutenção da capacidade hídrica (derivado pelo método PAH) vs comprimento dos canais} apresentaram distribuição regular e maiores valores de correlação. Esses resultados diferem dos demais gráficos que apresentaram frequências de correlação distribuídas desigualmente, ora com maiores correlações em valores baixos e ora em valores intermediários.. Desta forma, foi utilizado o comprimento dos canais como variável dependente na regressão, já que esta variável possui uma grande representatividade com o mapa gerado pelo método PAH.

Foi então realizada a regressão utilizando-se as seguintes variáveis:

- Variável Dependente:
 - o Comprimento dos canais
- Variável Independente:
 - o Área das sub-bacias;
 - o Índice de impermeabilização;
 - o Declividade;
 - o Densidade de drenagem;
 - o Densidade estrutural;
 - o Distância dos canais; e
 - o Solos.

A regressão destas variáveis resultou na seguinte equação:

$$\text{Comprimento dos canais} = 0.0086 + 0.9020 * \text{área das sub-bacias} + 0.1161 * \text{índice de impermeabilização} + 0.2286 * \text{declividade} - 0.2691 * \text{densidade de drenagem} + 0.0986 * \text{densidade de fraturas} - 0.0079 * \text{distância dos canais} + 0.0187 * \text{solos}$$

Nesta equação, são apresentados os valores calculados para os coeficientes β , parciais de regressão (cf. Capítulo 2), que demonstram o grau de importância de cada PI (variável independente) para que a integração desses seja o mais próximo possível da variável dependente.

Os pesos de cada PI foram normalizados em porcentagem (Tabela 4.7), para uma melhor visualização do seu grau de importância relativo.

Tabela 4.7. Grau de importância relativo dos planos de informação

PIs	Pesos normalizados em porcentagem - grau de importância relativo (%)
área	0,2352
declividade	0,1380
densidade de fraturas	0,1519
distância dos canais	0,0904
solo	0,1358
área impermeabilizada	0,1226
densidade de drenagem	0,1260

A Tabela 4.8 apresenta valores estatísticos da regressão, demonstrando um grau de aproximação das variáveis independentes em relação ao comprimento dos canais de 98,471%.

Tabela 4.8. Estatística da Regressão

	R	R quadrado
Aparente	0.984710	0.969654
Ajuste	0.984710	0.969654

Baseado na equação fornecida pela regressão, foi gerado um mapa de favorabilidade a manutenção da carga hídrica (derivado pela regressão múltipla) da bacia (**Figura 4.4**).

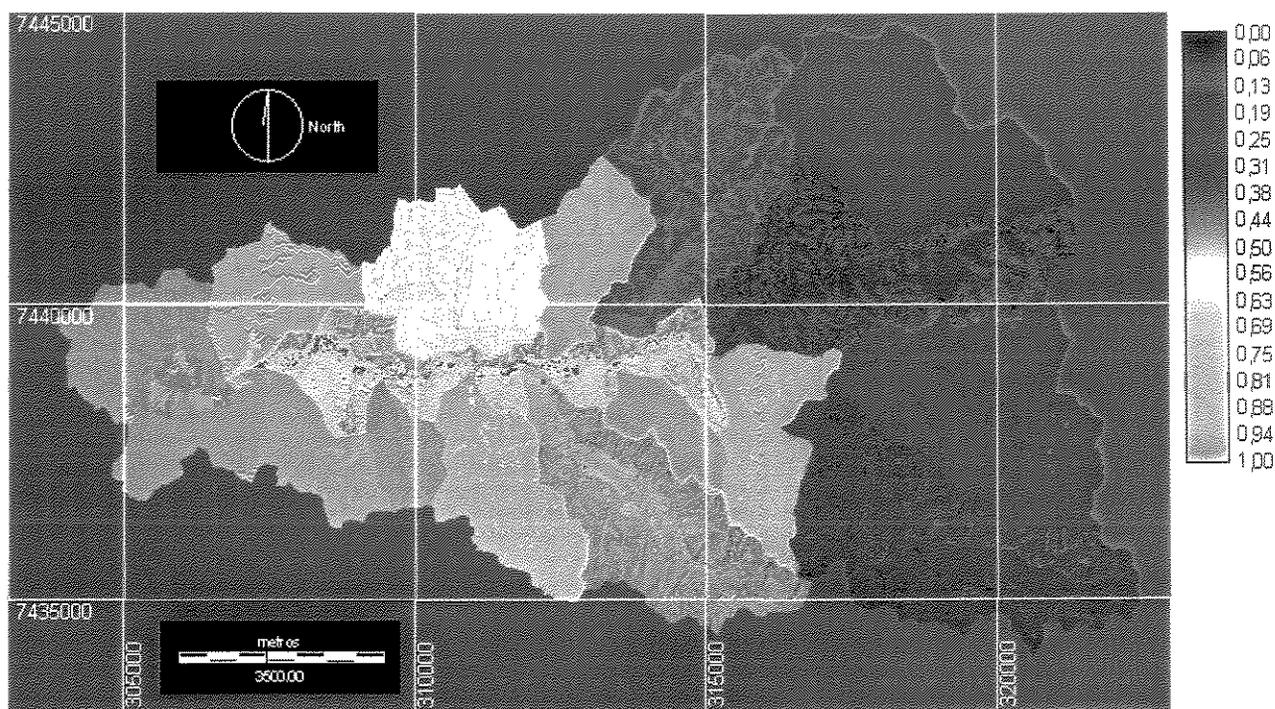


Figura 4.4. Mapa de integração dos PIs pelo método de Regressão de Multivariáveis, indicando as condições mais favoráveis (próximas a zero) e menos favoráveis (próximas a 1) para a manutenção da capacidade hídrica superficial da Bacia do rio Jundiá Mirim.

4.4. Comparação entre os Métodos PAH e Regressão Multivariável

O mapa de favorabilidade de manutenção da capacidade hídrica superficial da Bacia do rio Jundiá Mirim, gerado pelo método PAH, foi comparado ao mapa equivalente gerado pelo método de regressão linear múltipla. A correlação entre os dois mapas é de 95,16% (**Figura 4.5**). A subtração dos pesos gerados para cada PI pelos dois métodos, entretanto, mostrou algumas diferenças (**Tabela 4.9**). Desta comparação, nota-se que os PIs densidade de drenagem, densidade de fraturas e distância dos canais, tiveram pesos significativamente maiores no método da regressão em relação ao método PAH. O PI área da bacia apresentou um peso 60% inferior no

método de regressão em relação ao PAH, embora tenha sido indicado como o PI de maior importância entre todos os PIs considerados na análise por ambos os métodos.

Tabela 4.9. Diferença entre os pesos de cada PI entre os dois métodos utilizados: PAH e Regressão

Parâmetro	Pesos dos PIs – método PAH	Pesos dos PIs – método regressão de multivariáveis	Diferença
Área	0,3919	0,235197	0,156703185
Área impermeabilizada	0,1996	0,138006	0,061593655
Declividade	0,1996	0,151927	0,047673371
Densidade de drenagem	0,0269	0,090385	0,063485454
Densidade de fraturas	0,0571	0,135844	0,078743608
Distância dos canais	0,0228	0,122675	0,099874656
Solo	0,1021	0,125966	0,023866492

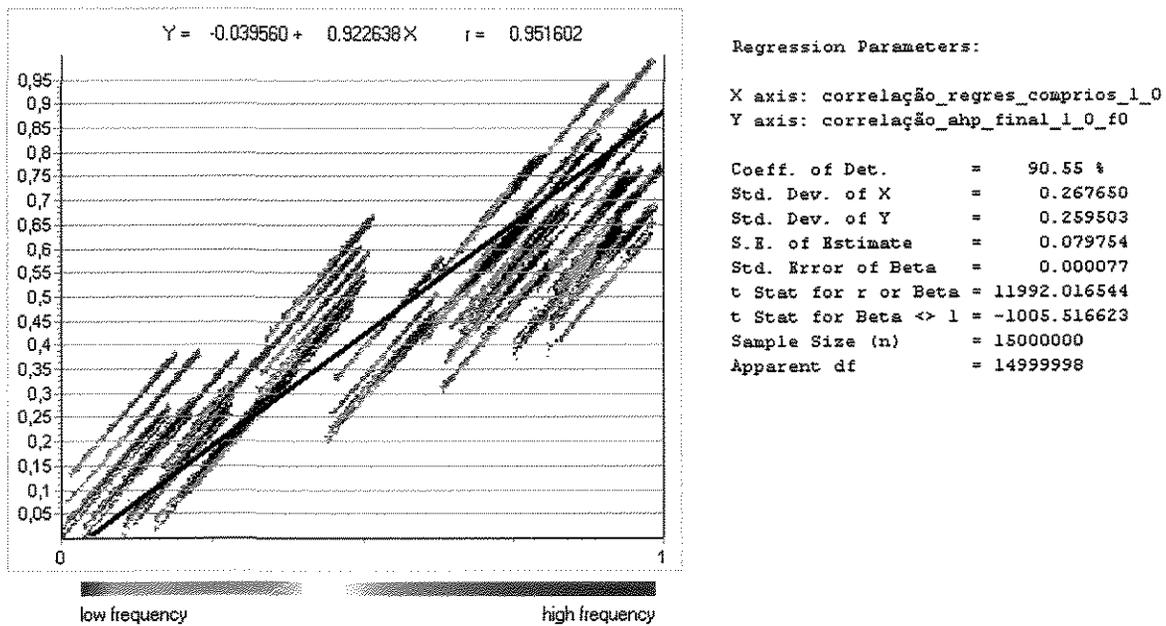


Figura 4.5. Correlação entre os mapas de favorabilidade de manutenção da capacidade hídrica superficial da Bacia do rio Jundiá Mirim gerados pelo método PAH vs método de regressão de multivariáveis.

4.5. Retro-ajuste da Matriz de Hierarquia do Modelo PAH a partir da Análise de Regressão Múltipla

Os resultados obtidos pelo método de regressão múltipla, dirigido pelos dados, foram utilizados para promover um retro-ajuste da matriz de hierarquia do modelo PAH - os atributos densidade de fraturas e distância entre canais tiveram seus pesos aumentados. A área da bacia foi mantida como o PI mais relevante mas, seguindo o modelo dirigido pelos dados, sua importância foi ligeiramente reduzida em relação aos demais PIs.

A **Tabela 4.10** apresenta a matriz ajustada, assim como os novos parâmetros para utilização na análise pelo método PAH. Para tais parâmetros, foi calculada a consistência da matriz, que resultou num CL igual a 0,01 e CL/Rln igual a 0,007, mostrando que a matriz é consistente.

A **Tabela 4.11** apresenta os pesos para cada PI para o método PAH, regressão múltipla e PAH ajustado, para comparação. A **Figura 4.6** apresenta o mapa de favorabilidade para manutenção da carga hídrica, gerado com base nos pesos obtidos pelo método PAH, após o ajuste.

Tabela 4.10. Relação de pesos entre PIs – matriz ajustada com base no modelo de regressão de multivariáveis.

	Área Final	Área impermeabilizada	Declividade	Solos	Densidade de fraturas	Distância dos canais	Densidade de drenagem	W ^F
Área Final	1	2	2	4	2,5	2,5	5	0,3042
Área impermeabilizada	0,5	1	1	2	1,42	1,42	2,5	0,1589
Declividade do terreno	0,5	1	1	2	1,42	1,42	2,5	0,1589
Solos	0,25	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1,2	0,0611
Densidade de fraturas	0,4	0,7	0,7	2	1	1	2	0,1218
Distância dos canais	0,4	0,7	0,7	2	1	1	2	0,1218
Densidade de drenagem	0,2	0,4	0,4	0,8	0,5	0,5	1	0,072

Tabela 4.11 – Pesos obtidos a partir dos métodos PAH, regressão e PAH ajustado

PAH	Regressão Múltipla	PAH ajustado
0,3919	0,23519682	0,3042
0,1996	0,13800635	0,1589
0,1996	0,15192663	0,1589
0,0269	0,09038545	0,0611
0,0571	0,13584361	0,1218
0,0228	0,12267466	0,1218
0,1021	0,12596649	0,072

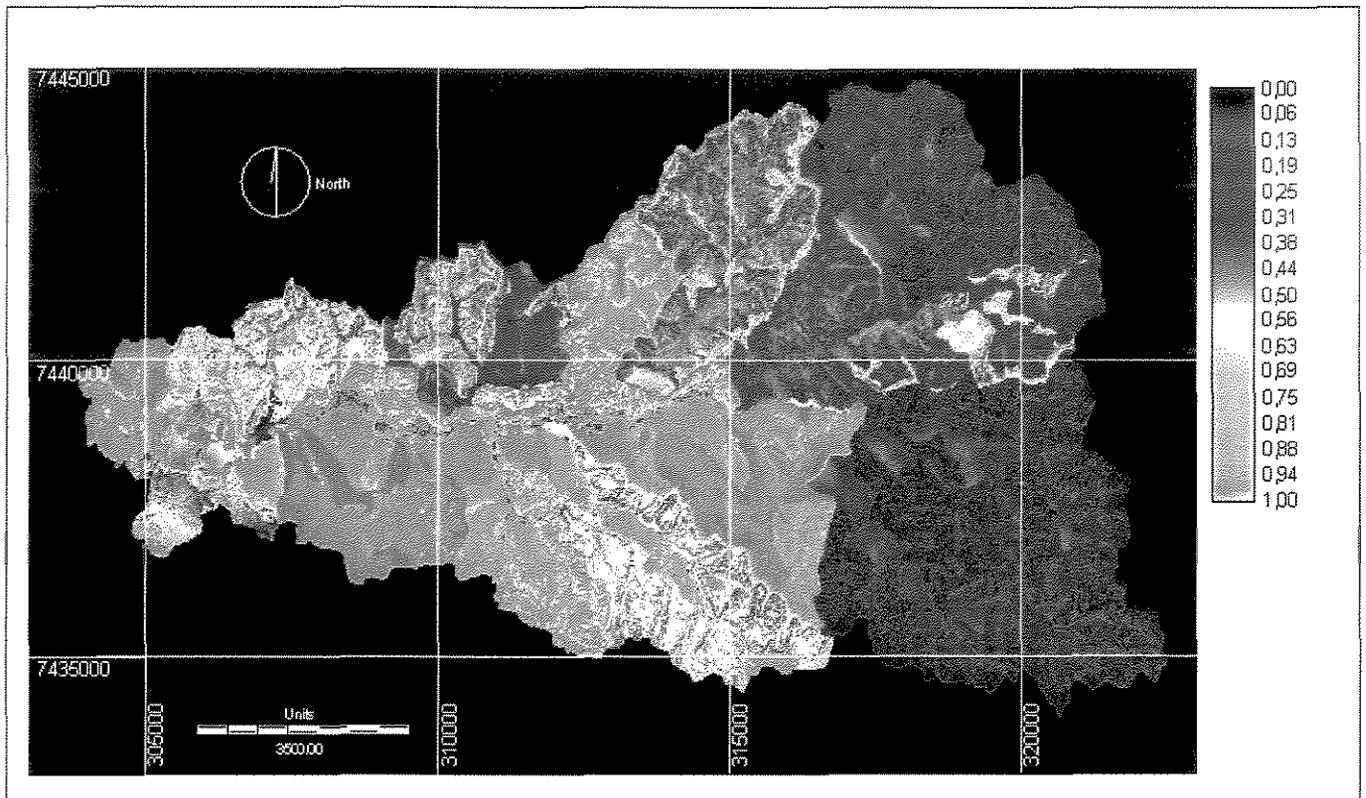


Figura 4.6. Mapa de integração dos PIs pelo método PAH ajustado, indicando as condições mais favoráveis (próximas a zero) e menos favoráveis (próximas a 1) para a manutenção da capacidade hídrica superficial da Bacia do rio Jundiá Mirim.

4.6. Determinação do Risco a Perda da Capacidade Hídrica das Sub-bacias da Bacia do Rio Jundiá Mirim em Função de sua Ocupação

A análise do risco a perda da capacidade hídrica das sub-bacias da bacia do rio Jundiá Mirim, da forma como será aqui abordado, representa a possibilidade da bacia perder sua capacidade hídrica em função de modificações das variáveis analisadas. O fluxograma da Figura 4.7 sintetiza a lógica e as etapas para geração desse mapa de risco.

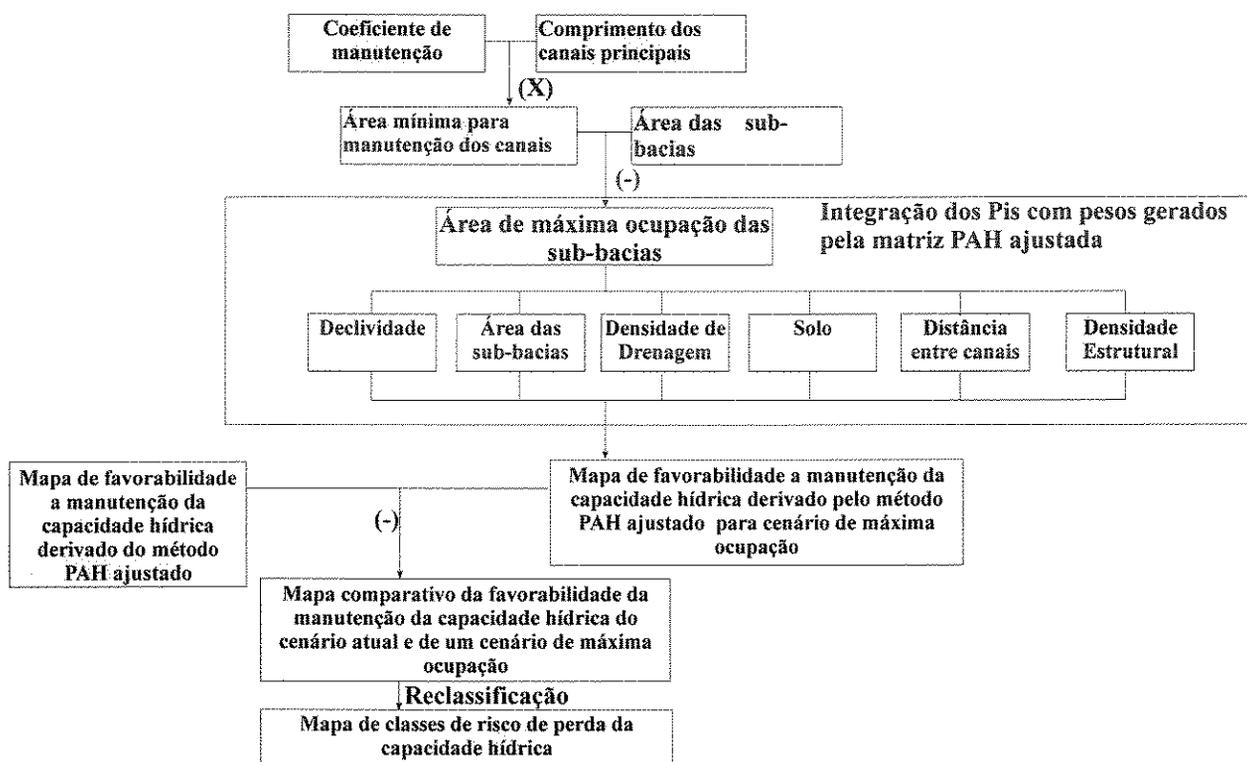


Figura 4.7 - Síntese da metodologia e etapas para geração de um mapa de risco a perda da capacidade hídrica das sub-bacias da bacia do rio Jundiá Mirim

A área impermeabilizada em função da ocupação antrópica é o PI com maior variação. Assim, o risco da perda da capacidade hídrica da bacia foi definido em função desta variável. Para tanto, fundamentalmente, é preciso estimar-se a máxima área de impermeabilização por ocupação antrópica em cada sub-bacia para que os canais principais das sub-bacias sejam mantidos. O primeiro passo consiste na construção de um mapa que expressa a máxima área de impermeabilização, gerada pela ocupação humana, para a manutenção dos canais principais das sub-bacias (Figura 4.7). Esse mapa foi obtido através das seguintes etapas:

- Multiplicação dos canais principais de cada sub-bacia pelo coeficiente de manutenção da respectiva sub-bacia, para a obtenção do mapa de área mínima necessária para a manutenção dos canais principais, como demonstrado no item 3.10;
- Subtração deste mapa de área mínima do mapa de área das sub-bacias, para derivação do mapa de máxima área de impermeabilização pela ocupação antrópica para a manutenção dos canais principais das sub-bacias (Figura 4.8).

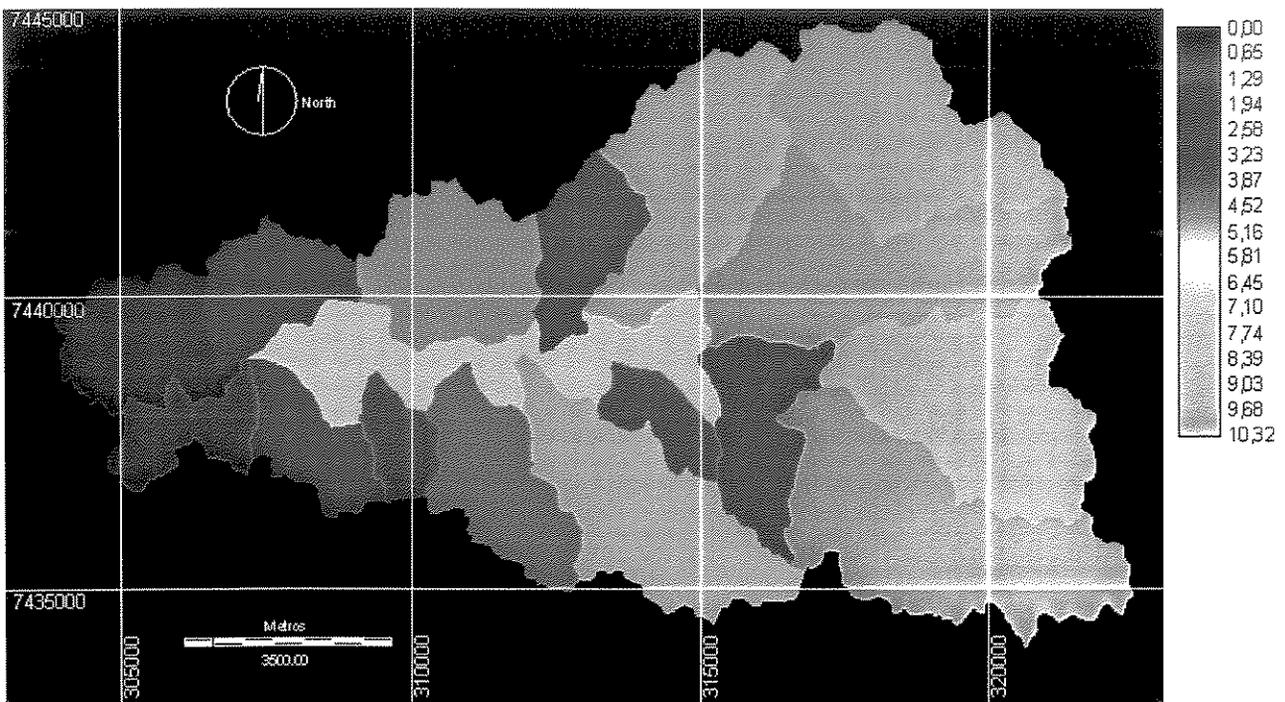


Figura 4.8. Mapa de máxima área de impermeabilização, produzida pela ocupação antrópica, para a manutenção dos canais principais das sub-bacias (Km²).

O mapa de máxima área foi utilizado, num passo seguinte, para a construção de um mapa de favorabilidade a manutenção da carga hídrica em um cenário de máxima impermeabilização do terreno por ocupação antrópica (Figura 4.9). Este mapa foi gerado através dos pesos obtidos na matriz PAH ajustada em função da regressão (Tabela 4.10), e substituição do PI de Área Impermeabilizada pelo PI de máxima área de impermeabilização por ação antrópica.

Esse mapa de favorabilidade a manutenção da carga hídrica para um cenário de máxima ocupação, foi então subtraído do mapa de favorabilidade a manutenção da carga hídrica derivado do PAH ajustado (Figura 4.6). Dessa operação, um novo mapa foi gerado (Figura 4.10), com uma variação máxima possível de valores entre +1 e -1 (visto que os mapas subtraídos entre si possuem valores entre 0 e 1). Nesse mapa, os valores entre -1 e zero mostram áreas onde mapa de favorabilidade a manutenção da capacidade hídrica derivado do PAH ajustado tem valores inferiores ou igual ao mapa da favorabilidade da manutenção da capacidade hídrica em um cenário de máxima ocupação – ou seja, essas são as áreas onde não existe risco para manutenção da capacidade hídrica, uma vez que a área não ocupada com impermeabilização da bacia é maior ou igual a área mínima necessária para a manutenção dos seus canais.

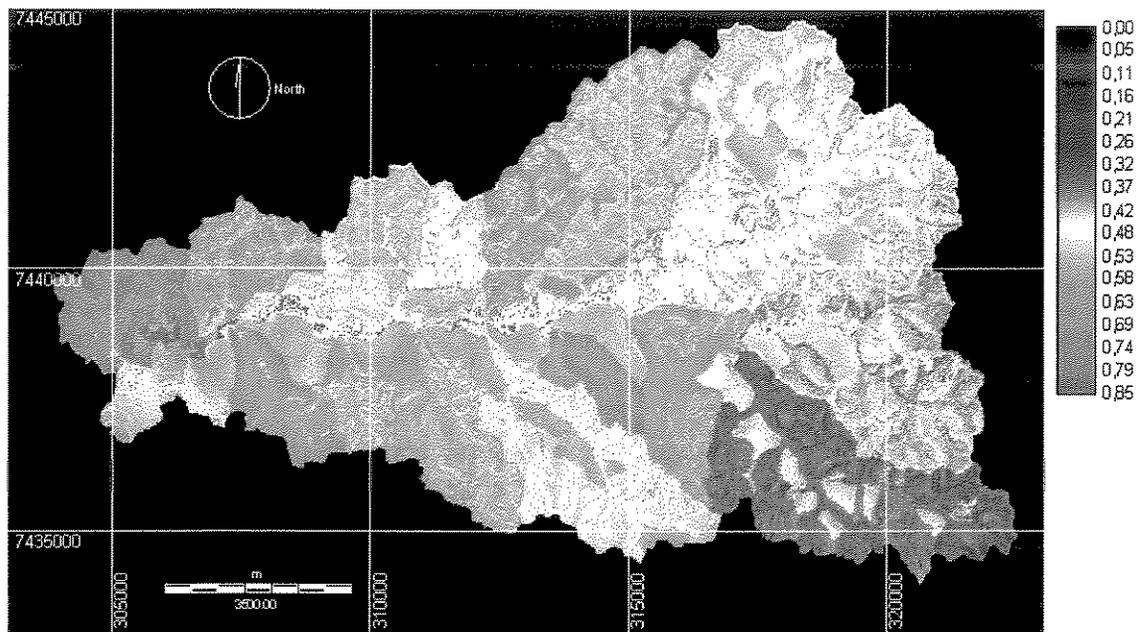


Figura 4.9. Mapa de favorabilidade a manutenção da carga hídrica em um cenário de máxima impermeabilização do terreno por ocupação antrópica

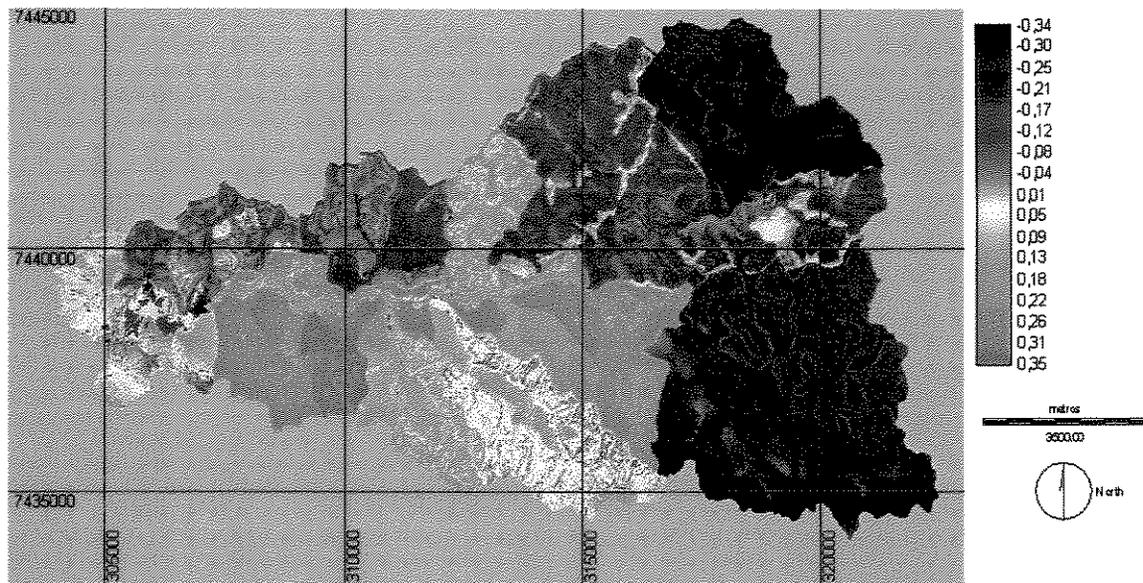


Figura 4.10. Mapa comparativo (subtração) entre (i) o mapa de favorabilidade a manutenção da capacidade hídrica derivado pelo PAH ajustado e (ii) o mapa de favorabilidade a manutenção da capacidade hídrica derivado pelo PAH ajustado em cenário de máxima ocupação. Valores entre 0 e -0,34 estão associados a áreas sem risco a perda da capacidade hídrica. Valores entre 0 e +0,35 estão associados a áreas com risco a perda da capacidade hídrica.

Os valores entre 0 e +1, que implicam em risco para a manutenção da capacidade hídrica da bacia, foram classificados na seguinte ordem:

- >0 – 0,18 – **Muito baixo risco (classe 1);**
- >0,2 – 0,34 – **Baixo risco (classe 2);**
- >0,34 – 0,56 – **Média risco (classe 3);**
- >0,56 – 0,78 – **Alto risco (classe 4); e**
- >0,78 – 1,0 – **Muito alto risco (classe 5).**

A separação das classes de risco dos valores atingidos no mapa (0 a 0,35) foi baseada nas quebras naturais no histograma acumulativo do mapa, para os valores entre 0,35 e 1,00, as classes de risco foram separadas por classes de mesmo valor.

As classes de risco encontradas ao longo da bacia do rio Jundiá Mirim pode ser observada no mapa da **Figura 4.11**.

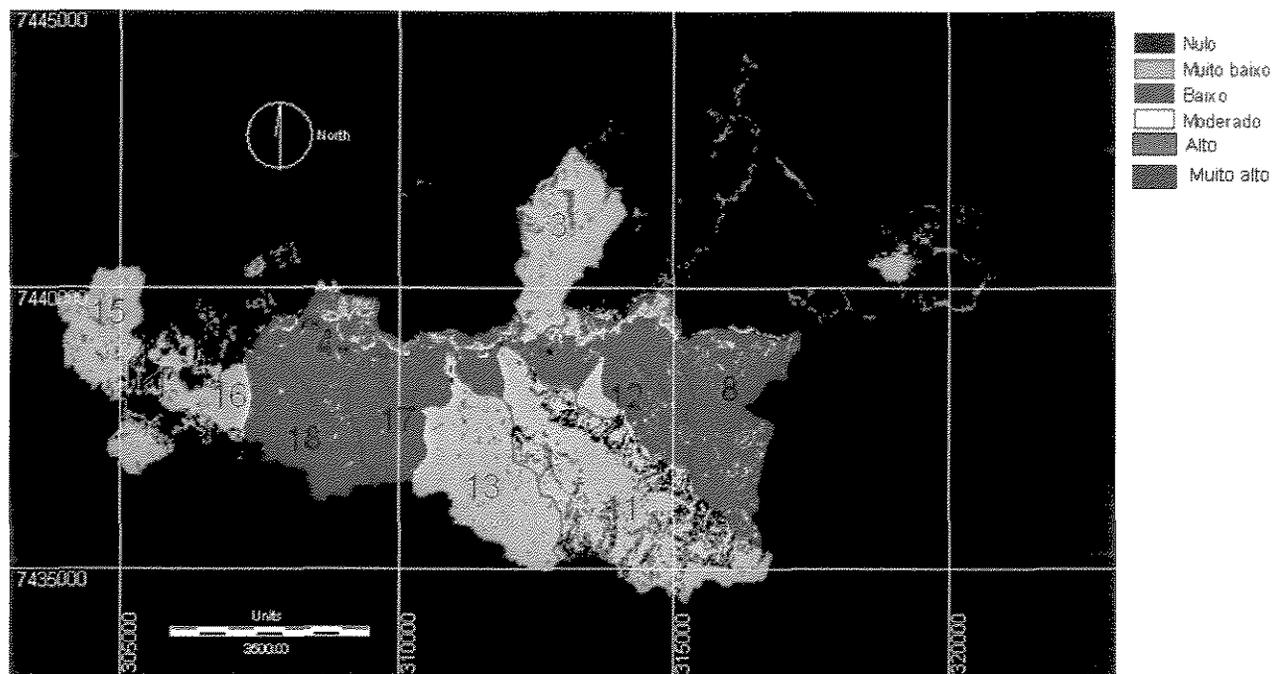


Figura 4.11. Classes de risco à perda da capacidade hídrica da bacia do rio Jundiá Mirim.

4.7. Discussões

Considerando-se o intervalo de valores do mapa de risco, a bacia do rio Jundiá Mirim somente apresenta áreas de baixo (classe 2) a muito baixo risco (classe 1).

Maiores valores de risco a perda da capacidade hídrica foram observados nas sub-bacias 4, 8, 12, 17 e 18 (classe 2 - baixo risco).

A atribuição da classe de risco 2 a sub-bacia 4, basicamente ocorreu devido: a sua ocupação (21% de sua área total está compreendida em área impermeabilizada por ocupação humana), o tipo de solo (latossolo) e alta declividade nas bordas da sub-bacia, o que dificulta a captação das águas de precipitação pelo solo e facilita o escoamento superficial.

A sub-bacia 8, também compreendida na classe 2, é marcada por uma intensa ocupação, com 15% da área da sub-bacia impermeabilizada por ocupações humanas. Aproximadamente 50% de sua área contem solo de muito pouca permeabilidade (latossolo vermelho distrófico). O restante da sub-bacia, apesar de conter solo mais, possui alta declividade, o que impossibilita a penetração consistente da água no solo. Nota-se ainda que essa sub-bacia apresenta grande

densidade estrutural, o que permite a fuga da água do aquífero superficial para o aquífero fraturado mais profundo.

A sub-bacia 12, de classe de risco 2, é marcada por uma pequena área de impermeabilização ocasionada pela ocupação humana (aproximadamente 3%). No entanto, a área desta sub-bacia é a segunda menor entre todas, o que tem influência direta na captação de água, reduzida nesse caso. Essa sub-bacia compreende solos predominantemente de baixa permeabilidade e alta declividade.

As sub-bacias 17 e 18 são as que apresentam maior área de impermeabilização causada por ocupação, atingindo 36% e 33% de suas respectivas áreas totais. Essas sub-bacias são de pequena área em relação as demais, e são marcadas por alta declividade. Embora contenham solos de com grande permeabilidade, esse fator, de forma isolada, não é suficiente para manter a captação de água e os canais principais dessas sub-bacias.

As sub-bacias 3, 11, 13, 15 e 16 apresentaram risco muito baixo (classe 1). A ocupação, que promoveu a impermeabilização do terreno nestas sub-bacias, varia de 13% a 22% de suas respectivas áreas totais. Apesar de apresentarem uma porcentagem de ocupação relativamente alta, essas sub-bacias são caracterizadas por uma baixa densidade de drenagem, o que favorece a manutenção da capacidade hídrica. Todas as cinco bacias são pequenas em área (fator importante na captação de água) e têm declividade alta (35% a 100%). Apresentam solo majoritariamente permeável (predomínio de cambissolo, com pequenas porções de latossolo), com exceção da bacia 15, que em sua maior parte tem uma associação de cambissolo distrófico com latossolo vermelho amarelo distrófico.

Segundo os critérios utilizados na análise e considerando as condições atuais de ocupação, conclui-se que a bacia do rio Jundiá Mirim não apresenta áreas de alto risco quanto a sua capacidade de fornecer água para as cidades da região, e somente 10 de suas sub-bacias encontram-se numa situação de baixo a muito-baixo risco.

CAPITULO 5 – CONCLUSÕES

A bacia do rio Jundiá Mirim possui um excelente acervo de dados multi-fontes, que foi constituído principalmente por profissionais do IAC (IAC, 2000). Nesse trabalho, vários aspectos dessa base de dados foram verificados no campo e complementados através de técnicas de extração remota de informações. Essa base completa permitiu uma análise detalhada quanto ao risco potencial da perda da capacidade hídrica da bacia em função da impermeabilização do solo imposto pela ação antrópica na região.

Dois métodos básicos foram utilizados para integração e análise espacial dos dados: o Processo Analítico Hierárquico (PAH) (método dirigido pelo conhecimento) e a Regressão de Multivariáveis (RM) (método dirigido pelos dados).

Para a análise por PAH, foi feita um exame da importância entre os PIs e concluiu-se que o fator de maior importância para a manutenção da capacidade hídrica das sub-bacias é a área, seguido, em ordem de importância, pela declividade do terreno, área impermeabilizada, tipo de solo, densidade estrutural, distância entre os canais e densidade de drenagem. A matriz gerada pelo método PAH, baseada nestas relações de importância apresentou consistência (CL/Rln = 0,058). O mapa gerado a partir dos pesos da matriz PAH representa a favorabilidade da manutenção da capacidade hídrica das sub-bacias investigadas.

Para a análise através da regressão de multivariáveis, foi determinada a variável dependente através de uma análise de correlação do mapa de favorabilidade da manutenção da capacidade hídrica das sub-bacias com mapas de atributos físicos das sub-bacias. O mapa que apresentou maior correlação foi o de comprimento dos canais das sub-bacias, o qual foi utilizado para a regressão.

A equação da regressão com os mapas da sub-bacia apresentou PIs com pesos semelhantes àqueles obtidos pelo método PAH. Entretanto, algumas diferenças foram identificadas e esses dados subsequentemente utilizados para a realização de um retro-ajuste na matriz PAH. Essa matriz PAH ajustada foi agregada na produção de um mapa de favorabilidade da manutenção da capacidade hídrica das sub-bacias, considerando as condições de ocupação atual da bacia do rio Jundiá Mirim.

A matriz PAH foi utilizada também na análise de um cenário crítico, onde simulou-se uma situação de ocupação das sub-bacias numa extensão onde apenas os canais principais teriam condições de ter sua capacidade hídrica mantida. Dessa análise foi possível obter-se um mapa de favorabilidade da manutenção da capacidade hídrica para esse cenário extremo.

Os mapas de favorabilidade derivados para a situação de ocupação atual e ocupação extrema foram combinados de forma a revelar situações de risco a perda da capacidade hídrica da bacia. Essa análise mostrou que a bacia apresenta 10 sub-bacias com risco baixo e muito baixo e nenhuma situação de maior risco.

Os resultados atingidos nesse trabalho são considerados indicativos e não são conclusivos, principalmente pois a bacia do rio Jundiá Mirim não possui uma série histórica de dados de vazão.

O método de análise aqui desenvolvido é passível de aplicação para outras bacias hidrográficas e permite a consideração de outros cenários vislumbrados em planejamento territorial.

CAPÍTULO 6 – REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.F.M. de – 1952 – “Novas ocorrências de camadas supostas pliocênicas nos estados de São Paulo e Paraná”. São Paulo, *Bol. Soc. Bras. Geol.*, n.1, v.1, p. 53 – 58.
- ALMEIDA, F.F.M. de – 1964 – “Fundamentos geológicos do relevo Paulista”. *Bol. Soc. Bras. Geol.* N. 41, p. 167 – 263.
- BACCINI, D. L. C. – 2000 - *Vibrações geradas por uso de explosivos no desmonte de rocha: avaliação dos parâmetros físicos do terreno e dos efeitos ambientais*. Tese de Doutorado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas da UNESP, Rio Claro, SP.
- BATISTA, J. J. (coord.); SIMÕES, L. S. A.; OLIVEIRA, M. A. F. de; 1986. *Carta Geológica do Estado de São Paulo (1:50.000): Folha Jundiaí*. Convênio SICCT/PRÓ-MINÉRIO – IGCE/UNESP, Rio Claro, Relatório Final, v.1, texto, 115p.
- BISTRICHI, C. A.; CARNEITO, C. D. R.; DANTAS, A. S. L.; PONÇANO, W. L.; CAMPANHA, G. A. da C.; NAGATA, N.; ALMEIDA, M. A.; STEIN, D. P.; MELLO, M. S. de ; CREMONINI, O. A., 1981. *Mapa Geológico do Estado de São Paulo, escala 1:50.000*. São Paulo, Publicação IPT n. 1184 (Monografias 6), v. 2 (mapa).
- BOTELHO, R. G. M.; Silva, A. S.; Guerra, A. J. T., 1999. *Erosão e conservação dos solos : conceitos, temas e aplicações*. Rio de Janeiro : Bertrand Brasil.
- BRASIL, Ministério das Minas e Energia, Secretaria Geral. (1983) Rio de Janeiro/Vitória., In: Projeto RADAMBRASIL, Levantamento de Recursos Naturais.
- DAE, Departamento de águas e esgoto de Jundiaí – 2000 – Dados da rede de captação de Jundiaí, consultado em julho de 2005 *in*: <http://www.daejundiai.com.br>
- FATTER, C.W. – 1994 – *Aplied hydrogeology*. Englewood Cliffs, Prentice Hall, 691p.
- FULFARO, V.J.; OLIVEIRA, M.A.F. de; MORALES, N; SOUZA FILHO, E. E. de – 1985 – “Evolução cenozóica da região de Atibaia, SP”. *In: Atas do 5º Simpósio regional de Geologia*, SBG, São Paulo, v. 1, p. 315 – 321.

- HACHSPACHER, P.C.; WERNICK, E.; OLIVEIRA, M.A.F.; GODOY, A.M.;- 1989 – *Geologia das folhas Cabreúva e Moreiras, 1:25.000*. Convênio UNESP/PRÓMINÉRIO, Relatório Final, Rio Claro.
- HASSUI, Y.; CARNEIRO, C.D.R.; GLANCURSI, F.D. e GUSSO, L.G.N. – 1976 – “Condicionamento Tectônico da Bacia Sedimentar de São Paulo”. *In: Anais do XXIX Congresso Brasileiro de Geologia, SBG, Belo Horizonte, p. 257 – 268*.
- HASSUI, Y.; PONÇANO, W.L.; BISTRICHI, C.A.; STEIN, D.P.; GALVÃO, C.A.C.F.; GIMENEZ, A.F.; AMEIDA M.A. de; MELO, M.S. de; PIRES NETO, A. G. – 1977 – “As grandes falhas do Leste Paulista” *in: atas do 1º Simpósio de Geologia Regional, p. 369 – 380*.
- HASUI, Y; TOGNON, A. A.; SOARES, L.; CSORDAS, S. M.. 1978. “Geologia e tectônica da Serra do Japi.” *Boletim do Instituto de Geociências, USP. N. 9, p. 17 – 24*.
- HASUI, Y; DANTAS, A. L.; CARNEIRO, C. D. R.; BISTRICH, C. A., 1981. O embasamento Pré-cambriano e o Eopaleozóico em São Paulo. *In: Almeida et al., Mapa Geológico do Estado de São Paulo, escala 1:500.000, Publicação IPT n.1184 (Monografia 6), São Paulo, v1 (nota explicativa)*.
- HASSUI, Y.; ALMEIDA, F.F.M. de; MIOTO, J.A.; MELO, M.S. de – 1982 – *Geologia, Tectônica, Geomorfologia e Sismologia regionais de interesse às usinas nucleares da praia de Itaorna*. Publicação IPT n. 1225 (Monografia 7), São Paulo, 150p.
- HASUI, Y; HARALYI, N. L. E.; MIOTO, J. A.; SAAD, A. R.; CAMPANHA, V. A.; HAMZA, V. M.; GALLI, V. A.; FRANGIPANI, A.; PULEGHINI FILHO, P. 1989. *Compartimento Estrutural e Evolução Tectônica do Estado de São Paulo*. São Paulo, Relatório IPT n. 27.394, v. 1 e 2.
- IAC, 2002, “*Diagnóstico Agroambiental para Gestão e Monitoramento da Bacia do Rio Jundiá Mirim*”. Relatório parcial 2º Fase do Projeto de Pesquisa FAPESP 98/14181-5. V. 1.
- JABR, W.; EL-AWAR, F.A – 2004 – “GIS and analytic hierarchw process for siting water harvesting reservoirs”. Paper n. 1539 ESRI, consultado em julho de 2005 *in: <http://gis.esri.com/library/userconf/proc04/docs/pap1539.pdf>*

- LANDIM, P. M. B., 2001. Geologia Quantitativa – Introdução a análise estatística de dados geológicos multivariados. Texto didático. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP. Rio Claro-SP.
- LIMA, A. M. M. de, 2000 – Mapeamento geotécnico da porção média da bacia do rio Capivari/SP, escala 1:50.000; estudo e caracterização dos aspectos físicos de bacias hidrográficas. Dissertação de mestrado apresentada ao Escola de Engenharia de São Carlos da USP, São Carlos. 196p
- LOMBARDI NETO, F.; JUNIOR, R. B.; LEPSH, I. G.; OLIVEIRA, J. B.; BERTOLINI, D.; GALETI, P. A.; DRUGOWICH, M. I.; 1991. Terraceamento Agrícola. Boletim técnico 206, Secretaria de Agricultura e Abastecimento, CATI, Campinas, 39 p.
- LOURENÇO, R. W. 2002. *Modelagem geoestatística por geoprocessamento em uma área da Baixada Santista*. Tese de Doutorado apresentada ao Instituto de geociências da UNESP, Rio Claro.
- MARQUES, G.N. – 2002 – Seleção de área para aterros sanitários baseada em mapeamento geotécnico e analytical hierarchy process – PAH. Dissertação de mestrado apresentada ao Instituto de Geociências da USP, São Paulo. 163p
- MARTIN, H.; MAU, H. e BJÖRNBERG, A. J.S. 1959. “*Vale Pré Glacial a Nordeste de Jundiá, SP*”. Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia, São Paulo, v.8, n. 2, p.35 – 30.
- MELO, M.S. de; RICCOMINI, C.; HASSUI, Y.; ALMEIDA, F.F.M. de; COIMBRA, A.M. – 1985 – “Geologia e evolução do sistema de bacias tafrogênicas continentais do Sudeste do Brasil”. *Revista Brasileira de Geociências*, n. 15, p. 193 – 200.
- MELLO, C.R de; LIMA, J.M. de; SILVA, A.M. da; LOPES, D. – 2003 – “Abstração inicial da precipitação em microbacia hidrográfica com escoamento efêmero”. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol 7, n. 3, p. 494 – 500.
- MONMONIER, M., 1982. Computer-Assisted Cartography: Principles and Prospects. Pages 76-80. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, Inc. *In: Help of Idrisi 3.2*
- MOSTAFA, M. E., QARI, M. Y. H. T., 1995, An exact technique of counting lineaments. *Engineering Geology* 39 pag 5-16

- NEVES, M. A., 1999. *Evolução Cenozóica da Região de Jundiá (SP)*. Dissertação de mestrado. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP. Rio Claro – SP
- NUNES DA SILVA, A.C. – 2002 - *Análise de dados geológicos por geoprocessamento visando apoio à decisão na administração de recursos minerais e prospecção regional - folha Iporanga a 1 : 50.000 (5G. 22-X-B-V-Z)*. Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto de Geociências da USP, São Paulo, 55p.
- PONÇANO, W. L., 1981. As Coberturas Cenozóicas. *In: Almeida et al., Mapa Geológico do Estado de São Paulo, escala 1:500.000*, Publicação IPT n.1184 (Monografia 6), São Paulo, v1 (nota explicativa).
- ROOS, J.L.S.; MOROZ, I.C., *Mapa Geomorfométrico do Estado de São Paulo, escala 1:500000*. São Paulo, Publicação FFLCH/USP, IPT, FAPESP.
- ROSENBLOOM, E.S. – 1996. A Probabilistic intermretation of the final ranking in AHP. *European operational research*. v.96. p. 371 – 378.
- SANTORO, E. – 1985 – *Geologia da Folha Cabreúva (SP)*. Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geociências da USP, São Paulo, 114 p.
- SCHUMM, S.A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands of Perth Amboy. *Geological Society of America Bulletin*, n. 67, p. 597-646, 1956.
- STEIGUER, J.E.; DUBERSTEIN, J.; LOPES, V. – 2000 – “The analytical hierarchy process as a means for integrated watershed management”, consultado em julho de 2005 *in: www.tucson.ars.ag.gov/icrw/proceedings/steiguer.pdf*
- SILVEIRA, A.L.L. da – 1993 – Ciclo Hidrogeológico e Bacias Hidrográfica. *In: TUCCI, C.E.M. – 1993. Hidrologia: Ciências e Aplicações. Editora da Universidade/ABRH/EDUSP. Porto Alegre. V4.*
- VARGAS, L.G. – 1990 – An Overview of the Analytical Hierarchy Process and its Applications. *European operational research*. v.48. p. 02 – 08.
- YALÇIN, G; AKYÜREK, Z – 2004 – “Multiple criteria analysis for flood vulnerable area”. Paper n. 1097 ESRI, consultado em julho de 2005 *in: <http://gis.esri.com/library/userconf/proc04/docs/pap1097.pdf>*

- ZHAI, T; MOHTAR, R.F.; CHOI, J.; ENGEL,B.A.; EL-AWAR, F.A.; CHUNG, H.W. – 2004 – “Web GIS and Hydrologic Modeling for Siting Water Harvesting Reservoirs”. *American Society of Agricultural Engineers*, Paper n. 042149, consultado em julho de 2005 in: <http://asae.frymulti.com/abstract.asp?aid=16392&t=2>
- ZAKIR, F. A.; QARI, M. H. T.; MOSTAFA, M. E. – 1999 – A New Optimizing for Preparing Lineament Density Maps. *Int. J. Remote Sensing*. Vol 20, pag. 1073 – 1085.

ANEXO 1 - ARTIGO

DETERMINAÇÃO DA DIMENSÃO ESPACIAL ÓTIMA DE MATRIZES PARA A QUANTIFICAÇÃO DE FREQUÊNCIA ESTRUTURAL EM DOMÍNIOS FISSURADOS – ESTUDO DE CASO NA BACIA DO RIO JUNDIAÍ MIRIM

1. Introdução

Mapas quantitativos de frequência estrutural, derivados a partir de dados matriciais de estruturas geológicas, apresentam um problema intrínseco quanto a sua construção: o tamanho das matrizes de contagem. Como a frequência das estruturas é determinada a partir dessas matrizes, é necessário estabelecer-se critérios para uso de matrizes de contagem com dimensão ou intervalo de dimensões que preservem o máximo possível a distribuição e quantidade real de estruturas num dada área de estudo. A variação da dimensão da matriz de contagem, se realizada sem critérios, pode gerar um problema de representatividade do mapa e esta é uma questão que este trabalho busca solucionar.

Zakir (1999) ressaltou a importância do uso de mapas de frequência estrutural, os quais permitem a fusão de informações estruturais quantitativas com outras informações geológicas no ambiente de um Sistema de Informações Geográficas. O autor apresentou um método para determinação da dimensão ótima da matriz de contagem para a construção de mapas de frequência estrutural, considerando uma seqüência de dados de frequência de fraturas e uma seqüência de dados de intersecção de fraturas com a matriz. As duas seqüências de dados foram plotadas em um gráfico di-log (gráfico fractal) de “frequência/intersecção” vs “dimensão das células”, a partir do qual ficou demonstrada a natureza fractal das seqüências. Em determinado ponto do gráfico di-log, tais curvas apresentaram um ponto de intersecção, o qual foi tomado por Zakir (op. cit) como o ponto ótimo da dimensão das células, uma vez que neste ponto verificou-se a similaridade entre os dois métodos de contagem.

Mostafa (1995) apresentou uma técnica para a contagem de lineamentos para a determinação de mapas de frequência estrutural. Na sua proposta, uma matriz (quadrada, retangular ou circular) é utilizada, cobrindo toda a área das estruturas. Pesos são criados para os contatos dos lineamentos com os limites desta matriz e para a intersecção entre lineamentos. A soma dos pesos encontrados nos cruzamentos dos lineamentos com a matriz permitiu a obtenção

da frequência de lineamentos dentro da matriz, e a geração, através de interpolação, de um mapa de frequência estrutural. As intersecções entre lineamentos foram utilizadas para se obter um mapa de densidade de intersecções de lineamentos, o que foi apreciado pelo autor em estudos de dinâmica de fluidos.

Considerando-se o acervo de estruturas genuinamente rúpteis reconhecidas nos domínios da bacia do Rio Jundiáí Mirim, o objetivo desse estudo é desenvolver um método alternativo e, mais simplificado do ponto de vista computacional, para a determinação da dimensão ótima para matrizes de contagem de estruturas em mapas matriciais, visando a geração de mapas de frequência estrutural e de densidade de fraturas (frequência/área).

A densidade de fraturas é descrita por Davis & Reynolds (1996) como a abundância de fraturas em uma determinada área, a qual pode ser dada (i) pela média espacial de fraturas, (ii) pelo número de fraturas em uma determinada área, (iii) pelo total cumulativo do comprimento das fraturas em uma área específica, ou ainda, (iv) pela área superficial de todas as fraturas em um volume de rocha conhecido.

2. Geologia regional

Na região de Jundiáí afloram rochas pertencentes ao embasamento cristalino, depósitos sedimentares Paleozóicos, depósitos Terciários e coberturas coluvionares e aluvionares Quaternárias (Figura 3.1).

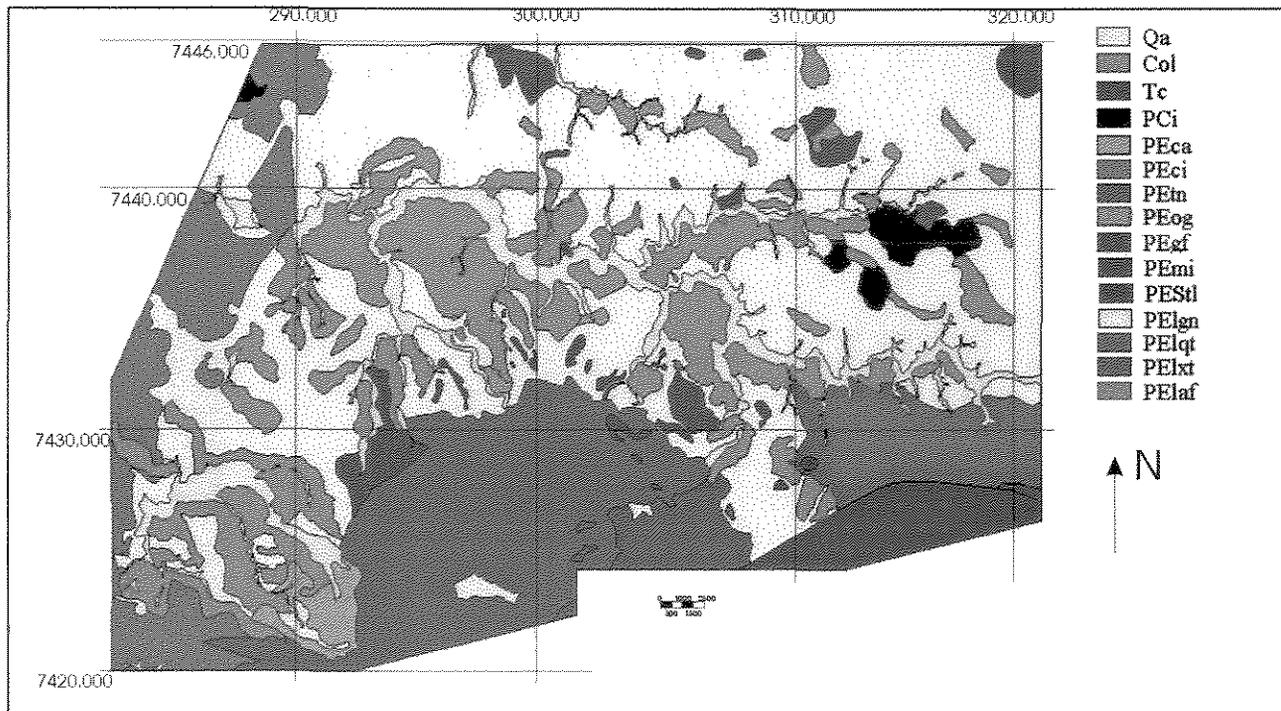


Figura 2.1 – Mapa geológico do Estado de São Paulo em escala 1:500.000 (Bistrichi et al 1981). Col – Depósitos coluvionares, geralmente em linhas de pedra , PCi - Grupo Itararé: diamictitos, folhelhos, ritmitos, argilitos e siltitos, PEca – Granito Cachoeira: biotita sienogranitos, biltra monzogranitos e sino/monzogranitos , PEGf – granito cinza foliado, PELaf – corpos de anfibolito, PEIgn – biotita gnaisses com alternância de biotita xistos, intercalações de quartzito, gonditos e anfibolitos, PEIqt – quartzitos puros, micáceos, feldspáticos com intercalações de micaxistos e biotita gnaisse, PEIxt alternância de biotita muscovita xistos e quartzitos com ocorrência local de anfibolitos- , PEmi - Migmatitos estromáticos, PEog - hornblenda ortognaisses e biotita ortognaisses, PESTl – muscovita filitos com ou sem biotita e/ou clorita, PETn – Granito Terra nova: granitos róseos com intercalações de micaxistos, Qa – depósitos aluvionares: cascalhos, areia e argilas, Tc – Depósitos terciários: diamictitos, conglomerados, arenitos e argilitos.

Embasamento Cristalino Pré-Cambriano.

O Complexo Amparo (**Figura 2.1**) é delimitado, a sul, pelas falhas de Itu, Jundiuvira e Camanducaia; a norte, pela falha de Jacutinga, e encontra-se recoberto, a oeste, por sedimentos da Formação Itararé. Nesta região, o Complexo Amparo é constituído principalmente por gnaisses com biotita, hornblenda e granada, com grau variável de migmatização, e contém intercalações de quartzitos, xistos, anfibolitos, gonditos e metaultrabásicas (Hassui et al 1981). Segundo Hassui et al. (1989), trata-se de um complexo gnáissico-granitóide, constituído por gnaisses do tipo TTG (tonalito – thronjdemito - granodiorito) com supracrustais associadas, bem como por corpos metabásicos e meta-ultrabásicos, os quais podem representar antigas seqüências vulcânicas ou intrusivas.

Parte das rochas consideradas por Hassui et al (1989) como pertencentes ao Complexo Amparo, foram interpretadas por Santoro (1985) e Batisti et al (1986) como uma seqüência supracrustal composta por para-gnaisses, quartzitos, xistos, metarcósios e anfibolitos e incluídas no Complexo Itapira.

A sul das falhas Itu e Jundiauvira, ocorre o Grupo São Roque, composto por metassedimentos, tais como filitos, metassiltitos, xistos e quartzitos (Hassui et al 1981). Ainda são encontradas intercalações de calcários dolomíticos e rochas calcossilicatadas, além de lentes de quartzito com metarcósios e metagrauvascas.

Ao longo de toda a região, ocorrem intrusões granitóides. Granodioritos e granitos caracterizam a Fácies Itu, tendo o seu corpo de maior expressão pertencente ao Complexo Itu. Segundo Hackspacher et al (apud Neves 1999) o alojamento destas intrusões, assim como o Granito Cachoeira e outros pequenos corpos micrograníticos, ocorreu no Neoproterozóico, indicando o início de uma fase de extensão crustal associada a estruturação da bacia do Paraná.

Depósitos Paleozóicos.

Segundo Neves (1999), as primeiras citações sobre os sedimentos Paleozóicos de origem glacial da região de Jundiaí foram feitas por Knecht e assinalados na Carta Geológica do Estado de São Paulo, editada pelo IGG, em 1947. Ainda segundo NEVES (1999), a origem glaciogênica para esses sedimentos foi contestada por Almeida (1952, 1964).

Martin et al. (1959) também propuseram a origem glacial destes sedimentos e os correlacionaram aos depósitos do Grupo Itararé. As rochas são caracterizadas por diamictitos, folhelhos, ritmitos e siltitos. Os autores consideram a bacia como sendo de origem atectônica, porém, relatam que há um sistema de diáclases nos folhelhos e ritimitos da região coincidente com o das rochas Pré-cambrianas, sugerindo uma possível reativação dessas estruturas durante a instalação da bacia.

Depósitos Terciários

Na região de Jundiaí, Atibaia, Bragança Paulista e Piracicaba ocorrem depósitos de sedimentos Terciários muito descontínuos. Vários trabalhos foram feitos na tentativa de correlacionar tais depósitos com os depósitos Terciários das bacias de São Paulo, Taubaté e Curitiba.

Panelva (1971, apud Neves 1999) descreve os sedimentos como sendo de natureza essencialmente clástica, com raros restos orgânicos e leitos limonitizados. Também descreve os pacotes com poucos metros de espessura, podendo localmente alcançar 60 metros. O ambiente de sedimentação sugerido é o de planícies aluviais alagadiças e com curto transporte dos sedimentos. Panelva (op cit.) admite uma idade Pliocênica a esses sedimentos, porém não descarta a possibilidade de serem mais recentes.

Hassui et al (1976) relacionam tais sedimentos com antigas drenagens semelhantes às atuais dos rios Jundiá, Sorocaba, Tietê, Atibaia, Jaguari e Mogi-Guaçu de idade Terciária.

Ponçano (1981) atribui a estes sedimentos idade Quaternária, relacionando-os, com períodos de alargamento dos vales regidos pela intensa remoção de detritos e formação de terraços, em sincronismo com os episódios glaciais.

Neves (1999) cita perturbações tectônicas registradas nestes sedimentos, associadas à falhas normais.

Fulfaro et al (1985) interpreta os sedimentos Cenozóicos da região de Atibaia (SP), a nordeste de Jundiá, como uma consequência de um episódio distensivo. Afirma ainda que eventos posteriores teriam erodido parte dos depósitos, restando então apenas corpos isolados.

Melo et al (1985) descreve uma similaridade faciológica entre camadas das bacias tafrogênicas de São Paulo, Taubaté, Resende e Volta Redonda.

Batista et al. (1986), descrevem os depósitos em questão como sendo uma seqüência de leques aluviais, com sua área fonte situada na Serra do Japi de idade Terciária.

Cobertura Quaternária

As coberturas aluvionares da área aparecem ao longo das principais drenagens da bacia do rio Jundiá. São compostas por areias inconsolidadas de granulação variável, argilas e cascalho fluvial subordinado. A distribuição espacial dessas coberturas foi registrada no mapa geológico do Estado de São Paulo – escala 1:500.000 (Bistrichi et al 1981).

Geologia Estrutural Regional

Segundo Hassui et al (1977, 1978), o leste paulista é compartimentado tectonicamente por uma malha de grandes falhas transcorrentes e zonas de cisalhamento que controlam a estruturação do embasamento cristalino e condicionam a formação das bacias terciárias. As falhas

de Itu, Piraí, Cururu e Cachoeira são ramificações da falha Jundiuvira em forma de leques. O processo deformacional nestas zonas são heterogêneos - há uma variação da deformação entre rochas justaposta, desde rochas sem deformação, passando por protomilonitos, milonitos, ultramilonitos e blastomilonitos.

As falhas de Itu e Jundiuvira são definidas por Hackspacher et al (1989) como uma zona de cisalhamento transcorrente dextral.

Hassui et al (1982) relaciona falhas normais Mesozóico-Cenozóico com o desenvolvimento de bacias tafrogênicas do sudeste do Brasil – essas bacias apresentam cunhas clásticas associadas a falhas sin-sedimentares.

3. Materiais e Métodos

O mapa de fraturas de Neves (1999), o qual compreende dados de fraturas medidas, fraturas inferidas e lineamentos definidos por fotointerpretação, foi a principal base de dados utilizada. Esse mapa foi verificado em campo no âmbito desse trabalho, no sentido de confirmar a natureza rúptil das estruturas consideradas, tendo sido complementado e reformulado, no formato analógico.

O mapa estrutural final foi transformado para o formato matricial através de um scanner-HP, com resolução de 300 dpi, e em formato TIF. Em seguida, esse arquivo foi convertido para um arquivo bitmap binário de 540 linhas e 750 colunas (Figura 2), com pixels de 50 m.

Para a quantificação da frequência estrutural, o mapa estrutural foi analisado através de um algoritmo, desenvolvido neste trabalho, denominado SMP_Counting. Esse algoritmo é capaz de realizar a contagem dos pixels relacionados às estruturas pelo método *box counting* (Middleton et. al. 1991). Esse método consiste na varredura da matriz, contendo as estruturas em estudo, através de ‘caixas’, ou matrizes, possibilitando a contagem, nessas matrizes, dos pixels relacionados às estruturas de interesse.

Os dados da contagem dos pixels na matriz analisada foram armazenados em um arquivo texto para posterior processamento matemático e gráfico.

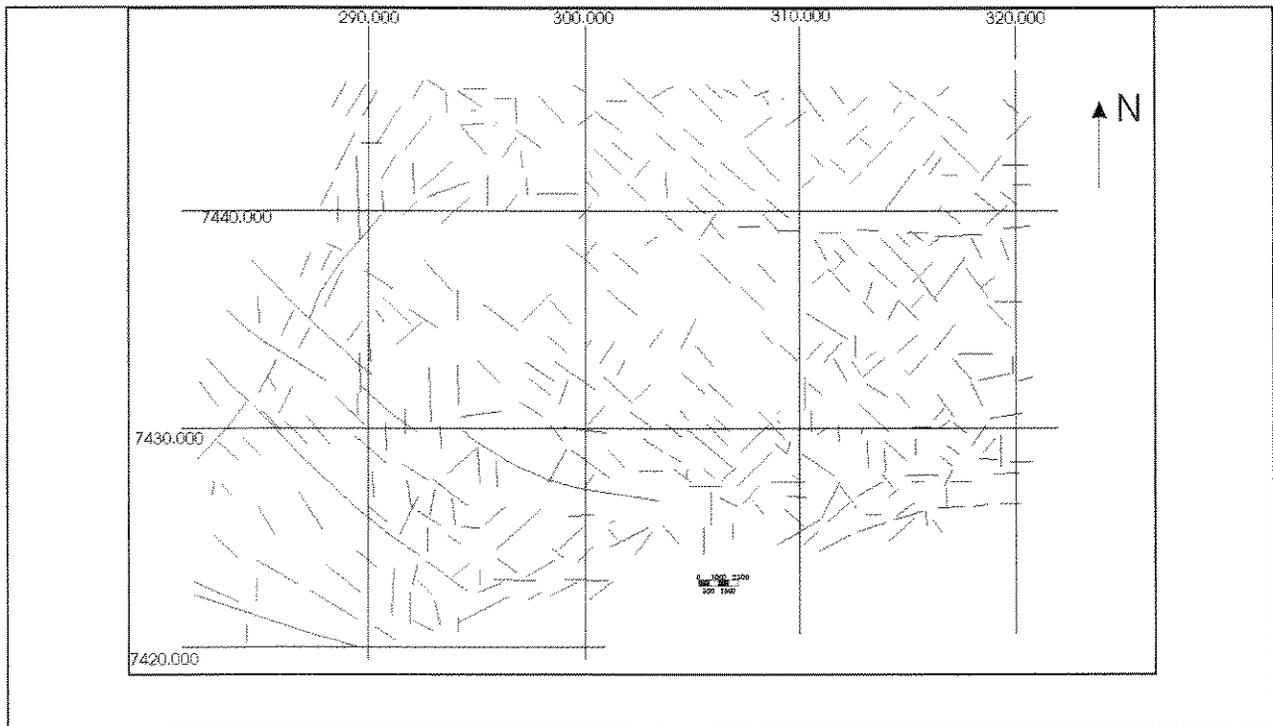


Figura 2. Mapa das estruturas rúpteis da região de Jundiáí (modificado de Neves 1999).

Contagem matricial

A contagem dos pixels foi realizada segundo uma malha quadrada balizadora de área no mapa. Tal malha teve como início a menor dimensão possível para esta contagem (4 X 4 pixels) e teve sua dimensão incrementada exponencialmente até atingir o tamanho múltiplo de “2” - máximo possível para cobrir a imagem de 540 linhas. Com isso, atingiu-se uma matriz de 512 X 512 pixels.

A contagem dos pixels foi realizada por matrizes múltiplas de 2, com seu início no canto superior direito da imagem. Dentro de cada matriz, a contagem foi feita do início para o final de cada linha, em um código retroativo que soma ‘1’ a cada valor de posicionamento, até que este valor atinja a dimensão da matriz. A partir desse ponto, a varredura retorna para a primeira coluna, acrescentando uma unidade na coordenada da linha, e assim sucessivamente, até que o posicionamento da matriz nas colunas atinja o valor da dimensão da matriz. Após este procedimento dentro de uma matriz, a variável de posicionamento X inicial é incrementada no valor da dimensão da matriz, assim como a variável de posicionamento Y inicial, e assim sucessivamente, até a cobertura total da imagem. Ao final de cada varredura, a variável dimensão

da matriz é multiplicada por 2 para que possa varrer a imagem com uma dimensão maior. A **Figura 3** sintetiza as rotinas utilizadas na contagem matricial.

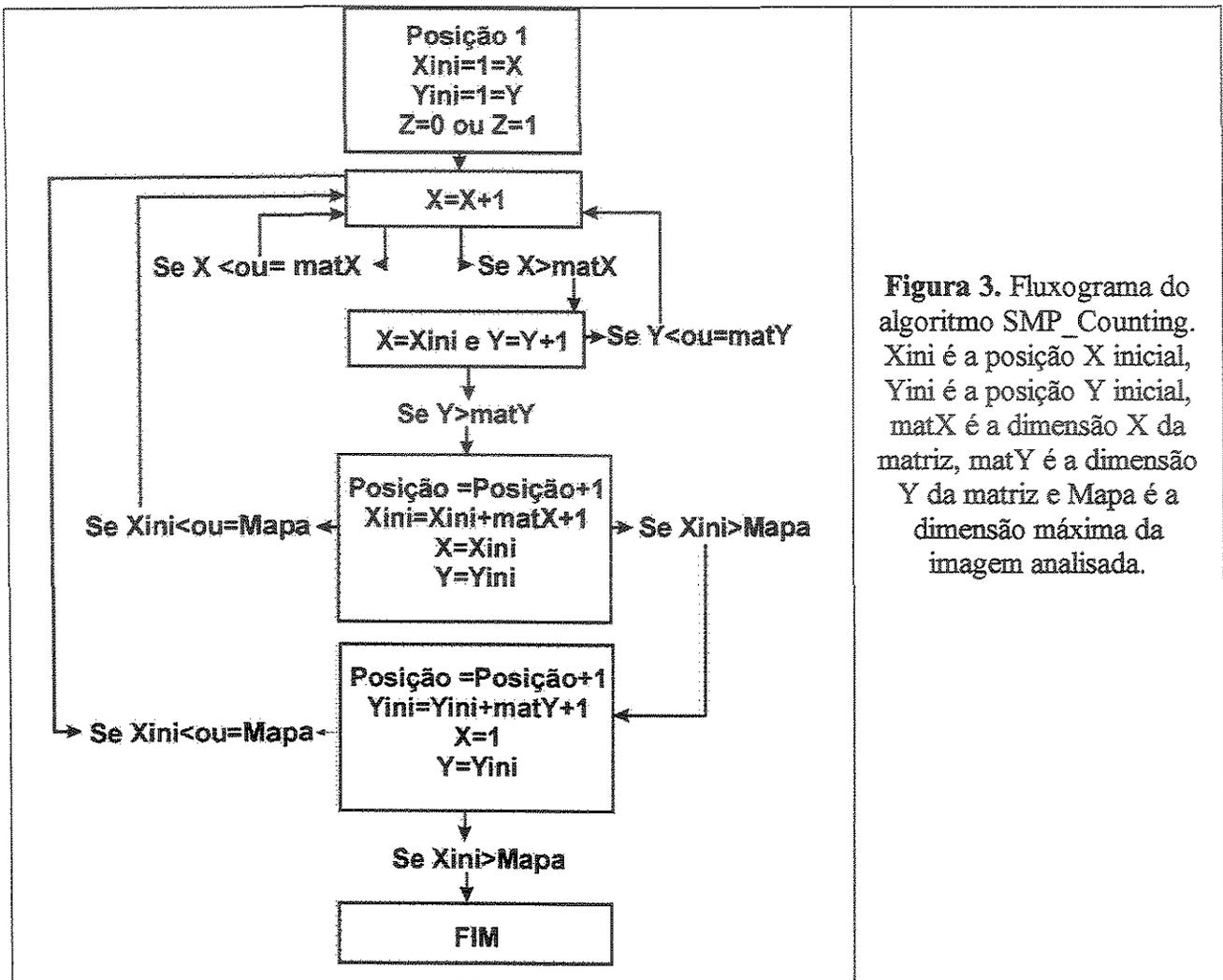


Figura 3. Fluxograma do algoritmo SMP_Counting. Xini é a posição X inicial, Yini é a posição Y inicial, matX é a dimensão X da matriz, matY é a dimensão Y da matriz e Mapa é a dimensão máxima da imagem analisada.

Frequência de fraturas

O mapa de frequência estrutural foi construído a partir da determinação do comprimento das estruturas dentro de uma área conhecida. Esta etapa do trabalho foi realizada com o auxílio da ferramenta *Segment Density* do software Ilwis 3.1. Esta ferramenta gera mapas com pixels de dimensões de escolha do usuário e o classifica segundo a dimensão linear de estruturas em seu interior.

4. Resultados

Os dados armazenados no processo de contagem descrito acima foram organizados em forma de um gráfico $N \times \delta$ (**Figura 4**), plotado em escala logarítmica na ordenada ($N(\delta)$), onde N é o número de feições de interesse (pixels associados à estruturas) encontradas em cada matriz, e δ é a dimensão da matriz (caixa).

Nesse gráfico é possível observar a dependência da variação da quantidade de estruturas pela área da matriz de contagem. Essa dependência é reduzida com o aumento da matriz de contagem, (**Figura 4**), onde a curva tem uma diminuição de sua curvatura em função do aumento da dimensão da matriz. A posição de inflexão máxima da curva pode ser interpretada como a dimensão da matriz de contagem onde há uma menor dependência entre a dimensão da matriz e a quantidade de pixels que representam estruturas.

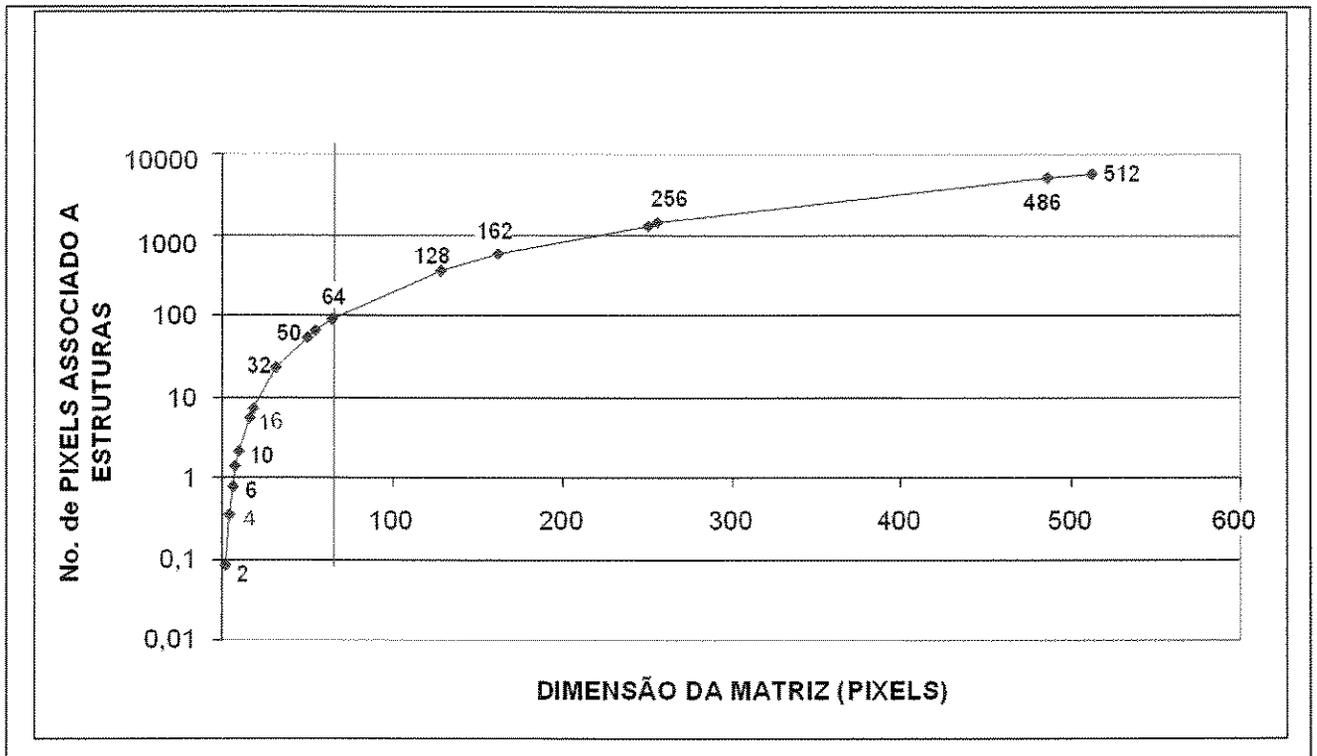


Figura 4. Gráfico $N(\delta) \times \delta$, com ponto de inflexão máxima da curva indicado pela reta vermelha.

A determinação da inflexão máxima da curva foi feita segundo o modelo geométrico apresentado na **Figura 5** - a máxima área do triângulo vermelho é atingida onde H é maior, ao passo que a posição onde H é maior coincide com o ponto de máxima inflexão da curva.

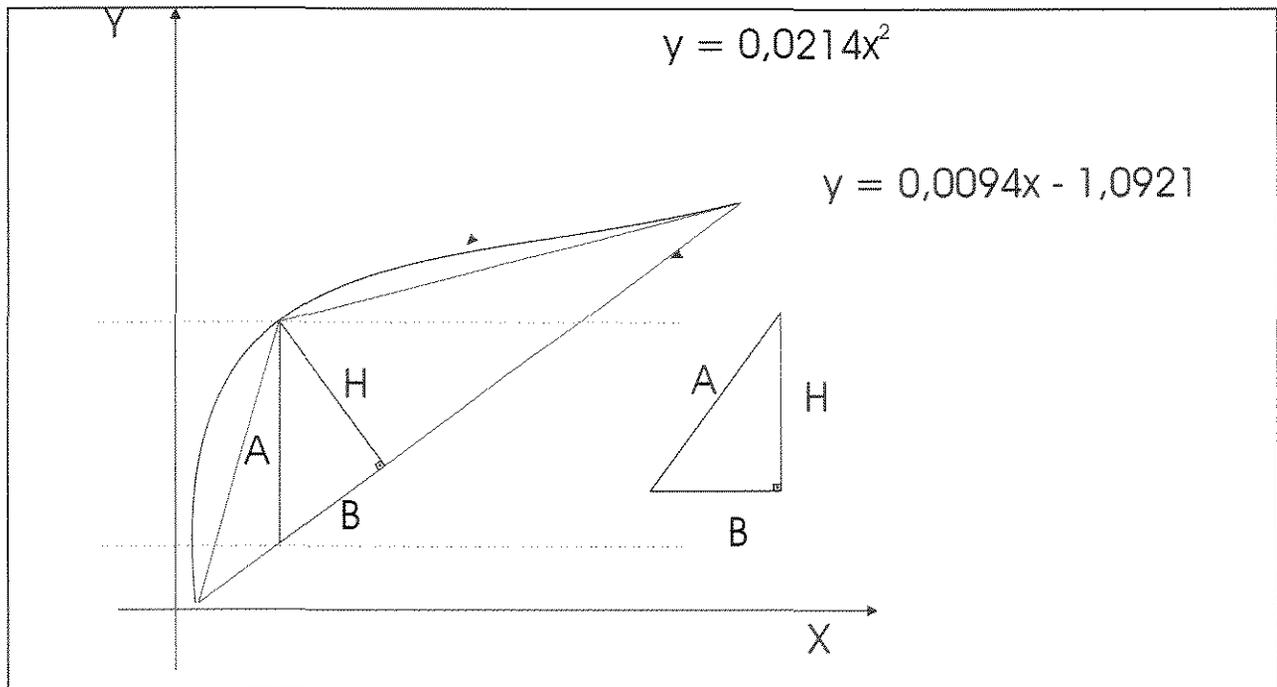


Figura 5. Modelo de determinação de inflexão máxima da curva do gráfico $N(\delta) \times \delta$

A determinação da máxima inflexão da curva do gráfico $N(\delta) \times \delta$ seguiu os seguintes passos:

- aproximação da equação da curva através de uma curva de tendência no software Excel ($Y = 0,0214 * X^2$);
- construção de uma reta ligando os pontos iniciais e finais da curva;
- estabelecimento da equação dessa reta ($Y = 0,0094X - 1,0921$);
- derivação dos valores de Y para cada X calculado;
- cálculo da maior distância entre Y da curva e Y da reta.

Para esse estudo de caso, determinou-se que a máxima inflexão da curva ocorre no ponto X igual a 64 (**Figura 5**), ou seja, onde a matriz de contagem tem 64 x 64 pixels de dimensão (3200 x 3200 metros, para pixels com dimensão de 50metros).

Dessa forma, para esse conjunto de dados, tem-se que a construção de mapas de frequência de estruturas utilizando-se matrizes de contagem até 3200 metros de lado não deve ter seus resultados afetados pela dimensão da matriz. Assim, os mapas de frequência podem ser gerados utilizando-se matrizes entre 100 metros de lado, até 3200metros, a depender da escala de

trabalho adotada. A utilização de matrizes de contagem maiores implica na necessidade de um mapa com dimensões maiores.

Para demonstração, foram gerados mapas de contagem de estruturas com matrizes de contagem com dimensões de 100m, 800m, 1600m e 3200m (Figuras 6 a – c).

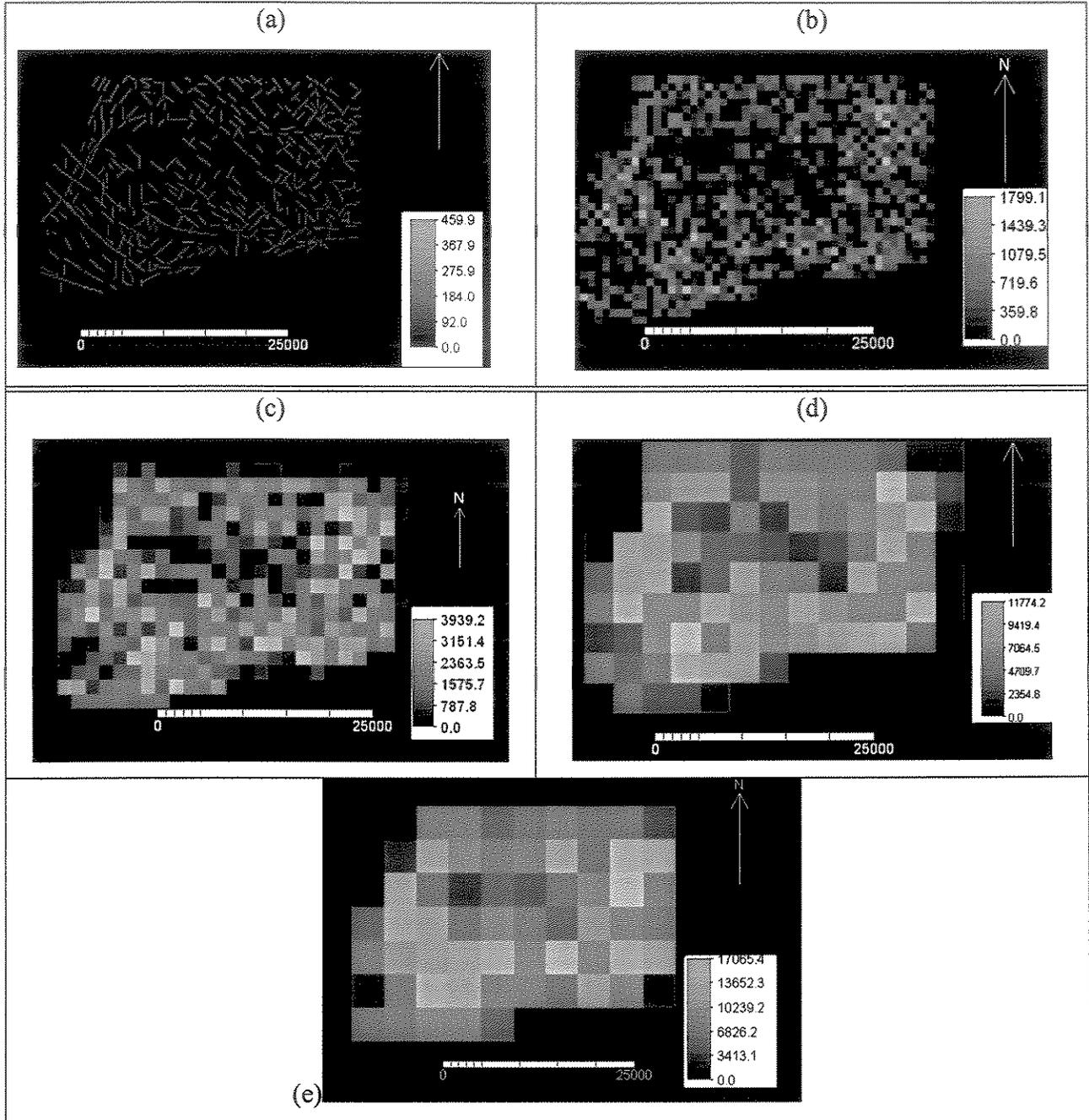


Figura 5 – Mapas representativos das contagens dimensionais das estruturas rúpteis da bacia do rio Jundiá Mirim. (a) Matriz de 100 x 100 metros (2 x 2 pixels). (b) Matriz de 800 x 800 metros (4 x 4 pixels). (c) Matriz de 1600 x 1600 metros (8 x 8 pixels). (d) Matriz de 3200 x 3200 metros (64 x 64 pixels). As escalas indicam metros de estrutura por caixa de contagem.

Construção dos mapas de densidade de estruturas

O mapa de densidade de estruturas foi construído através da interpolação de pontos localizados no centro de cada matriz com o valor da mesma, e utilizando método de interpolação por Krigagem. Três mapas de densidade estrutural foram gerados, respectivamente, com uma matriz abaixo, acima e no valor determinado como limite de 800 metros (**Figuras 6 a-c**). Nesses mapas observa-se que o traçado original das estruturas, razoavelmente bem marcado na matriz de contagem de menor dimensão (Figura 6a), é gradualmente perdido com o aumento da dimensão da matriz de contagem.

5. Conclusões

Os resultados obtidos mostram que quanto maior a dimensão da matriz de contagem menor a variação da quantidade, ou frequência, de estruturas registradas, ou seja, há uma relação de dependência entre a dimensão da matriz e a quantidade de estruturas contabilizadas na varredura. Entretanto, essa dependência diminui e é negligenciável com o aumento da dimensão da matriz. Com base nos dados analisados, o limite dessa dependência ocorre na matriz de 64 x 64 pixels, que representa 3200 x 3200 metros. Esse é o ponto a partir do qual a dimensão das matrizes compromete a representatividade do mapa de frequência de fraturas para escala de amostragem dos dados.

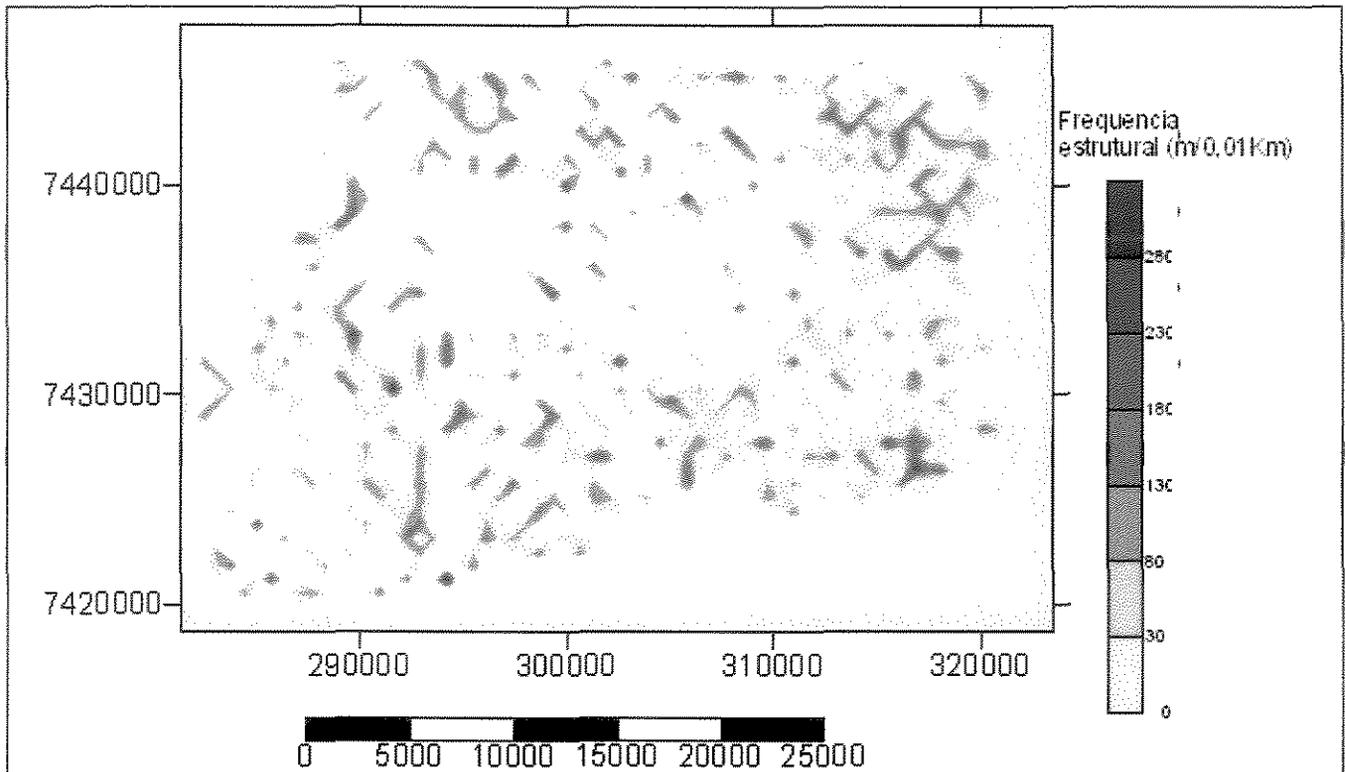


Figura 6a. Mapa de densidade estrutural construído a partir de uma matriz de contagem com dimensão de 100 x 100 metros (2 x 2 pixels) (resolução espacial dos pixels no mapa de estruturas = 50m)

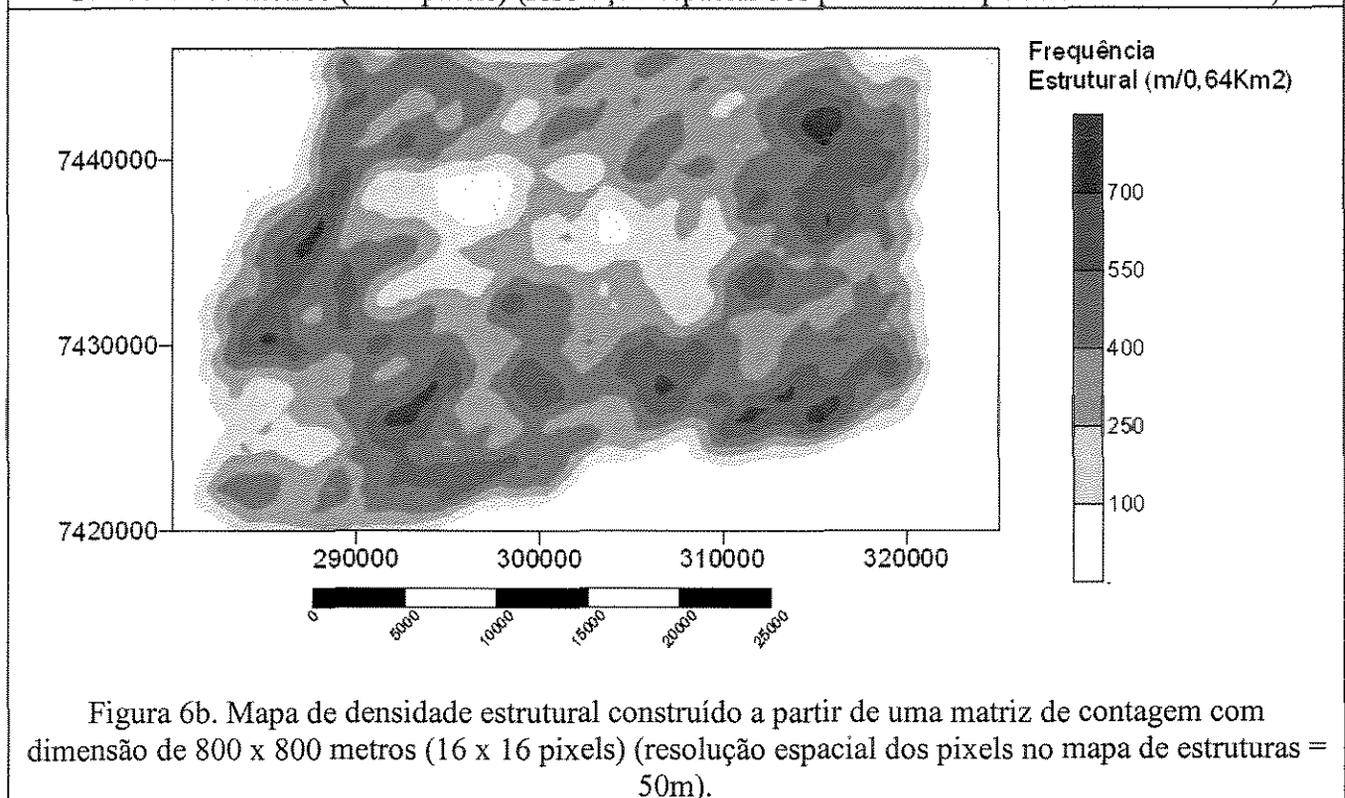


Figura 6b. Mapa de densidade estrutural construído a partir de uma matriz de contagem com dimensão de 800 x 800 metros (16 x 16 pixels) (resolução espacial dos pixels no mapa de estruturas = 50m).

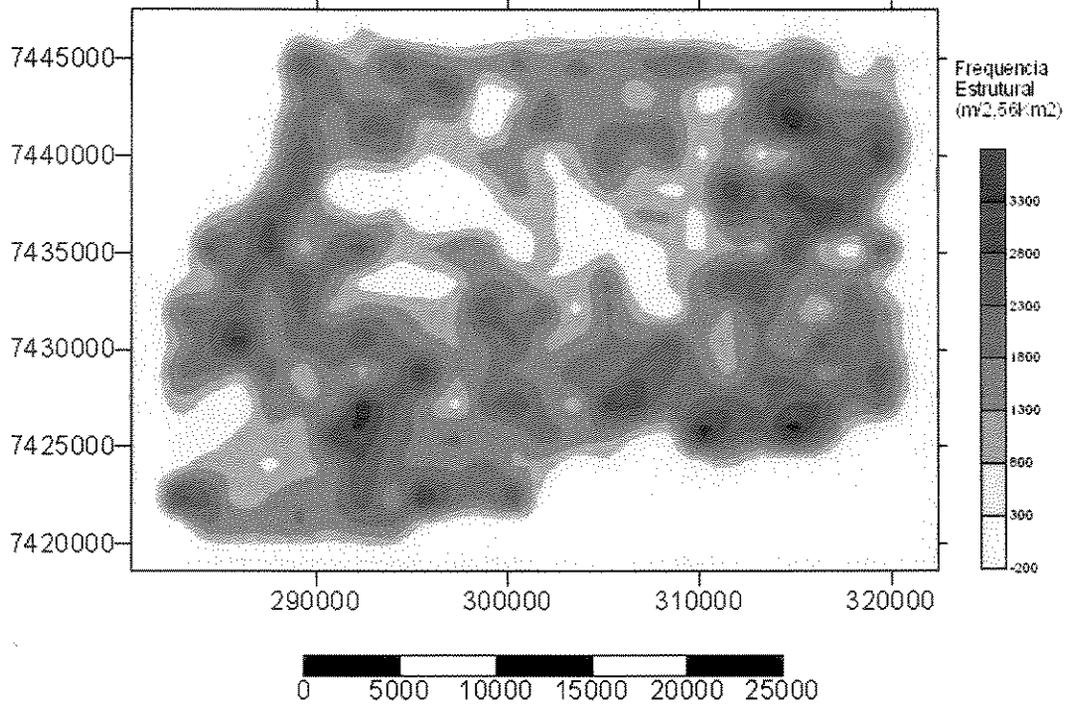


Figura 6c: Mapa de densidade estrutural construído a partir de uma matriz de contagem com dimensão de 1600 x 1600 metros (32 x 32 pixels) (resolução espacial dos pixels no mapa de estruturas = 50m).

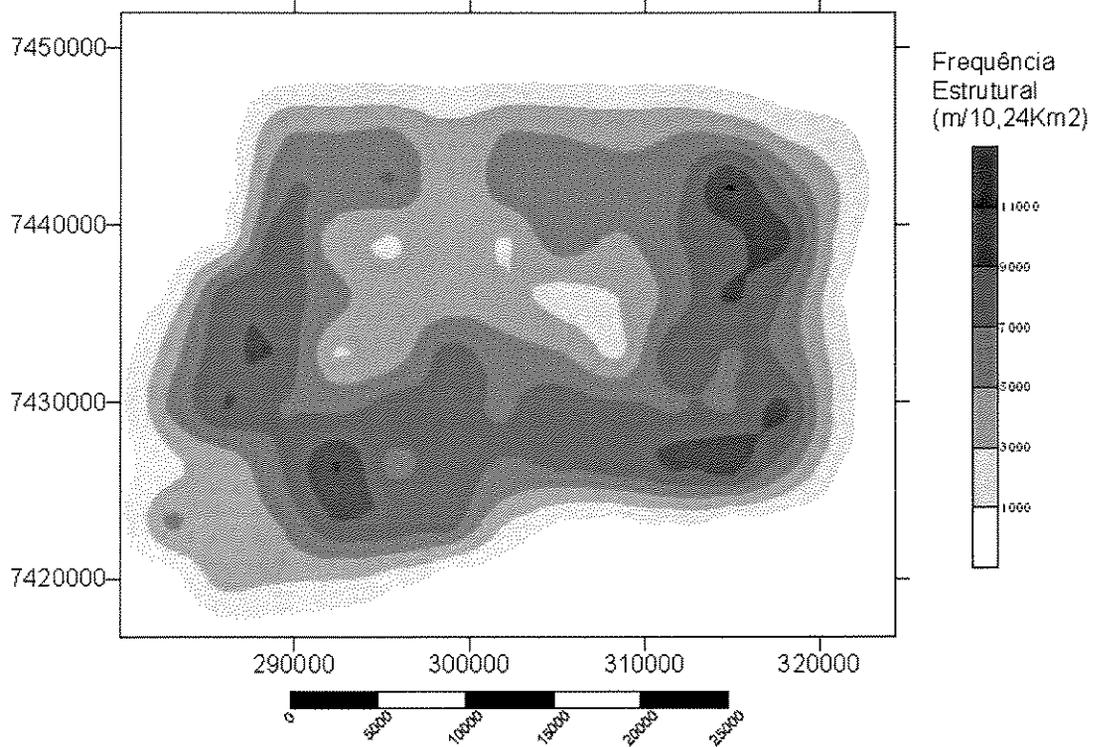
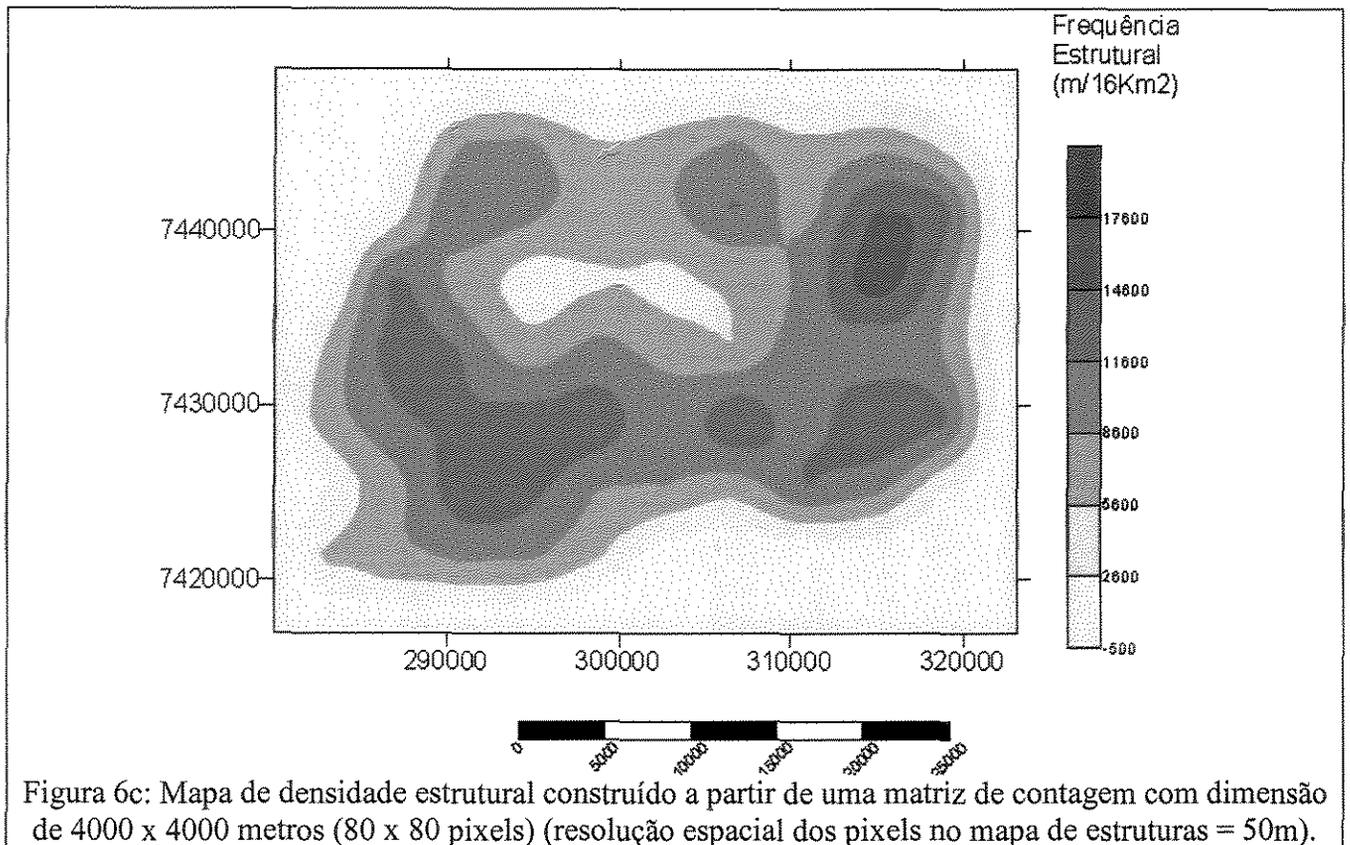


Figura 6c: Mapa de densidade estrutural construído a partir de uma matriz de contagem com dimensão de 3200 x 3200 metros (64 x 64 pixels) (resolução espacial dos pixels no mapa de estruturas = 50m).



Bibliografia

- BATISTA, J. J. (coord.); SIMÕES, L. S. A.; OLIVEIRA, M. A. F. de; 1986. Carta Geológica do Estado de São Paulo (1:50.000): Folha Jundiá. Convênio SICCT/PRÓ-MINÉRIO – IGCE/UNESP, Rio Claro, Relatório Final, v.1, texto, 115p.
- BISTRICHI, C. A.; CARNEIRO, C. D. R.; DANTAS, A. S. L.; PONÇANO, W. L.; CAMPANHA, G. A. da C.; NAGATA, N.; ALMEIDA, M. A.; STEIN, D. P.; MELLO, M. S. de ; CREMONINI, O. A., 1981. Mapa Geológico do Estado de São Paulo, escala 1:50.000. São Paulo, Publicação IPT n. 1184 (Monografias 6), v. 2 (mapa).
- DAVIS, G. H., REYNOLDS, S. J., 1996. Structural Rocks of Rocks and Regions. John Wiley & Sons, INC, Canada.
- HASSUL, Y.; CARNEIRO, C.D.R.; GLANCURSI, F.D. e GUSSO, L.G.N. – 1976 – “Condicionamento Tectônico da Bacia Sedimentar de São Paulo”. *In: Anais do XXIX Congresso Brasileiro de Geologia*, SBG, Belo Horizonte, p. 257 – 268.

- HASSUI, Y.; PONÇANO, W.L.; BISTRICHI, C.A.; STEIN, D.P.; GALVÃO, C.A.C.F.; GIMENEZ, A.F.; AMEIDA M.A. de; MELO, M.S. de; PIRES NETO, A. G. – 1977 – “As grandes falhas do Leste Paulista” in: *atas do 1º Simpósio de Geologia Regional*, p. 369 – 380.
- HASUI, Y; TOGNON, A. A.; SOARES, L.; CSORDAS, S. M. 1978. “Geologia e tectônica da Serra do Japi.” *Boletim do Instituto de Geociências, USP*. N. 9, p. 17 – 24.
- HASUI, Y; DANTAS, A. L.; CARNEIRO, C. D. R.; BISTRICH, C. A., 1981. O embasamento Pré-cambriano e o Eopaleozóico em São Paulo. In: Almeida et al., Mapa Geológico do Estado de São Paulo, escala 1:500.000, Publicação IPT n.1184 (Monografia 6), São Paulo, v1 (nota explicativa).
- HASSUI, Y.; ALMEIDA, F.F.M. de; MIOTO, J.A.; MELO, M.S. de – 1982 – *Geologia, Tectônica, Geomorfologia e Sismologia regionais de interesse às usinas nucleares da praia de Itaorna*. Publicação IPT n. 1225 (Monografia 7), São Paulo, 150p.
- HASUI, Y; HARALYI, N. L. E.; MIOTO, J. A.; SAAD, A. R.; CAMPANHA, V. A.; HAMZA, V. M.; GALLI, V. A.; FRANGIPANI, A.; PULEGHINI FILHO, P. 1989. *Compartimento Estrutural e Evolução Tectônica do Estado de São Paulo*. São Paulo, Relatório IPT n. 27.394, v. 1 e 2.
- MIDDLETON, G.V. (org); LONCAREVIC, B.D.; CHADAM, J., FOWLER, A.; GOODINGS, D.; MIDDLETON, G.; ROACH, D.; SHAW, H.; TURCOTTE., 1991. *Nonlinear Dynamics, Chaos and Fractals*. Geological Associate of Canada. Toronto, Ontario.
- MOSTAFA, M. E., QARI, M. Y. H. T., 1995, An exact technique of counting lineaments. *Engineering Geology* 39 pag 5-16
- MARTIN, H.; MAU, H. e BJÖRNBERG, A. J.S. 1959. “Vale Pré Glacial a Nordeste de Jundiá, SP”. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, São Paulo, v.8, n. 2, p.35 – 30.
- NEVES, M. A., 1999. *Evolução Cenozóica da Região de Jundiá (SP)*. Dissertação de mestrado. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP. Rio Claro – SP
- SANTORO, E. – 1985 – *Geologia da Folha Cabreúva (SP)*. Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geociências da USP, São Paulo, 114 p.
- ZAKIR, F. A., QARI, M. H. T., MOSTAFA, M. E., 1999, A New Optimizing for Preparing Lineament Density Maps. *Int. J. Remote Sensing* Vol 20, pag. 1073 – 1085.

ANEXO 2 – CÁLCULO DA MATRIZ PAH

	Área Final	Área impermeabi L _{im} impermeabi	Declividade	Solos	Densidade estrutural	Distância dos canais	Densidade drenagem	W ^f	w ^f *a	w ^f *a / wt
Área Final	1	3,03	3,03	5,00	6,67	9,09	8,00	0,3919	2,915	7,438
Área impermeabilizada	0,33	1,00	1,00	3,03	5,00	8,00	6,67	0,1996	1,478	7,405
Declividade do terreno	0,33	1,00	1,00	3,03	5,00	8,00	6,67	0,1996	1,485	7,440
Solos	0,2	0,33	0,33	1,00	3,00	6,00	5,00	0,1021	0,772	7,558
Densidade de fraturas	0,15	0,20	0,20	0,33	1,00	5,00	3,03	0,0571	0,425	7,441
Distância dos canais	0,11	0,13	0,13	0,15	0,20	1,00	1,00	0,0228	0,170	7,475
Densidade de drenagem	0,125	0,15	0,15	0,2	0,33	1	1	0,0269	0,198	7,354

$$CL = \frac{\frac{1}{7} * (7,438 + 7,405 + 7,440 + 7,558 + 7,441 + 7,475 + 7,354) - 7}{7 - 1}$$

$$CL = 0,074 \Rightarrow \frac{CL}{R \ln} = \frac{0,074}{1,32} = 0,056$$