

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“Júlio de Mesquita Filho”
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro

JOSÉ CARLOS TOLEDO VENIZIANI JUNIOR

AS RELAÇÕES ENTRE PRECIPITAÇÃO, VAZÃO E COBERTURA
VEGETAL NAS SUB-BACIAS DOS RIOS JACARÉ-PEPIRA E JAÚ

Rio Claro – SP

2018

Universidade Estadual Paulista
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Campus de Rio Claro

JOSÉ CARLOS TOLEDO VENIZIANI JUNIOR

AS RELAÇÕES ENTRE PRECIPITAÇÃO, VAZÃO E COBERTURA
VEGETAL NAS SUB-BACIAS DOS RIOS JACARÉ-PEPIRA E JAÚ

Tese de Doutorado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Anderson Luis Hebling
Christofolletti

Rio Claro – SP

2018

333.709 Veniziani Junior, José Carlos Toledo
V461r As relações entre a precipitação, vazão e cobertura
vegetal nas sub-bacias dos rios Jacaré Pepira e Jaú / José
Carlos Toledo Veniziani Junior. - Rio Claro, 2018
199 f. : il., figs., tabs.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista,
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Orientador: Anderson Luis Hebling Christofolletti

1. Geografia ambiental. 2. Índice de Vegetação da
Diferença Normalizada (IVDN). 3. Escoamento superficial. 4.
Sistemas de Informação Geográfica. 5. Análise ambiental. I.
Título.

JOSÉ CARLOS TOLEDO VENIZIANI JUNIOR

AS RELAÇÕES ENTRE PRECIPITAÇÃO, VAZÃO E COBERTURA
VEGETAL NAS SUB-BACIAS DOS RIOS JACARÉ-PEPIRA E JAÚ

Tese de Doutorado apresentada ao Instituto de
Geociências e Ciências Exatas do Câmpus de
Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista
“Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos
requisitos para obtenção do título de Doutor em
Geografia.

Comissão Examinadora

Anderson Luis Hebling Christofolletti - Orientador
(IGCE-UNESP-Rio Claro/SP)

Thiago Salomão de Azevedo
(FSP-USP-São Paulo/SP)

Andreia Medinilha Pancher
(IGCE-UNESP-Rio Claro/SP)

Jozrael Henriques Rezende
(FATEC JAHU-CEETPS-Jaú/SP)

Sylvio Luiz Andeozi
(IG-UFU-Uberlândia/MG)

Conceito: Aprovado em 13 de abril de 2018

Rio Claro, SP

2018

**Aos meus grandes amores Jô, Gabi, Gi
e Gu**

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, ao meu lado sempre nas alegrias e tristezas.

Ao meu orientador Prof. Dr. Anderson Anderson Luis Hebling Christofolletti pelos sábios conselhos, orientações e pela paciência e dedicação.

Ao Prof. Dr. Thiago Salomão de Azevedo pela grande ajuda com as análises espaciais e pelos conselhos e observações sempre pertinentes.

Ao Professora Dra. Andreia Medinilha Pancher pelas excelentes sugestões referentes a este trabalho principalmente em relação a cartografia.

Ao Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza (CEETEPS) e a Comissão Permanente de Regime de Jornada Integral (CPRJI) pelo apoio e principalmente pela concessão do afastamento parcial da jornada de trabalho, sem o qual seria impossível a finalização deste trabalho.

Ao programa de Qualificação para Estudos de Doutorado na Universidade Estadual Paulista, parceria entre o CEETEPS e a UNESP que viabilizou a realização deste trabalho. A Fatec Jahu pelo apoio total e irrestrito recebido da direção, coordenação e do departamento pessoal.

Aos todos meus amigos e companheiros de trabalho da Fatec Jahu.

Um agradecimento especial aos amigos Marcelo, Gilca, Vera, Fred, Dalva e Valéria pela grande ajuda com as revisões.

Um agradecimento especial também ao Joz pelas ideias que deram origem a este trabalho.

Aos meus pais Carlos e Zinha, minhas irmãs, Tininha e Dani, minha sogra, Bete e meu sogro José (in memoriam), meus sobrinhos Mateus, Heloíse e Artur, meus cunhados André, Fernanda, KIKO e Virgile pelo apoio proporcionando momentos de descontração.

Ao meu sobrinho e afilhado Felipe e ao meu afilhado Neto pelo carinho.

Ao meu padrinho Padre Mauro, pelas conversas construtivas e edificantes e pelas orações diárias.

O meu maior agradecimento é dedicado à minha família: minha esposa Joseli e meus filhos Gabriela, Giovani e Gustavo, que tiveram de renunciar a muitos dias de convivência e exercitar a paciência com um marido e pai constantemente atarefado. Aproveito para me desculpar pela ausência da presença física, mas sempre com vocês no meu coração.

RESUMO

A disponibilidade da água é influenciada pelo comportamento sistêmico do ciclo hidrológico, do qual a vazão, a precipitação e a cobertura vegetal são importantes elementos. Devido às suas características espaciais, a bacia hidrográfica constitui uma unidade geográfica adequada para a realização de estudos ambientais e hidrológicos. As ferramentas de geoprocessamento forneceram suporte metodológico à realização destes estudos, facilitando a obtenção, a organização e a análise espacial. Esta tese analisou a relação entre as variáveis vazão, precipitação, e a densidade da cobertura vegetal, estimada através do índice de vegetação da diferença normalizada, (IVDN), para as sub-bacias hidrográficas dos rios Jacaré-Pepira e Jaú (SP). Também objetivou verificar a viabilidade do uso do IVDN como subsídio à gestão ambiental de bacias hidrográficas. Os resultados mostraram que existe correlação entre as variáveis precipitação, vazão e o IVDN, utilizado como um indicativo das características da cobertura vegetal. Esses resultados indicaram que as vazões médias e mínimas apresentaram maior correlação com o IVDN. Considerando os anos padrão climáticos, secos, chuvosos e habituais, foi possível perceber que nos anos secos esta correlação ficou mais evidente reforçando a compreensão de que maiores densidades de cobertura vegetal aumentam a infiltração e reduzem o escoamento superficial, garantindo uma maior disponibilidade de água para as demandas socioambientais locais. A dinâmica espaço-temporal do uso e ocupação das terras na bacia do Jacaré-Pepira era menos intensa e caracterizada principalmente por pastagens e silvicultura que não demandam ciclos de cultivo curtos. Enquanto que na Bacia do Rio Jaú a dinâmica era mais intensa, sobretudo por influência do cultivo de cana de açúcar que apresenta ciclos curtos de plantio e colheita. A precipitação e IVDN apresentaram dependência espacial na sub-bacia do rio Jacaré-Pepira, enquanto no rio Jaú esta dependência não foi verificada. Isto se deve ao fato de que a cobertura vegetal suprimida no período da colheita, não ser influenciada diretamente pelas precipitações, diminuindo a dependência espacial destas duas variáveis. Foi possível verificar que o IVDN representa um importante indicador da situação ambiental hidrológica local, podendo subsidiar a gestão ambiental de bacias hidrográficas. Essas constatações são importantes para a gestão dos recursos hídricos superficiais em bacias hidrográficas, evidenciando o impacto do uso das terras na cobertura vegetal e na vazão, interferindo diretamente na disponibilidade da água superficial para a sociedade.

Palavras chave: Índice de vegetação da diferença normalizada (IVDN). Escoamento superficial. Sistemas de Informação Geográfica. Análise Ambiental.

ABSTRACT

The systemic behavior of the hydrological cycle, mainly flow, precipitation and vegetation cover influence the availability of water. The watershed is the appropriate geographic unit for environmental and hydrological studies. Geographic Information Systems (GIS), and remote sensing, helping to carry out hydrological studies, making it easier to obtain, organize, and analyze data. The objective of this research was to characterize the main environmental aspects and analyze the relation among flow rate, rainfall, and the vegetation cover variables, estimated by the normalized difference vegetation index (NDVI), for the sub-basins of the Jacaré-Pepira and Jaú rivers (SP). It was also possible to check the viability to use NDVI to manage the environmental conditions of watershed. These results indicated that the average and minimum flows are the variables that showed the highest correlation with the NDVI in both areas. In the dry standard years, the correlation between the IVDN and the flow were more evident. This situation showed that greater intensities of vegetal cover intensify the infiltration and reduce the surface runoff, offering a greater availability of water for the local socio-environmental processes. The dynamics of land use in Jacaré-Pepira was less intense and characterized mainly by pasture and silviculture that do not require short crop cycles. While in Jaú the dynamics were more intense, mainly to the influence of sugarcane cultivation, which presents short crop cycles. The variables precipitation and NDVI showed spatial dependence in the Jacaré-Pepira, while in Jaú the dependence was not present. This situation evidenced that the rainfall spatial distribution demonstrated by the coefficient of variation promotes greater impacts in areas where the dynamics of land use is more intense. This situation occurs because the suppressed vegetation in the harvest, by the anthropic action, is not influenced directly by the rains, reducing the spatial dependence of these two variables. The NDVI can be considered an important indicator of the local hydrological environmental situation and subsidize the environmental management of watersheds. It is important for the management of surface water resources, showing how land use and its consequent impact on vegetation cover can influence flow rate, and interfere in the accessibility of surface water to society.

Keywords: Normalized difference vegetation index (NDVI). Overflow. Geographic Information Systems. Analise Ambiental. Environmental analysis.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Ilustração esquemática do ciclo hidrológico.....	30
Figura 2 - Os universos conceituais da representação gráfica em ambiente computacional.	57
Figura 3 - Elementos de um sistema de processamento de imagens.....	63
Figura 4 - Interação entre a radiação eletromagnética nos comprimentos de onda do Verde, vermelho (Vm) e Infravermelho Próximo (IVm).....	69
Figura 5 - Comportamento espectral da vegetação ao longo espectro eletromagnético relacionando as propriedades físicas associadas ao comportamento.	69
Figura 6 - Mapa de localização das Sub-bacias dos rios Jaú e Jacaré-Pepira, e das estações fluviométricas e pluviométricas.	78
Figura 7 - Sub-bacia do rio Jaú: Mapa Hidrográfico.....	80
Figura 8 - Sub- bacia do rio Jacaré-Pepira: Mapa Hidrográfico.....	81
Figura 9 - Sub bacia do Rio Jaú: Mapa Geológico.....	83
Figura 10 - Sub-bacia do rio Jacaré-Pepira: Mapa Geológico.....	85
Figura 11 - Sub-bacia do rio Jaú: Mapa Geomorfológico.	88
Figura 12 - Sub-bacia do rio Jacaré-Pepira: Mapa Geomorfológico.....	90
Figura 13 - Sub-bacia do rio Jaú: Mapa de Declividade.....	92
Figura 14 - Sub-bacia do rio Jacaré-Pepira: Mapa de Declividade.	94
Figura 15 - Sub-bacia do rio Jaú: Mapa Pedológico.....	97
Figura 16 - Sub-bacia do rio Jacaré-Pepira: Mapa pedológico.....	99
Figura 17 - Sub-bacia hidrográfica do rio Jaú: Mapa de Uso das terras.	101
Figura 18 - Sub-bacia hidrográfica do rio Jacaré-Pepira: Mapa de uso das terras..	103
Figura 19 - Articulação das cartas topográficas do IBGE na escala 1:50.000 em relação às áreas de estudo e adjacências.	109
Figura 20 - Fluxograma dos procedimentos metodológicos.....	118
Figura 21 - Perfis Longitudinais das sub-bacias dos rios Jacaré-Pepira e Jaú.	124
Figura 22 - Mapa da hierarquia fluvial da sub-bacia do rio Jaú.....	126
Figura 23 - Mapa da hierarquia fluvial da sub-bacia do rio Jacaré-Pepira.	127
Figura 24 - Distribuição dos valores das amostras do IVDN médio das sub-bacias dos rios Jacaré-Pepira e Jaú correspondentes ao período 1988-1998.....	131
Figura 25 - Distribuição dos valores das amostras do coeficiente de variação do IVDN das sub-bacias dos rios Jacaré-Pepira e Jaú no período 1988-1998.....	131
Figura 26 - Mapas do IVDN da sub-bacia do rio Jacaré-Pepira correspondentes ao período 1988-1998.....	132
Figura 27 - Mapas do IVDN da sub-bacia do rio Jaú correspondentes ao período 1988-1998.....	133
Figura 28 - Precipitação total das sub-bacias do Jacaré Pepira e Jaú (1988-1998).	137
Figura 29 Precipitação máxima das sub-bacias do Jacaré Pepira e Jaú(1988-1998).	138

Figura 30 - Gráfico dos dados do coeficiente de variação da precipitação das sub-bacias do Jacaré-Pepira e Jaú (1988-1998).....	138
Figura 31 - Mapas da distribuição da precipitação total nas sub-bacias dos rios Jacaré-Pepira e Jaú (1988-1998).....	142
Figura 32 - Mapas da distribuição da precipitação máxima nas sub-bacias dos rios Jacaré-Pepira e Jaú (1988-1998).....	143
Figura 33 - Gráfico do coeficiente de variação espacial da precipitação total das sub-bacias dos rios Jacaré-Pepira e Jaú.	144
Figura 34 - Gráfico do coeficiente de variação espacial da precipitação máxima das sub-bacias dos rios Jacaré-Pepira e Jaú.	145
Figura 35 - Gráfico do coeficiente de variação espacial do desvio padrão da precipitação das sub-bacias dos rios Jacaré-Pepira e Jaú.	145
Figura 36 - Gráfico do coeficiente de variação espacial da média da precipitação das sub-bacias dos rios Jacaré-Pepira e Jaú.	146
Figura 37 - Gráfico da vazão média diária das sub-bacias dos rios Jacaré-Pepira e Jaú (1988-1998).	148
Figura 38 - Gráfico da vazão máxima média diária das sub-bacias dos rios Jacaré-Pepira e Jaú (1988-1998).....	148
Figura 39 - Gráfico da vazão mínima média diária das sub-bacias dos rios Jacaré-Pepira e Jaú (1988-1998).....	149
Figura 40 - Gráfico do coeficiente de variação da vazão média diária das sub-bacias dos rios Jacaré-Pepira e Jaú (1988-1998).	150
Figura 41 - Gráfico da amplitude da vazão média diária das sub-bacias dos rios Jacaré-Pepira e Jaú (1988-1998).....	150
Figura 42 - Matriz de gráficos de dispersão das variáveis precipitação, vazão e IVDN da Sub-bacia do Jacaré-Pepira.	154
Figura 43 - Matriz de gráficos de dispersão das variáveis precipitação, vazão e IVDN da sub-bacia do Jaú.	157
Figura 44 - Coeficiente de correlação de Spearman para as variáveis empregadas no estudo nas sub-bacias dos rios Jacaré-Pepira e Jaú (1988-1998).....	158
Figura 45 - Gráfico dos valores do coeficiente de correlação de Spearman em relação aos anos padrão secos para algumas variáveis empregadas no estudo. ..	161
Figura 46 - Gráfico dos valores do coeficiente de correlação de Spearman em relação aos anos padrão chuvosos para variáveis empregadas no estudo.	163
Figura 47 - Gráfico dos valores do coeficiente de correlação de Spearman em relação aos anos padrão habituais para variáveis empregadas no estudo.	164
Figura 48 - Mapa das microbacias e/ou regiões hidrológicas da sub-bacia do rio Jacaré-Pepira segundo os agrupamentos K-mens a partir das variáveis, coeficiente de variação da precipitação e IVDN.	169
Figura 49 - Mapa das microbacias e/ou regiões hidrológicas da sub-bacia do rio Jaú segundo os agrupamentos K-mens a partir das variáveis, coeficiente de variação da precipitação e IVDN.	172

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação entre a estrutura vetorial matricial.	59
Tabela 2 - Principais características do Sensor TM do satélite LANDSAT 5.	66
Tabela 3 - Áreas ocupadas pelas unidades geológicas na sub-bacia do rio Jaú.	82
Tabela 4 - Áreas ocupadas pelas unidades geológicas na sub-bacia do rio Jacaré-Pepira.	84
Tabela 5 - Áreas ocupadas pelas unidades geomorfológicas na sub-bacia do rio Jaú.	87
Tabela 6 - Áreas ocupadas pelas unidades geomorfológicas na sub-bacia do rio Jacaré-Pepira.	89
Tabela 7 - Áreas das classes de declividade na sub-bacia do rio Jaú.	91
Tabela 8 - Áreas das classes de declividade na sub-bacia do rio Jacaré-Pepira.	93
Tabela 9 - Descrição das unidades pedológicas presentes nas sub-bacias dos rios Jacaré-Pepira e Jaú.	95
Tabela 10 - Áreas das unidades pedológicas na sub-bacia do rio Jaú.	96
Tabela 11 - Áreas das unidades pedológicas na sub-bacia do rio Jacaré-Pepira.	98
Tabela 12 - Áreas das categorias de uso das terras na sub-bacia do rio Jaú.	100
Tabela 13 - Áreas das categorias de uso das terras na sub-bacia do rio Jacaré-Pepira.	102
Tabela 14 - Área cultivada nos municípios de Brotas e Dois Córregos - SP: Safra 1995/1996.	106
Tabela 15 - Classes de relevo em função da declividade segundo proposta de Lepsch et al. (1991).	110
Tabela 16 - Imagens do Satélite LANDSAT 5 disponíveis para o período entre outubro de 1987 e setembro de 1998 selecionadas em função dos períodos secos e chuvosos e cobertura de nuvens.	113
Tabela 17 - Períodos definidos para as análises em função das datas das imagens.	116
Tabela 18 - Principais parâmetros morfométricos utilizados na caracterização geomorfológica das sub-bacias dos rios Jaú e Jacaré-Pepira.	122
Tabela 19 - Dados relativos aos canais de drenagem das respectivas ordens nas sub-bacias hidrográficas dos rios Jacaré-Pepira e Jaú.	125
Tabela 20 - Médias e os desvios-padrão da distribuição espacial dos valores do IVDN para as sub-bacias dos rios Jacaré-Pepira e Jaú.	130
Tabela 21 - Precipitações registradas pelos postos do DAEE e interpoladas para as sub-bacias dos rios Jacaré-Pepira e Jaú (1988-1998).	137
Tabela 22 - Variação espacial das precipitações registradas pelos postos do DAEE para as Sub-bacias dos rios Jacaré-Pepira e Jaú (1988-1998).	141
Tabela 23 - Vazões médias diárias do período 1988-1998 calculadas para as sub-bacias dos rios Jacaré-Pepira e Jaú.	147
Tabela 24 - Coeficiente de correlação de Spearman para as variáveis fluviométricas e pluviométricas das sub-bacias do Jacaré-Pepira e Jaú (1988-1998).	152
Tabela 25 - Coeficiente de correlação de Spearman para as variáveis empregadas no estudo envolvendo os anos padrão secos, chuvosos e habituais para as sub-bacias do Jacaré-Pepira e Jaú.	160

Tabela 26 - Valores obtidos do índice de correlação espacial (Moran) para as microbacias e/ou microrregiões hidrográficas das sub-bacias dos rios Jacaré-Pepira e Jaú.	166
Tabela 27 - Agrupamentos com base na análise fatorial K-means Clustering para as variáveis CV da precipitação e IVDN considerando as microbacias e/ou microrregiões hidrográficas da sub-bacia do rio Jacaré-Pepira.....	168
Tabela 28 - Agrupamentos com base na análise fatorial K-means Clustering para as variáveis CV da precipitação e IVDN considerando as microbacias e/ou microrregiões hidrológicas da sub-bacia do rio Jaú	171

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Amplitu. Q.	Amplitude da Vazão
ANA	Agência Nacional de Águas
APP	Área de Preservação Permanente
Area_ha	Área da microbacia / microrregião em hectares
P. Max.	Precipitação Máxima
P. Tot	Precipitação Total
CAD	Computer Aided Design
CATI	Coordenadoria de Assistência Técnica Integral
CPc	Ano Chuvoso Período Chuvoso
CPs	Ano Chuvoso Período Seco
CV	Coeficiente de Variação
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica
Dec med	Declividade média em percentual
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias
FEHIDRO	Fundo Estadual de Recurso Hídricos
GNSS	Global Navigation Satellite System
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Ic	Índice de circularidade
IDB	Inter American Development Bank
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IDW	Inverse Distance Weight
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
IVDN	Índice de Vegetação da Diferença Normalizada
IVDN Med	Média do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada
IVm	Radiação no comprimento de onda do Infravermelho próximo
Kc	Coeficiente de compacidade
LUPA	Levantamento Censitário de Unidades de Produção Agrícola do Estado de São Paulo
LVAd+LVd	Associação de Latossolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho
LVd+LVef	Associação Latossolo Vermelho distrófico, Latossolo Vermelho eutroférico e distroférico

LVef	Latossolo Vermelho eutroférico
Man	Manancial de abastecimento Público
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NPc	Ano Habitual Período Chuvoso
NPs	Ano Habitual Período Seco
NVef+LVdf	Associação de Nitossolo Vermelho eutroférico, e Latossolo Vermelho eutroférico
PDRF	Plano Diretor de Recuperação Florestal
Perc Rem	Percentual de Cobertura de Remanescentes Florestais
Perim_Km	Perímetro da microbacia / microrregião em quilômetros
PIB	Produto Interno Bruto
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
Pri	Prioridade da microbacia / microrregião estabelecida pelo PDRF
PVe+PBACal	Associação de Argissolo Vermelho-Amarelo e Argissolo Bruno-Acinzentado
Q7-10	Vazão crítica de 7 dias para 10 anos de tempo de retorno
Q90	Vazão prevista de permanência em 90% do tempo
Q95	Vazão prevista de permanência em 95% do tempo
Rb	Relação de bifurcação
Rem_Flo ha	Área dos remanescentes florestais em hectares
Rib	Relação entre o índice do comprimento médio dos canais e o índice de bifurcação
RLe	Associação de Neossolos Litólicos, Argissolo Vermelho-Amarelo e Nitossolo Vermelho eutrófico
Rlm	Relação entre o comprimento médio dos canais de cada ordem, em relação à ordem diretamente superior
RQo	Associação de Neossolo Quartzarênico e Argissolo Vermelho-Amarelo
SAA	Secretaria Estadual de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo
SEADE	Sistema Estadual de Análise de Dados
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SPc	Ano Seco Período Chuvoso

SPs	Ano Seco Período seco
TIN	Triangular Irregular Network
TM	Thematic Mapper
TRMM	Tropical Rainfall Measuring Mission
UGRHI	Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos.
USGS	United States Geological Survey
Q. Max	Vazão Máxima
Q. Med	Vazão Média
Q. Min	Vazão Mínima
Var Alt	Variação de altitude
Vm	Radiação no comprimento de onda do Vermelho

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 JUSTIFICATIVA.....	20
2 ASPECTOS HIDROLÓGICOS.....	22
2.1 ÁGUA E SOCIEDADE.....	22
2.1.1 A LEGISLAÇÃO AMBIENTAL BRASILEIRA	25
2.2 O CICLO HIDROLÓGICO	29
2.2.1 AS PRINCIPAIS ETAPAS DO CICLO HIDROLÓGICO	30
2.2.1.1 EVAPORAÇÃO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO	30
2.2.1.2 PRECIPITAÇÃO	31
2.2.1.3 INFILTRAÇÃO E ARMAZENAMENTO DA ÁGUA NO SOLO	33
2.2.1.4 VEGETAÇÃO E INTERCEPTAÇÃO	34
2.2.1.5.1 REGIME DE VAZÃO.....	38
2.3 BACIAS HIDROGRÁFICAS	40
2.3.1 CLIMA	44
2.3.2 GEOMORFOLOGIA FLUVIAL	45
2.3.3 GEOLOGIA E PEDOLOGIA	48
2.3.4 USO DAS TERRAS E COBERTURA VEGETAL	50
3 AS GEOTECNOLOGIAS APLICADAS A ESTUDOS AMBIENTAIS	53
3.1 A CIÊNCIA DA INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA OU GEOPROCESSAMENTO	53
3.1.1 SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA	55
3.1.2 ESTRUTURA DOS DADOS EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA	56
3.2 SENSORIAMENTO REMOTO E PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS	61
3.2.1 SENSORES REMOTOS	64
3.2.2 ESTIMATIVA DA COBERTURA VEGETAL E ÍNDICES DE VEGETAÇÃO	66
3.3 GEOPROCESSAMENTO E ANÁLISE AMBIENTAL	71
4 CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO.....	77
4.1 CLIMA	77
4.2 HIDROGRAFIA	79
4.3 GEOLOGIA	82
4.4 GEOMORFOLOGIA	87
4.5 SOLOS	95
4.6 USO DAS TERRAS	100
4.7 ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS	104
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	107
5.1 ELABORAÇÃO DA BASE CARTOGRÁFICA E ANÁLISE MORFOMÉTRICA	108
5.2 DEFINIÇÃO DOS PERÍODOS ANALISADOS	111
5.3 OBTENÇÃO E PROCESSAMENTO DAS IMAGENS LANDSAT 5	112
5.4 ANÁLISE DOS DADOS FLUVIOMÉTRICOS E PLUVIOMÉTRICOS	114
5.5 ANÁLISE DAS RELAÇÕES ENTRE PRECIPITAÇÃO, VAZÃO E IVDN.....	117
6 CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA.....	122
7 ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE ÍNDICE DE VEGETAÇÃO, PLUVIOSIDADE E VAZÃO	129

7.1 ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA COBERTURA VEGETAL ESTIMADA PELO IVDN	129
7.2 ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DAS PRECIPITAÇÕES	136
7.3 ANÁLISE DAS VAZÕES	146
7.4 ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE PRECIPITAÇÃO, VAZÃO E IVDN.....	151
7.5 ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE PRECIPITAÇÃO, VAZÃO E IVDN EM FUNÇÃO DOS ANOS PADRÃO SECOS, ÚMIDOS E HABITUAIS.	160
7.6 ANÁLISE ESPACIAL ENTRE A PRECIPITAÇÃO E A COBERTURA VEGETAL (IVDN).	165
8 CONCLUSÃO	174
REFERÊNCIAS.....	177

1 INTRODUÇÃO

Na perspectiva geográfica, o desenvolvimento das sociedades humanas pode ser compreendido como a progressiva apropriação da superfície terrestre pelos diferentes grupos sociais que constroem os espaços. Nesse contexto, as ocupações territoriais humanas sempre estiveram e continuam associadas à existência e à disponibilidade da água (MORAES, 2005).

Segundo Tundisi (2005), água é um elemento essencial à sobrevivência de todas as formas de vida existentes, constituindo também um elemento fundamental para garantir o desenvolvimento cultural e econômico dos povos. Este recurso constitui um bem público que está relacionado à qualidade de vida das pessoas. A disponibilidade de água de superfície está intimamente vinculada aos rios, que são as principais fontes de abastecimento público de águas.

Neste sentido a gestão adequada dos recursos hídricos passa a desempenhar papel fundamental na garantia da manutenção das condições necessárias a sustentabilidade do desenvolvimento econômico e social, já que sua demanda vem aumentando substancialmente ao longo do processo de desenvolvimento das sociedades humanas (TUNDISI, 2008).

Segundo Pereira Júnior (2004), a gestão dos recursos hídricos tem o objetivo de garantir disponibilidade de água para a atual e futuras gerações. Os problemas existentes, relacionados a essa disponibilidade, evidenciam a inabilidade dos procedimentos de gestão adotados até o momento. Isto ocorre porque a disponibilidade está embasada na capacidade de manutenção da vazão de um curso d'água, definida pela dinâmica ambiental e hidrológica.

Neste contexto, o regime pluviométrico ao qual está submetida uma bacia hidrográfica, associado à cobertura vegetal existente, a capacidade de infiltração dos solos e rochas e as formas de relevo, influenciam intrinsecamente na capacidade de armazenagem de água no subsolo. A compreensão da dinâmica hidrológica da bacia, relacionada à manutenção da disponibilidade de água é de fundamental importância, sendo a cobertura vegetal uma das principais variáveis a ser considerada nesta dinâmica (SILVEIRA; LOUZADA; BELTRAME, 2000).

A cobertura vegetal é fundamental para o armazenamento da água no subsolo, pois é responsável por garantir a infiltração no subsolo da água precipitada, criando uma camada protetora, que controla a evaporação da água e o escoamento superficial (BARRETO; RIBEIRO; BORBA., 2010). A vegetação atua como um filtro que retém impurezas presentes na água (fertilizantes, pesticidas e herbicidas) tornando os cursos d'água menos contaminados por estes agentes, e este recurso mais adequado ao uso humano. Neste sentido é fundamental a realização do monitoramento da vegetação com o intuito de garantir a manutenção da função ambiental e hidrológica realizada pela vegetação (BARBOSA, 2000).

Para efetuar esse monitoramento, uma das alternativas é o uso do sensoriamento remoto que possibilita a obtenção de um panorama da situação da cobertura vegetal em uma bacia hidrográfica. Uma das técnicas utilizadas para analisar as características da cobertura vegetal é o índice de vegetação, que é obtido por meio da razão entre as bandas espectrais do infravermelho e do vermelho. Os índices de vegetação correspondem a medidas adimensionais, que indicam a presença quantitativa associada à atividade biológica da vegetação verde (JENSEN, 2009).

A condição da vegetação, evidenciada pelo índice de vegetação, reflete a dinâmica de uso das terras, e quando associada às características morfométricas das bacias hidrográficas, consistem numa eficiente maneira de constatar impactos ambientais das atividades humanas. Portanto, ao analisar a cobertura vegetal considerando a importância do papel da vegetação no ciclo hidrológico por meio de técnicas de Sensoriamento Remoto (SR), a bacia hidrográfica deve ser utilizada como unidade geográfica. (MACHADO; TORRES, 2012).

A bacia hidrográfica é a unidade espacial adequada aos estudos hidrológicos, pois constitui uma região que funciona como um sistema aberto, no qual ocorre a entrada com a precipitação e a saída pela vazão (TUCCI; MENDES, 2006). É a unidade de área adequada à realização de pesquisas relacionadas ao balanço hidrológico (NEWSON, 1994). Também representa a unidade espacial essencial para efetivação do gerenciamento dos recursos hídricos, principalmente os superficiais (GALVÃO; MENESES, 2005).

Adotando-se a bacia hidrográfica como unidade espacial de estudo, é necessário verificar a interação entre a cobertura vegetal, a entrada e a saída de água, que ocorrem dentro do sistema hidrológico. A vegetação tem importante papel na regulação dos demais elementos relacionados à dinâmica interna desse sistema, pois garante seu equilíbrio dinâmico. Esta importância se confirma na verificação da dependência das atividades humanas em relação a este recurso natural (SCHUSSEL; NASCIMENTO NETO, 2015).

Segundo Christofolletti (1992), a representação de fenômenos na superfície terrestre constitui um aspecto essencial dos estudos geográficos. Sendo assim a informação hidrológica, estudada no contexto de uma bacia hidrográfica, apresenta características espaciais relacionadas tanto com a superfície terrestre quanto com as propriedades dos elementos que compõem o ambiente local. As geotecnologias são apropriadas para lidar com estas informações, incluindo os sistemas de posicionamento global por satélite - GNSS, o sensoriamento remoto e os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), (ROSA, 2005).

Como subsídio à implementação destas tecnologias, existe um conjunto de teorias e conceitos, originados principalmente da ciência geográfica e das ciências da computação, permeados por diversas áreas do conhecimento científico. Este corpo de conhecimento é definido como “Ciência de Informação Geográfica” ou geoprocessamento (GOODCHILD, 2009). Dessa forma, pelo fato de a informação geográfica ser complexa e unir aspectos relacionados tanto à localização de áreas da superfície terrestre quanto a atributos quantitativos e qualitativos, a utilização das geotecnologias com ênfase no geoprocessamento constitui em uma ferramenta adequada à análise proposta (LONGLEY et al., 2013).

Especificamente no contexto ambiental, o geoprocessamento é apontado como uma ferramenta ágil e eficaz para auxiliar na interpretação das características ambientais, oferecendo recursos tecnológicos eficientes para a realização de análises ambientais (SOUZA; COSTA; CARVALHO, 2011). As técnicas de sensoriamento remoto e os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) constituem ferramentas muito úteis, para monitorar a dinâmica ambiental das bacias hidrográficas (MENDONÇA, 1999). Essas tecnologias ligadas ao geoprocessamento e sensoriamento remoto, propiciam um melhor conhecimento do espaço e da sociedade, pois fornecem

subsídios à pesquisa científica e à tomada de decisão (SANTOS; SOUZA; SILVA NETO, 2011).

Diante do exposto esta pesquisa apresenta inicialmente uma revisão bibliográfica que contempla os aspectos hidrológicos e as demandas sociais ligadas aos recursos hídricos. No segundo capítulo são apresentados os aspectos teóricos relacionados à água, ressaltando a sua importância diante do contexto social e econômico, abordando a disponibilidade e a necessidade desse recurso para a natureza e a para a sociedade. Também foram apresentadas as características principais da legislação ambiental brasileira relacionada aos recursos hídricos. Na sequência foi detalhado o papel do ciclo hidrológico no contexto da disponibilidade de recursos hídricos, apresentando os diferentes aspectos envolvidos. Posteriormente, foi feita uma descrição dos principais elementos de análise hidrológica, tendo como referencial espacial a bacia hidrográfica.

No terceiro capítulo foram conceituadas as geotecnologias, em função da área do conhecimento. Detalhou-se também as principais ferramentas que possibilitaram a realização deste trabalho, envolvendo SIG, sensoriamento remoto e o processamento digital de imagens. Para encerrar este capítulo, foram apresentadas as principais aplicações destas geotecnologias como ferramentas de análise ambiental, com enfoque principal nas análises hidrológica de bacias hidrográficas.

Foi também efetuada a caracterização da área de estudo. Esta etapa contemplou uma descrição detalhada dos principais aspectos ambientais relacionados a questões hidrológicas como Hidrografia, Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Uso das terras, contemplando ainda os aspectos socioeconômicos. Na sequência foi apresentada a caracterização geomorfológica enfatizando os parâmetros morfométricos.

No capítulo procedimentos metodológicos, foram descritas as fontes de dados utilizados nas análises propostas neste trabalho, bem como uma descrição detalhada dos principais métodos empregados na elaboração da base cartográfica e das análises morfométricas realizadas. Também foi descrita a metodologia empregada na definição dos períodos analisados dentro da série histórica de dados disponíveis e a obtenção e processamento das imagens orbitais para gerar os mapas de índice de vegetação da diferença normalizada (IVDN), que indicam a densidade da cobertura

vegetal. Após uma análise preliminar dos dados fluviométricos e pluviométricos também foram descritos os procedimentos metodológicos referentes à análise da relação entre a cobertura vegetal estimada pelo IVDN e os dados pluviométricos e fluviométricos.

O capítulo 6 contempla a análise da morfometria das áreas de estudo buscando avaliar seu impacto na dinâmica espaço temporal fluvial, evidenciada pelo comportamento das vazões observado nas sub-bacias dos rios Jacaré Pepira e Jaú

No capítulo 7, foi apresentada a análise da relação entre o índice de vegetação, pluviosidade e vazão. Nesta etapa, primeiramente foi apresentada uma análise do contexto do uso das terras agrícola regional e os possíveis impactos dessas atividades na distribuição espaço-temporal da cobertura vegetal estimada pelo IVDN. Em seguida, foi exposta uma avaliação das principais características das precipitações e do comportamento das vazões ao longo do período estudado para as duas áreas de estudo. Estas avaliações preliminares subsidiaram a verificação da correlação existente entre a precipitação, vazão e cobertura vegetal estimada pelo IVDN.

Por fim, neste mesmo capítulo foi efetuada a análise das relações entre a precipitação, a vazão e a cobertura vegetal estimada pelo IVDN, considerando-se os anos padrão secos, habituais e chuvosos. Incluiu-se também uma análise espacial das relações entre o coeficiente de variação da precipitação e a cobertura vegetal estimada pelo IVDN. As unidades espaciais empregadas nessas análises foram as microbacias ou microrregiões hidrográficas, definidas no “Plano Diretor de Recomposição Florestal” da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos Tietê – Jacaré (INSTITUTO PRÓ-TERRA, 2013).

O objetivo desta pesquisa foi avaliar o papel da cobertura vegetal estimada pelo IVDN na intermediação da relação entre a precipitação pluviométrica e a vazão dos rios. A fim de alcançar tal objetivo, o presente estudo pautou-se no arcabouço teórico-metodológico da Teoria Geral dos Sistemas, considerando a Bacia Hidrográfica como um sistema aberto como apontam Chorley (1971) e Christofolletti (1999).

A hipótese desta tese foi que a densidade da cobertura vegetal estimada pelo IVDN é um indicador da interferência da vegetação nos processos hidrológicos de

escoamento e infiltração. A densidade da cobertura vegetal promove a regulação do sistema bacia hidrográfica, garantindo maiores vazões, mesmo em períodos pouco chuvosos. Dessa forma o IVDN representa um importante subsídio para a gestão de bacias hidrográficas, permitindo sua associação à disponibilidade de recursos hídricos superficiais.

1.1 Justificativa

Em função da importância dos recursos hídricos superficiais para a sociedade, conforme destacado por Moraes (2005), Tundisi (2005) e Pereira Junior (2004), a disponibilidade e a gestão adequada destes recursos podem colaborar na construção de uma sociedade econômica e ambientalmente mais sustentável.

Dessa forma, a avaliação dos elementos do ciclo hidrológico é fundamental, uma vez que este ciclo constitui a base da compreensão da disponibilidade dos recursos hídricos (GARCEZ; ALVAREZ, 1988). A verificação das relações entre estes elementos é importante para subsidiar a gestão ambiental visando garantir a disponibilidade de água para o funcionamento dos processos ambientais e das atividades humanas. Nesse sentido, o regime pluviométrico ao qual está submetida uma região constitui um importante componente (SILVEIRA LOUZADA; BELTRAME, 2000).

Os regimes pluviométricos e fluviométricos estão diretamente relacionados a unidade espacial considerada nas análises. A observação do comportamento dessas variáveis, no contexto do ciclo hidrológico, deve ser realizada dentro de uma unidade espacial que viabilize e contemple as características hidrológicas necessárias a este tipo de estudo. Neste sentido, as bacias hidrográficas, segundo Galvão e Meneses (2005) e Newson (1994), representam a unidade espacial adequada às análises que contemplem a dinâmica do ciclo hidrológico.

Os parâmetros morfométricos no contexto das bacias hidrográficas são importantes na verificação da dinâmica do escoamento superficial (MACHADO; TORRES, 2012; COLLISCHONN; TASSI, 2008; CHRISTOFOLETTI, 1980, 1999; VILLELA; MATTOS, 1975).

No entanto, além da morfometria de bacias, é importante avaliar os componentes do ciclo hidrológico, que são de fundamental importância para a

compreensão da dinâmica hidrológica interna de uma bacia hidrográfica. Uma das mais relevantes é a cobertura vegetal, que desempenha um importante papel, relacionado à dinâmica da infiltração e escoamento superficial (AB'SABER, 2000; LIMA; ZAKIA, 2000; BARBOSA, 2000).

Uma maneira eficiente de avaliar a cobertura vegetal da bacia hidrográfica consiste na utilização de técnicas de sensoriamento remoto, que associadas aos SIG, permitem uma rápida avaliação quantitativa da vegetação (GOODCHILD, 2009; JENSEN, 2009; MENDONÇA, 1999; SANTOS et al., 2011). Neste contexto, os índices de vegetação, destacando-se o IVDN, são amplamente utilizados como um indicador da cobertura vegetal (CAMPBELL, 1996; EPIPHANIO et al., 1996; PONZONI, 2001;).

Para a sub-bacia do rio Jaú, a importância deste estudo está nos reflexos da problemática no abastecimento público da cidade de Jahu. Esta situação é evidenciada no Plano Municipal de Saneamento Básico de Jahu (JAHU, 2012). Neste documento, é destacado que mais de 60% do fornecimento de água para o abastecimento urbano é proveniente de captações superficiais provenientes desta bacia.

Em relação à sub-bacia do rio Jacaré-Pepira, apesar das demandas para abastecimento urbano público de água serem menos relevantes que na sub-bacia do rio Jaú, os aspectos relacionados ao turismo são diretamente dependentes dos recursos hídricos superficiais. Muitas atividades de turismo de aventura estão ligadas a existências de cachoeiras e corredeiras situadas no rio Jacaré-Pepira e seus afluentes. Esta situação reforça a importância dos recursos hídricos para a economia do município de Brotas (RIBEIRO, 2012).

Diante das constatações apresentadas, fica evidente a importância deste estudo, que propõe a avaliação da dinâmica hidrológica nas sub-bacias hidrográficas dos rios Jaú e Jacaré-Pepira. Esta pesquisa melhorou a compreensão da influência da cobertura vegetal intermediando os processos de entrada (precipitação) e saída (vazão) no contexto do sistema hidrológico bacia hidrográfica. Estas apreciações oferecem subsídios importantes para a realização de análises espaciais, amparadas no emprego do IVDN, como ferramenta de gestão ambiental para a garantia da disponibilidade hídrica e a manutenção das atividades humanas locais.

2 ASPECTOS HIDROLÓGICOS

Este capítulo apresenta a conceituação teórica relacionada aos aspectos hidrológicos e as demandas sociais ligadas aos recursos hídricos. Em um primeiro momento, foi descrita a importância da água diante do contexto social e econômico abordando a disponibilidade e a necessidade desse recurso. Posteriormente, foram apresentadas as características principais da legislação ambiental brasileira relacionada aos recursos hídricos. Também foi destacado o papel do ciclo hidrológico no contexto da disponibilidade de recursos, apresentando-se os diferentes aspectos envolvidos neste ciclo, detalhando-se sua importância relativa. Ainda foi efetuada uma descrição dos elementos de análise empregados nos estudos relacionados ao ciclo hidrológico, tendo como referência espacial a bacia hidrográfica.

2.1 Água e sociedade

A água pode ser considerada a base da vida e a matriz da cultura, pois possui papel fundamental no bem-estar material e cultural das sociedades. Atualmente este importante recurso encontra-se ameaçado, devido à intensa interferência humana nos processos hidrológicos. O histórico de supressão da cobertura vegetal pode ser considerado um importante aspecto que influencia nesta situação, como apontam Silveira, Louzada e Beltrame (2000). Apesar de dois terços da superfície do planeta estarem recobertos pela água, a falta de disponibilidade deste recurso pode ser observada na crise mundial da água, que representa a mais rigorosa e velada devastação ambiental de nosso planeta (VANDANA, 2006).

O planeta Terra abriga sistemas complexos de organização biológica e a água é fundamental para a existência dessa comunidade biológica. É um elemento essencial e insubstituível que garante a sobrevivência dos organismos. Garante a sustentabilidade dos sistemas ecológicos, e ainda viabiliza o funcionamento dos sistemas de produção e subsistência da sociedade (TELLES, 2013), sendo fundamental para o funcionamento do metabolismo humano, garantindo conforto e higiene (CONFALONIERI; HELLER; AZEVEDO, 2010).

Tundisi (2005) afirma que existe uma evidente relação entre a disponibilidade de água e o desenvolvimento da sociedade humana. Essa situação provocou, ao

longo da história, o uso indiscriminado dos corpos d'água promovendo a sua deterioração. Sua utilização como recurso econômico, associada à ausência de planejamento, frente ao crescimento populacional, afetou a disponibilidade e qualidade das águas superficiais e subterrâneas. Isso ocorreu principalmente em função do desperdício e da poluição dos recursos disponíveis, associados à redução da infiltração decorrente das intervenções antrópicas na cobertura vegetal. Sendo assim, a água é constantemente alvo de conflitos por todo o mundo, representando um fator restritivo ao desenvolvimento socioeconômico de algumas regiões.

Isto ocorre principalmente porque a água é distribuída de maneira desigual pelo planeta, sendo encontrada em diferentes proporções e em diferentes estados físicos. No estado líquido é encontrada nos lagos, rios, oceanos e aquíferos. No estado sólido encontra-se sob a forma de gelo ou neve e no estado gasoso como vapor d'água presente na atmosfera (COELHO NETO, 2008)

Segundo Rebouças (2002), estima-se que o volume de água total disponível no planeta corresponde a aproximadamente 1,39 bilhões de Km³. Nos mares e oceanos encontram-se 97,5% desse total, sob a forma de água salgada. Dos 2,5% restantes, 68,9% estão confinados nas geleiras e calotas polares. Apenas 0,78% da água existente em nosso planeta está à disposição para as atividades humanas. Muitas vezes está armazenada em grandes profundidades ou mesmo presente na atmosfera, sob a forma de vapor d'água. Grande parte desse volume restante encontra-se sujeita a algum nível de comprometimento, devido à poluição ocasionada pelas atividades humanas. Outro importante aspecto que agrava a situação de escassez hídrica é o desperdício desse importante recurso que no Brasil fica em torno de 35%, enquanto em países desenvolvidos não ultrapassa 20%.

Na América Latina e Caribe o volume da precipitação regional corresponde a aproximadamente 1.500 mm/ano, o que representa uma pluviosidade superior em 50% à média mundial. O escoamento superficial médio anual fica em torno de 13.120 km³, o que representa 30,8% do volume escoado no planeta. Dois terços do volume escoado nesta região do mundo estão limitados às bacias hidrográficas dos rios Orinoco, Amazonas e rio da Prata. Nesta região vivem em torno de 8,4 % da população mundial e os principais usos das águas verificados são: irrigação de terras agrícolas, abastecimento de água em ambientes urbano e rural, saneamento que

abrange o transporte e diluição de esgotos, e ainda a geração de energia hidroelétrica (*INTER AMERICAN DEVELOPMENT BANK – IDB, 1998*).

O Brasil possui 13,7% de toda a água doce disponível em rios do planeta. A distribuição dessa água é muito irregular. Do volume total disponível, 68% estão na região Norte do país, que concentra apenas 8% da população total. A região Centro-Oeste apresenta considerável quantidade de água disponível (16%), sendo a porcentagem de habitantes em relação ao território nacional de apenas 7%. O planeta pode enfrentar um quadro de escassez hídrica nos próximos 20 anos, podendo atingir até 60% da população mundial (BARRETO; RIBEIRO; BORBA et al., 2010).

Esta situação de escassez está principalmente relacionada a problemas que afetam os mananciais e nascentes, que são responsáveis pela disponibilidade de recursos hídricos superficiais. Entre os principais problemas apontados estão: o rebaixamento do nível dos lençóis freáticos, poluição dos corpos d'água, crescimento desordenado das cidades e desmatamento de margens e nascentes. Em virtude dos problemas apontados é de extrema importância que ocorra a elaboração de programas de proteção aos recursos hídricos, visando garantir a disponibilidade de água para nossa própria geração (REBOUÇAS, 2002).

Principalmente a partir da revolução industrial, as águas superficiais e subterrâneas passaram a sofrer um processo de intensa poluição e degradação. Isso ocorreu, sobretudo, devido à intensa ocupação de áreas cada vez maiores para a produção de alimentos e urbanização, aumentando muito o consumo de água para irrigação de áreas agrícolas e para o abastecimento público (TUNDISI, 2005).

Desta forma o crescimento da demanda pela água diminuiu a disponibilidade per capita desse recurso, ocasionando intensos conflitos pelo uso da água, agravados em decorrência do comprometimento da qualidade dos recursos hídricos, o que muitas vezes inviabiliza o seu uso para o consumo, produção ou lazer (FOLEGATTI et al., 2010).

Assim, cerca de um terço da população do planeta vive em países que sofrem estresse hídrico, portanto, não tem acesso aos recursos hídricos de boa qualidade. A alarmante perspectiva do impacto das mudanças climáticas pode levar dois terços da população mundial a conviver com este problema até 2025 (ARNELL, 2004).

Neste sentido o século XX representa um marco em relação ao uso intensivo dos recursos naturais, especialmente da água. Estima-se que nesse século tenha ocorrido um aumento de cerca de 700% na extração deste recurso para satisfazer às demandas do crescimento populacional (PADILLA, 2013).

A promoção do uso racional dos recursos naturais necessita de legislação que regulamente o seu uso em seus diversos aspectos. Vandana (2006) comenta que, na maior parte das comunidades nativas o controle e os direitos coletivos sobre a água, constituem a principal ferramenta para a conservação deste recurso. Ressalta que a criação de regras e limites para o uso da água garante a sustentabilidade e a equidade por meio do controle coletivo.

Com o advento da globalização, o controle comunitário dos recursos hídricos vem sendo corroído pela exploração privada, motivada por interesses econômicos. Dessa forma, a política relacionada a aspectos hidrológicos está sempre presente nas abordagens adotadas pelos consultores e gestores, que são pressionados por grupos de ambientalistas e pelos grupos políticos e econômicos (WILBY, 1996).

Manca (2015) afirma que seria importante a definição de ações que possam ser mensuradas e valoradas de acordo com a responsabilidade do gestor, mas que apesar disto, a oferta de recursos hídricos é ainda diretamente dependente de fatores não controláveis como os fatores climáticos.

2.1.1 A legislação ambiental brasileira

A legislação ambiental brasileira, amparada na Constituição Federal de 1988 (BRASIL, 1988), busca estabelecer um marco regulatório sobre o direito de propriedade e o direito coletivo em relação ao acesso aos recursos naturais. Visa à garantia do benefício coletivo em detrimento do benefício individual.

Nesta linha de raciocínio, Attanásio Junior (2015) comenta que a Constituição Federal de 1988 possui no seu art. 225 um capítulo que se refere especificamente à questão da proteção do meio ambiente, sendo este considerado um direito humano fundamental. A segurança dos direitos individuais e coletivos, incluindo a qualidade de vida, está diretamente conectada à manutenção de um meio ambiente equilibrado.

Desta forma, a Constituição esclarece que todo cidadão tem direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado. O meio ambiente é um bem de uso comum, essencial à garantia da qualidade de vida. A Constituição confere, ao Poder Público e à sociedade, o dever de proteger e conservá-lo para a presente e as futuras gerações. A manutenção do meio ambiente não constitui simplesmente um direito, mas se materializa no dever coletivo de preservar (ATTANÁSIO JUNIOR, 2015).

Sendo o meio ambiente um bem que não possui proprietário, qualquer indivíduo pode utilizá-lo sem formalidades, cabendo aos gestores apenas a regulamentação de seu uso. Cánepa, Pereira e Lanna (2010), mencionam que a Constituição Federal de 1988 confirmou a tendência de tornar pública a propriedade das águas, estabelecendo-a como estatal. Nos artigos 20, parágrafo I e 26, parágrafo III, as águas são definidas como bens da União ou das Unidades Federadas.

Em função da Constituição Federal de 1988 (BRASIL, 1988), vários estados brasileiros estabeleceram em suas Constituições Estaduais, legislação relativa à gestão das águas no âmbito de seu território, incorporando em suas políticas de gestão a cobrança pelo uso dos recursos hídricos.

No Estado de São Paulo e no Rio Grande do Sul, as Leis 7.763/1991 (SÃO PAULO, 1991) e 10.350/1994 (RIO GRANDE DO SUL, 1994), respectivamente, são exemplos desses avanços. Estas normativas estaduais serviram de exemplo para a formulação da Lei 9.433, que amparou e regulamentou a cobrança pelo uso da água, tornando-se assim um importante instrumento de gestão dos recursos hídricos.

A Lei Federal 9.433/1997 (BRASIL, 1997) apresenta como um dos seus principais instrumentos a outorga de direito de uso. Este instrumento é apresentado no inciso III do artigo 5º, o objetivo dele é exercer o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água, garantindo o direito de acesso aos recursos hídricos. O inciso IV do artigo 4º da mesma lei define a competência da outorga, no âmbito federal, à Agência Nacional das Águas (ANA).

A Lei Federal 9.984/2000 (BRASIL, 2000), que instituiu a ANA, representa um complemento essencial à Lei 9.433/1997 (BRASIL, 1997). O sistema proposto para o Brasil, por meio dessa legislação, orienta para o caminho da implantação de uma política custo-efetivo, inspirada na experiência alemã das Companhias de Águas, do início do século XX, e no sistema francês de comitês/agências de bacia. O exemplo

francês é baseado num modelo descentralizado e participativo, que ocorre por meio da criação de comitês de bacias hidrográficas, conhecidos como “parlamentos das águas”, encarregados de promover a gestão das águas nas respectivas bacias, com o suporte técnico de agências de bacia (CÁNEPA; PEREIRA; LANNA, 2010).

A legislação brasileira amparada na lei 9.433/1997 (BRASIL, 1997) define a Bacia Hidrográfica como uma “unidade territorial” para a operacionalização da Política Nacional de Recursos Hídricos e para a atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. A gestão pode ser realizada por meio de informações originadas de cartas topográficas, fotos aéreas e imagens de satélites (GALVÃO; MENESES, 2005; OLIVEIRA et al., 2009).

Ainda, em relação à legislação brasileira relacionada aos recursos hídricos, Porto e Porto (2008) afirmam que somente com a plena aplicação dos instrumentos de gestão criados pela legislação será possível avaliar o grau de eficácia do sistema proposto. Os instrumentos, “Plano de Recursos Hídricos” e “Enquadramento de Recursos Hídricos”, visam à construção de consensos na bacia hidrográfica, e a “Cobrança pelo Uso de Recursos Hídricos”, orienta os agentes a valorizarem os bens e serviços ambientais, de acordo com sua oferta e/ou escassez. Neste sentido, a construção de um Sistema de Informação representa a base essencial para a correta aplicação de todos os demais instrumentos de gestão, pois a decisão a ser tomada seria mais bem qualificada.

Em complemento à Legislação relacionada aos recursos hídricos a atual Legislação Florestal Brasileira, Lei nº 12.651/12 (BRASIL (2012) em seu Artigo, 3º, inciso II, define que as Áreas de Preservação Permanente (APP) são áreas protegidas, cobertas ou não de vegetação nativa, possuindo função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas. Nessas áreas, criadas para proteger o ambiente natural, não é permitida supressão rasa ou desmatamento total (ATTANÁSIO JUNIOR, 2015).

Segundo Azevedo (2008), a estratégia governamental brasileira para a conservação dos ecossistemas, em propriedades privadas, se fundamenta na adoção de medidas de comando e controle estabelecidas pelo Código Florestal, que regulamenta as Áreas de Preservação Permanente (APP) e Reservas Legais.

As APP relacionadas às margens de corpos hídricos possuem embasamento na vegetação ciliar, que pode ser compreendida como matas ripárias ou ciliares que estão diretamente ligadas aos cursos d'água. A existência de florestas sob a forma de áreas preservadas implica em um melhor uso da terra, redução da erosão e da carga de sedimentos que chega ao corpo hídrico, melhorando a qualidade da água (LIMA; ZAKIA, 2000).

A existência de Áreas de Preservação Permanente (APP) é obrigatória e prevista na Lei nº 12.651/12 (BRASIL, 2012), porém existem exceções em áreas submetidas a condições específicas; através do julgamento de órgãos competentes destinados a tal função, é possível haver adaptações conforme as condições apresentadas, levando em consideração os meios ambientais e econômicos de cada caso.

As áreas de reserva legal são áreas protegidas e de caráter obrigatório em propriedades rurais, devendo ser delimitadas de acordo com os termos do artigo 12º da Lei Florestal (BRASIL, 2012). O artigo 3º da mesma lei define, como função da Reserva Legal, assegurar o uso econômico sustentável dos imóveis rurais, garantir a conservação e reabilitação de processos ecológicos e da biodiversidade, e servir de abrigo para fauna silvestre e flora nativa.

Assim como ocorre com as APP, a realidade é discordante do que é exigido legalmente, uma vez que o diagnóstico de propriedades brasileiras demonstra que raramente as propriedades rurais possuem Reservas Legais, sendo mais difícil ainda as encontrar averbadas em um registro de imóveis (CAMPOS; DÉSTRO, 2010). A manutenção das APP, em conjunto com as áreas destinadas à reserva legal torna-se extremamente importante, possibilitando a manutenção das condições fundamentais para garantir a qualidade, proteção e, conseqüentemente, a existência dos recursos hídricos, além da manutenção do equilíbrio do ecossistema, como aponta Azevedo (2008).

Com base no referencial teórico consultado, foi possível constatar que existem muitos desafios para garantir a proteção dos recursos naturais, face ao progresso e desenvolvimento econômico das sociedades. O desenvolvimento econômico (agrícola, industrial e urbano) deve ser planejado em conjunto com as ações de

proteção dos recursos hídricos, uma vez que a água é elemento indispensável em quase todos os processos produtivos.

Desta forma o monitoramento do uso das terras expresso na cobertura vegetal em bacias hidrográficas, que atua como um fator de proteção, em conjunto com a avaliação da disponibilidade dos recursos hídricos, podem representar uma importante ferramenta para subsidiar o planejamento e a correta gestão dos recursos disponíveis.

2.2 O ciclo hidrológico

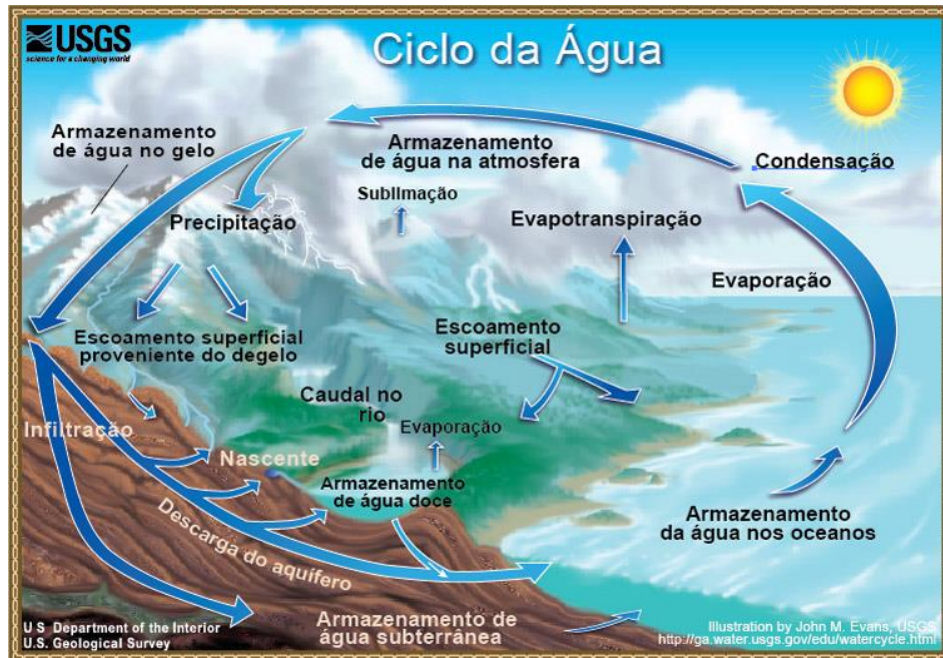
Movimentos e mudanças de estado da água existente no planeta se processam dentro do ciclo hidrológico. Este ciclo corresponde ao caminho que a água percorre desde a evaporação das águas nos oceanos, precipitando nos continentes e retornando aos mares. Ao evaporar a água do mar deixa o sal, e assim a água doce é renovada (BAIRD 1996; COELHO NETO, 2008).

Lima (2008) afirma que da parcela total de água que precipita numa determinada localidade, parte é interceptada pela vegetação, parte infiltra no solo, podendo ser absorvida pelas plantas e parte escoar pela superfície dos terrenos até os corpos d'água. A alimentação do escoamento fluvial se processa por meio das águas subterrâneas e das águas superficiais, incluindo o escoamento pluvial e a parcela de água que chega aos rios através dos processos de infiltração da água no solo e posterior escoamento sub superficial (CHRISTOFOLETTI, 1980).

O *United States Geological Survey* - USGS (2016) apresenta uma detalhada descrição sobre ciclo hidrológico, ilustrada pela figura 1. Observando a figura é possível notar todos os elementos e processos envolvidos neste ciclo, inclusive etapas associadas exclusivamente a climas frios e temperados não característicos do Brasil.

O ciclo hidrológico é um fenômeno global, relacionado à circulação da água que ocorre entre a superfície terrestre e a atmosfera, incitado principalmente pela radiação solar, pela gravidade e pelo movimento de rotação do planeta. A Circulação da água na superfície terrestre compreende os continentes (rochas e solos) e os oceanos, sendo assim a circulação da água ocorre nos continentes, no interior e na superfície dos solos e rochas, nos oceanos, incluindo também nos seres vivos (SILVEIRA; LOUZADA; BELTRAME, 2000).

Figura 1 - Ilustração esquemática do ciclo hidrológico.



Fonte: USGS (2016).

A quantidade de água disponível num ecossistema particular é fundamental para garantir a manutenção das funções ecológicas deste ambiente. Este volume de água também é essencial para garantir a sustentabilidade das atividades humanas, sendo diretamente dependente do clima, da fisiografia, da vegetação e da geologia da região (VANDANA, 2006). Assim, as precipitações que representam uma importante etapa do ciclo hidrológico, são fundamentais para o desenvolvimento dos processos ecológicos, fornecendo água ao ecossistema, sendo também responsável pela recarga dos aquíferos e dos lençóis freáticos (BEDIENT; HUBER, 1988).

2.2.1 As principais etapas do ciclo hidrológico

2.2.1.1 Evaporação e evapotranspiração

Os processos de evaporação e evapotranspiração consistem na conversão da água líquida em vapor d'água, promovendo a transferência desta para a atmosfera. São naturalmente relacionados ao ingresso de energia no sistema bacia hidrográfica proveniente do sol ou da atmosfera (TUCCI; BELTRAME, 2000).

Desta forma, Peters et al. (1994) afirmam que o conhecimento sobre a perda de água de uma superfície natural é muito importante para diferentes campos do conhecimento científico especialmente nas aplicações ligadas à meteorologia e à hidrologia, relacionadas às diversas atividades humanas. O estudo da evapotranspiração também é de grande relevância no monitoramento de plantações e estudos relacionados a demandas hídricas de consumo locais e regionais (RIVAS; CARMONA, 2013).

A evaporação potencial corresponde à perda de água para a superfície atmosférica, a partir de uma superfície líquida ou sólida saturada, exposta às condições naturais do ambiente. A transpiração corresponde à perda de água para a atmosfera sob a forma de vapor d'água resultante das ações físicas e fisiológicas dos vegetais, sendo a evapotranspiração, portanto, o conjunto da evaporação associada à transpiração (VILLELA; MATOS, 1975). Bertoni (2000) ressalta que a umidade atmosférica é um elemento essencial do ciclo hidrológico por ser a fonte de todas as precipitações, sendo controlada pelas taxas de evapotranspiração.

Neste sentido, Collischonn e Tassi (2008) afirmam que a relação entre entrada e saída de água no âmbito de uma bacia hidrográfica é denominada balanço hídrico. A entrada de água ocorre pela precipitação pluviométrica e a saída acontece pela evapotranspiração e escoamento superficial. Estas variáveis podem ser medidas com diferentes graus de precisão.

De acordo com Bedient e Ruber (1988) o balanço hídrico tem como objetivo estimar a evapotranspiração, elaborado para intervalos de tempo superiores ao de uma semana, principalmente devido à falta de disponibilidade de todos os elementos considerados, uma vez que os dados normalmente disponíveis são a precipitação e a vazão, como ressaltam Tucci e Beltrame (2000).

2.2.1.2 Precipitação

A umidade contida na atmosfera constitui um reservatório potencial de água que ao se condensar pode promover a ocorrência das precipitações. A origem das precipitações está relacionada ao aumento do tamanho das gotículas das nuvens quando estas são reunidas sob determinadas condições (BERTONI; TUCCI, 2000).

Silveira, Louzada e Beltrame (2000) afirmam que a precipitação ocorre por meio da aglutinação de micro gotículas em nuvens saturadas de umidade, que se unem aos núcleos de condensação (poeira e gelo) e formam uma grande quantidade de gotas, que ao atingir tamanho e peso suficientes, superam a resistência do ar e precipitam.

A intensidade de uma precipitação apresenta variação temporal, mas para análise dos processos hidrológicos, geralmente são definidos intervalos de tempo constantes: “Tempo de Recorrência” ou “Tempo de Retorno”. Consiste na análise de alturas pluviométricas máximas e representa o número médio de anos, durante o qual se espera que a precipitação analisada seja igualada ou superada (BERTONI; TUCCI, 2000a). A importância do estudo das precipitações está na relação entre os eventos meteorológicos, características climáticas de precipitação e o escoamento superficial (GARCEZ; ALVAREZ, 1988).

Christofoletti (1992) afirma que as estações ou sazes designam um período relacionado a calendário anual que associa um conjunto coerente de atividades climáticas ou fenômenos de tempo. Desta forma em regiões tropicais a sazonalidade é marcada pela estabilidade e duração dos períodos compreendidos por meses chuvosos e secos.

Segundo Newson (1994) os eventos de precipitações são dominados pelas chuvas, sendo que nos países de climas temperados e frios, a neve representa parte bastante significativa do volume total de precipitações.

Um procedimento para verificação da variabilidade da distribuição espacial da chuva amplamente utilizado é a interpolação com base em ferramentas disponibilizadas por Sistemas de Informação Geográfica. Trata-se de uma aplicação fundamentada no método das isoietas, na qual as alturas pluviométricas observadas são utilizadas como referencial para a obtenção dos valores estimados de chuva, por meio de uma interpolação linear entre os postos de observação. (BIELENK JUNIOR; BARBASSA, 2012).

2.2.1.3 Infiltração e armazenamento da água no solo

O processo de Infiltração pode ser definido como a entrada da água através da superfície do solo, penetrando nos poros e chegando às camadas mais profundas. É de fundamental importância para o desenvolvimento da vegetação, para a recarga dos aquíferos, para alimentar o lençol freático, responsável pela manutenção do fluxo permanente nos rios durante as estiagens. Atua também na redução do escoamento superficial, minimizando as ocorrências de cheias e enchentes, reduzindo a erosão (GÓIS; MENDES, 2013).

O processo de infiltração ocorre de cima para baixo, promovendo a saturação primeiramente na camada superior. Com a continuidade do processo de infiltração toda extensão do solo em sua profundidade tende a saturação. Em função das condições encontradas no solo, o processo pode permanecer ativo por muitos dias ou cessar rapidamente. A capacidade de armazenamento de água no solo é um fenômeno dinâmico, influenciado pela movimentação interna da água no solo (SILVEIRA; LOUZADA; BELTRAME, 2000).

O conteúdo de água presente no solo é diretamente relacionado ao tamanho e volume dos poros presentes, estando a umidade relacionada à pressão capilar. Outro importante aspecto para o entendimento da relação entre umidade e a pressão capilar corresponde à textura do solo, desta forma, em um solo arenoso predominam poros grandes o que promove um decréscimo da umidade em virtude do incremento abrupto da pressão. Esta situação explica a reduzida capacidade de armazenamento hídrico, verificada nos solos arenosos (SILVEIRA; LOUZADA; BELTRAME, 2000).

Barreto, Ribeiro e Borba (2010) comentam que a maior parte do volume de água precipitada infiltra no solo (60% a 70%) dependendo de seu tipo e constituição. Esse processo garante o reabastecimento da água subterrânea e a perenidade das nascentes. Os solos constituem importantes áreas de recarga, sendo essencial a conservação do mesmo para garantir a infiltração da água, evitando a compactação, retirada da vegetação (solo exposto) e impermeabilização.

2.2.1.4 Vegetação e interceptação

Segundo Tucci (2000a) a interceptação corresponde à retenção de parte da precipitação, acima da superfície do solo. Portanto a interceptação ocorre em virtude da atuação da vegetação ou de outra forma de obstrução ao escoamento, sendo que o volume que é armazenado é perdido por evaporação e retorna para a atmosfera. O acúmulo de água nas depressões do solo não pode ser considerado como interceptação, porque parte do volume que é retido, acaba retornando ao fluxo do escoamento da bacia por meio da infiltração.

Sendo assim, Collischonn e Tassi (2008) esclarecem que a interceptação corresponde à retenção da água que ocorre nas folhas da cobertura vegetal, em caules e ramos, inclusive no material vegetal em decomposição depositado sobre o solo denominado serapilheira, e ainda nas depressões que ocorrem no solo desde que impermeáveis. A água guardada na interceptação está sujeita à evaporação, sendo o principal efeito da interceptação em uma bacia, o aumento da evaporação e a redução do escoamento (GÓIS; MENDES, 2013).

A interceptação está sujeita às características do evento pluviométrico, envolvendo a intensidade, duração e o volume precipitados, sendo também diretamente influenciada pelas características da própria cobertura vegetal, como o tamanho das folhas, sendo ainda dependente do clima local e do período do ano, entre outros (COLLISCHONN; TASSI, 2008).

Nas áreas urbanas parte da chuva fica retida nas depressões do terreno não gerando escoamento, estas depressões por sua vez normalmente são impermeáveis, não ocorrendo infiltração significativa no solo, ficando a água retida nestas depressões sujeitas ao processo de evaporação. A chuva total de um evento quando inferior a 1 mm, poderá ser interceptada totalmente, se for acima deste valor a interceptação pode variar entre 10 e 40% (TUCCI, 2000 a).

Além do seu papel na interceptação, Coelho Neto (2008) destaca que a cobertura vegetal é um fator de grande relevância nos processos de infiltração da água. Durante a precipitação, a água é interceptada pela cobertura vegetal, atingindo o solo posteriormente, por meio do escoamento pelos troncos. A vegetação também atua na proteção do solo contra o impacto das gotas de chuva (GUERRA, 2008).

Peters et al. (2005) comentam sobre a Ecohidrologia que investiga os efeitos dos processos hidrológicos sobre a vegetação e a influência das plantas sobre a hidrologia. Segundo os autores essas interações são fundamentais para os estudos hidrológicos em determinadas áreas.

O termo ecohidrologia traz a compreensão de como os processos hidrológicos se integram aos processos ecológicos, procurando conhecer a interação entre os seres vivos e a água presente nos ecossistemas. Busca avaliar como a distribuição da vegetação numa bacia hidrográfica é capaz de interferir no ciclo hidrológico. Tem como objetivo compreender a interferência da vegetação na evapotranspiração e no escoamento superficial, avaliando ainda como as matas ciliares interferem nas nascentes nas planícies de inundação e na regulação da vazão (ZALEWSKI et al., 2008).

Trazendo mais subsídios a essa discussão, Moraes (2009) comenta que a ecohidrologia pode também ser compreendida como o estudo das interrelações funcionais entre hidrologia e biota. Afirma que no passado, os estudos hidrológicos eram focados no controle de eventos catastróficos e na garantia do suprimento de água. Atualmente, a ecohidrologia representa uma importante ferramenta para garantir o uso sustentável dos recursos hídricos. Comenta ainda sobre a importância da busca por uma ecologia funcional e integrada, objetivando entender como os fatores e processos que ocorrem nos ecossistemas interagem, visando a conservação criativa e integrada dos recursos hídricos.

Uma das questões centrais da ecohidrologia está no escoamento superficial e na relação entre as partes vegetadas e não vegetadas. A vegetação funciona como uma barreira natural ao escoamento superficial melhorando a infiltração. A água é também a peça fundamental da dinâmica entre o crescimento da biomassa e a disponibilidade hídrica no solo. A supressão da vegetação, mesmo que temporária, pode interferir bruscamente nesta relação, intensificando o escoamento e ocasionando a aceleração dos processos erosivos. Consequentemente, pode-se reduzir drasticamente a infiltração e a disponibilidade hídrica (URGEGHE et al., 2010).

Bertini, Fushita e Lima (2015) comentam que alterações populacionais e econômicas regionais contribuem intensamente para a degradação da cobertura vegetal. A cobertura vegetal é essencial para proteger áreas de recarga de aquíferos.

A sua supressão promove a fragmentação do habitat, mudanças climáticas locais, a erosão dos solos, a eutrofização e assoreamento dos cursos de água.

O conhecimento sobre a hidrologia relacionado à flora e fauna dos corpos hídricos e de seu entorno são fundamentais para o estabelecimento de estratégias conservacionistas. Goulart, Campos e Nepomuceno (2012) enfatizam que a conservação ou degradação, bem como a recuperação da cobertura vegetal são fundamentais nos estudos ambientais. Isto se deve a importantes funções ambientais que a vegetação desempenha no combate à erosão do solo, que resulta do impacto da água da chuva e dos nocivos efeitos dos poluentes.

2.2.1.5 Escoamento superficial e escoamento fluvial

O escoamento superficial corresponde à fase do ciclo hidrológico na qual acontece o deslocamento da água pela superfície da terra. Envolve a precipitação, que ocorre sobre o solo saturado ou impermeável e que flui pela superfície, seguindo o percurso por meio de cursos d'água, até atingir os mares e oceanos.

As águas superficiais representam um importante recurso natural, sendo evidente sua importância quando se verificam os problemas que afligem as regiões de escassez hídrica. (GARCEZ; ALVAREZ, 1988). Leis físicas regem o escoamento que é representado quantitativamente pelas variáveis vazão, profundidade e velocidade. (TUCCI, 2000 b).

Alencar, Silva e Oliveira (2006) comentam que o estudo do escoamento superficial é importante no dimensionamento de obras hidráulicas e na conservação da água e do solo. Complementam que o volume de água escoado superficialmente é dependente de fatores de natureza edafoclimática e fisiográfica regional.

Os estudos sobre o escoamento superficial são de grande importância para a sociedade, uma vez que a maior parte dos estudos hidrológicos está ligada ao aproveitamento da água superficial e à proteção contra os efeitos provocados pelo seu deslocamento. A precipitação que atinge a superfície terrestre fica parcialmente retida em depressões do micro relevo ou como uma película que se forma em torno das partículas sólidas que compõem o solo. Do excesso de água precipitado, parte sofre o processo de infiltração e outra parte escoa pela superfície (PETERS, 1994).

Neste sentido, Cavalcanti Junior (2016) elaborou uma carta do potencial de escoamento superficial da bacia hidrográfica do Rio Paciência – MA. Em sua pesquisa identificou que as áreas de risco mapeadas e os consequentes problemas a elas relacionados seriam consequência, principalmente, da gestão pública inadequada, em desacordo com a legislação ambiental e as aptidões físicas do terreno.

Christofolletti (1980) assinala que os rios funcionam como canais de escoamento, sendo parte integrante do ciclo hidrológico. Sua manutenção é garantida pelo fluxo de águas superficiais e pelo afloramento das águas subterrâneas. O escoamento fluvial corresponde ao volume de água que alcança os cursos d'água. Inclui o escoamento pluvial, que é imediatamente posterior ao evento pluviométrico, e a parcela do volume precipitado, que posterior e lentamente se associa a ele por meio da infiltração.

O escoamento nos cursos d'água apresenta diversas características dinâmicas que influenciam intensamente nos processos fluviais, devido à atuação do escoamento, reforçado pela atuação da água como agente do transporte e deposição dos sedimentos. O canal fluvial é o principal local de ocorrência desses processos, devido às características particulares de cada curso d'água, influenciadas pela esculturação e topografia do leito, que gera atrito, e pela atuação da gravidade (CHRISTOFOLETTI, 1981).

Segundo Peters (1994) um importante parâmetro hidrológico que pode ser obtido para bacias hidrográficas é a descarga ou deflúvio. Este fluxo é o resultado integrado dos processos ligados às condições meteorológicas e hidrológicas na bacia hidrográfica.

O fluxo dos rios é medido por meio do uso de técnicas de medição de vazão. Segundo Velasco e Cook (2011) existem várias tecnologias que permitem a medição da velocidade em fluidos, sendo o método mecânico de medição de vazão com o emprego do molinete fluviométrico, o que serve de referência para os demais métodos, além de representar a metodologia utilizada na obtenção dos dados de vazão obtidos pelo Departamento de Água e Energia Elétrica - DAEE empregados neste estudo.

Collischonn e Tassi (2008) lembram que para caracterizar o comportamento hidrológico de um curso d'água ou de uma bacia hidrográfica são necessárias séries

históricas de medidas de vazão, que envolvam períodos substanciais abarcando alguns anos. Também é necessário o estabelecimento de um intervalo adequado entre as medições, permitindo monitorar os principais processos hidrológicos que ocorrem na bacia. Este intervalo de tempo entre medições pode variar em função das características específicas de cada bacia, podendo ser estabelecido em intervalos que podem abranger de semanas a minutos.

Em função dos custos implicados no processo de medição da vazão, estas medições são realizadas com o objetivo de obtenção de uma curva chave, que permite por meio do uso de uma equação a transformação dos valores de medidas de nível (altura da lâmina d'água) em valores de vazão possibilitando transformar medições menos onerosas (medidas do nível da água) em medidas diárias de vazão. Chevallier (2000) complementa que a obtenção de uma curva chave demanda a medição da vazão de um canal fluvial em diferentes situações hidrológicas, contemplando vazões altas, médias e baixas.

2.2.1.5.1 Regime de vazão

Considerando o comportamento hidrológico dos rios Costa et al. (2012) comentam que a vazão apresenta comportamento aleatório, demandando a obtenção de séries históricas de dados para sua adequada avaliação. Estes dados são obtidos a partir de postos fluviométricos que devem ser instalados em bacias hidrográficas de interesse. Esta variável apresenta uma grande variabilidade no tempo, sendo necessário adotar, nos estudos hidrológicos, valores estatísticos que sintetizam esta variabilidade. Entre os parâmetros estatísticos básicos podem ser considerados: a média, a média mensal, o desvio-padrão, os mínimos e máximos.

Além da curva chave outra importante ferramenta hidrológica que possibilita a avaliação da disponibilidade de água é a curva de permanência de vazão. Esta corresponde a uma análise estatística, que busca expressar a relação entre a vazão e a frequência em que esta vazão pode ser superada ou igualada, podendo ser obtida a partir de dados diários ou mensais de vazão (VOGEL; FENNESSEY,1990).

Giudice e Mendes (2013) comentam que para os administradores públicos e agências internacionais, a água configura-se como a principal prioridade no âmbito

dos recursos naturais de interesse estratégico. Este fato indica a evidente relação que ocorre entre os recursos hídricos e os aspectos administrativos políticos e econômicos. Neste sentido, o conceito de disponibilidade hídrica constitui uma das variáveis mais importantes sob a perspectiva da gestão dos recursos hídricos. O estabelecimento dos critérios de outorga e de direito de uso destes recursos fica, portanto, vinculado à disponibilidade hídrica e amparado pelo sistema jurídico e econômico local.

Em relação ao Brasil alguns estados da federação, têm adotado diferentes critérios, em função de suas particularidades específicas, para estabelecer as vazões de referência para a outorga, porém as justificativas para a adoção de tais parâmetros nem sempre são apresentadas.

No estado da Bahia os limites de outorga estão entre 80% e 95% da Q_{90} , enquanto em Minas Gerais é utilizada a vazão $Q_{7,10}$, que estabelece a vazão outorgável em 30% desta vazão, devendo permanecer no rio no mínimo 70% da $Q_{7,10}$. O estado do Rio Grande do Sul determina que a outorga é definida em função do Plano Estadual de Recursos Hídricos e nos Planos de Bacia, o que representa na prática que a vazão de referência pode variar em função das particularidades de cada local. No estado de São Paulo as outorgas são concedidas para uso consuntivos que consomem em sua somatória até 50% da $Q_{7,10}$ (SILVA et al., 2006).

Tomaz (2007) discute o conceito de vazão base, que corresponde às vazões mínimas para períodos críticos de oferta de água, afirmando que a vazão base real sempre será maior que as vazões $Q_{7,10}$ e Q_{95} . As vazões mínimas são fundamentais para garantir o abastecimento público de água, o funcionamento de pequenas centrais hidroelétricas, os estudos de avaliação da qualidade das águas e o apoio à instrução de processos de outorga.

Desta forma o autor destaca que o Ministério do Meio Ambiente em sua Instrução Normativa nº 4 de 21 de junho de 2000, anexo I, artigo 2º declara que a vazão ecológica é a vazão mínima necessária para garantir a preservação do equilíbrio natural e a sustentabilidade dos ecossistemas aquáticos. Uma vazão menor que a mínima seria um importante indicativo de problemas futuros no ecossistema aquático e na região ripária. Menciona ainda que existem diversos métodos para a

mensuração, não sendo um consenso entre ecologistas ou ambientalistas. Em virtude disto adota-se a $Q_{7,10}$ para a determinação da vazão ecológica.

Outra abordagem relacionada ao comportamento hidrológico dos rios diz respeito ao conceito de pulso de inundação de um rio, que segundo Resende (2008) consiste no extravasamento do rio de seu leito máximo para a planície de inundação. Por possibilitar a inundação periódica o pulso atua como um bioprocessador, transportando nutrientes inorgânicos do rio para a planície de inundação e nutrientes orgânicos da planície de inundação para o rio.

Neiff (1990) estudou o regime de perturbações ou regime de pulsos de rios que possuem planícies de inundação e promoveu a caracterização da dinâmica de pulsos por meio de atributos hidrológicos da análise da frequência, intensidade, tensão, recorrência, amplitude e estacionalidade. Segundo Schnack et al. (1995), os atributos supracitados representam dimensões temporais, ligadas ao comportamento histórico dos parâmetros, frequência, recorrência e estacionalidade, influenciados pelas implicações do pulso do rio, atuando na planície de inundação envolvendo a amplitude, a intensidade e a tensão.

Os esclarecimentos apresentados, referentes ao ciclo hidrológico, oferecem subsídio à elucidação de questões teórico metodológicas implicadas neste trabalho. Facilitam também a compreensão das variáveis envolvidas na análise da relação entre a vazão, os índices pluviométricos e o papel da cobertura vegetal nos processos de interceptação escoamento e infiltração.

2.3 Bacias hidrográficas

A bacia hidrográfica constitui um consenso, radicado no meio científico, de que representa a unidade espacial mais adequada à análise das inter-relações entre os componentes e processos hidrológicos. É uma unidade básica para o planejamento e gestão do desenvolvimento ambientalmente correto, principalmente dentro de um contexto regional (SCHIAVETTI; CAMARGO, 2002).

Pode ser considerada como um sistema geomorfológico que recebe energia e matéria a partir do sistema climático e perde matéria e energia por meio de seu

deflúvio. Pode também ser compreendida por meio das relações de interdependência de suas variáveis, que apresentam seus valores oscilando entorno de um padrão pré-determinado, e, desde que não sofra interferência antrópica, tende a permanecer nesta situação de equilíbrio dinâmico (CHRISTOFOLETTI, 1999).

Vilella e Matos (1975) destacam que a bacia hidrográfica é de grande importância, do ponto vista prático, para os estudos hidrológicos, devido à simplicidade que oferece para a aplicação do balanço hídrico. Esta situação permitiu o desenvolvimento de muitos modelos hidrológicos que adotam a bacia como base analítica.

Sendo assim, Pires et al. (2002) afirmam que estas unidades espaciais se consolidaram como áreas delimitadas de gestão da paisagem dentro do planejamento ambiental, sob a perspectiva hidrológica. Correspondem a um conjunto de áreas drenadas por um corpo d'água principal e seus tributários, representando a unidade espacial mais apropriada ao estudo qualitativo e quantitativo dos recursos hídricos, fluxo sedimentar e de nutrientes. Merten et al. (2010) complementam que ela é composta por três compartimentos: vertente, o ambiente ciliar e calha fluvial. Souza, Silva e Dias et al. (2012) destacam que em muitos casos o ambiente ciliar é inexistente, principalmente devido à interferência antrópica.

A utilização da bacia hidrográfica para a conservação dos recursos naturais relaciona a possibilidade de avaliação do potencial de desenvolvimento e da produtividade biológica, no contexto de uma determinada área geográfica, definindo a melhor forma de aproveitamento destes recursos, causando o menor impacto ambiental possível (PIRES; SANTOS; DEL PRETTE, 2002).

É importante também considerar que, segundo Azevedo e Silva (2010), as bacias hidrográficas se interligam a outra de ordem hierarquicamente superior, podendo ser consideradas como sub-bacias em relação à de hierarquia superior. Desta forma, as definições dos conceitos de bacia e sub-bacias hidrográficas podem ser relativas, ou seja, estes conceitos estão diretamente relacionados às ordens hierárquicas no interior de uma mesma malha hídrica. Muitas vezes a subdivisão de uma bacia hidrográfica de maior ordem permite identificar de maneira mais fácil a degradação de recursos naturais (SOUZA; FERNANDES, 2006).

Nas bacias hidrográficas ocorre a integração de grande parte das relações de causa e efeito que devem ser consideradas na gestão ambiental. Existem também outras unidades político-administrativas que poderiam ser consideradas na gestão dos recursos hídricos como municípios, regiões administrativas, estados entre outras, mas estas seriam ineficientes por não apresentarem o caráter integrador característico da bacia hidrográfica (LEME, 2014).

Do ponto de vista prático a adoção do conceito bacia hidrográfica consiste na definição de um espaço físico, que pode servir de base para o desenvolvimento de mecanismos de gerenciamento ambiental. Desta forma, visa o desenvolvimento sustentável, envolvendo a utilização racional e a conservação dos recursos naturais. As abordagens metodológicas utilizadas para analisar e gerir o espaço físico no âmbito de uma bacia hidrográfica devem estar relacionadas a teorias e modelos. Estes devem explicar, predizer e organizar de maneira adequada o conjunto de informações que dizem respeito à gestão ambiental (PIRES; SANTOS; DEL PRETTE., 2002).

Tundisi (2005) considera a bacia um ecossistema hidrológicamente integrado, constituindo uma unidade física com fronteiras delimitadas. Esta visão sistêmica é adequada ao gerenciamento dos recursos hídricos e ao controle da eutrofização. Esta abordagem é fundamental para garantir alternativas ao uso dos mananciais, além de representar uma forma racional de organização de um banco de dados, promovendo a participação local e a integração institucional, necessárias para o gerenciamento do desenvolvimento sustentável.

A Lei 9.433/1997 (BRASIL, 2012) que instituiu a política Nacional de Recursos Hídricos recomenda a adoção de uma abordagem que promova a integração entre a bacia de drenagem e o conceito de ecossistema. Esta abordagem deve avaliar as relações entre os meios bióticos e abióticos de uma bacia hidrográfica, envolvendo seus recursos hídricos. Sendo assim, a abordagem em relação ao planejamento e gestão, que tem seu referencial na bacia hidrográfica, tem evoluído muito, uma vez que as características biogeofísicas das bacias apresentam sistemas ecológicos e hidrológicos inter-relacionados.

Lorandi e Cançado, (2002) afirmam que o planejamento e gerenciamento de bacias hidrográficas devem contemplar a incorporação de todos os recursos ambientais da região drenada, não apenas o hídrico. O planejamento e gerenciamento

necessitam também de uma abordagem integrativa dos aspectos ambientais, sociais, econômicos e políticos e da inclusão de objetivos ligados à qualidade ambiental na utilização dos recursos naturais. Objetiva melhorar a produtividade destes aspectos, reduzindo os impactos e riscos ambientais no contexto da bacia.

A ação antrópica ligada ao planejamento e desenvolvimento da ocupação da superfície terrestre, demanda uma ampla visão das necessidades da população em relação aos recursos hídricos, bem como o conhecimento dos processos naturais da bacia hidrográfica, possibilitando a compatibilização racional das demandas crescentes aos recursos limitados. (TUCCI, 2000a).

A vegetação ou a cobertura vegetal de uma região constitui um importante fator responsável pela manutenção do equilíbrio ecológico e hidrológico podendo, pois, garantir a promoção do equilíbrio da vazão dos cursos d'água em uma bacia hidrográfica (CUNHA; HITTER; BORBA, 2014).

Lorandi e Cançado (2002) afirmam que para a realização de diagnósticos ambientais em bacias hidrográficas, é fundamental o levantamento detalhado de parâmetros físicos como: clima, geomorfologia, geologia, pedologia, rede de drenagem e vegetação.

Sendo assim, os aspectos fisiográficos que caracterizam uma bacia hidrográfica podem ser obtidos por meio de mapas, fotografias aéreas e imagens de satélite, correspondendo a dados como: áreas, comprimentos, declividades, cobertura do solo, medidos diretamente sobre o material de base, ou expressos por índices (SILVEIRA; LOUZADA; BELTRAME, 2000; OLIVEIRA et al., 2009).

Nesta pesquisa adotou-se a bacia hidrográfica como unidade espacial, dentro de uma visão sistêmica, considerando a bacia hidrográfica como um sistema aberto que recebe energia e matéria provenientes do sistema climático e radiação solar. A estrutura considerada do sistema corresponde aos aspectos topográficos e morfométricos, geológicos e pedológicos e à cobertura vegetal representada principalmente pelas diferentes atividades agrícolas e por alguns remanescentes de vegetação nativa existentes na região correspondente às áreas de estudo.

Na sequência são apresentados aspectos citados na literatura consultada, que sintetizam os principais parâmetros relacionados aos processos ambientais

hidrológicos, considerando a visão sistêmica e destacam-se os principais elementos e processos envolvidos na dinâmica hidrológica do sistema bacia hidrográfica.

2.3.1 Clima

O clima afeta diretamente a ocorrência de determinados tipos de vegetação, a fauna, a pedologia e as atividades socioeconômicas de uma localidade e é também influenciado por estes elementos, compondo o conjunto do ecossistema local (LORANDI; CANÇADO, 2002; PEREIRA FILHO; PRADO; SANTOS, 2013).

Sorre (1951) apud Barros (2006 p. 05), a partir da evolução da meteorologia dinâmica, propôs o conceito de clima dinâmico, que promove a análise do complexo atmosférico em porções individualizadas caracterizadas pelas massas de ar e seus conflitos por meio de frentes, como aponta também Monteiro (1973).

Estes sistemas contemplam o mecanismo global de circulação atmosférica que ocorre entre as diferentes zonas térmicas do planeta circulando entre as baixas pressões da faixa equatorial e polar e as altas pressões das calotas polares e da faixa subtropical (STEINKE, 2012).

Pereira Filho, Prado e Santos (2013) comentam que existe um relativo equilíbrio entre o volume de água evaporado e precipitado quando considerados longos períodos em escala global. Destacam que a complexidade da relação entre a evaporação e a precipitação aumenta significativamente em função do decréscimo nas escalas temporais e espaciais. Sendo assim, numa determinada bacia hidrográfica a variação desta relação será bastante dependente do tamanho da bacia.

Outro aspecto a ser considerado diz respeito à análise rítmica em climatologia, neste sentido é apropriada a utilização de anos padrão (MONTEIRO, 1973). Barros e Zavattini (2009) consideram que o emprego deste conceito revela amostras verdadeiras de diferentes tipos de tempo ocorridos num determinado local ou região demonstrando os encadeamentos rítmicos derivados da atuação de diversos sistemas atmosféricos que ali ocorrem. Destacam ainda que no Brasil são predominantes os climas tropical e subtropical, sendo a precipitação o elemento climático que melhor

representa as variações climáticas rítmicas que ocorrem num determinado ano com alternâncias de um ano para outro.

Desta forma, os impactos do clima e das mudanças climáticas incidem diretamente sobre os recursos hídricos. Isto acontece porque a variabilidade hidrológica é dependente das alterações que ocorrem na relação entre a entrada e a saída de água nos sistemas hidrológicos. Quando são observados dados anuais com valores extremos (inundações ou secas), a resposta do sistema bacia hidrográfica, amplifica a relação da variação da precipitação (TUCCI, 2002).

2.3.2 Geomorfologia fluvial

Os parâmetros referentes à drenagem fluvial são de grande relevância em estudos geomorfológicos. Isto ocorre porque os cursos d'água representam um dos processos morfogenéticos mais atuantes no modelado do relevo da superfície terrestre. O relevo de uma bacia hidrográfica tem grande influência sobre os fatores hidrológicos, pois a declividade afeta substancialmente a velocidade do escoamento superficial (GUERRA, 2008).

Lorandi e Cançado (2002) comentam que os cursos d'água correspondem ao processo morfogênico mais atuante no entalhamento do relevo terrestre. Isto se deve ao fato de modificarem grandes áreas da superfície. Os mesmos autores também comentam sobre a importância da morfometria, que representa as ligações entre os parâmetros descritivos, tradicionalmente utilizados e suas possíveis dependências.

Christofolletti (1980) ressalta que um dos parâmetros morfométricos a ser considerado na análise de bacias hidrográficas é a hierarquia fluvial. Esta define a ordem dos cursos d'água e corresponde a um indicativo do grau de ramificação ou bifurcação que ocorre numa determinada bacia hidrográfica. Existem várias propostas para a hierarquização dos cursos d'água de uma bacia com destaque para as de Horton (1945) e Strahler (1952).

A densidade de drenagem representa outra variável importante a ser considerada na análise geomorfológica de uma bacia hidrográfica. É obtida pela relação entre o comprimento total dos cursos d'água existentes na bacia, incluindo os

trechos efêmeros, intermitentes e perenes, e a área total da bacia. Caso exista um número grande de cursos d'água na bacia, em função de sua área, ocorrem picos de enchente altos e picos de deflúvio de estiagem baixos (GARCEZ; ALVAREZ, 1988).

Segundo Horton (1945) outros importantes parâmetros morfométricos que podem ser avaliados são: “Relação de bifurcação”; “Relação entre o comprimento médio dos canais de cada ordem” e “Relação entre o índice de comprimento médio dos canais e o índice de bifurcação”.

O estudo destes parâmetros é importante, pois, segundo Machado e Souza (2005), maiores índices da Relação de Bifurcação indicam que as redes hidrográficas são mais alongadas. Indicam também que os valores deste índice tendem a ser maiores, para áreas com maior presença de morros e em bacias hidrográficas mais dissecadas. A relação de bifurcação apresenta tendência a se manter constante em regiões de clima, litologia e em estado de desenvolvimento constantes (STIPP et al., 2010).

Em relação ao comprimento médio dos canais, Horton (1945) esclarece que em uma bacia hidrográfica, os comprimentos médios dos canais de cada ordem, se classificam-se segundo uma série geométrica direta, na qual o primeiro marco é o comprimento médio dos canais de primeira ordem, e a razão é a relação entre os comprimentos médios das ordens subsequentes.

Sobre a relação entre o índice de comprimento médio dos canais e o índice de bifurcação, Christofolletti (1980) comenta que representa um fator determinante na relação entre a composição da drenagem e o aspecto fisiográfico das bacias hidrográficas. Caso a relação entre o comprimento médio e o índice de bifurcação seja igual, existe a tendência de o tamanho médio dos canais aumentar ou diminuir na mesma proporção. No entanto, se a relação não é análoga o tamanho dos canais pode aumentar ou diminuir progressivamente em função da elevação da ordem dos canais.

Oliveira (2013) comenta que o parâmetro tamanho de uma bacia hidrográfica é de grande importância nos estudos ligados à hidrologia e sedimentação. O volume de água e de sedimentos aumenta em função do tamanho de uma bacia, sendo assim o volume de água disponível será sempre maior, caso uma bacia possua área maior, considerando o mesmo regime hidrológico.

A forma de uma bacia também é fundamental na análise do tempo de concentração, que representa o tempo gasto para que o volume precipitado sobre uma determinada bacia leve para atingir sua saída. Existem vários índices que são utilizados para a determinação da forma de uma bacia (MACHADO; TORRES, 2012).

O coeficiente de compacidade “Kc” é um exemplo deste tipo de índice, é determinado pela relação entre o perímetro de uma bacia, comparado a um círculo de área igual. Quanto menor o valor calculado para o Kc (mais próximo da unidade), mais circular é a formada bacia, portanto, menor o tempo de concentração e maior a tendência de ocorrerem picos de enchente (VILELLA; MATOS, 1975).

Outro exemplo de índice de forma é conhecido como índice de circularidade “Ic” que também estabelece a relação entre a forma da bacia e um círculo com o mesmo perímetro, porém o valor máximo a ser obtido seria 1 sendo que quanto mais próximo de 1 mais circular é a bacia (CHRISTOFOLETTI, 1980).

A densidade de rios (HORTON, 1945) indica a relação entre o número total de rios e cursos d’água e a área da bacia. Caso seja utilizada a ordenação de Horton, o número de canais corresponde à soma do número de seguimentos de cada ordem. Caso o critério de ordenação seja o de Strahler, devem ser considerados apenas os canais de primeira ordem (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Em relação a declividade da bacia, Silveira, Louzada e Beltrame (2000) comentam que os modelos numéricos de terreno que são representações digitais de uma determinada área da superfície, permitem a realização de complexos estudos da fisiografia de uma bacia hidrográfica. A obtenção desses modelos pode ser realizada por meio de pares estereoscópicos de imagens de sensoriamento remoto, ou pela interpolação de levantamentos topográficos ou de curvas de nível, disponibilizadas em cartas topográficas.

Mendonça (1999) ressalta que a análise da declividade evidencia a distribuição das inclinações das superfícies do relevo, uma característica importante para analisar o uso das terras de uma área, os processos hidrológicos e possíveis processos erosivos.

Como exemplo deste tipo de análise amparada em parâmetros morfométricos destaca-se o trabalho de Stipp, Campos e Caviglione (2010), que procederam à caracterização física da bacia do rio Taquara, situada no norte do estado do Paraná,

utilizando ambiente SIG. Os autores perceberam que a metodologia empregada, embasada nos parâmetros morfométricos, proporcionou uma melhor compreensão integrada dos processos hidrogeomorfológicos presentes na região de complexa estruturação.

Bernardi, Righes e Buriol (2015) analisaram o impacto da cobertura do solo na vazão registrada na bacia hidrográfica do rio Conceição, situada na região noroeste do estado do Rio Grande do Sul e também confirmaram as constatações obtidas. Segundo os autores, os parâmetros morfométricos avaliados subsidiaram as análises propostas, sendo possível perceber a íntima relação existente entre a fisiografia da bacia estudada e os impactos destas nas séries históricas de vazões, reguladas pelos eventos pluviométricos ocorridos no período estudado.

2.3.3 Geologia e Pedologia

A geologia de uma localidade influencia diretamente nos processos hidrológicos, em função do substrato rochoso e de alguns processos endógenos e exógenos da crosta terrestre, que atuam na modelagem do relevo. Diferentes litologias sofrem diferentes formas de intemperismo, influenciando diretamente na distribuição espacial de diferentes estágios de erosão, transporte e sedimentação. Em relação aos processos endógenos, é possível identificar o controle estrutural como a presença de falhas, juntas ou lineamentos por meio da observação do traçado dos canais de drenagem (LORANDI; CANÇADO, 2002).

Garcez e Alvarez (1988) ressaltam que o estudo geológico no contexto da bacia hidrográfica tem como objetivo principal classificar o substrato rochoso em relação a sua maior ou menor permeabilidade, o que interfere diretamente na rapidez e volume de enchentes, na contribuição dos lençóis subterrâneos e na garantia de vazões maiores no período de estiagem. O substrato rochoso presente numa determinada localidade está também diretamente relacionado aos possíveis recobrimentos da camada pedológica assentada sobre eles.

Os aspectos pedológicos de uma bacia hidrográfica são de grande relevância, uma vez que interferem diretamente no potencial de infiltração e na capacidade de retenção da umidade no solo (SILVA, 2000). Devido à complexidade das interações que ocorrem entre a pedosfera e a hidrosfera, foi proposta uma ciência específica,

que busca a compreensão desta relação. Kutílek e Nilsen (2007) comentam que o termo Hidropedologia se refere a uma ciência que possui abordagem multidisciplinar em sua essência, com ampla aplicação tanto nas ciências do solo quanto na hidrologia.

Segundo Mello e Curi (2012), os estudos tradicionais que envolvem a pedologia não contemplam o deslocamento do fluxo de água no perfil do solo, trabalhando basicamente apenas com amostras que apresentam deformações, em ambiente controlado. Isto compromete as análises, devido ao fato de não considerar a estrutura do solo, suas características físico-químicas e o meio biológico.

Neste contexto a abordagem da hidropedologia foca na interação geofísica da pedologia com o ambiente. As interações entre a água e o solo não podem ser estudadas fora do seu contexto de ocorrência, sendo impossível desvincular estas análises do local de ocorrência. A hidropedologia representa, portanto, no campo das geociências uma grande mudança na análise da relação entre a pedologia e a geomorfologia (LIN, 2010; 2011).

Lorandi e Cançado (2002) comentam que as características locais podem influenciar na dinâmica hidrológica de uma bacia hidrográfica, em função de seus elementos geométricos. Isto reduz a similaridade entre as bacias, mesmo quando se trata de características pedológicas similares.

Silva (2000) afirma que o solo tem a capacidade de armazenar água por um determinado tempo e as plantas se beneficiam desta umidade armazenada, que pode ser reposta pelas precipitações ou por irrigação. Esta umidade fica retida nos poros e na superfície de partículas coloidais. As áreas com solos de baixa permeabilidade tendem a acumular mais água em superfície do que nos solos de maior permeabilidade. Enquanto áreas com cobertura florestal também tem suas taxas de infiltração ampliadas (MAGALHÃES et al., 2011).

A identificação dos tipos de solo presentes em uma bacia hidrográfica é necessária para identificar a capacidade de infiltração e o grau de erodibilidade da região. A partir da identificação dos tipos de solo de uma região, é possível melhorar a gestão, garantindo a disponibilidade de recursos hídricos e evitando a ocorrência de processos erosivos acelerados (FAXINA et al. 2012).

2.3.4 Uso das terras e cobertura vegetal

O uso das terras em áreas rurais e urbanas no âmbito das bacias hidrográficas sofre grandes alterações, devido à supressão da vegetação, renovação de culturas e impermeabilização excessiva. Impacta diretamente na vazão dos cursos de água em função da redução das áreas de infiltração das águas pluviais, amplificando e acelerando o escoamento superficial. Esta situação aumenta a frequência de enchentes e reduz a disponibilidade de água no período da estiagem, prejudicando a quantidade e qualidade dos recursos hídricos e as condições ambientais, causando impactos na economia e sociedade (OLIVEIRA; RODRIGUES, 2009).

Segundo Tucci (2002) o desmatamento provoca um aumento na vazão média, em função da diminuição da evapotranspiração, ocasionando aumento das vazões máximas e redução das mínimas. A revegetação melhora a cobertura vegetal comprometida pelo processo de urbanização em função da impermeabilização e da retirada da vegetação, alterando a capacidade de infiltração da bacia hidrográfica.

Os efeitos da cobertura vegetal estão relacionados à redução dos efeitos da energia cinética da chuva e ao teor de matéria orgânica disponível no solo, afetando diretamente a estabilidade dos agregados. Quanto maior a densidade da cobertura vegetal, maiores são seus impactos na redução da remoção de sedimentos e do escoamento superficial, impactando diretamente na conservação do solo (LORANDI; CANÇADO, 2002).

Guerra (2008) destaca que diversos fatores relacionados aos processos erosivos estão ligados à cobertura vegetal. Isto se deve à enorme influência que esta exerce na estabilidade dos solos, controle da sedimentação, redução do escoamento superficial, interceptação da água de chuva, redução de energia cinética pluvial por meio da alteração da distribuição das gotas de chuva.

Garcez e Alvarez (1988) afirmam que é fundamental que as bacias conservem uma porcentagem de área coberta de florestas, pois estas são reguladoras das vazões, eficazes no combate à erosão dos solos, funcionando como zona de amortecimento. Outro aspecto importante se refere ao fato de suas raízes auxiliarem na fixação dos solos, reduzindo a energia do escoamento superficial (CHECCHIA, 2003).

Tucci (2002) descreve os principais tipos de mudanças no uso das terras e seus respectivos impactos em relação aos recursos hídricos destacando:

“desmatamento”; “extração seletiva de madeira”; “plantio de subsistência”; “culturas permanentes”; “culturas anuais”. Estes tipos de atividade, quando realizados desprovidos da adoção de técnicas de conservação do solo, ocasionam a intensificação dos processos erosivos, impactando de maneira intensa nos processos hidrológicos da área.

Bruijnzeel (1990) comenta que há milhares de anos os povos tradicionais que habitam as florestas tropicais convivem com a floresta ocasionando impactos no ambiente, sem que ocorra a efetiva destruição do ambiente. Com o desenvolvimento da economia moderna, muitas mudanças nos ambientes foram observadas, causando impactos hidrológicos importantes nos mesmos.

Segundo Tucci (2002) a adoção de práticas ambientalmente adequadas de produção agrícola pode reduzir significativamente os impactos desses usos, após a supressão da vegetação florestal. Uma das práticas amplamente divulgada e consolidada se refere à adoção de “práticas conservacionistas”. Estas se baseiam na técnica do terraceamento, acompanhando a topografia local, que direciona o escoamento superficial e auxilia na infiltração, em virtude do acúmulo da água nos terraços.

Outra técnica importante é o plantio direto que consiste numa técnica de produção agrícola em que o solo não é revolvido, sendo realizado o plantio da nova safra diretamente sobre os restos da plantação do período anterior. A técnica do plantio direto gera uma maior regularização sobre o fluxo durante o período de estiagem, tendendo a apresentar aumento do escoamento médio, em função da redução da evapotranspiração e interceptação (TUCCI, 2002).

Um dos tipos de vegetação mais importante na manutenção do equilíbrio hidrológico de uma bacia hidrográfica é a mata ciliar, que corresponde à vegetação florestal, localizada nas margens de corpos d’água e nascentes. Todas as florestas ciliares apresentam estrutura e funcionalidade similares, porém variam em relação à composição taxonômica, conforme a região e altitude em que se encontram (AB’SABER, 2000).

O índice de cobertura vegetal também influi diretamente nos processos de infiltração e perda de solo, especialmente se houver cobertura de serapilheira na área vegetada, implicando no aumento da produção de matéria orgânica e agregação de partículas constituintes do solo. Segundo Lima e Zakia (2000), o uso das terras em

bacias hidrográficas pode alterar a produção de água, sendo diretamente influenciada pela existência de áreas compactadas ou impermeáveis, que aumentem o escoamento superficial e diminuam a infiltração.

Mudanças no uso das terras e a ausência de vegetação ciliar podem diminuir significativamente a infiltração de água, impactando no abastecimento do lençol freático, em função da diminuição da capacidade de infiltração e aumento do escoamento superficial. Ao reduzir o armazenamento de água subterrânea, é possível que ocorra a redução no número de nascentes, principalmente nos períodos menos chuvosos, diminuindo também a vazão dos cursos d'água (BARBOSA, 2000).

Este referencial teórico apresenta importantes conceitos relacionados às principais etapas do ciclo hidrológico, analisando a bacia hidrográfica como unidade espacial básica, sob a qual se desenvolvem os processos que relacionam os seus principais componentes, com ênfase na abordagem sistêmica. Neste contexto, a precipitação, infiltração, evapotranspiração, escoamento superficial, geologia, pedologia, associados ao papel da cobertura vegetal, determinada em função do uso das terras, representam os principais aspectos que influenciam na disponibilidade dos recursos hídricos. Estes aspectos são fundamentais para satisfazer as demandas ecológicas, econômicas, políticas e sociais. A legislação ambiental oferece suporte aos aspectos científicos mencionados, subsidiando mecanismos de gestão que busquem regular as ações da sociedade, visando garantir a disponibilidade dos recursos em função das diferentes demandas.

3 AS GEOTECNOLOGIAS APLICADAS A ESTUDOS AMBIENTAIS

Estudos que envolvem grande volume de dados e possuem características espaciais demandam agilidade na coleta, processamento e análise. Neste sentido, as geotecnologias oferecem suporte adequado às demandas das mais diversas áreas do conhecimento científico que utilizam dados espaciais, subsidiando o planejamento e a gestão.

Rosa (2005) afirma que as geotecnologias podem ser definidas como um conjunto de metodologias e ferramentas empregadas na coleta, processamento, análise e disponibilização de informações que possuam referencial geográfico. Representam soluções que envolvem equipamentos, programas de computador e pessoal especializado, capazes de subsidiar a tomada de decisão, em relação a questões de pesquisa, planejamento e gestão de dados espaciais. As principais tecnologias que pertencem a este grupo são: os Sistemas de Informação Geográfica, a cartografia digital, o sensoriamento remoto, o sistema de posicionamento global por satélite (GNSS - *Global Navigation Satellite System*) e a topografia georreferenciada.

As tecnologias ligadas à cartografia digital, associadas a Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e sensoriamento remoto, incluindo as técnicas de processamento digital de imagens, representam os principais subsídios metodológicos e tecnológicos que ofereceram suporte à realização desta pesquisa.

3.1 A ciência da informação geográfica ou geoprocessamento

Goodchild (1992) discutiu o aspecto histórico do desenvolvimento dos Sistemas de Informação Geográfica. Destacou o panorama das décadas de 1980 e 1990, em que permeavam as discussões sobre o tema, influenciadas pela ideia de que os SIG representavam apenas um conjunto de ferramentas computacionais e operacionais para o tratamento da informação geográfica. O autor comentou que todo o arcabouço teórico que deu suporte ao desenvolvimento dos SIG envolve conceitos originados em variadas áreas do conhecimento, constituindo um novo paradigma nas ciências da terra, originando uma nova área do conhecimento, à qual atribuiu o nome de ciência da informação geográfica.

Câmara e Monteiro (2001) enfatizam que as bases teóricas da ciência da informação geográfica estão centradas no conceito de espaço geográfico, estabelecendo como fundamento básico, a construção de representações computacionais do espaço. Lembram ainda que a geografia, na figura de seus pensadores, oferece conceitos básicos sobre os quais se embasam estas teorias.

Longley et al. (2013) descrevem de maneira bastante detalhada, o conteúdo conceitual relacionado à natureza da informação geográfica ou espacial. Traçam um panorama da importância deste tipo de informação para a solução dos mais variados tipos de problemas que envolvem informações geográficas, segundo as necessidades de diferentes profissionais, empresas e órgãos públicos, incluindo ainda as demandas da população em geral. Para os autores, os problemas geográficos podem variar em relação ao seu propósito ou intenção. Destacam também que as soluções apresentadas envolvem problemas de natureza prática, visando economizar recursos ou lidar com emergências.

O termo geoprocessamento é similar a ciência da geoinformação e pode ser considerado como um conjunto de técnicas voltadas ao processamento digital de imagens e dados geográficos. Estas informações são usadas para dar significados a determinadas representações de ambientes, expondo com fidelidade suas características (PEREIRA; SILVA, 2001).

Para o tratamento das informações geográficas ou georreferenciadas, que englobam as informações ambientais, faz-se necessária a utilização de técnicas matemáticas, computacionais e cartográficas. Segundo Davis e Câmara (2001) estas técnicas viabilizam a integração de dados de diferentes fontes, a realização de análises complexas e detalhadas e, conseqüentemente, auxiliam na criação de bancos de dados, facilitando a produção de documentos cartográficos.

Através do geoprocessamento pode-se classificar atividades relacionadas a mapeamento de superfícies e análises fisiográficas de paisagens, uma vez que o termo processamento se resume na manipulação de dados para uma posterior geração de informações ligadas à superfície terrestre (BIELINKI JUNIOR; BARBASSA, 2012). Desta maneira, os SIG permitem retratar a realidade ambiental, viabilizando o tratamento, a manipulação e a disponibilização de dados e informações referentes ao alvo desejado de maneira mais ágil e rápida (SILVA; ZAIDAN, 2013).

3.1.1 Sistemas de Informação Geográfica

Na visão de Longley et al. (2013), os Sistemas de Informação Geográfica são sistemas computacionais elaborados com a intenção de armazenar e processar a informação geográfica. Florenzano (2011) destaca que estes sistemas constituem a ferramenta computacional de geoprocessamento para o tratamento de informação geográfica, sendo, uma ferramenta utilizada no processamento de dados geográficos. O SIG é um sistema computacional (*software*) que permite armazenar e integrar informações geográficas de diferentes fontes e escalas, sendo que as informações processadas nesse sistema devem ser georreferenciadas.

Para Rosa (2005), é muito comum a dificuldade de comunicação entre os profissionais da área, que utilizam a mesma nomenclatura para se referir ao conceito de geoprocessamento e SIG. Muitos usuários dos SIG, quando utilizam esta terminologia, se referem especificamente ao programa de computador e não à tecnologia. Na visão do autor, o software representa apenas um dos componentes, devendo ser considerados também o hardware, os dados, os usuários e as metodologias de análise disponíveis a serem empregadas. O elemento software é composto por um conjunto de programas (dirigidos por um sistema operacional), com o objetivo de coletar, armazenar, processar e analisar dados geográficos.

Os SIG são de grande utilidade no estudo de monitoramento do meio ambiente, assim como no planejamento urbano e ambiental. Podem ser usados nas mais diversas áreas do conhecimento que demandam informações georreferenciadas (CÂMARA; MEDEIROS, 1998). São bastante utilizados nas áreas de cartografia, geologia, geotecnia, geomorfologia, pedologia, planejamento de recursos agropecuários e florestais, ecologia e recursos naturais, planejamento urbano e planejamento de transportes. O SIG tem como objetivo representar o mundo real em ambiente computacional. É uma ferramenta de grande auxílio ao mapeamento, monitoramento e manipulação de dados em recursos naturais (ROSALEN, 2002).

O armazenamento da geometria dos objetos geográficos e de seus atributos é uma característica básica dos SIG, que oferece suporte a diversas possibilidades de aplicação, destacando-se três: produção de mapas; suporte para análise de fenômenos espaciais; banco de dados geográfico, para o armazenamento e recuperação de informação espacial. Estas possibilidades de utilização não são

conflitantes e sim convergentes, refletindo a importância da gestão da informação georreferenciada no ambiente institucional (DAVIS; CÂMARA, 2001).

As tarefas específicas executadas por um SIG devem ser entendidas a partir dos próprios módulos do sistema relacionados a elas. Estão vinculadas à própria estrutura do sistema, relacionando-se diretamente as necessidades dos usuários (FITZ, 2008).

Câmara e Medeiros (1998) identificam na estruturação de um SIG os seguintes elementos: interface com o usuário; entrada e integração de dados; consulta; análise espacial; processamento de imagens; visualização e plotagem; armazenamento e recuperação de dados. O sistema de coordenadas que promove a vinculação da informação com a superfície terrestre no ambiente de um Sistema de Informação Geográfica resulta da adoção de um sistema de projeção, que permite representar a superfície curva da Terra sobre um plano, viabilizando a utilização deste sistema para a produção de dados cartográficos (FLORENZANO, 2011).

Em relação à arquitetura dos SIG, Longley et al. (2013) afirmam que existem mais de uma centena de programas para computadores comerciais e de código aberto, que oferecem recursos de SIG e mapeamento sendo estes categorizados como: “*Desktop*”; “mapeamento web”; “SIG servidor”; “globos virtuais”; “para desenvolvedores”; “portáteis”; e “baseados em CAD”.

Outro importante aspecto diz respeito à vinculação dos objetos espaciais à superfície terrestre em ambiente computacional. Os sistemas de coordenadas geográficas tratam de grandezas, angulares ou lineares, indicando de forma precisa a posição que determinado ponto ocupa em uma estrutura de referência. A finalidade principal da adoção de um sistema consiste no estabelecimento do “Datum”, que corresponde a um ponto físico a partir do qual se origina todo um sistema de coordenadas, plano-retangulares ou esféricas (SILVA, 2010).

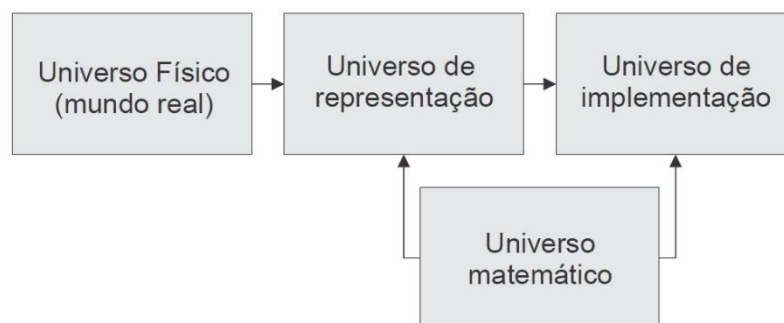
3.1.2 Estrutura dos dados em Sistemas de Informação Geográfica

O principal problema a ser solucionado pela ciência da informação geográfica, se refere à representação computacional dos elementos espaciais. Neste sentido, Requicha (1980) destaca que os objetos do mundo real estão associados a

um nível de abstração do chamado “universo físico”. Os objetos matemáticos associados aos elementos do mundo real pertencem ao nível de abstração chamado “universo matemático”. Após a obtenção da descrição matemática dos objetos que se pretende representar no computador, é preciso construir uma descrição simbólica finita dos elementos a serem representados. Esta situação está associada a um terceiro nível de abstração, chamado de “universo de representação”. Desta forma, elementos do universo de físico (mundo real) estão associados aos elementos do universo matemático, e esses possuem correspondência com elementos do universo de representação.

Gomes e Velho (1995) apresentam mais um nível de abstração, que chamaram de “universo implementação”, sendo seus elementos constituídos por estruturas de dados. Portanto, cada objeto no universo de representação está diretamente associado a uma estrutura de dados, o que garante sua implementação. Desta forma, é possível isolar completamente as particularidades de uma linguagem de programação a partir da representação discreta do modelo matemático. Os mesmos autores apresentam um esquema da proposta da referida abstração citada, no qual descrevem o que chamam de paradigma dos universos. A figura 2 apresenta um diagrama que ilustra a estrutura conceitual completa, com seus 4 níveis de abstração proposta pelos autores.

Figura 2 - Os universos conceituais da representação gráfica em ambiente computacional.



Fonte: Adaptado de Gomes e Velho (1995).

Câmara e Medeiros (1998) descrevem os principais tipos de dados utilizados para a representação computacional em SIG, organizando-os da seguinte maneira: “Mapas temáticos”; “Mapas cadastrais”; “Mapas de redes”; “Imagens” e “Modelos numéricos de terreno”.

Para a representação dos tipos de dados mencionados de maneira a agrupar as informações de forma organizada em um ambiente SIG, podem ser utilizados arquivos alfanuméricos (tabelas) e arquivos gráficos (mapas, imagens, modelos digitais de terreno), que podem ser estruturados utilizando a estrutura vetorial ou a estrutura matricial também conhecida como raster (FITZ, 2008).

Longley et al. (2013) descrevem a representação matricial como um tipo de estrutura na qual o espaço é representado como uma matriz composta por linhas e colunas. Nessa matriz, cada célula recebe um valor numérico relacionado à linha (LATITUDE), um relacionado à coluna (LONGITUDE) e outro relacionado ao valor do atributo (informação espacial) correspondente. Um importante aspecto a ser considerado é a resolução, que representa relação entre o tamanho de cada célula e a área real da superfície da terra que é representada por esta célula.

Segundo a estrutura vetorial descrita por Câmara e Monteiro (2001) devem ser considerados três elementos geométricos: ponto, linha e área (polígono). Os arquivos de linha, podem estar associados à topologia Arco - nó (associada a redes), que representa um conjunto de linhas (arcos) conectadas entre si por pontos de intersecção chamados de nós. Também podem representar a topologia Arco – nó - polígono (áreas), formada a partir da aplicação de funções de pertinência e adjacência, a partir das quais os objetos (polígonos) são construídos. Todos os tipos de dados mencionados (mapas temáticos, mapas cadastrais, mapas de redes, imagens e modelos numéricos de terreno) podem ser representados, utilizando ambas estruturas, a matricial ou a vetorial.

Câmara e Medeiros (1998) apresentam uma comparação entre as estruturas matricial e vetorial também citada e aprimorada por Rocha (2007), que é apresentada na tabela 1. Observando a tabela 1 é possível notar, por exemplo, que o formato matricial representa melhor fenômenos contínuos e apresenta um processamento de algoritmos mais rápido e eficiente. Em contrapartida, aumenta muito a demanda por espaço de armazenamento em função do tamanho da área e da resolução. Já o formato vetorial armazena sua estrutura por meio de coordenadas cartesianas, reduzindo a demanda por espaço de armazenamento. Entretanto, apresenta problemas em relação ao processamento de algoritmos, devido a dificuldades que podem ocorrer relacionadas a erros geométricos.

Tabela 1 - Comparação entre a estrutura vetorial matricial.

ASPECTOS	FORMATO VETORIAL	FORMATO RASTER
Relações espaciais entre objetos	Armazena informações sobre relacionamentos.	Relacionamentos espaciais devem ser inferidos.
Ligação com banco de dados	Facilita a associação de atributos a elementos gráficos.	Associa atributos apenas a classes do mapa.
Análise, simulação e modelagem	Representação indireta de fenômenos contínuos. Dificuldades para realização de combinações entre mapas.	Representa melhor fenômenos contínuos no espaço e facilita a simulação e modelagem.
Escala de trabalho	Adequado tanto para escalas de trabalho pequenas quanto grandes.	Mais adequado para pequenas escalas.
Algoritmos	Dificuldades em função de erros geométricos.	Processamento rápido e eficiente.
Armazenagem	Por coordenadas (mais eficiente, menor demanda por espaço de armazenamento).	Por matrizes (aumenta muito a demanda por espaço de armazenamento em função do tamanho da área e da resolução).
Aplicações	Redes: Concessionárias de água, esgoto, lixo, energia, telefonia e transportes Cadastros de imóveis rurais e urbanos, arborização urbana, etc.	Ambientais, Diagnóstico, Zoneamento, Planejamento, Gerenciamento, Manejo, gestão ambiental, etc.

Fonte: Adaptado de Câmara e Medeiros (1998) e Rocha (2007).

Também existe a possibilidade de promover associação entre tabelas e mapas utilizando identificadores. Estes recebem valores idênticos no arquivo do plano de informação (mapa) e em uma determinada coluna na tabela. Utilizam a ligação entre os valores atribuídos aos objetos e os valores correspondentes a cada linha de uma coluna na tabela alfanumérica, permitindo que ao clicar em determinado objeto do mapa, seja possível, por exemplo, verificar todas as informações que correspondem ao referido objeto que estejam armazenadas na tabela (FITZ, 2008).

Outra abordagem em relação à estrutura de dados, assinalada por Câmara e Monteiro (2001), refere-se ao modelo conceitual centrado na dicotomia entre o modelo de campos contínuos e o modelo de objetos. O modelo de campos considera o espaço geográfico como uma superfície contínua, na qual os fenômenos espaciais apresentam variações ao serem analisados sem suas diferentes distribuições. No modelo de objetos, o espaço geográfico é organizado como uma coleção de parcelas espaciais, distintas e identificáveis, com limites bem definidos, a partir dos quais a

transição é abrupta, sendo que entre dois objetos pertencentes a classes diferentes, que fazem fronteira, não existe uma transição gradual entre as mudanças de valores de um objeto para o outro.

Medeiros e Pires (1998) definem banco de dados ou base de dados como um conjunto de arquivos estruturados, sobre um determinado tema, organizados de modo a facilitar o acesso às informações contidas nestes. Os autores ainda diferenciam os bancos de dados geográficos dos convencionais devido ao fato do primeiro armazenar dados relacionados à localização, além de dados alfanuméricos.

A maneira como os dados são armazenados facilita a organização, consulta e a atualização de informações. O banco de dados é também a parte crítica de um SIG operacional, tanto pelo custo de criação e manutenção, quanto pelo impacto sobre todas as análises, modelagens e atividades que envolvem a tomada de decisão (LONGLEY et al., 2013).

Uma questão inerente às formas de representação, está na diferenciação do armazenamento de dados, sendo que os sistemas vetoriais se caracterizam por mapas, que contêm definições das fronteiras geográficas. Estes objetos espaciais podem estar associados a um conjunto de características descritas em tabelas de atributos. Os sistemas matriciais são usualmente organizados em camadas, sendo que cada uma delas possui o seu próprio banco de dados para atributos simples, permitindo ainda “relacionar” uma camada identificadora da sua característica à uma tabela de atributos (SILVA, 2010).

A estruturação de um banco de dados geográficos exige algumas etapas fundamentais, como: coleta dos dados referentes aos fenômenos de interesse identificados na modelagem, revisão dos dados coletados e georreferenciamento dos mesmos. Um banco de dados geográfico é um depósito de informações coletadas sobre fenômenos do mundo (CÂMARA et al. 1996).

Tanto as interfaces gráficas, quanto a simplificação das linguagens de programação dos bancos de dados empregados em SIG, tem proporcionado uma interação amigável e produtiva entre o usuário comum e os sistemas computacionais, este fato tem desenvolvido um contexto onde é atestada a viabilidade de implantação dos Sistemas de Informação Geográfica (CAMARGO, 1997).

Os elementos apresentados evidenciam a necessidade de que o software a ser utilizado, para a estruturação do banco de dados, apresente diversas possibilidades de inserção de dados, segundo as diferentes estruturas disponíveis. É fundamental que permita ao usuário adotar a estrutura de dados mais adequada, contemplando ainda a opção de alterar a estrutura de dados utilizada, por meio de ferramentas de conversão em função de suas necessidades.

3.2 Sensoriamento remoto e processamento digital de imagens

O sensoriamento remoto é uma das principais fontes de informação para a pesquisa ambiental, oferecendo dados atualizados e séries temporais de dados sobre diferentes áreas da superfície do planeta, inclusive de áreas remotas. Consiste na obtenção de informações da superfície realizada por sensores instalados em aviões, drones ou em satélites que estão na órbita da Terra (FITZ, 2008).

Para Florenzano (2011), sensoriamento remoto é a tecnologia de obtenção de imagens e outros tipos de dados, por meio da captação e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície terrestre. O termo sensoriamento refere-se à obtenção de dados, e remoto é utilizado em função da obtenção dos dados ser realizada à distância, ou seja, sem o contato físico direto entre o sensor e a superfície terrestre.

As imagens obtidas por sensores eletrônicos são registradas segundo diferentes canais/bandas, são individualmente produzidas apresentando variações de tonalidades de níveis de cinza. A quantidade de energia é o fator determinante da sua representação em diferentes tons de cinza, que podem variar entre o branco (quando toda energia é refletida) e o preto (quando toda a energia é absorvida) (SILVA, 2010).

A origem do sensoriamento remoto está diretamente ligada à necessidade da humanidade de conhecer melhor os lugares onde vive e desenvolve suas atividades. Neste sentido, está ligada aos objetivos de um SIG, que busca obtenção de informações sobre as diferentes localidades da superfície terrestre (FIGUEIREDO, 2005).

Jensen (2009) comenta que o sensoriamento remoto consiste numa ferramenta que trabalha de forma integrada e harmônica, com outras áreas das

ciências da informação geográfica, incluindo a cartografia, levantamentos topográficos, e Sistemas de Informação Geográfica. O uso dessa tecnologia tem se consolidado na obtenção de informações de caráter geológico, geomorfológico, geográfico, pedológico, hidrológico, agrícola, de qualidade ambiental entre outros, sendo utilizado pelas mais variadas áreas do conhecimento.

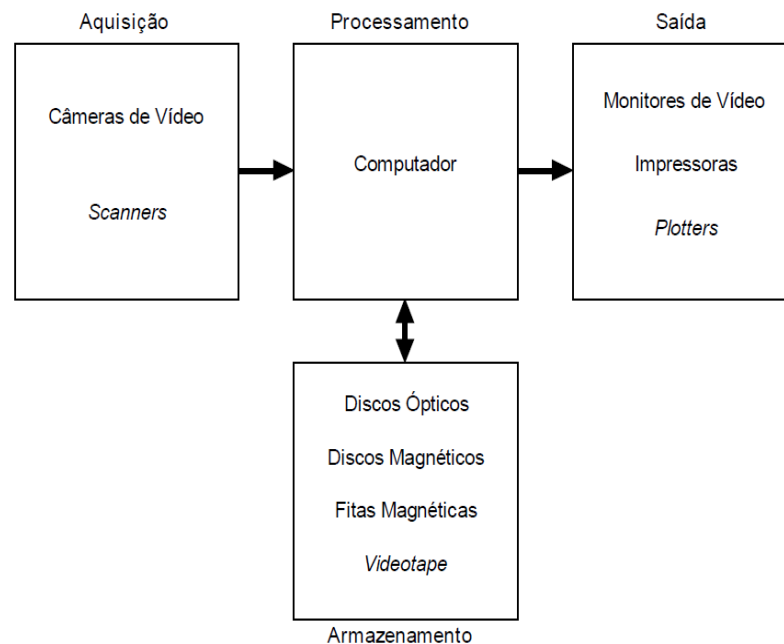
Segundo Rosa (2007), a metodologia do sensoriamento remoto se organiza em duas fases, a aquisição e a utilização ou análise dos dados. Novo (2010) enfatiza que as imagens captadas necessitam de processamento digital para que todo o seu potencial analítico seja explorado.

Crósta (1992) descreve o processamento digital de imagens como a análise e a manipulação de imagens em ambiente computacional, que tem como objetivo a identificação e extração de informações de uma imagem, de tal modo que a informação seja mais facilmente discernível por um analista humano. O sistema visual humano possui uma notável capacidade de reconhecer padrões, contudo, dificilmente é capaz de processar o enorme volume de informações presente numa imagem.

Sob uma perspectiva prática, a identificação de um objeto a partir de imagens de sensoriamento remoto não é dependente apenas da resolução espacial, mas está vinculada a quatro diferentes formas de medição: “resolução espacial”, que é determinada pela área do campo de visada do sensor; “resolução espectral”, relacionada ao comprimento de onda das bandas disponibilizadas pelo sistema sensor; “resolução radiométrica”, que se refere aos valores numéricos da medida da radiância do alvo; e a “resolução temporal”, definida pelo tempo de revisita de um determinado sistema sensor a uma mesma área, sendo determinado em função da data de aquisição (MENESES, 2012a).

Um sistema de processamento de imagens é composto por 4 elementos: “aquisição”; “processamento”; “armazenamento”; “saída” (MARQUES FILHO; VIEIRA NETO, 1999). A figura 3 apresenta um esquema que exemplifica a organização de um sistema de processamento digital de imagens conforme o descrito, sendo possível observar a direção do fluxo operacional desse tipo de sistema.

Figura 3 - Elementos de um sistema de processamento de imagens.



Fonte: Marques Filho e Vieira Neto (1999).

Meneses e Almeida (2012) comentam que no contexto do processamento digital de imagens, é importante considerar que a execução de operações matemáticas, com base nos dados adquiridos pelos sensores, amplia o potencial de uso destas técnicas para determinadas aplicações.

O processamento digital de imagens ocorre em etapas de processamento, a primeira delas, pré-processamento. Esta etapa consiste na correção dos erros e distorções presentes em imagens digitais originadas principalmente de falhas no sensor. É importante lembrar que estas técnicas de pré-processamento, normalmente, são executadas pelo órgão responsável pela geração e distribuição das imagens (MENEZES; ALMEIDA, 2012; MENEZES; SANO, 2012).

As demais técnicas de processamento de imagens de sensoriamento remoto podem ser divididas em dois tipos básicos: As técnicas de “realce” que tem como objetivo melhorar a qualidade visual das imagens, buscando facilitar a interpretação da mesma pelo analista humano; e as técnicas de “classificação”, que correspondem a um processo de automatização de extração de informações a partir das imagens, buscando eliminar a subjetividade da interpretação humana e reduzir o trabalho do analista (GARCÍA; BRONDO; PÉREZ, 2012).

Definidos sensoriamento remoto e processamento digital de imagens, é importante compreender o conceito de Sensor remoto e sistemas sensores. Estes constituem sistema básico de coleta de dados utilizados em sensoriamento remoto.

3.2.1 Sensores remotos

Segundo Novo (2010), um sensor é um equipamento que transforma alguma forma de energia em um sinal passível de ser convertido em informação sobre o ambiente, sem que ocorra contato físico entre o sensor e os objetos de interesse. Um sensor seria, portanto, um dispositivo com capacidade de responder à radiação eletromagnética, em uma determinada faixa do espectro eletromagnético, promovendo o registro da variação da intensidade desta radiação, sob a forma de um valor numérico (ROSA, 2007). Existem sensores que operam em apenas uma região do espectro eletromagnético e os que trabalham com várias regiões, constituindo sistemas sensores (MARQUES FILHO; VIEIRA NETO, 1999).

Os sensores podem ser classificados de diferentes formas, de acordo com sua resolução espacial, sua fonte de radiação/energia e segundo o sistema de registro; seguindo esta ordem, são classificados como: “Sensores imageadores” ou “Sensores não-imageadores”. Também podem ser “ativos” ou “passivos” (FITZ, 2008).

O sensor promove o registro dos pixels, compondo uma grade retangular ou quadrada, e o valor atribuído ao pixel correspondente ao valor de radiância, emitância ou de retro espalhamento dos alvos, sendo convertido no âmbito do sensor, para um valor de número digital discreto e finito. (NOVO, 2010).

O principal produto dos sensores remotos utilizados na aquisição de informações sobre a superfície terrestre são as imagens. Estas devem ser consideradas como um documento que representa, segundo uma escala e sobre um plano bidimensional, os objetos naturais e artificiais que ocorrem na superfície terrestre, utilizando a medição da radiação eletromagnética (MENESES, 2012b).

Também se destaca a importância da integração entre os Sistemas de Informação Geográfica e o sensoriamento remoto. Santos (2004) afirma que a integração de imagens, obtidas por meio de técnicas de sensoriamento remoto, a

outras informações espaciais, como as cartográficas e as obtidas no campo (utilizando GNSS), em ambiente SIG, propicia maior precisão na interpretação. Esta característica amplia as possibilidades de análise de um determinado fenômeno, que apresenta características determinadas pela sua variabilidade espacial.

Existem vários sistemas sensores que geram imagens da superfície da Terra destinadas a aplicações na área ambiental. Jensen (2009) lembra que o sistema LANDSAT, desenvolvido pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), foi o primeiro a obter, de forma sistemática, imagens terrestres sinópticas de média resolução.

Segundo Novo (2010), o programa LANDSAT foi iniciado por meio de um projeto desenvolvido pela Agência Espacial Americana (NASA), a partir da segunda metade da década de 1960. Foi idealizado para a observação dos recursos naturais terrestres, recebendo o nome de *Earth Resources Technology Satellite* (ERTS), tendo seu nome alterado para LANDSAT em 1975. O projeto envolveu o lançamento de oito satélites. Em 1984 foi colocado em órbita o LANDSAT 5, que possuía os mesmos sensores do anterior, em 1995 o sensor MSS deixou de enviar dados, já o sensor TM operou por um total de 28 anos deixando de enviar dados apenas no final de 2011 (USGS, 2013).

Foram enfatizados aqui os aspectos relacionados ao sensor TM do LANDSAT 5, devido ao fato de este ser o sistema de aquisição de dados de Sensoriamento Remoto utilizado nas análises deste trabalho. Na tabela 2 é possível observar que os sensores instalados neste satélite apresentam resoluções espaciais de 30m para as bandas de 1 a 5 e a banda 7, enquanto a banda 6 do infravermelho termal, tem resolução de 120 metros.

Sobre a resolução espectral: as bandas de 1 a 3 correspondem aos comprimentos de onda do visível (azul-B1, verde – B2 e vermelho B3); a banda 4 define o infravermelho próximo; as bandas 5 e 7 representam dois seguimentos específicos do infravermelho médio; a banda 6 corresponde ao infravermelho termal. As demais resoluções são as mesmas para todas as bandas, sendo a temporal de 16 dias e a radiométrica de 8bits (256 níveis de cinza) com a área imageada de 185 km (EMBRAPA, 2015).

Tabela 2 - Principais características do Sensor TM do satélite LANDSAT 5.

Sensor	Bandas espectrais	Resolução espectral	Resolução espacial	Resolução temporal	Área imageada	Resolução radiométrica
TM (Thematic Mapper)	(B1) azul	0,45 – 0,52µm	30m	16 dias	185 Km	8 bits
	(B2) verde	0,50 – 0,60µm				
	(B3) vermelho	0,63 – 0,69µm				
	(B4) infravermelho próximo	0,76 – 0,90µm				
	(B5) infravermelho médio	1,55 – 1,75µm	120m			
	(B6) infravermelho termal	10,4 – 12,5µm				
	(B7) infravermelho médio	2,8 – 2,35µm	30m			

Fonte: Adaptado de EMBRAPA (2015)

Com base nos trabalhos consultados, relativos ao sensoriamento remoto, foi possível notar que este, associado ao uso de imagens LANDSAT, constitui uma ferramenta metodológica bastante eficiente para aquisição e interpretação dos dados da superfície terrestre. Possibilitam o desenvolvimento de estudos em diversas áreas do conhecimento, sendo muito utilizados na pesquisa ambiental, como pode ser observado nos trabalhos de Lissiner (2011); Lira et al. (2009); Lima et al. (2013) e Braz, Águas e Garcia (2015) entre outros.

3.2.2 Estimativa da cobertura vegetal e índices de vegetação

A cobertura vegetal da Terra é onde ocorre a primeira interação entre a energia recebida do Sol que é captada pelo sensor. As imagens de sensoriamento remoto representam, primeiramente, as características da vegetação que cobre a porção imageada da superfície da Terra. Assim, foram desenvolvidos muitos estudos sobre a utilização destas imagens, para a identificação e caracterização dos diferentes tipos de cobertura vegetal (EPIPHANIO et al., 1996).

A avaliação da cobertura vegetal por meio das técnicas de Sensoriamento Remoto depende de inúmeros parâmetros e fatores ambientais a serem considerados. O que um sensor capta em relação à vegetação, refere-se não somente às propriedades específicas da estrutura orgânica dos vegetais, mas também dependente de outras variáveis como: espalhamento atmosférico, propriedades da

fonte de radiação, teores de umidade da vegetação e do solo, sombra, incluindo ainda as características das folhas e do dossel, entre outros (PONZONI, 2001).

A partir da compreensão da interação entre os vegetais e a radiação eletromagnética (radiação solar), muitas técnicas foram desenvolvidas com o objetivo de monitorar a cobertura vegetal. Estas técnicas têm como características principais: a rapidez na obtenção de informações de uma determinada área num curto espaço de tempo; a repetição temporal de coleta de dados, permitindo avaliar as alterações sazonais na cobertura vegetal; e a visão sinótica, que viabiliza a análise de grandes extensões territoriais (ROSENDO; ROSA, 2009).

Ponzoni (2002) descreve que no processo de interação entre a vegetação e a radiação eletromagnética, a folha vegetal representa o principal elemento de análise. A interação que ocorre entre a radiação eletromagnética e a folha vegetal é diretamente dependente da composição química, principalmente relacionada ao tipo e à quantidade de pigmentação fotossintética. Depende também da morfologia interna, caracterizada principalmente pelos tecidos celulares.

O mesmo autor descreve que a folha vegetal possui tecidos de três tipos: o primeiro é a “epiderme”, que corresponde a fina camada que recobre a superfície da folha; o segundo é o mesófilo fotossintético, que é uma camada situada imediatamente abaixo da epiderme, podendo ser dividido em camadas de células fotossintéticas de configuração alongada (palicádicas), distribuídas de forma perpendicular à superfície da folha. Estas células constituem o chamado parênquima palicádico, são ocupadas por seiva e protoplasma. Distribuídos de maneira esparsa, se encontram espaços ocupados por ar, que se abrem através dos estômatos, criando uma rede de passagem de gases por meio da qual o gás carbônico atinge as células fotossintéticas. O terceiro tipo de tecido é o “vascular”, que além de suprir a folha com nutrientes e água, permite a passagem dos produtos da fotossíntese da folha para as demais partes da planta. Esta estrutura de tecidos presente nas folhas é muito variável, em função da espécie e do ambiente no qual elas se encontram (PONZONI, 2002).

Em função das características da estrutura interna da folha vegetal, ocorre interação com a radiação eletromagnética incidente e a folha. Esta interação gera uma resposta nos comprimentos de onda do visível e do infravermelho próximo. Os

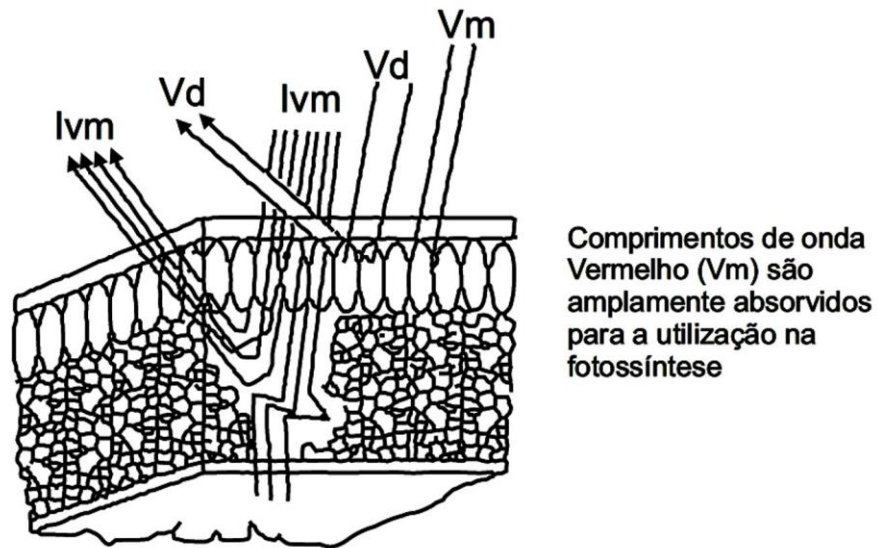
produtos gerados por meio da utilização de técnicas de processamento de imagens, com base na utilização das bandas do vermelho e do infravermelho, são conhecidos como índices de vegetação e estão relacionados a reflectância apresentada nestas regiões do espectro, permitindo diferencia-la de outros alvos terrestres (CAMPBELL, 1996).

Os índices de vegetação são gerados por meio de operação algébrica entre bandas, na qual, os valores de níveis de cinza (números digitais) de duas bandas são submetidos a uma razão, gerando nova imagem que representa a interação entre as bandas do vermelho e do infravermelho (SOUZA; PONZONI, 1996).

Campbell (1996) comenta que os índices de vegetação representam valores baseados nos valores do número digital, da resposta espectral registrada pelos sensores, associados à quantidade de biomassa ou ao vigor vegetativo da cobertura vegetal, presente no campo instantâneo de visada representado pelo pixel de uma imagem. As bases físicas dos índices de vegetação estão relacionadas ao papel da clorofila na absorção da radiação eletromagnética na região do espectro vermelho e na atuação da estrutura interna da folha, refletindo radiação no comprimento de onda do infravermelho próximo.

O mesmo autor descreve o mecanismo de interação da radiação proveniente do sol com a folha vegetal como pode ser observado na figura 4. No esquema apresentado é possível observar que a folha viva apresenta relação inversa em relação ao seu comportamento espectral entre as radiações do vermelho (V_m) e infravermelho próximo (IV_m). Esta relação se justifica pela alta absorção da radiação vermelha pela clorofila, e pela alta reflexão da radiação no comprimento do infravermelho pela camada interna de células dos vegetais. Esta situação possibilita que os valores da energia refletida no comprimento do vermelho e do infravermelho próximo sejam inteiramente diferentes. Desta forma a razão IV_m/V_m apresenta valores mais significativos, dependendo da maior quantidade e das características vegetativas da cobertura vegetal presentes no campo de coleta de dados do sensor. Em superfícies não vegetadas como corpos d'água, feições antrópicas, solo exposto e vegetação morta ou inativa, os valores da razão diminuem, e assim a razão IV_m/V_m é capaz de demonstrar a medida da interação vegetativa de cada unidade de área representada por um pixel.

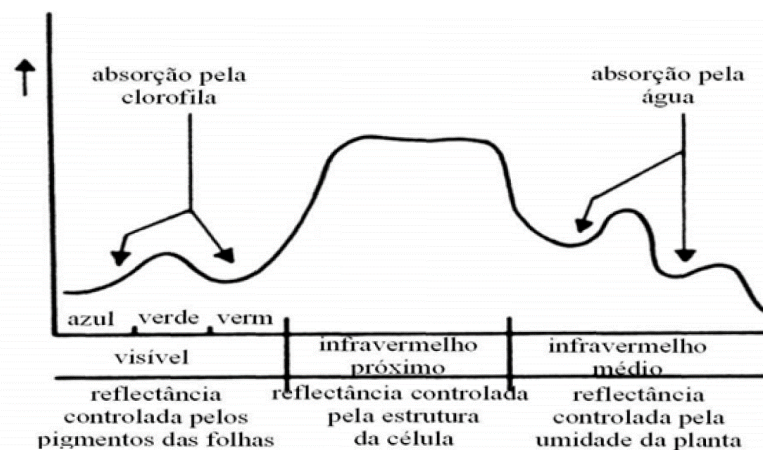
Figura 4 - Interação entre a radiação eletromagnética nos comprimentos de onda do Verde, vermelho (Vm) e Infravermelho Próximo (IVm).



Fonte: Adaptado de Campbell (1996).

A figura 5 apresenta a curva de reflectância espectral da vegetação (assinatura espectral) por meio da qual fica evidente a ocorrência de grande absorção de energia nos comprimentos de onda da faixa do visível, ocasionando a baixa reflectância nesta faixa de comprimento de onda. Verifica-se também que na faixa do infravermelho próximo ocorre pouca absorção de energia, causando alta reflectância nesta região do espectro. No comprimento de onda do infravermelho médio a interação de energia é controlada pela umidade presente na vegetação.

Figura 5 - Comportamento espectral da vegetação ao longo espectro eletromagnético relacionando as propriedades físicas associadas ao comportamento.



Fonte: adaptado de Campbell (1996).

Existem diversos métodos de cálculo de índices de vegetação que adicionam parâmetros ou buscam uma normalização dos dados das imagens, com o intuito de melhorar a qualidade das imagens geradas como a razão entre bandas (JORDAN, 1969), o índice de vegetação transformado (TUCKER, 1979), índice de vegetação perpendicular (HUETE, 1988), índice de vegetação ajustado ao solo (JACKSON; HUETE, 1991), entre outros como destacam os autores Lawrence e Ripple (1998).

Uma outra proposta é o índice de vegetação da diferença normalizada (IVDN) ou *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), proposto por Rouse, Haas e Schell (1973). Este índice se caracteriza pela normalização dos valores do número digital considerando o cálculo da diferença entre IVm e o Vm e da soma do IVm com o Vm. Jesus (2001), destaca que o IVDN apresenta como característica principal a atenuação do efeito do sombreamento do relevo.

A obtenção do IVDN dá-se pela expressão: $IVDN = (IVm - Vm) / (IVm + Vm)$. Gallo e Daugtry (1987) destacam que o IVDN apresenta grande potencial para aplicações em experimentos agrícolas e ambientais, principalmente devido à alta correlação existente entre este e o índice de área foliar, a radiação fotossinteticamente ativa, e a quantificação da biomassa seca e úmida.

Andrade et al. (2010) afirmam que o emprego de técnicas de sensoriamento remoto se estabeleceu como um elemento fundamental para o monitoramento e avaliação de fatores relacionados à dinâmica de uso das terras.

O emprego do IVDN como indicador da cobertura vegetal é uma ferramenta bastante empregada, como pode ser observado no trabalho de Lima et al. (2013), que avaliaram o uso das terras na sub-bacia das Posses, localizada no município de Extrema – MG, e concluíram que o IVDN viabilizou a avaliação do vigor vegetativo, tanto de culturas agrícolas, quanto da vegetação natural, facilitando a identificação das características da cobertura vegetal. Esses autores também destacam que a avaliação da cobertura vegetal é muito importante para verificar a ocorrência de fenômenos relacionados à degradação ambiental, em especial aqueles ligados à erosão hídrica.

Os índices de vegetação obtidos de imagens de satélite são amplamente utilizados em pesquisas ambientais, devido a sua significativa associação com os principais parâmetros vegetativos, tais como: área foliar, biomassa, percentual de

cobertura verde, produtividade e atividade fotossintética como pode ser observado nos trabalhos de Hill e Donald (2003); Simões (2004); Yuan e Bauer (2006); Lira et al. (2009); Maciel et al. (2009); Lissiner (2011); Esteves et al. (2012); Andrade et al. (2013); Lima et al. (2013); Almeida et al. (2015).

Com base no exposto, fica evidente o potencial e a ampla utilização dos índices de vegetação para se estimar a qualidade e a quantidade da cobertura vegetal. A obtenção de graus de precisão bastante satisfatórios verificada pelos autores citados indica o grande potencial desta abordagem para o tipo de análise proposto nesta pesquisa.

3.3 Geoprocessamento e análise ambiental

O conceito de desenvolvimento sustentável se refere a um dos maiores desafios aos quais nossa sociedade está sujeita. A adoção deste termo sinaliza a necessidade da manutenção do equilíbrio cauteloso entre a qualidade de vida e o desenvolvimento tecnológico, buscando uma gestão focada nos impactos ambientais decorrentes desse desenvolvimento. Com a intenção de minimizar a exploração desequilibrada dos recursos naturais, surgiu a visão desenvolvimentista, que enfatiza o uso consciente dos recursos naturais, sempre considerando seus limites (MOURA, 2003).

A análise ambiental aplicada a uma região possibilita a identificação de seus potenciais de uso, ocupação, vulnerabilidade, dinâmica e complexidade do ecossistema. Permite ações para sua preservação e conservação e constitui um sistema natural e bem delimitado geograficamente, onde os fenômenos e interações se integram. Desta forma, torna-se uma área na qual a análise e a gestão ambiental são mais adequadas (LORANDI; CANÇADO, 2002).

Um dos maiores desafios encontrados para a análise e gestão ambiental está ligado à complexidade espacial, que traz consigo outro fator problemático relacionado, a extensão territorial do país. As ferramentas oferecidas pelo geoprocessamento proporcionam meios para a obtenção de subsídios para análises territoriais, que são de extrema importância para o segmento. O Geoprocessamento gera informações

ambientais, oferecendo suporte às decisões relacionadas ao planejamento e à gestão ambiental (SILVA; ZAIDAN, 2004).

Segundo Moura (2003), devido a sua dimensão continental, o Brasil é deficitário em informações que subsidiem as tomadas de decisões, principalmente em relação à questão ambiental. O desenvolvimento dos Sistemas de Informação Geográfica e a consequente aplicação destas ferramentas, possibilitam que a aquisição de informação, e o controle e monitoramento de grandes extensões de áreas, tenham seu custo relativo e tempo de execução reduzidos.

O mesmo autor destaca que geoprocessamento representa um elemento facilitador na obtenção e análise de informações ambientais. Conecta-se diretamente a modelagem de sistemas ambientais, uma ferramenta fundamental para obtenção de dados sobre as variáveis que estão sendo correlacionadas, em um estudo que adota a abordagem sistêmica. O geoprocessamento se destaca como uma ferramenta computacional que viabiliza a abordagem integrada de múltiplas variáveis, permitindo a realização de análises matemáticas e estatísticas, oferecendo suporte à grande base de dados que pode ser empregada nas análises (HAMADA; GONÇALVES, 2007).

O geoprocessamento, visualizado basicamente por meio de sua principal ferramenta, os Sistemas de Informação Geográfica, oferece subsídios aos mais diversos setores da atividade humana. Alguns exemplos da aplicação desta ferramenta são: o monitoramento de bacias hidrográficas, o mapeamento pedológico, o roteamento turístico, a avaliação de impacto ambiental na agricultura, incluindo a simulação de plantio e colheita, a gestão de redes de distribuição de água e esgoto, o controle de tráfego, as atualizações florestais, o monitoramento ambiental entre outros (ROCHA, 2007).

Segundo Silva e Zaidan (2004), o geoprocessamento possibilita proceder análise da geotopologia de uma região, em uma escala detalhada, tornando possível investigar sistematicamente as propriedades deste ambiente. Permite também o estabelecimento de relações posicionais dos eventos e entidades representados em uma base de dados georreferenciados, subsidiando a tomada de decisão.

Moraes Filho et al. (2014) ressaltam que as ferramentas de SIG são importantes tecnologias aplicadas à análise de características e interações

paisagísticas, que possibilitam a gestão ambiental mais atuante e efetiva. Florenzano (2011) enfatiza que estas ferramentas podem ser utilizadas no estudo de fenômenos ambientais, de ambientes naturais e/ou modificados.

Cristofolletti (1999) destaca que por meio de um ambiente SIG, é possível a criação de modelos que ofereçam apoio à simulação de ações que ocorram no ambiente de um sistema. A assistência oferecida por meio desses modelos espaciais, para análise ambiental, traz consigo um maior suporte às intervenções em territórios por parte dos administradores, devendo ser considerada ainda a redução no empenho de recursos. Estes ganhos significativos ocorrem devido à diminuição da necessidade de saídas a campo, reduzindo gastos com hospedagem auxiliando a tomada de decisão a um custo menor.

O autor ainda menciona que, em decorrência dos avanços na área computacional, é possível a representação visual dos modelos topográficos, criando uma realidade virtual, agregando capacidade analítica aos trabalhos de análise ambiental. Nenhuma abordagem é capaz de garantir um modelo 100% fiel, mas essas ferramentas podem contribuir significativamente para uma abordagem mais consistente do que aquela esperada em um modelo enunciado apenas em linguagem verbal.

Moura (2003) afirma ser necessária a precaução na adoção da abordagem centrada em modelos, devido à possível duplicidade de sentidos que pode ocorrer. Destaca que existem meios para minimizar esses tipos de erros, adotando um bom método de calibração. A calibração consiste na análise de alguns parâmetros contidos nas amostragens dos modelos apresentados. O modelo é demonstrado através da sua aplicação em meio a um cenário desconhecido. A calibração diminui as margens de erro, inibindo a intervenção inadequada na região estudada.

Existem metodologias que foram desenvolvidas no intuito de integrar processos e entidades pertencentes ao geoprocessamento de maneira a aumentar sua eficiência. A análise ambiental pode exemplificar essas metodologias devido ao seu caráter multidisciplinar. Isto ocorre porque a análise ambiental, a partir da investigação de processos naturais, busca o estabelecimento de relações entre os processos de um sistema e as estruturas sociais a ele relacionadas. Tem como

objetivo o diagnóstico e o prognóstico, incluindo os riscos e as potencialidades ambientais em relação à sociedade (ROCHA, 2007).

O conceito de diagnóstico ambiental consiste no produto da análise das condições positivas e negativas que ocorrem no ambiente. Revela sua complexidade ao enfatizar a necessidade da adoção de uma visão holística da paisagem e da necessidade da compreensão das relações existentes entre o ser humano, a natureza e a sociedade (MARQUES, 2008).

O trabalho de Faria, Xavier e Góes (2003) é um exemplo de aplicação do geoprocessamento na análise ambiental. Os autores avaliaram os processos erosivos na bacia hidrográfica do ribeirão do Espírito Santo, no município de Juiz de Fora (MG). O trabalho envolveu a análise integrada da pedologia, relevo, pluviosidade, cobertura vegetal. Perceberam que as ferramentas de geoprocessamento foram eficientes para as análises realizadas. Nesta mesma linha podem ser citados os trabalhos de Silva et al. (2010); Carmo et al. (2015); Mesquita, Albuquerque e Cruz (2014); Souza e Galvani (2017) entre outros.

O trabalho de Campos et al. (2015) envolveu a caracterização morfométrica da bacia do ribeirão Descalvado. Verificaram que as técnicas do geoprocessamento foram eficientes na mensuração dos riscos ambientais relacionados aos parâmetros morfométricos, erosão e degradação ambiental. Os trabalhos de Fraga et al. (2014); Tagliarini, Rodrigues e Campos (2014) e Nardini et al. (2016) também podem ser considerados exemplos deste tipo de abordagem.

Braz et al. (2015) avaliaram a dinâmica da cobertura vegetal entre os anos 2010 e 2014, e utilizaram imagens do satélite LANDSAT 5 de uma bacia hidrográfica localizada no estado do Mato Grosso do Sul. Observaram que o IVDN permitiu a espacialização das alterações na cobertura vegetal, evidenciando a eficácia destas tecnologias para análise ambiental em bacias hidrográficas. Também são exemplos de pesquisas que envolvem este tipo de análise os trabalhos de Hill e Donald (2003); Simões (2004); Lira et al. (2009); Simões, Rocha e Lamparelli (2009); Oliveira et al. (2012); Esteves et al. (2012); Andrade et al. (2013); Lima et al. (2013); Almeida et al. (2015).

Considerando a aplicação das ferramentas de geoprocessamento na análise variação espaço-temporal das precipitações pluviométricas, pode ser citado o trabalho

de Trindade et al. (2016) que avaliaram e mapearam a distribuição da erosividade das precipitações no Brasil. Constataram que o emprego das ferramentas de geoprocessamento foi bastante eficiente, permitindo uma estimativa da distribuição espacial da variável analisada, oferecendo subsídios ao planejamento e gestão da conservação do solo no Brasil.

Xavier et al. (2016) comentam que as técnicas de geoprocessamento e interpolação dos dados permitem caracterizar de que forma eficiente a precipitação pluvial em escala mensal e anual. Afirmam também que o tipo de pesquisa realizado é de fundamental importância para a gestão e o planejamento ambientais na região do rio Taperoá (PB), avaliada pelo estudo. Nesta mesma linha pesquisa podem ser mencionados os trabalhos de Souza, Costa e Carvalho (2011); Gardiman Junior et al. (2012) e Magalhães et al. (2013).

Em relação à análise da relação entre precipitação, vazão e cobertura vegetal especificamente, não foram encontrados trabalhos que tratassem diretamente do tema. Porém merece destaque o trabalho de Viana (2012), que estudou a relação entre precipitação e vazão utilizando modelos hidrológicos e incorporou a variável IVDN como indicativo da evapotranspiração.

Hameed e Bannari (2016) descrevem a aplicação de ferramentas de geoprocessamento na avaliação da relação entre a cobertura vegetal e a distribuição das precipitações, em função do tempo e do espaço, utilizando o IVDN como indicativo da cobertura vegetal. Verificaram que as ferramentas de geoprocessamento facilitaram as análises por eles propostas.

Fan et al (2016) estudaram a relação entre as precipitações e a dinâmica da cobertura vegetal no Planalto da Mongólia e constataram a forte influência das precipitações nos valores mensurados do IVDN o que permitiu concluir que a metodologia empregada atendeu às expectativas. Outros trabalhos como os de Recha, et al. (2014) e Barbosa e Lakshmi-Kumar (2016) também são exemplos do uso do geoprocessamento e do sensoriamento remoto como suporte à análise da influência da distribuição espaço temporal das precipitações na cobertura vegetal.

Vazques et al. (2015), utilizando dados pluviométricos e fluviométricos e o IVDN na bacia do rio Piabanha/RJ, analisaram com base na regressão linear simples e múltipla, considerando a vazão como variável dependente, a correlação entre estas

variáveis. Adotaram a metodologia de análise de multiresolução (MRA) - (HAAR, 1910 apud VAZQUES et al. 2015), aplicada às chuvas observadas em duas estações próximas a Pedro do Rio, aos valores diários estimados das vazões e do IVDN. Empregaram a análise de amplitude reescalada (R/S), com a determinação do expoente de Hurst das séries dos diversos píxeis NDVI. Constataram que os valores de NDVI acompanham a variabilidade da precipitação e apresentam comportamento persistente, conforme indicam os valores do expoente de Hurst obtidos.

Os trabalhos citados aqui, por apresentarem similaridades com a proposta desta pesquisa, permitiram verificar a viabilidade do uso destas ferramentas neste tipo de análise. Com base no referencial teórico apresentado, foram definidos os procedimentos metodológicos adotados nessa pesquisa. Toda a fundamentação teórica converge para a compreensão da realidade ambiental hidrológica, no âmbito de unidades de área representadas por bacias hidrográficas considerando-as como um sistema. A dinâmica do comportamento hidrológico, gerida por determinados parâmetros descritos no referencial, foi contemplada nas análises. As geotecnologias representam o suporte metodológico adotado, justificado em função da grande capacidade de promover a obtenção, tratamento e análise da informação espacial com viés ambiental, amplamente evidenciado na literatura consultada.

4 CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO

Os rios Jaú e Jacaré-Pepira são afluentes do médio Tietê e estão inseridos na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos nº 13 “Tietê-Jacaré” (Figura 6), localizados na região central do estado de São Paulo. A área total da Bacia do rio Jacaré-Pepira é de 2599,26 km², enquanto a sub-bacia, localizada a montante da estação fluviométrica do DAEE (código 5D-028) ocupa 462,24 km², correspondendo a aproximadamente 18 % da área total da bacia do rio Jacaré-Pepira.

A bacia do rio Jaú tem área aproximada de 756,19km², sendo que a área ocupada pela porção da bacia situada a montante da estação fluviométrica do DAEE código 5D-029 é de aproximadamente 400,79km², representando cerca de 53% da área total da bacia do rio Jaú.

4.1 Clima

O clima das áreas de estudo, segundo Monteiro (1973), é controlado por massas de ar tropicais e equatoriais. É considerado ainda, segundo a classificação de Köppen, como do tipo Cwa, caracterizado por possuir verões quentes com temperaturas médias em torno de 22 °C e invernos secos com temperaturas médias superiores a 10°C (ALVARES et al. 2013; SOUZA; CREMONESI, 2004). Castro (2008) verificou que na bacia do rio Jaú a precipitação anual média é de 1.400mm. A dinâmica das precipitações das áreas de estudo foi analisada em função do período correspondente aos anos de 1988 a 1998 devido à descontinuidade na aquisição de dados encerrada em 1999.

Em relação às precipitações que ocorrem na região, Rezende (2009) descreve que para o período entre os anos de 1984 a 1998 a média das precipitações anuais na sub-bacia do Jacaré-Pepira foi superior em 1,3%, comparada à da sub-bacia do Jaú. Destaca como anos secos 1984, 1985, 1994 e 1998, e como anos chuvosos 1991 e 1995, com predominância de anos habituais (1986 a 1990, 1992, 1993, 1996 e 1997). Também considera que ambas as áreas apresentam distribuição de precipitações similar ao longo do ano, com o trimestre mais chuvoso de dezembro a março e o mais seco de junho a agosto.

Figura 6 - Mapa de localização das Sub-bacias dos rios Jaú e Jacaré-Pepira, e das estações fluviométricas e pluviométricas.



Fonte: IBGE (1969, 1969a, 1971, 1971a, 1972, 1972a, 1973, 1973a, 1974, 1974a, 1974b, 1974c) DAEE (2016); IPT (2000).

4. 2 Hidrografia

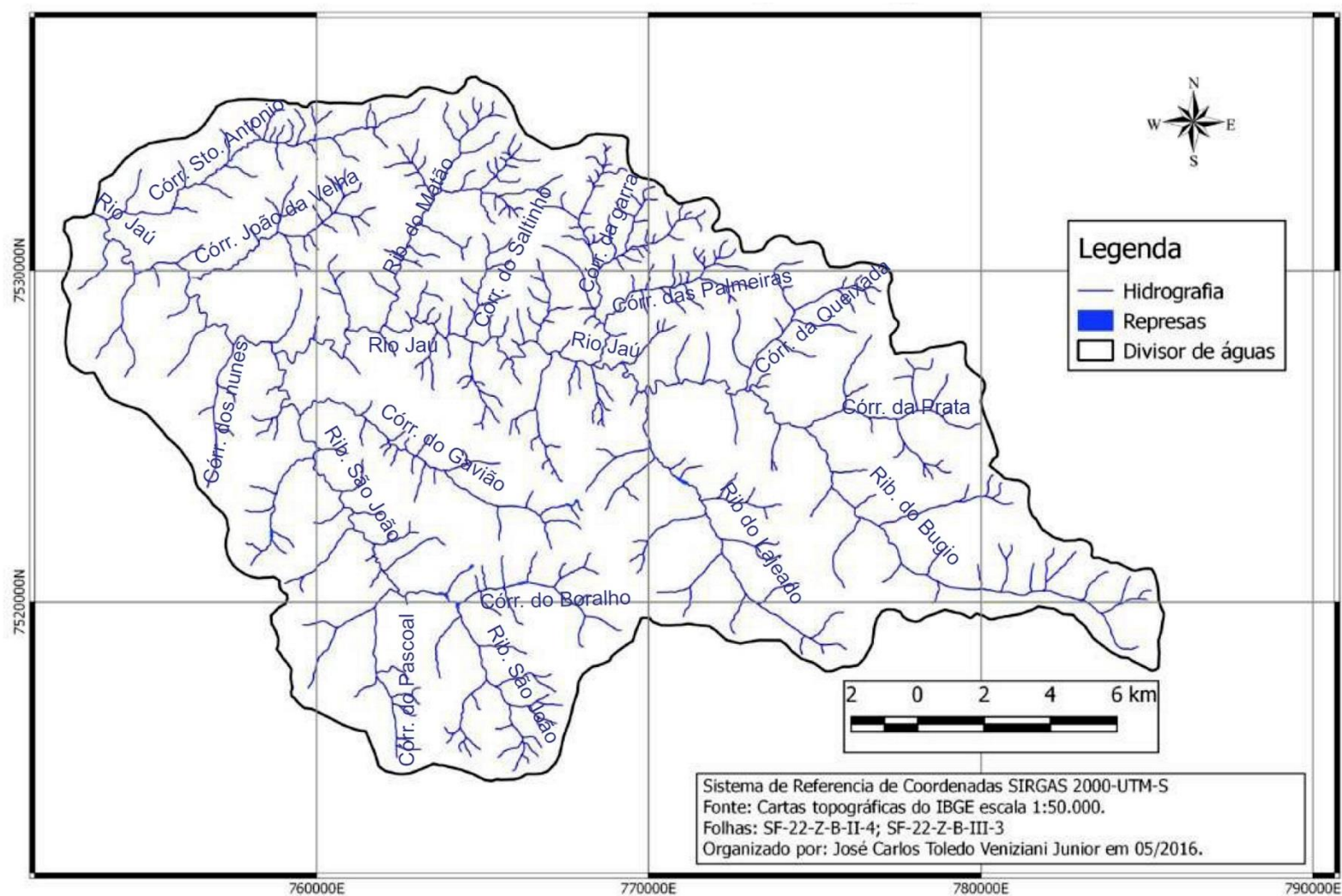
A drenagem de ambas sub-bacias, em função de sua distribuição espacial apresentada nas figuras 7 e 8, pode ser considerada de média a densa (ANDERSON, 1982) e com padrão de drenagem predominantemente dendrítico (CHRISTOFOLETTI, 1980).

A extensão total da rede de drenagem na sub-bacia do rio Jau, segundo a cartografia do IBGE na escala 1:50.000 é de 494,12 Km. O rio Jaú recebe este nome apenas na confluência entre os ribeirões do Bugio e do Lajeado ou Peixe. A nascente mais distante, considerada na medida da extensão do curso principal, encontra-se no afluente ribeirão do Bugio. Na margem direita da sub-bacia do rio Jaú estão os seguintes afluentes: córrego Santo Antônio, córrego João da Velha, ribeirão do Matão, córrego do Saltinho, córrego das Palmeiras e o ribeirão do Bugio. Na margem esquerda o córrego dos Nunes, ribeirão São João, córrego do Veadinho e o ribeirão do Lajeado (IBGE, 1973, 1974b).

Na sub-bacia do Jacaré-Pepira, a extensão total da rede de drenagem também segundo a base cartográfica do IBGE é de 466,13 km. Os principais afluentes da margem direita desta sub-bacia são: córrego do Canivete, ribeirão do Tamanduá, córrego do Tamanduá, ribeirão do Pinheirinho, ribeirão dos Pintos e córrego do Recreio. Na margem esquerda, o córrego do Monjolo, córrego do Benjamim, ribeirão Claro ou do Varjão, córrego Tijuco Preto, córrego do Saltinho, córrego da Água Branca, ribeirão dos Bicudos ou do Sítio Velho, córrego Tapera, ribeirão da Divisa, córrego Porto do Coqueiro, córrego São João (IBGE, 1974a, 1973a, 1971a, 1969a).

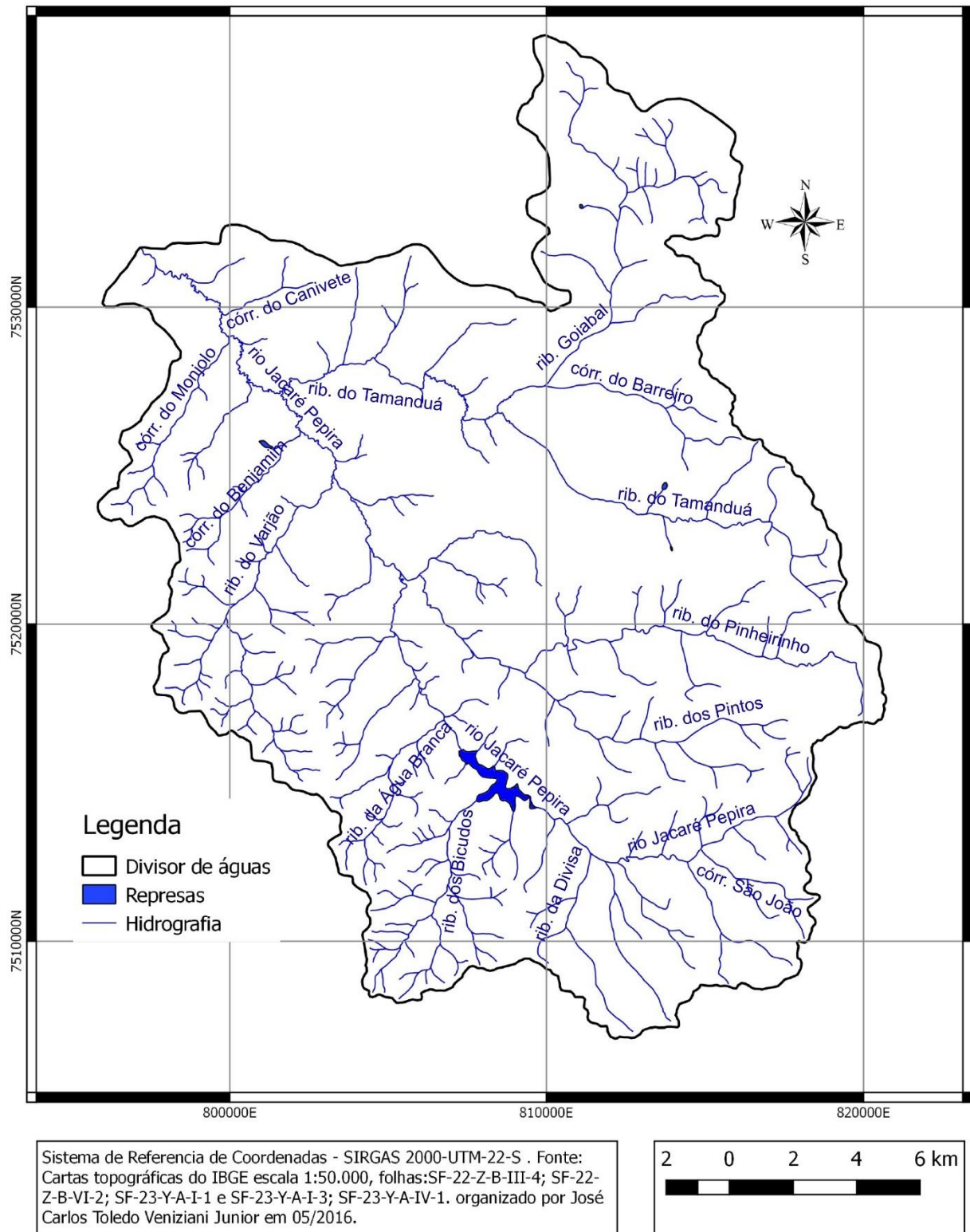
Na sub-bacia do Jacaré-Pepira, merece destaque especial a presença de uma barragem conhecida como Represa do Patrimônio, situada na sub-bacia do Jacaré-Pepira nas proximidades do distrito Patrimônio de São Sebastião da Serra, localizado no município de Brotas, que forma um reservatório que ocupa uma área aproximada de 100 ha (IBGE, 1973, 1974a, 1974a, 1973a, 1971a, 1969a).

Figura 7 - Sub-bacia do rio Jaú: Mapa Hidrográfico.



Fonte: IBGE (1973, 1974b).

Figura 8 - Sub- bacia do rio Jacaré-Pepira: Mapa Hidrográfico.



Fonte: IBGE (1974a;1973a,1971a,1969a).

A área situada a montante da barragem na sub-bacia do Jacaré-Pepira corresponde a cerca de 20% da área total.

A sub-bacia do Jaú, não possui nenhum barramento de grandes dimensões nos cursos d'água são encontrados vários barramentos distribuídos por diversos tributários do rio Jaú, sendo que a área situada a montante destes barramentos representa cerca de 17% da área total desta sub-bacia (IBGE, 1973; 1974b).

Rezende (2009) verificou que para o período entre 1984 e 1998, no rio Jaú, a vazão média específica foi $8,10 \text{ l.s}^{-1}.\text{Km}^2$, enquanto para o Jacaré-Pepira foi $8,63 \text{ l.s}^{-1}.\text{Km}^2$. No período de estiagem as vazões mínimas específicas foram $3,36 \text{ l.s}^{-1}.\text{Km}^2$ para o Jaú e para o Jacaré-Pepira $4,45 \text{ l.s}^{-1}.\text{Km}^2$, sendo que a vazão máxima registrada foi de $165,23 \text{ l.s}^{-1}.\text{Km}^2$ e $125,23 \text{ l.s}^{-1}.\text{Km}^2$ respectivamente.

O autor descreve ainda os resultados da vazão, segundo o método da regionalização hidrológica do estado de São Paulo, disponibilizados pelo DAEE. Neste contexto, o rio Jaú apresenta o dobro de dias com vazão abaixo da média, em relação ao Jacaré-Pepira. A vazão mínima registrada no rio Jaú foi menor que a vazão prevista de permanência em 95% do tempo ($Q_{95\%}$) e praticamente igual à vazão crítica de 7 dias para 10 anos de tempo de retorno ($Q_{7,10}$). A vazão mínima medida no rio Jacaré-Pepira foi igual à estimada para a $Q_{95\%}$ e maior que o valor estimado para a $Q_{7,10}$.

4. 3 Geologia

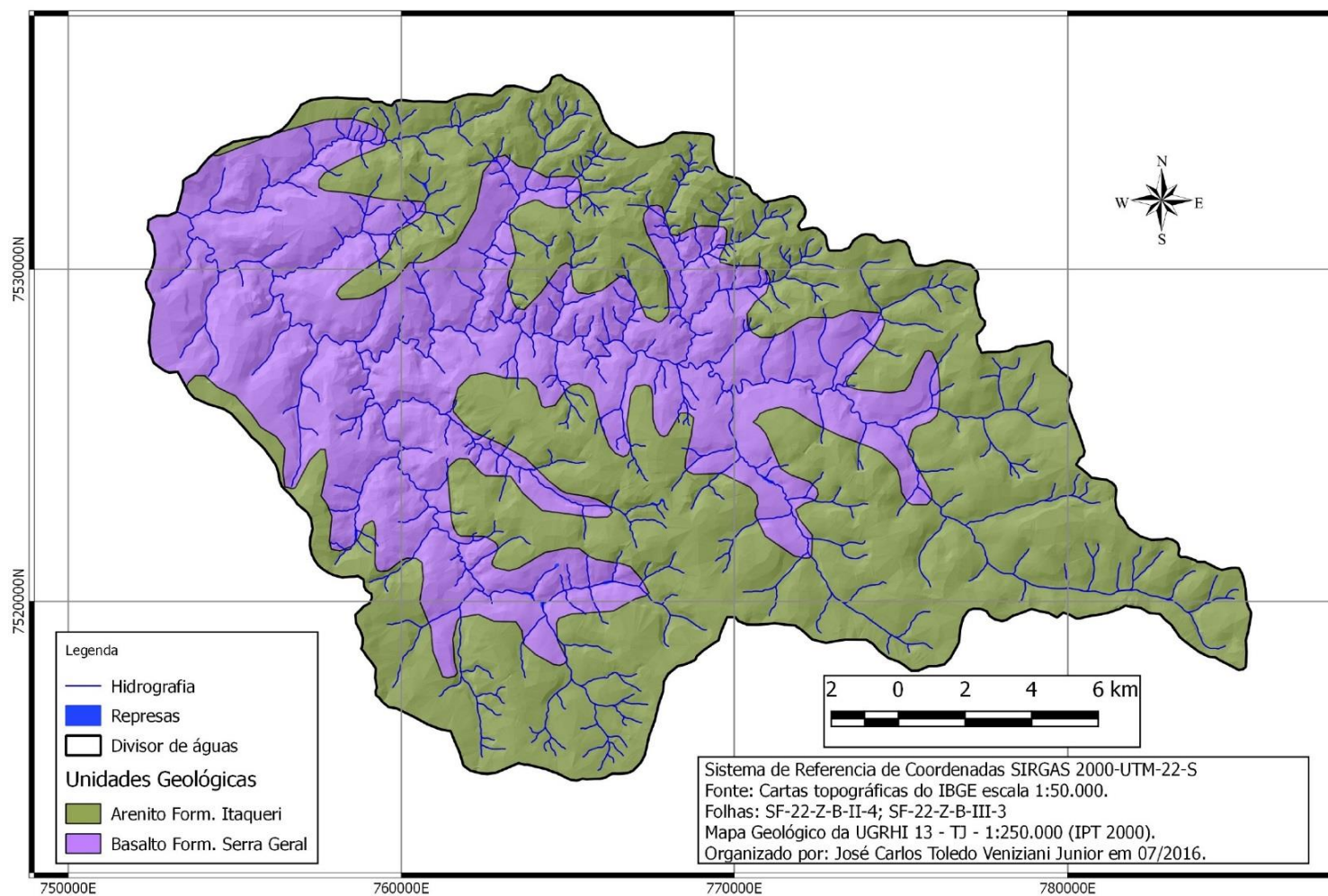
A geologia da região, segundo o IPT (2000) (tabela 3 e figura 9), demonstra que a sub-bacia do rio Jaú possui afloramentos de duas formações geológicas: arenitos da formação Itaqueri e basaltos da formação Serra Geral.

Tabela 3 - Áreas ocupadas pelas unidades geológicas na sub-bacia do rio Jaú.

Geologia	Área (ha)	Área (km ²)	% da Área
Arenito (formação Itaqueri)	23595,74	235,96	58,87
Basalto (formação Serra Geral)	16484,10	164,84	41,13
Total	40079,84	400,79	100

Fonte: (IPT 2000).

Figura 9 - Sub bacia do Rio Jaú: Mapa Geológico.



Fonte: IPT (2000); IBGE (1973, 1974b).

Como pode ser observado na figura 9, os arenitos da formação Itaqueri ocorrem nas regiões de maiores altitudes, distribuindo-se nas proximidades do divisor de águas estendendo-se em direção aos vales do rio Jaú e afluentes, porém restritos às áreas de maiores altitudes. Formam uma cobertura sobre camada de basalto, situada abaixo deste capeamento. Representam mais de 58% da área total da bacia, ocupando uma área aproximada de 236 km². Os afloramentos de basaltos da formação Serra Geral estão restritos à região central e oeste da sub-bacia, vinculados aos vales entalhados pelos cursos d'água. Ocorrem em pouco mais de 41% da área, totalizando algo em torno de 164 km².

Segundo o mapa geológico do IPT (2000) a sub-bacia do rio Jacaré-Pepira (tabela 4 e figura 10), abrange cinco unidades geológicas.

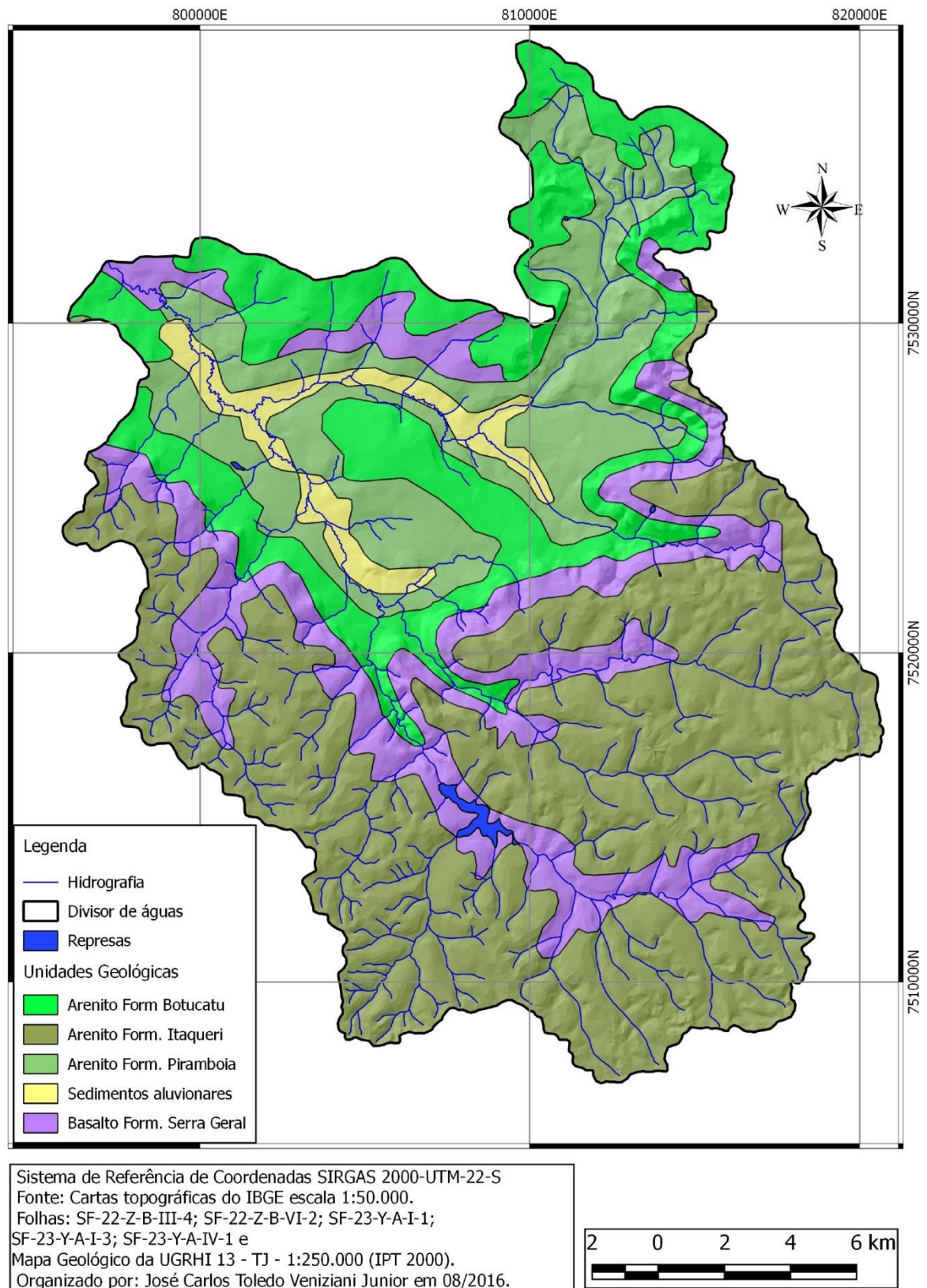
Tabela 4 - Áreas ocupadas pelas unidades geológicas na sub-bacia do rio Jacaré-Pepira.

Unidades geológicas	Área (ha)	Área (km ²)	% da Área
Sedimentos aluvionares	1708,62	17,09	3,70
Arenito (formação Itaqueri)	20729,51	207,30	44,85
Basalto (formação Serra Geral)	7617,01	76,17	16,48
Arenito (formação Botucatu)	8529,83	85,30	18,45
Arenito (formação Piramboia)	7639,26	76,39	16,53
Total	46224,24	462,24	100

Fonte: IPT (2000)

Os sedimentos aluvionares ocupam uma área em torno de 17km², correspondendo a aproximadamente 3,7 % da área total da bacia. Estes afloramentos estão presentes na porção centro noroeste da área e estão restritos às áreas de planície, situadas no trecho a montante da estação fluviométrica. Estendem-se em direção ao curso principal do rio Jacaré-Pepira e do ribeirão Tamanduá, afluente da margem direita. Trata-se de uma unidade composta por sedimentos inconsolidados de origem fluvial, incluindo depósitos de terraços fluviais

Figura 10 - Sub-bacia do rio Jacaré-Pepira: Mapa Geológico.



Fonte: IPT (2000); IBGE (1974a;1973a,1971a,1969a).

Segundo IPT (2000), a unidade geológica representada pela formação Itaqueri é composta basicamente por arenitos com cimento argiloso, além da presença de folhelhos e conglomerados. Está presente em mais de 207 km², sendo que representa quase 45% do total da área da sub-bacia. Os afloramentos desta formação ocorrem nas porções mais altas da sub-bacia, ocupando as regiões leste, sudeste, sul, sudoeste e oeste. São compostos por uma camada rochas de origem sedimentar, que recobre os basaltos da formação Serra Geral.

A formação Serra Geral aflora em cerca de 76 km², aproximadamente 16% da área total e corresponde basicamente às encostas da escarpa da Cuesta e acompanham os eixos de dissecação dos vales fluviais do curso principal do rio Jacaré-Pepira, do ribeirão Claro (Varjão) e do ribeirão do Pinheirinho. Possui na sua composição, principalmente, rochas vulcânicas, originadas de derrames basálticos com coloração cinza a negra e com a presença de arenitos intertrapeanos de textura fina a média, intercalados com as camadas de basalto (IPT, 2000).

Composta por arenitos finos a médios de origem eólica e coloração avermelhada, com presença de estratificação cruzada de grande porte, a formação Botucatu também possui lentes de arenitos conglomeráticos, além de presença de alguns sítios argilosos (argilitos) de estratificação plano-paralela. A formação Botucatu corresponde à camada de rochas situada abaixo dos derrames basálticos da formação Serra Geral. Ocorre nas regiões de menor altitude nas proximidades da base das encostas da Cuesta. Compõe, principalmente, os afloramentos situados na região central da sub-bacia e nos extremos, próximos aos divisores de água nas regiões norte e nordeste. Ocupa área em torno de 85 km², que correspondem a aproximadamente 18% do total da área (IPT, 2000).

A região da sub-bacia do Jacaré-Pepira apresenta afloramentos da formação Piramboia, (76 km²) que correspondem a 16,5% da área. Estes afloramentos estão presentes nas regiões centro-nordeste e centro-noroeste da sub-bacia. Localizam-se nas regiões de altitudes inferiores às encontradas nas ocorrências da formação Botucatu, compondo uma camada de rochas situada diretamente abaixo desta formação (IPT, 2000).

Os arenitos da formação Piramboia se caracterizam pela presença de depósitos eólicos e de lagoas temporárias. Incluem arenitos finos a médios de coloração

avermelhada a esbranquiçada, compostos siltico-argilosos, de estratificação cruzada, tangencial na base e plano-paralela. Também estão presentes níveis de folhelhos, com ocorrências raras de lentes de arenitos conglomeráticos) (IPT, 2000).

4. 4 Geomorfologia

Segundo o mapa geomorfológico do IPT (2000), a sub-bacia do Rio Jaú está situada na região do Reverso da Cuesta Basáltica Paulista. É composta basicamente pelas formas de relevo colinas amplas, que correspondem a cerca de 4% do total da área, com área aproximada de 16 km² (tabela 5). A distribuição espacial desta unidade geomorfológica se restringe à porção oeste desta sub-bacia, como pode ser observado na figura 11.

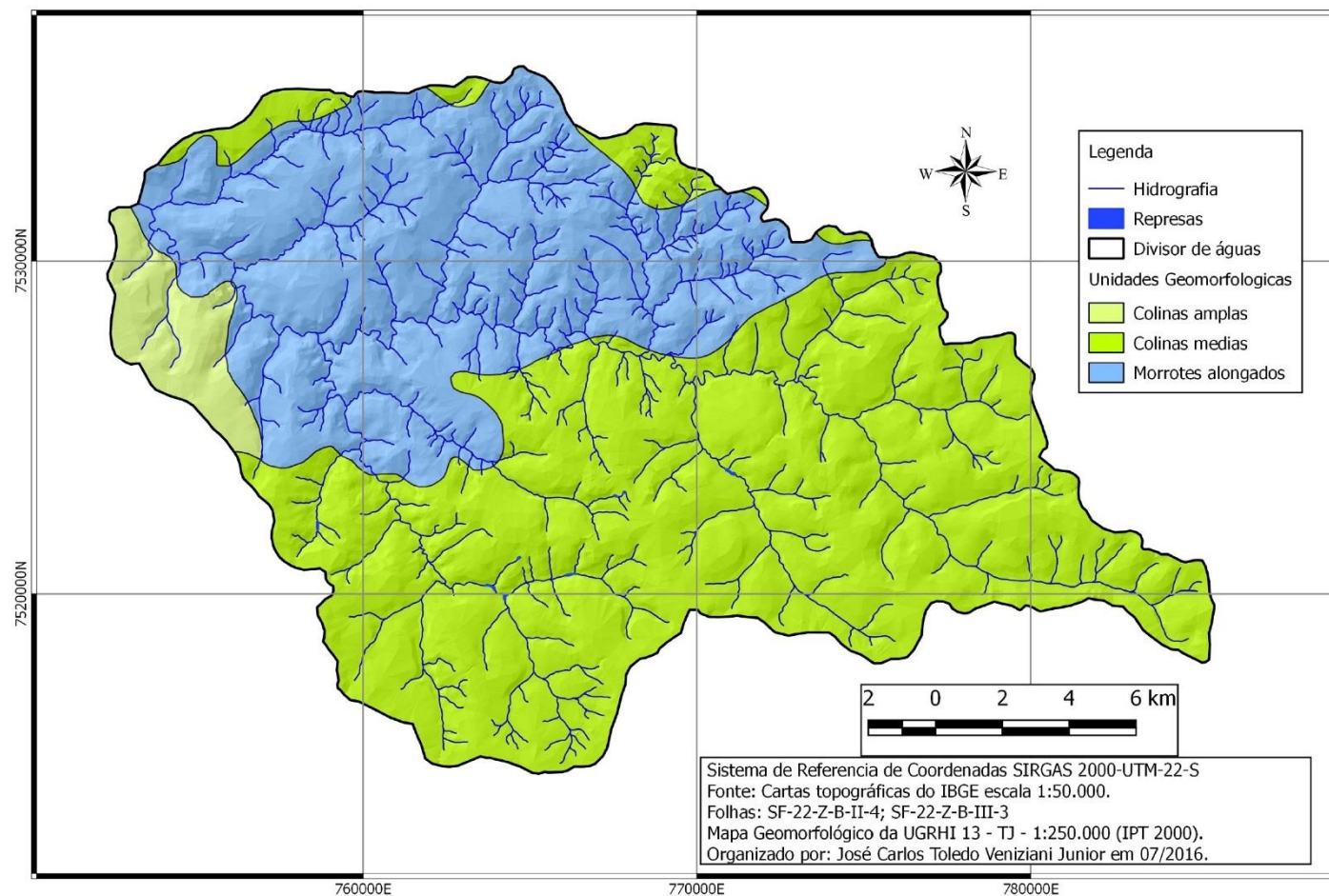
Tabela 5 - Áreas ocupadas pelas unidades geomorfológicas na sub-bacia do rio Jaú.

Geomorfologia	Área (ha)	Área (km ²)	% da Área
Colinas amplas	1612,05	16,12	4,02
Colinas médias	23915,81	239,16	59,67
Morrotes alongados	14551,98	145,52	36,31
Total	40079,84	400,79	100

Fonte: IPT (2000)

As colinas médias se distribuem por toda a região centro-sul, sul, sudeste, centro-leste e leste e ainda ocorrem em algumas áreas mais restritas, situadas no extremo norte da bacia, sob a forma de algumas pequenas manchas. É a maior unidade geomorfológica, correspondendo a quase 60% da área total, distribuída por aproximadamente 240km². Os Morrotes alongados podem ser encontrados na região norte, nordeste e noroeste da sub-bacia e correspondem a uma área de 145 km², representando algo em torno de 36% da área total.

Figura 11 - Sub-bacia do rio Jaú: Mapa Geomorfológico.



Fonte: IPT (2000); IBGE (1973, 1974b).

A geomorfologia da sub-bacia do rio Jacaré-Pepira se caracteriza pela presença de cinco unidades, destacando-se a presença de colinas médias que correspondem a maior porção do território, ou mais de 54%, distribuídos por mais de 252 km² (tabela 6). Esta forma de relevo encontra-se distribuída pelas regiões oeste, sudoeste, centro sul, leste e no extremo nordeste da sub-bacia. As colinas amplas estão presentes na porção norte e centro norte (figura 12), ocupando quase 20% da área total distribuídas por mais de 91 km².

Tabela 6 - Áreas ocupadas pelas unidades geomorfológicas na sub-bacia do rio Jacaré-Pepira.

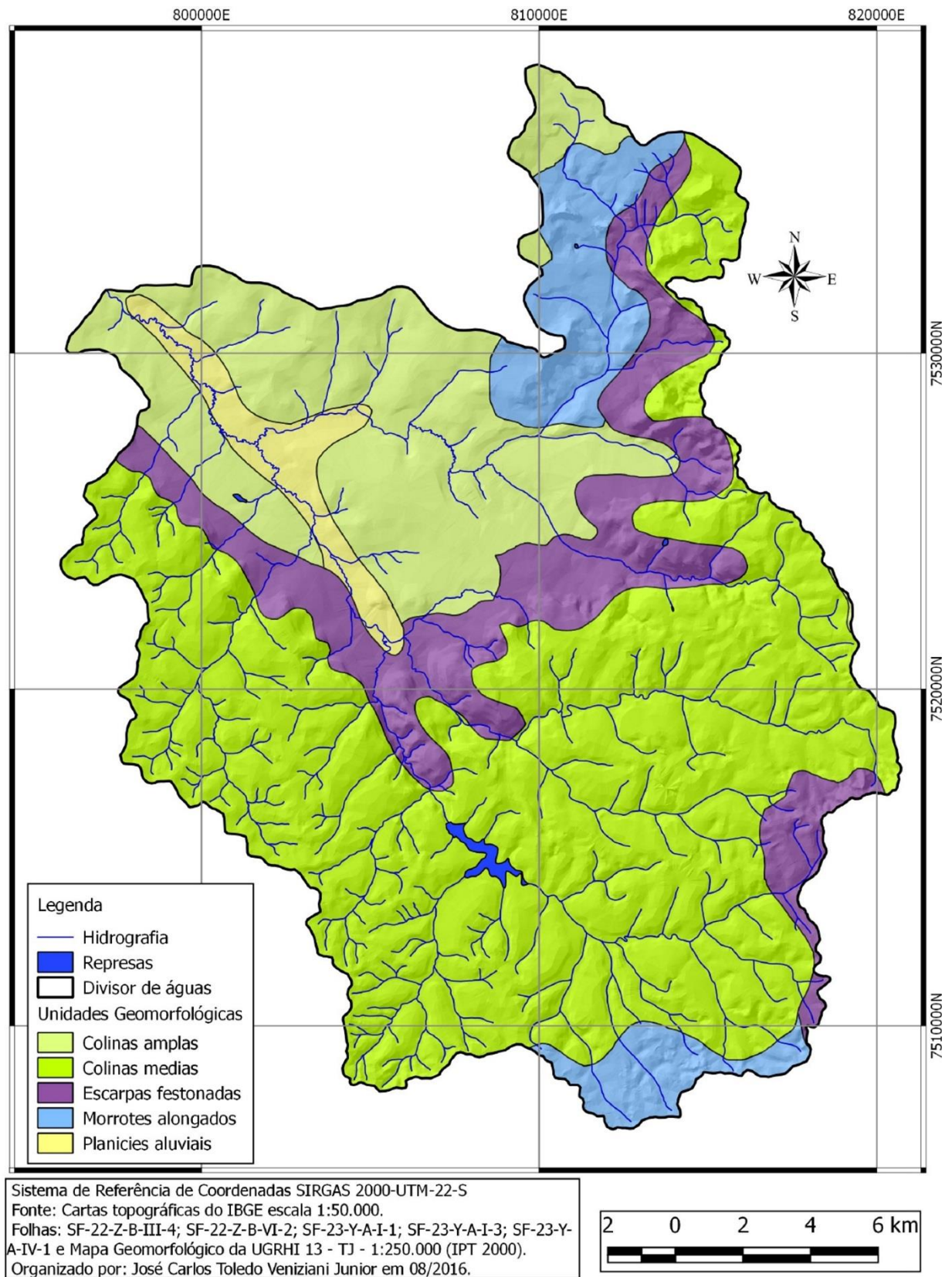
Geomorfologia	Área (ha)	Área (km ²)	% da Área
Planícies aluviais	1539,88	15,40	3,33
Colinas amplas	9125,20	91,25	19,74
Colinas médias	25205,98	252,06	54,53
Morrotes alongados	3630,27	36,30	7,85
Escarpas festonadas	6722,91	67,23	14,54
Total	46224,24	462,24	100

Fonte: IPT (2000).

As escarpas festonadas estão associadas ao relevo de Cuesta presente na região e constituem a borda da bacia sedimentar do Paraná e correspondem ao front da Cuesta. Essas formas se distribuem pela região central da sub-bacia e no extremo sudeste, nas proximidades do divisor de águas. Formam uma área de transição, entre as áreas de colinas médias, mais características da região do reverso da Cuesta e das colinas amplas, associadas à depressão periférica. Ocupam mais de 63 km² o que corresponde a mais de 14 % da área total da sub-bacia.

Os morrotes alongados estão presentes em mais de 36 km² ou quase 8% da área total. Estão localizados na região do extremo sul e também no norte da bacia e representam uma área de transição entre a escarpa do front da Cuesta e as áreas de colinas amplas existentes da depressão periférica. As planícies aluviais estão presentes no entorno do curso principal do rio Jacaré-Pepira, nas proximidades da estação fluviométrica do DAEE, situada na região de jusante da sub-bacia. Estão associadas à presença de sedimentos aluvionares, conforme pode ser observado no mapa geológico (figura 12) e ocupam pouco mais de 15 km², o que corresponde a apenas 3% da área total.

Figura 12 - Sub-bacia do rio Jacaré-Pepira: Mapa Geomorfológico.



No mapa de declividade (figura 13), associado aos valores apresentados na tabela 7, observa-se o evidente predomínio de relevos moderadamente ondulados (5 a 10%) e ondulados (10 a 15%). Estes somam mais de 55% do total da área distribuídos por cerca de 224 km², associados á presença de colinas médias e morrotes alongados, concentrando-se principalmente nos vales entalhados pelo rio Jaú e seus afluentes (IBGE, 1973; 1974b).

Tabela 7 - Áreas das classes de declividade na sub-bacia do rio Jaú.

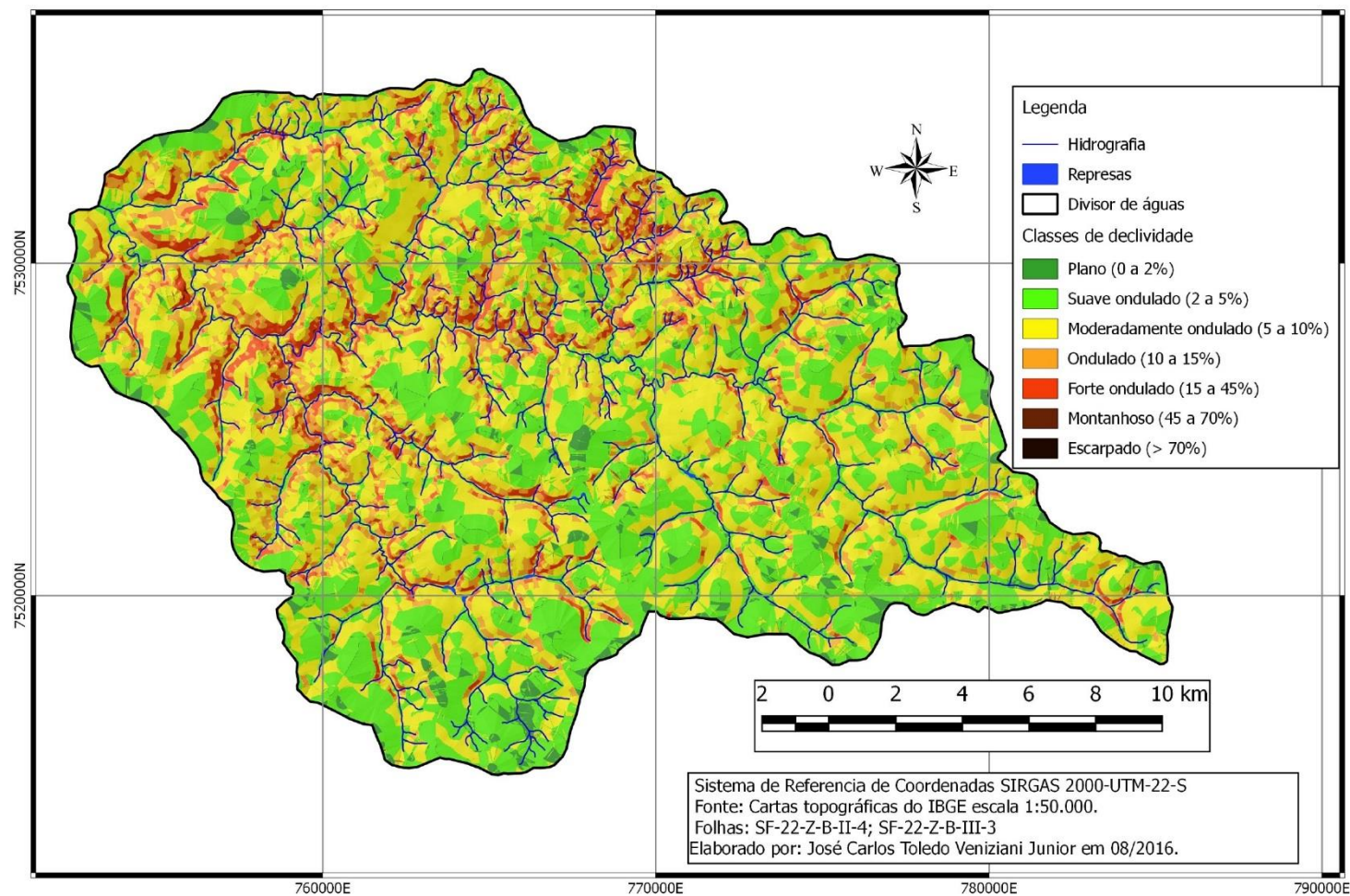
Declividade	Área (ha)	Área (km ²)	% da Área
Plano (0 a 2%)	1487,87	14,88	3,71
Suave ondulado (2 a 5%)	13818,39	138,18	34,48
Moderadamente ondulado (5 a 10%)	17356,23	173,56	43,30
Ondulado (10 a 15%)	5066,84	50,67	12,64
Forte ondulado (15 a 45%)	2329,76	23,30	5,81
Montanhoso (45 a 70%)	19,85	0,20	0,05
Escarpado (>70%)	0,91	0,01	0,001
Total	40079,84	400,79	100

Fonte: IBGE (1973; 1974b). Lepsch et al. (1991).

As classes de declividade que descrevem um relevo plano (0 a 2%) e suave ondulado (2 a 5%) estão mais associadas aos interflúvios. Indicam forte presença de áreas planas no topo dos espigões, que definem os divisores de águas dos afluentes do Jaú e em alguns pontos associados à presença de planícies de inundação, situadas nos fundos de vales do Jaú e de seus afluentes. Estes relevos mais planos, ocorrem em cerca de 38% da área total da Bacia ocupando uma área aproximada de 153km².

Declividades mais acentuadas que descrevem um relevo montanhoso (45 a 70%) e escarpado (> 70%) são praticamente inexistentes na sub-bacia do rio Jaú, uma vez que estão presentes em apenas 0.05% da área, situadas nas cabeceiras da região norte e ao longo dos vales do Jaú, Bugio e Lajeado.

Figura 13 - Sub-bacia do rio Jaú: Mapa de Declividade.



Fonte: IBGE (1973; 1974b). Lepsch et al. (1991).

Na tabela 8 e na figura 14, é possível observar que a distribuição da declividade na sub-bacia do rio Jacaré-Pepira apresenta relevo moderadamente ondulado (5 a 10%), que ocorre em mais de 184 km², correspondendo a quase 40% da área total. Também se observou a ocorrência de relevo ondulado (10 a 15%) que ocupa quase 8 km² ou 17% da área total da sub-bacia. Estas declividades estão principalmente associadas às colinas médias e aos morrotes alongados e se relacionam à distribuição espacial destas unidades geomorfológicas. Estão ainda associadas à transição entre as escarpas festonadas e outras unidades, bem como nas áreas situadas no reverso da Cuesta (IBGE, 1974a; 1973a; 1971a; 1969a).

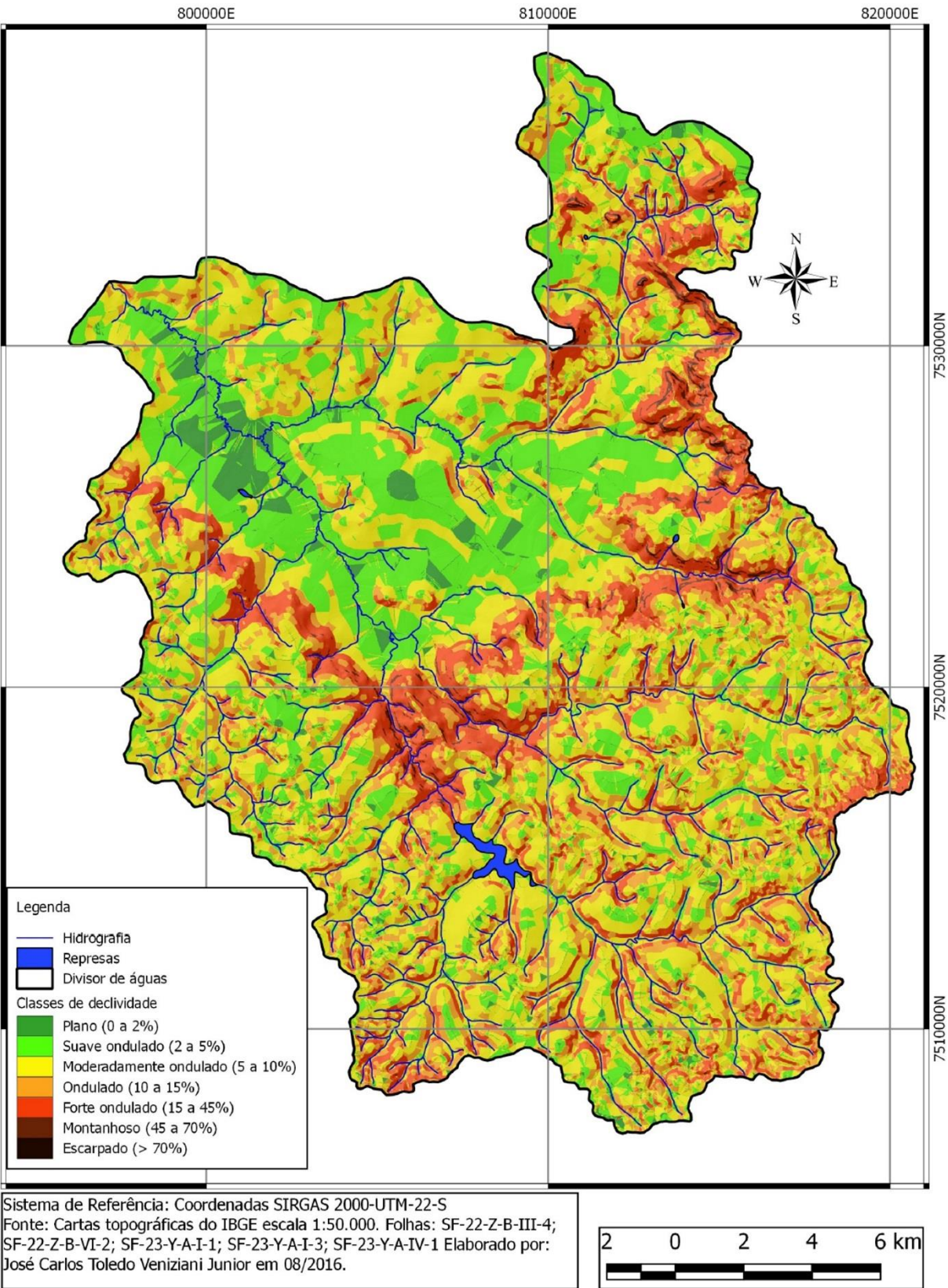
Tabela 8 - Áreas das classes de declividade na sub-bacia do rio Jacaré-Pepira.

Declividade	Área (h)	Área (km ²)	% da Área
Plano (0 a 2%)	1546,42	15,46	3,35
Suave ondulado (2 a 5%)	11171,23	111,71	24,17
Moderadamente ondulado (5 a 10%)	18471,84	184,72	39,96
Ondulado (10 a 15%)	7926,79	79,27	17,15
Forte ondulado (15 a 45%)	6660,81	66,61	14,41
Montanhoso (45 a 70%)	411,01	4,11	0,89
Escarpado (>70%)	36,14	0,36	0,08
Total	46224,24	462,24	100

Fonte: IBGE (1974a; 1973a; 1971a; 1969a). Lepsch et al. (1991).

As classes de declividade que descrevem o relevo plano (0 a 2%) e suave ondulado (2 a 5%) são distribuídas por mais de 27% da área, ocorrendo em mais de 117 km². Estão associadas às formas de relevo constituídas por colinas amplas situadas na região da depressão periférica, englobando inclusive as áreas de planície situadas no entorno do curso principal do rio Jacaré-Pepira e de alguns de seus afluentes. O relevo forte ondulado (15 a 45%), montanhoso (45 a 75%) e escarpado (> 70%) pode ser relacionado à unidade geomorfológica das escarpas festonadas que representam o front da Cuesta (IBGE, 1974a; 1973a; 1971a; 1969a).

Figura 14 - Sub-bacia do rio Jacaré-Pepira: Mapa de Declividade.



Fonte: Fonte: IBGE (1974a;1973ª;1971ª;1969a). Lepsch et al. (1991).

4.5 Solos

Segundo o Mapa de solos da UGRHI 13 (IPT, 2000), nas sub-bacias do rio Jaú e Jacaré-Pepira, encontram-se 7 unidades pedológicas. As unidades pedológicas presentes na área, bem como a descrição de suas principais características podem ser observadas na tabela 9.

Tabela 9 - Descrição das unidades pedológicas presentes nas sub-bacias dos rios Jacaré-Pepira e Jaú.

Legenda	Descrição da Unidade Pedológica
RQo	Associação de Neossolo Quartzarênico, A fraco e moderado e Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, A moderado, textura média. Inclusões: Latossolo Vermelho Distrófico, A moderado, textura argilosa e Argissolo Vermelho-Amarelo, A moderado, textura arenosa/média.
LVd+LVef	Associação Latossolo Vermelho distrófico, álico, A moderado e proeminente, textura média, argilosa, argilosa e Latossolo Vermelho eutroférico e distroférico, A moderado, e proeminente, textura argilosa e muito argilosa. Inclusões de Argissolo Vermelho-Amarelo, álico, A moderado, textura arenosa média, Latossolo Vermelho-Amarelo, álico, A moderado, textura média e argilosa e Neossolos Litólicos distróficos e eutróficos, A moderado, textura indiscriminada.
LVef	Latossolo Vermelho distroférico e eutroférico, A moderado e A chernozêmico, textura muito argilosa e argilosa. Inclusões de Latossolo Vermelho distrófico, álico, A moderado, textura média, Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, álico. A moderado, textura argilosa e média, Nitossolo Vermelho distrófico e eutrófico, A moderado, textura muito argilosa e argilosa.
LVAd+LVd	Associação de Latossolo Vermelho-Amarelo álico, distrófico, A moderado e proeminente, textura média e argilosa e Latossolo Vermelho álico, distrófico, A moderado, textura média e argilosa e Latossolo Vermelho álico, distrófico, A moderado, textura média e argilosa. Inclusões de Latossolo Vermelho eutroférico e distroférico, A moderado, textura argilosa e muito argilosa; Argissolo Vermelho-Amarelo álico, Tb textura arenosa/média, Neossolo Litólico eutrófico e distrófico A moderado, textura indiscriminada, Cambissolo eutrófico e distrófico, A moderado, textura indiscriminada e Neossolo Quartzarênico álico, A moderado.
PVe+PBACal	Associação de Argissolo Vermelho-Amarelo álico e eutrófico abrupto e não abrupto, A moderado, textura arenosa/média, média/argilosa e arenosa/argilosa e Argissolo Bruno-Acinzentado, álico abrupto, A moderado, textura média/argilosa e média/muito argilosa. Inclusões de Neossolos Litólicos eutróficos e distróficos, A moderado e chernozêmico, textura média e argilosa, Latossolo Vermelho-Amarelo, álico, A moderado, textura média, Latossolo Vermelho álico, A moderado, textura média e Argissolo Vermelho eutrófico, A moderado, textura média/argilosa.
RLe	Associação de Neossolos Litólicos eutróficos e distróficos, A chernozêmico e moderado, textura média e argilosa (fase pedregosa e não pedregosa) Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico e distrófico, abrupto e não abrupto, A moderado, textura arenosa/média e média/argilosa e Nitossolo Vermelho eutrófico, A moderado, textura muito argilosa. Inclusões de afloramentos de rocha e Cambissolo distrófico e eutrófico, A moderado, textura indiscriminada.
NVef+LVef	Associação de Nitossolo Vermelho eutroférico, A moderado, textura muito argilosa e Latossolo Vermelho eutroférico, A moderado, textura muito argilosa.

Fonte: IPT (2000); EMBRAPA (2006)

Na sub-bacia do rio Jaú (figura 15) ocorrem 5 unidades pedológicas: a associação entre latossolo vermelho distrófico e latossolo vermelho eutroférico (LVd+LVef), que ocupa aproximadamente 36% da área total da sub-bacia, o que

corresponde a mais de 146km² (tabela 10). Esta unidade se distribui pela região norte, centro-sul e sudoeste estando associados principalmente à presença dos derrames basálticos da formação Serra Geral e à transição para os arenitos da formação Itaqueri.

Tabela 10 - Áreas das unidades pedológicas na sub-bacia do rio Jaú.

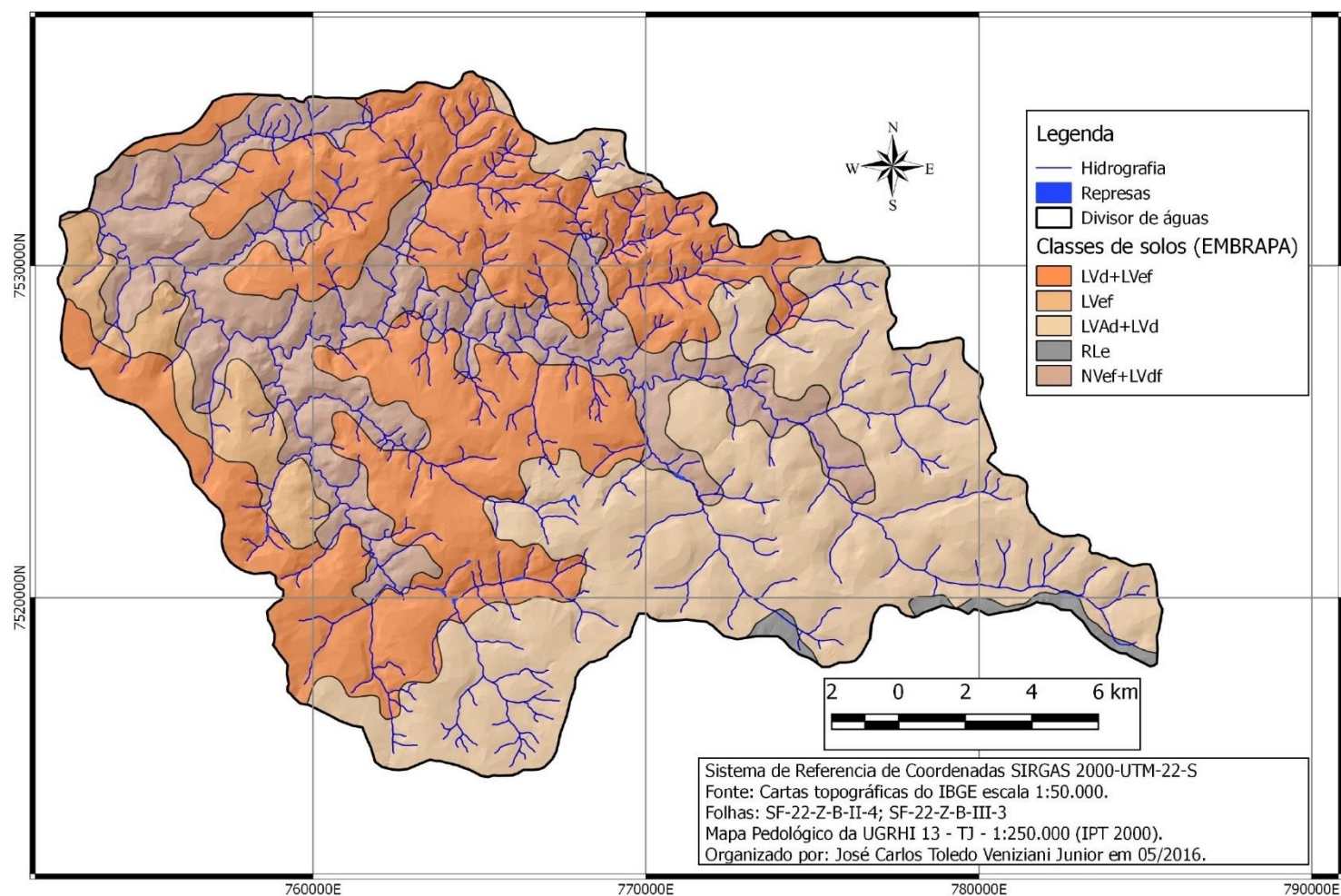
Pedologia	Área (ha)	Área (km ²)	% da Área
Associação Latossolo Vermelho distrófico + Latossolo Vermelho eutroférico (LVd+LVef)	14679,70	146,80	36,63
Latossolo Vermelho eutroférico (LVef)	1763,87	17,64	4,40
Associação Latossolo Vermelho Amarelo distrófico + Latossolo Vermelho distrófico (LVAd+LVd)	14551,89	145,52	36,31
Associação Neossolos Litólicos e Nitossolo Vermelho eutroférico (RLe)	384,35	3,84	0,96
Associação Nitossolo Vermelho Eutroférico + Latossolo Vermelho distrófico (NVef+LVdf)	8700,03	87,00	21,71
Total	40079,84	400,79	100

Fonte: IPT (2000); EMBRAPA (2006)

O latossolo vermelho amarelo e o latossolo vermelho (LVAd+LVd) se espalham pela região sul e nordeste, leste e sudeste, estando presentes em pouco mais de 36% da área da sub-bacia, o que representa uma área de aproximadamente 145 km². Esta classe de solos está relacionada à presença de arenitos da formação Itaqueri. A associação entre nitossolo vermelho eutroférico e latossolo vermelho (NVef+LVdf) corresponde a mais de 21% da área total da sub-bacia do rio Jaú. Está presente em aproximadamente 87 km², ligada aos derrames basálticos da formação Serra Geral. Distribui-se pela região central e noroeste, acompanhando o vale do rio Jaú, na direção leste, segue também o vale do ribeirão do Bugio e o vale do ribeirão do lajeado, no sentido sudeste.

Ainda segundo o mapa pedológico (IPT, 2000) a mancha de latossolo vermelho eutroférico (LVef), também relacionada à formação Serra Geral, ocorre na porção sudoeste da sub-bacia. Representa uma área de transição dessa formação para os arenitos da formação Itaqueri. Ocupa uma área mais de 17 km², correspondendo a pouco mais de 4 % da área total da sub-bacia. Nas proximidades do divisor de águas, da porção este da bacia, verificou-se a presença da associação entre neossolos litólicos e nitossolo vermelho eutroférico (RLe). Estes estão situados nas proximidades do reverso da Cuesta, onde existe uma transição entre os arenitos da formação Itaqueri e os derrames basálticos da formação Serra Geral, se estendendo por cerca de 4 km², representando menos de 1% da área total.

Figura 15 - Sub-bacia do rio Jaú: Mapa Pedológico.



Fonte: IPT (2000); IBGE (1973, 1974b); EMBRAPA (2006).

No mapa de solos da sub-bacia do rio Jacaré-Pepira (figura 16) verifica-se a ocorrência de 4 unidades pedológicas, sendo a associação entre argissolo vermelho-amarelo e argissolo bruno-acinzentado (PVe+PBACal) a unidade predominante, que está presente em quase 60% da área total da sub-bacia (tabela 11), ocupando mais de 276km². Estes solos são relacionados principalmente aos arenitos da formação Itaqueri e assentam-se sobre toda a porção sudoeste, sul, central leste e nordeste. A segunda unidade mais abundante na região é a associação entre latossolo vermelho-amarelo e latossolo vermelho (LVAd+LVd) que ocorre na região centro-oeste, oeste e noroeste, distribuída por cerca de 89km² correspondendo a mais de 19% da área total.

Tabela 11 - Áreas das unidades pedológicas na sub-bacia do rio Jacaré-Pepira

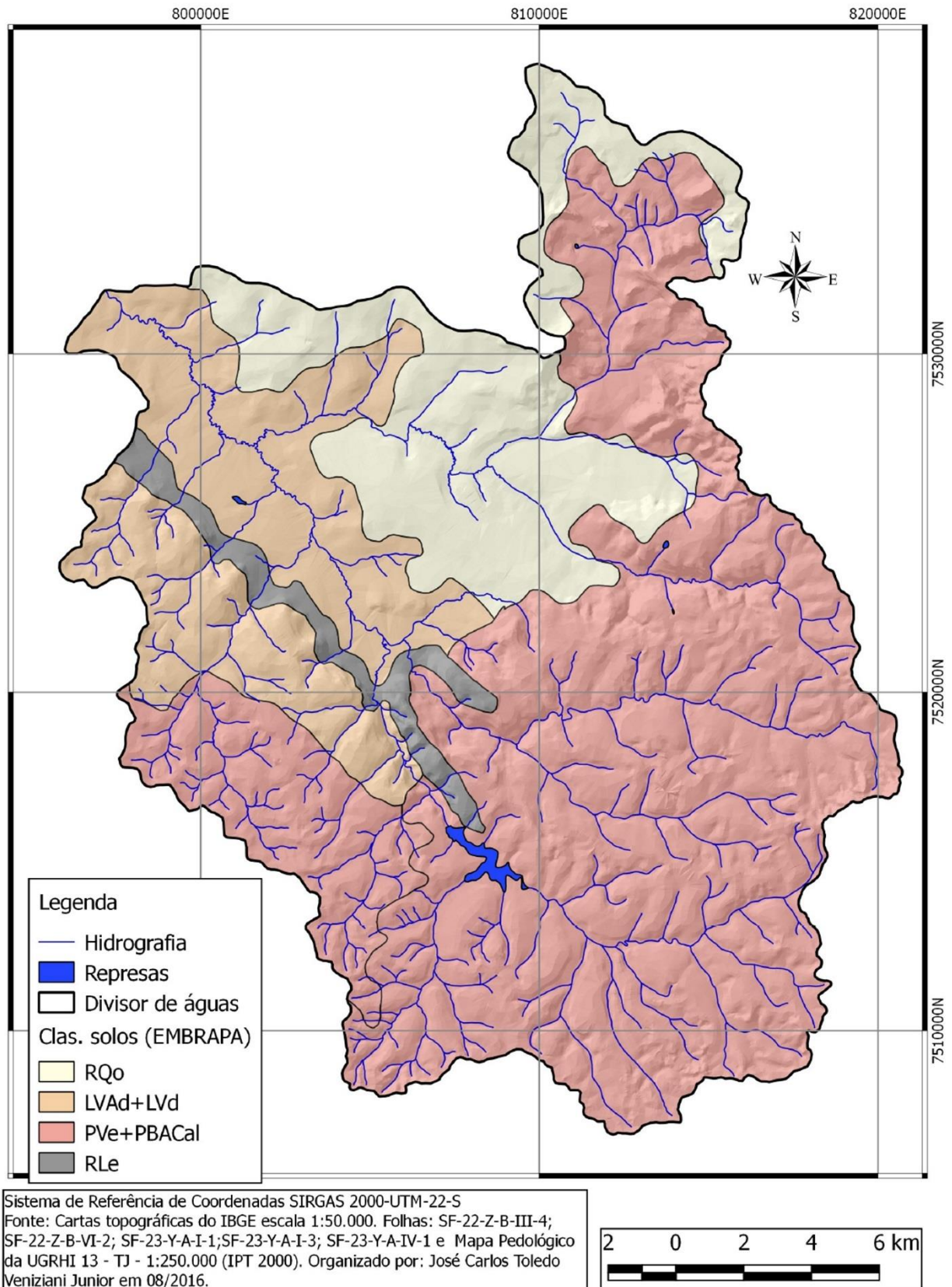
Pedologia	Área (ha)	Área (km ²)	% da Área
Associação de Neossolo Quartzarênico e Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (RQo)	8266,74	82,67	17,88
Associação Latossolo Vermelho Amarelo distrófico + Latossolo Vermelho distrófico (LVAd+LVd)	8901,52	89,02	19,26
Associação de Argissolo Vermelho-Amarelo Argissolo Bruno-Acinzentado (PVe+PBACal)	27669,37	276,69	59,86
Associação Neossolos Litólicos e Nitossolo Vermelho eutroférico (RLe)	1386,61	13,87	3,00
Total	46224,24	462,24	100

Fonte: IPT (2000); EMBRAPA (2006)

Outra unidade pedológica presente em cerca de 18% da área total, ocupando área aproximada de 83 km², é a associação entre neossolo quartzarênico e latossolo vermelho-amarelo (RQo). Esta classe de solos se localiza na região norte da sub-bacia. Está relacionada a afloramentos locais de arenitos das formações Itaqueri, Piramboia e Botucatu, além da ocorrência de áreas de deposição de sedimentos aluvionares, associados principalmente às planícies de inundação do rio Jacaré-Pepira e ribeirão do Tamanduá.

Em uma porção restrita a cerca de 3% da área total da sub-bacia, é possível verificar a ocorrência da associação entre neossolos litólicos e nitossolo vermelho eutroférico (RLe), que se distribui por quase 14km². Estes solos estão principalmente relacionados às escarpas da Cuesta, e ligados aos derrames basálticos da formação Serra Geral.

Figura 16 - Sub-bacia do rio Jacaré-Pepira: Mapa pedológico.



Fonte: IPT (2000); IBGE (1974a, 1973a, 1971a, 1969a).

4. 6 Uso das terras

Segundo levantamento realizado no Plano Diretor de Restauração Florestal da Bacia Tietê-Jacaré (INSTITUTO PRÓ-TERRA, 2013), é possível observar no mapa de uso das terras da sub-bacia do rio Jaú (figura 17) e na tabela 12, que as áreas agrícolas ocupavam, em 2010, a maior parte da área, correspondendo a mais de 90% da área total.

Tabela 12 - Áreas das categorias de uso das terras na sub-bacia do rio Jaú.

Uso das terras	Área (ha)	Área (km ²)	% da Área
Uso agrícola	36383,53	363,84	90,78
Uso urbano	1650,28	16,50	4,12
Remanescentes florestais	2035,10	20,35	5,08
Águas	10,92	0,11	0,03
Total	40079,84	400,79	100

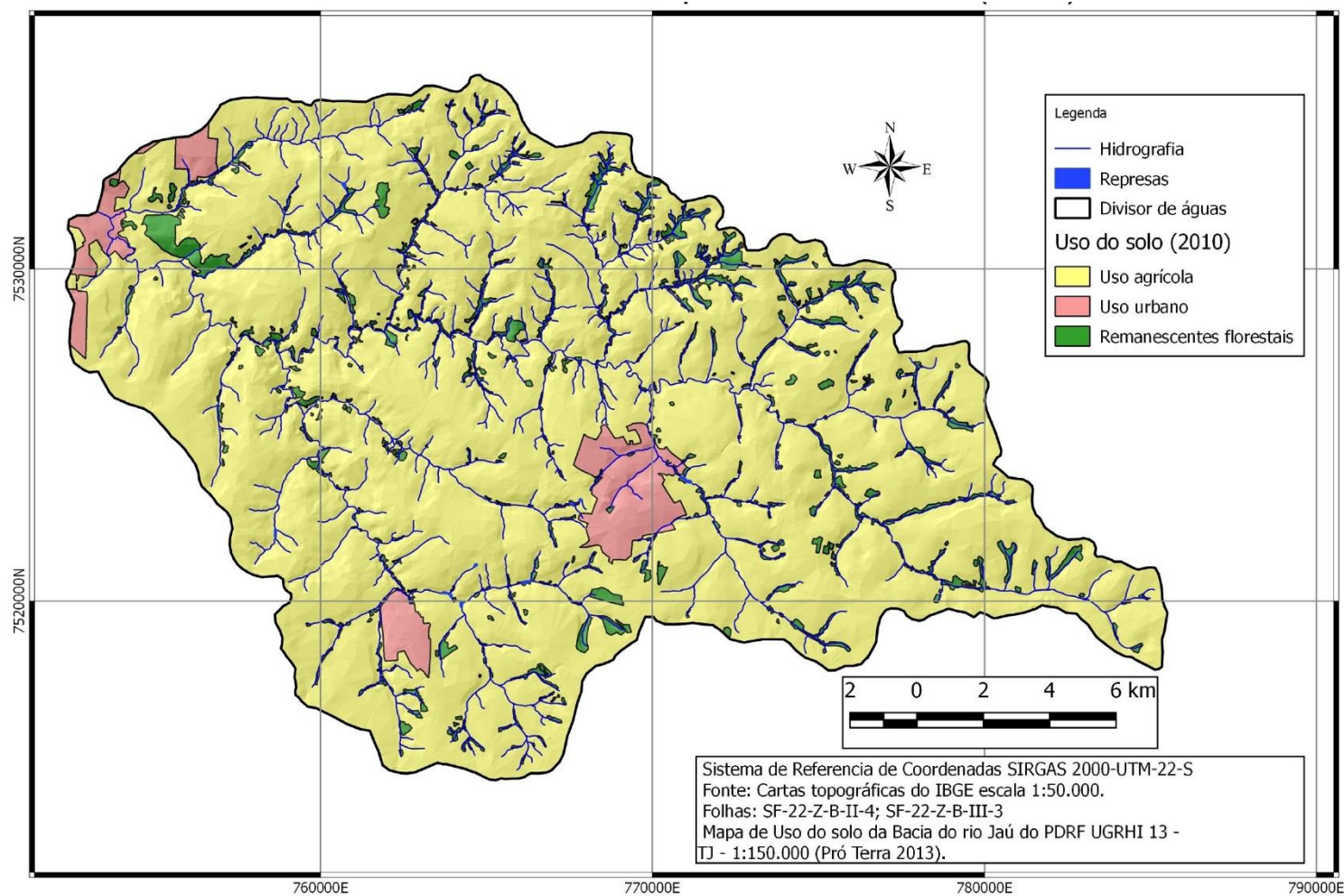
Fonte: (INSTITUTO PRÓ-TERRA, 2013)

Os remanescentes florestais representavam algo em torno de 5%, e as áreas urbanas perfaziam pouco mais de 4%. Nota-se que os remanescentes florestais estavam distribuídos aleatoriamente pela área da sub-bacia, em sua grande maioria espalhados pelas margens dos cursos d'água, constituindo as matas ciliares. Estas provavelmente encontravam-se preservadas, ou sendo recuperadas, por caracterizarem Áreas de Preservação Permanente (APP), segundo a LEI 12.651 (BRASIL, 2012).

Também existe a presença de alguns fragmentos de vegetação isolados com dimensões bastante restritas, destacando-se apenas um fragmento de área considerável, situado nas proximidades da área urbana do município de Jaú. Constitui uma Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN), conhecida como “Reserva Amadeu Botelho”. Possui uma área de cerca de 190 ha, correspondendo a quase 10% de toda a vegetação remanescente existente na área da sub-bacia.

As áreas urbanas correspondiam às sedes dos municípios de Dois Córregos, situado na região central da sub-bacia, ocupando cerca de 860 ha e Mineiros do Tietê, com algo em torno de 260 ha, localizado na região sul. Apenas uma parte da área urbana da sede do município de Jaú está inserida na área, localizando-se na região próxima da estação fluviométrica do DAEE, que serviu como referência para a delimitação da sub-bacia analisada.

Figura 17 - Sub-bacia hidrográfica do rio Jaú: Mapa de Uso das terras.



Fonte: INSTITUTO PRÓ-TERRA (2013); IBGE (1973, 1974b).

As principais características do uso das terras na sub-bacia do rio Jacaré-Pepira são apresentadas na figura 18 e na tabela 13. Analisando a tabela 13 verifica-se que a área destinada a atividades agrícolas correspondia a aproximadamente 85% da área total da bacia, enquanto os remanescentes florestais representavam mais de 14%. As áreas urbanas se restringiam a somente 0,08%, correspondendo ao bairro rural do município de Brotas, chamado de Patrimônio (INSTITUTO PRÓ-TERRA, 2013).

Tabela 13 - Áreas das categorias de uso das terras na sub-bacia do rio Jacaré-Pepira.

Uso das terras Pro Terra	Área (ha)	Área (km ²)	% da Área
Uso agrícola	39582,18	395,82	85,63
Uso urbano	37,43	0,37	0,08
Remanescentes florestais	6480,99	64,81	14,02
Águas	123,64	1,24	0,27
Total	46224,24	462,24	100

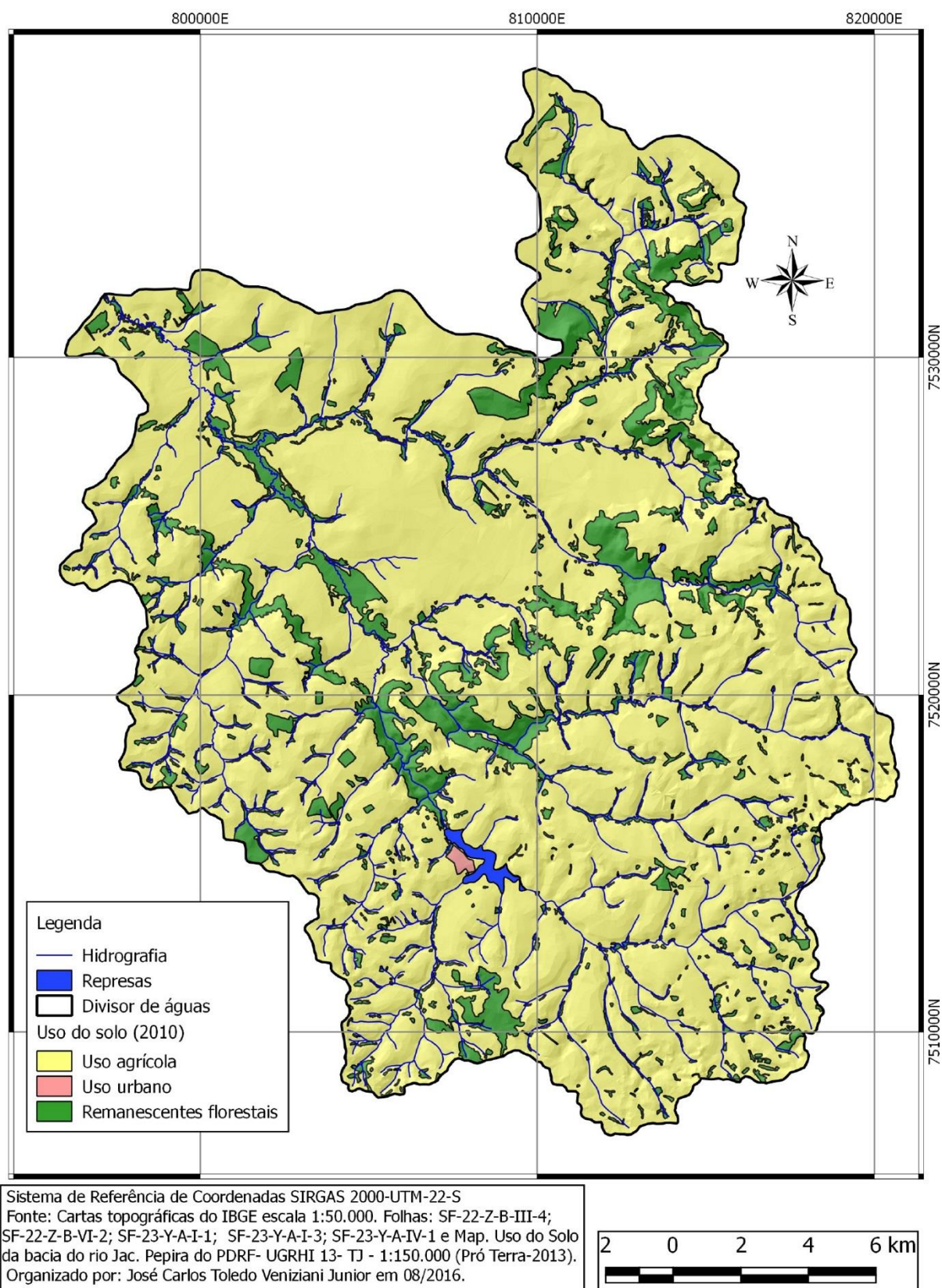
Fonte: INSTITUTO PRÓ-TERRA (2013)

A presença de fragmentos florestais nessa região é quase três vezes maior que na sub-bacia do Jaú. A distribuição dos fragmentos florestais também acompanhava em grande parte os cursos dos rios. Entretanto, nota-se a presença de fragmentos de dimensões maiores, incluindo também remanescentes relacionados às encostas íngremes existentes na região, que apresenta relevo escarpado, constituindo APP, por apresentarem declividade superior a 100%, conforme estabelece a Lei Federal 12.651/2012 (BRASIL, 2012).

Quando comparados os mapas de uso das terras das duas regiões estudadas, verifica-se que, no caso da sub-bacia do Jacaré-Pepira existia uma maior quantidade de remanescentes florestais. Esta situação permite considerar que a sub-bacia do Jaú está submetida a uma dinâmica de atividade de produção agrícola mais intensa que a região da sub-bacia do Jacaré-Pepira.

Pode ser considerado que as características pedológicas influenciem nesta dinâmica, pois a sub-bacia do Jaú apresenta predomínio de solos mais férteis, como latossolos vermelhos eutróféricos e nitossolos vermelhos eutróféricos, enquanto na sub-bacia do Jacaré-Pepira predominam solos menos férteis, como argissolos e neossolos litólicos e quartzarênicos.

Figura 18 - Sub-bacia hidrográfica do rio Jacaré-Pepira: Mapa de uso das terras.



Fonte: Instituto Pró-Terra (2013); IBGE (1974a;1973a,1971a,1969a).

4. 7 Aspectos socioeconômicos

A sub-bacia do rio Jaú encontra-se inserida na microrregião de Jaú, pertencente à mesoregião administrativa de Bauru, estado de São Paulo. Esta microrregião tem população estimada em 369.591 habitantes (IBGE, 2016) e ocupa uma área de 4.035,25 km².

A sub-bacia do rio Jacaré-Pepira, ocupa principalmente o município de Brotas, e pertence à microrregião de Rio Claro, mesoregião de Piracicaba. Esta microrregião possui aproximadamente 263.833 habitantes com área total de 2.948,35 km² (IBGE, 2016).

O município de Brotas, ocupa mais de 70% da sub-bacia do rio Jacaré-Pepira, e o município de Dois Córregos corresponde a quase 60% da área da sub-bacia do rio Jaú. Segundo dados da Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados (SÃO PAULO, 2016) referentes ao ano de 2015 e dados do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD, 2016) do ano 2013, verificou-se que o município de Brotas possuía uma população em torno de 23 mil habitantes distribuídos em mais de 9.100 domicílios, com IDH de 0,740, inferior ao IDH da mesoregião de Piracicaba (0,757).

Brotas também tinha a participação do setor de serviços no Produto Interno Bruto (PIB) de 62%, enquanto o setor industrial correspondia a cerca de 10%, e a atividade agropecuária respondia por cerca de 18%. Segundo Dambrós (2016), os aspectos paisagísticos locais do município de Brotas promoveram um relativo destaque às atividades ligadas ao ecoturismo e turismo de aventura.

Em 2015 a população do município de Dois Córregos era em torno de 26 mil habitantes, superior à do município de Brotas, residindo em mais de 9.600 domicílios, com um IDH de 0,725, mais baixo que o Brotense. Em Dois Córregos, a participação do setor de serviços no PIB correspondia a 56%, porém o setor industrial apresentava-se um pouco mais expressivo, respondendo por cerca de 20%. O setor agrícola era responsável por algo em torno de 15% (SÃO PAULO, 2016; PNUD, 2016).

As características ligadas às atividades agrícolas foram obtidas a partir do Levantamento Censitário de Unidades de Produção Agrícola do Estado de São Paulo – LUPA 1995/1996, (SÃO PAULO, 2008), realizado pela Coordenadoria de Assistência

Técnica Integral (CATI), órgão da Secretaria Estadual de Agricultura e Abastecimento do estado de São Paulo (SAA).

Este levantamento foi realizado para a safra 1995/1996 e contém dados sobre a produção agropecuária, recenseada por Unidades de Produção Agrícola (UPA) e totalizadas por municípios, apresentando um panorama da produção agrícola das unidades municipais do estado de São Paulo, para a década de 1990. O objetivo do recenseamento foi a coleta, organização, análise e disponibilização de dados gerais e particulares sobre a produção agrícola do Estado de São Paulo, proporcionando subsídios para o planejamento macroeconômico e a orientação microeconômica do trabalho da SAA e de suas unidades regionais (SÃO PAULO, 2008).

A tabela 14 apresenta os valores correspondentes à área plantada de diversas culturas, evidenciando as características do uso das terras agrícolas para os municípios de Brotas e Dois Córregos, onde estão inseridas a maior parte das duas áreas de estudo.

Os dados apresentados na tabela 14, indicam que, na década de 1990, o município de Dois Córregos apresentava como principal atividade de produção agrícola a cana-de-açúcar, representando mais de 66% da área cultivada. A segunda atividade agrícola mais importante neste município eram as pastagens, que ocupavam 21,76%, seguida pelo café com 4,28%.

Com base nos dados disponíveis sobre o município de Brotas, estimou-se que a produção agrícola, na década de 1990, na sub-bacia do rio Jacaré-Pepira, era representada principalmente por pastagens, com mais de 45% da área, e pelo cultivo de eucalipto (20,95%). A cana-de-açúcar estava presente em 17,87% da área total cultivada.

É possível observar também que o cultivo da laranja no município de Brotas ocupava mais de 10%. Em Dois Córregos, verifica-se que o cultivo do café apresentou a terceira maior área plantada com cerca de 4% da área total cultivada.

Tabela 14 - Área cultivada nos municípios de Brotas e Dois Córregos - SP: Safra 1995/1996.

Tipo de cultivo	Município de Brotas		Mun. Dois Córregos	
	Área (ha)	% da área	Área (ha)	% da área
Cana-de-açúcar	14162	17,87	31672,4	66,63
Pastagens (todos capins)	36051,2	45,49	10345,1	21,76
Eucalipto	16600,1	20,95	1862,1	3,92
Laranja	8364,3	10,56	461,9	0,97
Milho	1938,7	2,45	441,8	0,93
Café	256,2	0,32	2033,3	4,28
Pinus	73,9	0,09	-	-
Arroz	116,6	0,15	137,8	0,29
Algodão	-	-	-	-
Soja	693,2	0,87	-	-
Tangerina	388,2	0,49	43	0,09
Mamona	-	-	-	-
Macadâmia	41,2	0,05	332,1	0,70
Mandioca	172,5	0,22	18,4	0,04
Limão	-	-	112,9	0,24
Abacate	26,8	0,03	-	-
Feijão	-	-	-	-
Outras culturas	357,6	0,45	76,9	0,16
Total	79242,5	100	47537,7	100

Fonte: SÃO PAULO (2008).

A região de Jaú, na qual está inserida a sub bacia do rio Jaú, historicamente passou por uma grande mudança em suas atividades agrícolas, perdendo sua importância como região produtora de café após a década de 1960 e iniciando um ciclo de cultivo da cana-de-açúcar, que a partir da década de 1990 passou a ser a atividade agrícola predominante na região (REZENDE, 2009), situação que encontra respaldo nos dados apresentados, e que permanece até a atualidade.

5 MATERIAL E MÉTODOS

Com o objetivo de permitir a comparação entre dois conjuntos de dados de áreas com características de uso das terras diferentes, foram adotadas duas áreas de estudo, que estão situadas na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos Tietê-Jacaré (UGRHI 13-TJ).

Estas áreas correspondem às sub-bacias hidrográficas localizadas a montante dos postos de medição de vazão do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE, 2011). Estes postos correspondem às estações fluviométricas identificadas pelos códigos 5D-028, estabelecida na bacia hidrográfica do rio Jacaré-Pepira, com localização definida pelas coordenadas 22°17'31"S e 48°06'59"W, e a estação 5D-029, que se encontra na bacia do rio Jaú, localizada nas coordenadas 22°18'02"S e 48°32'30"W.

As áreas de estudo foram delimitadas considerando-se a área de contribuição hidrológica, definida pelo relevo e situada a montante das respectivas estações fluviométricas, abrangendo porções de vários municípios.

Foi organizado um banco de dados georreferenciado, envolvendo as duas sub-bacias hidrográficas, composto por dados relativos a: pedologia, relevo, geologia e séries históricas de pluviosidade e vazão. Também foi estimada a densidade da cobertura vegetal, por meio do índice de vegetação da diferença normalizada (IVDN) obtido das imagens orbitais do Sensor *Thematic Mapper* (TM) do Satélite LANDSAT 5, para o período entre 1988 e 1998, em função da disponibilidade dos dados de vazão e precipitação do DAEE, que tiveram sua aquisição descontinuada no final da década de 1990.

Um dos softwares utilizados para a realização deste trabalho foi o NANOCAD, que é um software de projeto assistido por computador (CAD) gratuito disponibilizado pela empresa Russa "NANOSOFT", com sede em Moscou. As ferramentas oferecidas pelo NANOCAD permitiram a realização de tarefas de edição da base de dados juntando linhas, revisando cotas, corrigindo geometrias, preparando a base Cartográfica do IBGE para a inserção em ambiente SIG.

Para a organização do banco de dados no ambiente SIG foi utilizado o software QGIS versão 2.14 (ESSEN), que é um software livre e gratuito sob licença "GNU

General Public License” desenvolvido pela *Open Source Geospatial Foundation* (OSGeo).

Nas análises estatísticas foram utilizados os softwares CALC (Libre Office) e “R”, empregados para análise estatística. A análise da correlação espacial foi feita no software GEODA, desenvolvido pelo “*Center for Spatial Data Science*” da Universidade de Chicago nos EUA que oferece várias ferramentas de análise espacial entre elas o índice de MORAN. O programa XLSTAT também foi utilizado na análise da correlação espacial entre as variáveis precipitação e IVDN na obtenção da análise K-means.

Optou-se por enfatizar a proposta metodológica no emprego de programas computacionais livres e gratuitos. O intuito foi auxiliar na difusão da tecnologia, que vem ganhando espaço cada vez mais relevante, nos diversos ramos das ciências da informação, não sendo diferente no ramo das geotecnologias.

Devido à ausência de custo com a aquisição de licenças de uso, o emprego de softwares livres ou gratuitos para geoprocessamento viabilizam a sua utilização em pesquisas acadêmicas e em trabalhos profissionais. Esses softwares oferecem recursos similares aos disponíveis em produtos comerciais, porém sem o custo de aquisição de licenças, promovendo a disseminação dos conhecimentos produzidos de maneira mais efetiva para a comunidade profissional.

5.1 Elaboração da base cartográfica e análise morfométrica

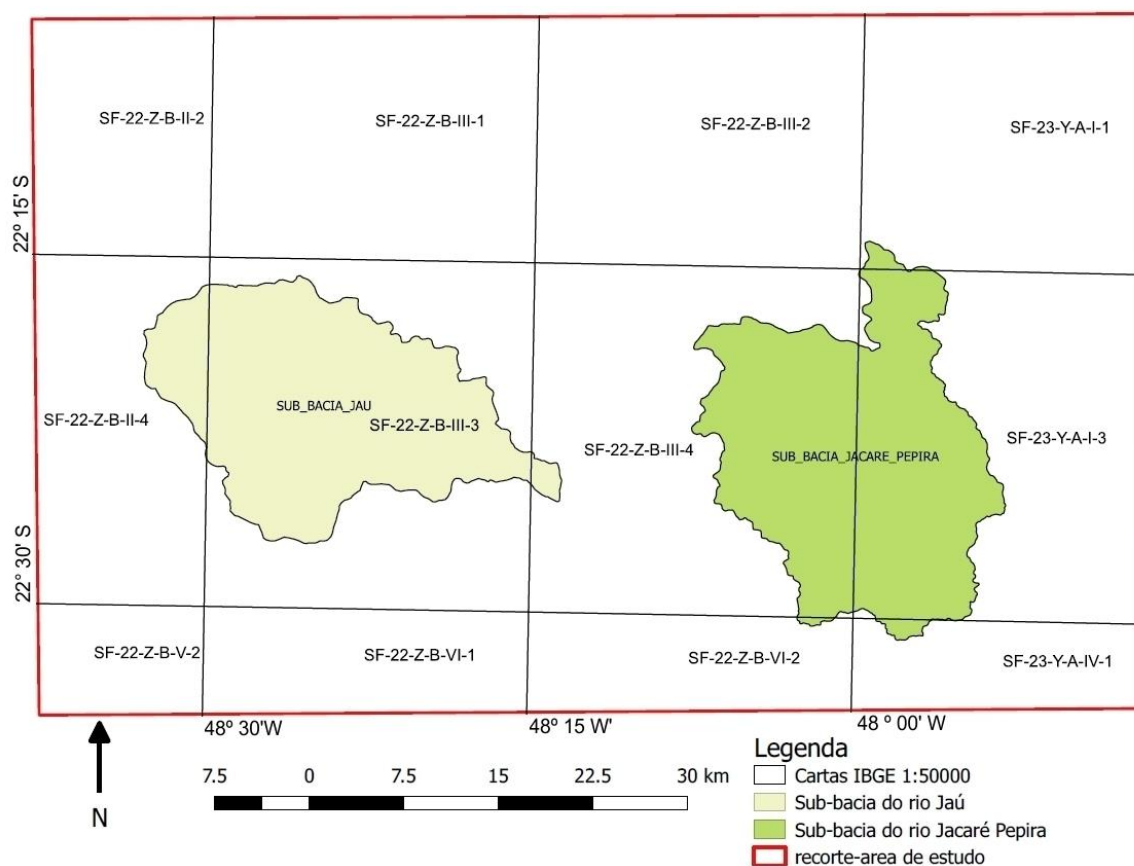
As cartas topográficas do IBGE na escala 1:50.000, em conjunto com os demais mapas pedológicos, geológicos e geomorfológicos e de uso das terras em formato digital, foram obtidos do comitê de Bacia da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos Tietê-Jacaré (UGRHI 13 – TJ).

Estes mapas foram gerados pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), por meio do projeto “Diagnóstico da situação dos recursos hídricos da bacia hidrográfica do Tietê/Jacaré” (IPT, 2000) e pelo “Plano Diretor de Recomposição Florestal da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos Tietê – Jacaré (UGRHI 13 – TJ) Visando a Conservação dos Recursos Hídricos e Preservação da Biodiversidade”,

elaborado pela ONG Pró Terra (INSTITUTO PRÓ TERRA , 2013), sob demanda do comitê de bacia e financiado pelo Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FEHIDRO).

Os dados sobre a topografia e hidrografia foram obtidos de 12 cartas do IBGE (folhas SF-22-Z-B-II-2, SF-22-Z-B-III-1, SF-22-Z-B-III-2, SF-23-Y-A-I-1, SF-22-Z-B-II-4, SF-22-Z-B-III-3, SF-22-Z-B-III-4, SF-23-Y-A-I-3, SF-22-Z-B-V-2, SF-22-Z-B-VI-1, SF-22-Z-B-VI-2, SF-23-Y-A-IV-1). Estas cartas foram organizadas sob a forma de um único arquivo, constituindo um mapa base que contempla as duas áreas e adjacências. A figura 19 apresenta a articulação das cartas em relação às áreas de estudo.

Figura 19 - Articulação das cartas topográficas do IBGE na escala 1:50.000 em relação às áreas de estudo e adjacências.



Fonte: Cartas topográficas do IBGE. Organizado pelo autor em 14/04/2016.

Foi necessária a realização da revisão e edição destas cartas, uma vez que se tratava de cartas vetorizadas a partir dos mapas originais, nos quais foi possível verificar erros ligados a topologia, nomes, valores de altitude incorretos, e falhas de geometria, como descontinuidade entre linhas. Todos os problemas verificados foram corrigidos, garantindo-se a confiabilidade dos dados. Na sequência, as cartas foram

inseridas e processadas no software QGIS, possibilitando analisar parâmetros relacionados à topografia e à hidrografia.

Com base no material topográfico foi possível traçar os divisores de água das duas sub-bacias, bem como obter os principais dados relativos à geomorfologia das bacias hidrográficas, expressos por seus parâmetros morfométricos. Foram levantados os seguintes parâmetros: área das sub-bacias; perímetros; amplitudes altimétricas; comprimento total dos cursos d'água; comprimento do curso de água principal; declividade média do curso principal; o perfil longitudinal dos cursos da água principais; a hierarquia fluvial das redes de drenagem, segundo o método proposto por Strahler (1952); Coeficiente de Compacidade (VILELLA; MATOS, 1975) e o índice de circularidade (CHRISTOFOLETTI, 1980); incluindo também a declividade média da bacia, obtida a partir de uma consulta espacial ao mapa de declividade gerado no software QGIS.

O mapa de declividade foi gerado com base nas curvas de nível com equidistância de 20m e nos pontos cotados da base de dados do IBGE na escala 1:50.000. Utilizaram-se as ferramentas disponibilizadas pelo software QGIS, como o interpolador TIN (*Triangular Irregular Network*), para produzir um modelo digital de terreno, do qual foi obtida a declividade em percentual. Os dados sobre a declividade foram reclassificados segundo proposta de Lepsch et al. (1991), amplamente utilizada na literatura consultada. A tabela 15 ilustra os parâmetros adotados na reclassificação e empregados para gerar o mapa final de Classes de relevo.

Tabela 15 - Classes de relevo em função da declividade segundo proposta de Lepsch et al. (1991).

Classe de relevo	Classes de declividade
Plano	0 a 2%
Suave ondulado	2 a 5%
Ondulado	5 a 10%
Moderadamente ondulado	10 a 15 %
Forte ondulado	15 a 45%
Montanhoso	45 a 70%
Escarpado	Maior que 70%

Fonte: Adaptado de Lepsch et al. (1991)

Os mapas pedológicos geológicos e geomorfológicos foram obtidos do “Diagnóstico da situação dos recursos hídricos da bacia hidrográfica do Tietê/Jacaré” (IPT, 2000). O mapa pedológico teve a nomenclatura das unidades alteradas, seguindo a proposta para os solos do Brasil da Embrapa (2006). As terminologias

empregadas nas legendas e a definição das cores utilizadas neste mapa foram definidas com base no manual técnico de pedologia do IBGE (2007).

Os mapas originais em formato vetorial, englobando toda a área da UGRHI 13, foram inseridos no ambiente do software QGIS. Para o procedimento de recorte das duas áreas de estudo, utilizaram-se os polígonos dos limites das sub-bacias. O referencial para a obtenção dos divisores de águas das sub-bacias foi a rede de drenagem, curvas de nível e os pontos cotados das cartas topográficas, incluindo ainda a localização das estações fluviométricas que serviram de base para o estudo. Nos mapas geológico e geomorfológico, as características de nomenclatura das unidades estabelecidas na legenda e de simbologia de cores foram mantidas, respeitando o estabelecido pelos mapas originais do IPT (2000).

5.2 Definição dos períodos analisados

Os dados pluviométricos foram obtidos do Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE, 2011) e se referem a 6 estações pluviométricas situadas nas áreas de estudo e adjacências (bacias hidrográficas dos Rios Jacaré-Pepira e Jaú). Correspondem aos seguintes prefixos e coordenadas: D4-036 (47° 44' 38" W; 22° 18' 01" S), D5-006 (48° 09' 50"W; 22° 23' 45"S), D5-007 (48° 32' 23"W; 22° 18' 07"S), D5-084 (48° 35' 56"W; 22° 13' 29"S), D5-086 (48° 12' 26"W; 22° 37' 40"S) e D5-087 (48° 23' 18"W; 22° 14' 46" S). Os dados fluviométricos também foram obtidos do DAEE e correspondem a dois pontos de monitoramento de vazão, um situado na bacia hidrográfica do rio Jaú (5D-028) e outro na bacia do rio Jacaré-Pepira (5D-029). A localização das estações pluviométricas e fluviométricas pode ser observada na figura 06.

Após análise preliminar dos dados fluviométricos e pluviométricos disponíveis, foram identificados os períodos que apresentavam a continuidade temporal necessária. Verificou-se que os dados de pluviometria e fluviometria disponíveis, compreendiam o período entre 1988 e 1998. Em função disto foi estabelecido este período para a obtenção das imagens do sensor TM (*Thematic Mapper*) do satélite LANDSAT 5.

5.3 Obtenção e processamento das imagens LANDSAT 5

As imagens de satélite foram adquiridas nos serviços de disponibilização de imagens oferecidos pelo do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2014) e do *United States Geological Survey* (USGS, 2013), que oferecem acesso a séries históricas de cenas do LANDSAT 5. Foram identificadas as respectivas órbitas /pontos das imagens que correspondiam às áreas de estudo, as duas áreas se encontram na mesma órbita (220), porém na transição entre os pontos de coleta 75 e 76. Em virtude disso foi necessário avaliar a disponibilidade das imagens para estes dois referenciais 220/75 e 220/76.

Foram identificadas mais de 250 imagens disponíveis no site do USGS e 200 no site do INPE. Estas imagens foram submetidas a uma análise preliminar, utilizando as próprias plataformas web disponibilizadas nos dois sistemas de busca, por meio de imagens de pré-visualização (*Quick Look*). Esta análise preliminar possibilitou a redução para 193 imagens, aparentemente viáveis disponíveis no site do USGS e 148 no site do INPE.

Na sequência, identificaram-se as imagens que não apresentavam cobertura de nuvens sobre as áreas de estudo. O processo de seleção foi iniciado pelas imagens do USGS, posteriormente a busca foi realizada nas imagens disponibilizadas pelo INPE somente para datas complementares às imagens disponibilizadas pelo USGS.

O período considerado para a seleção foi o ano hidrológico, iniciando-se no mês de outubro, quando começa o período chuvoso na região, terminando em setembro, auge do período seco (REZENDE, 2009). Após o processo de análise e seleção, foram selecionadas 44 imagens de datas diferentes, 22 de cada órbita ponto, referentes às mesmas datas.

Os códigos correspondentes às imagens, podem ser observados na tabela 16, organizada em função dos anos hidrológicos correspondentes ao período outubro de 1987 a março de 1998. Assim foram selecionadas 11 imagens de períodos secos e 11 de períodos chuvosos, com o objetivo de garantir uma amostragem equivalente entre os dois períodos.

Para a análise das imagens obtidas pelo INPE, foi efetuado o georreferenciamento, porque o nível de correção geométrica destas imagens não atendia às demandas do projeto. Para o ajuste utilizou-se o programa REGEEMY, disponibilizado gratuitamente pelo INPE. Foram empregados no processamento 750

pontos de controle obtidos de forma automática pelo próprio software. O erro médio quadrático aferido foi de 1,85 m.

Tabela 16 - Imagens do Satélite LANDSAT 5 disponíveis para o período entre outubro de 1987 e setembro de 1998 selecionadas em função dos períodos secos e chuvosos e cobertura de nuvens.

	Ano hidrológico	Órgão	Datas	Arquivos - Orbita/ponto 220/75 e 76	Período
1	Out 87/set 88	USGS	02/08/1988	LT52200751988215CUB00.tar.gz LT52200761988215CUB00.tar.gz	Seco
2	Out 88/set 89	USGS	08/12/1988	LT52200751988343CUB00.tar.gz LT52200761988343CUB00.tar.gz	Chuvoso
3		USGS	22/09/1989	LT52200751989265CUB00.tar.gz LT52200761989265CUB00.tar.gz	Seco
4	Out 89/set 90	USGS	24/10/1989	LT52200751989297CUB00.tar.gz LT52200761989297CUB00.tar.gz	Chuvoso
5		USGS	08/08/1990	LT52200751990220CUB01.tar.gz LT52200761990220CUB01.tar.gz	Seco
6	Out 90/set 91	USGS	30/12/1990	LT52200751990364CUB00.tar.gz LT52200761990364CUB00.tar.gz	Chuvoso
7		USGS	21/04/1991	LT52200751991111CUB00.tar.gz LT52200761991111CUB00.tar.gz	Seco
8	Out 91/set 92	USGS	14/10/1991	LT52200751991287CUB00.tar.gz LT52200761991287CUB00.tar.gz	Chuvoso
9	Out 92/set 93	USGS	03/12/1992	LT52200751992338CUB00.tar.gz LT52200761992338CUB00.tar.gz	Chuvoso
10		USGS	09/03/1993	LT52200751993068CUB00.tar.gz LT52200761993068CUB00.tar.gz	Chuvoso
11		USGS	13/06/1993	LT52200751993164CUB00.tar.gz LT52200761993164CUB00.tar.gz	Seco
12	Out 93/set 94	USGS	03/10/1993	LT52200751993276CUB00.tar.gz LT52200761993276CUB00.tar.gz	Chuvoso
13		USGS	02/07/1994	LT52200751994183CUB00.tar.gz LT52200761994183CUB00.tar.gz	Seco
14	Out 94/set 95	USGS	07/11/1994	LT52200751994311CUB00.tar.gz LT52200761994311CUB00.tar.gz	Chuvoso
15		USGS	07/09/1995	LT52200751995250CUB00.tar.gz LT52200761995250CUB00.tar.gz	Seco
16	Out 95/set 97	USGS	10/11/1995	LT52200751995314CUB00.tar.gz LT52200761995314CUB00.tar.gz	Chuvoso
17		INPE	24/08/1996	LANDSAT_5_TM_19960824_220_075 LANDSAT_5_TM_19960824_220_076	Seco
18	Out 96/set 97	USGS	28/11/1996	LT52200751996333CUB00.tar.gz LT52200761996333CUB00.tar.gz	Chuvoso
19		USGS	24/06/1997	LT52200751997175CUB00.tar.gz LT52200761997175CUB00.tar.gz	Seco
20	Out 97/set 98	USGS	07/03/1998	LT52200751998066COA00.tar.gz LT52200761998066COA00.tar.gz	Chuvoso
21		USGS	29/07/1998	LT52200751998210COA00.tar.gz LT52200761998210COA00.tar.gz	Seco
22		USGS	15/09/1998	LT52200751998258COA00.tar.gz LT52200761998258COA00.tar.gz	Seco

Fonte: USGS (2013) e INPE (2014).

Outras 4 etapas de processamento digital de imagem foram realizadas no software QGIS, envolvendo todas as datas. Utilizou-se a ferramenta mosaico para a junção das duas cenas orbita/ponto (220/75 e 220/76). O recorte das áreas de estudo foi feito utilizando a ferramenta “recorte”. A obtenção dos mapas de IVDN, conforme proposto por Rouse, Haas e Schell (1973) foi realizada por meio da ferramenta “calculadora raster”.

A expressão utilizada para obtenção dos mapas de IVDN foi:

$$\text{IVDN} = (\text{banda do Infravermelho} - \text{banda do vermelho}) / (\text{banda do Infravermelho} + \text{banda do vermelho}).$$

Os mapas de IVDN obtidos foram submetidos a uma operação de consulta espacial empregando a ferramenta “estatísticas por zona” do QGIS, usando como referência os mapas dos limites das duas áreas de estudo. Estes mapas serviram como base para extrair os valores médios, máximos, mínimos e o desvio-padrão do IVDN para as sub-bacias dos rios Jacaré-Pepira e Jaú. Os dados extraídos foram organizados em um banco de dados alfanumérico e associados aos dados de pluviosidade e vazão. Os valores obtidos por meio da aplicação do cálculo do IVDN podem variar entre +1 e -1, podendo se considerar que quanto maior o valor do índice maior a densidade da cobertura vegetal (CRUZ; SOUZA; JESUS, 2011).

5.4 Análise dos dados fluviométricos e pluviométricos

Segundo Costa et al. (2012), para a adequada avaliação da vazão é necessário utilizar séries históricas de dados, em virtude do comportamento aleatório apresentado por esta variável hidrológica. Esta análise teve como o objetivo avaliar a variabilidade da vazão das sub-bacias dos rios Jaú e Jacaré-Pepira, empregando séries históricas de dados obtidos pelas estações fluviométricas do DAEE, considerando-se os períodos úmidos e secos.

As variáveis que subsidiaram estas análises foram: “vazão média diária”, que representa um indicativo da disponibilidade de recursos hídricos para o ponto de medição da vazão; a “vazão mínima”, um indicativo da menor vazão possível de ser encontrada e também pode ser considerada como representativa de um período de

estiagem; a “vazão máxima diária”, que corresponde aos momentos em que o curso d’água fica próximo de atingir ou até extrapola os limites do canal de escoamento fluvial, dentro do período analisado; e desvio-padrão, que indica a dispersão dos valores medidos em relação à vazão média diária, conforme Collischonn; Tassi (2008).

Para comparar as duas áreas foi utilizado o coeficiente de variação, que representa o percentual de variação do desvio em relação à média, facilitando a comparação, uma vez que relativiza os valores transformando-os em porcentagem. Complementarmente foi calculada a amplitude das vazões médias diárias, obtendo-se a diferença entre a vazão média diária máxima e a vazão média diária mínima, que também representa uma medida de dispersão.

Para analisar as vazões de modo a possibilitar a comparação entre as áreas, procedeu-se a padronização das vazões, utilizando o conceito de vazão específica, que apresenta a vazão (m^3/s) por unidade de área (km^2) da bacia hidrográfica, correspondendo a uma forma de indicar a capacidade da bacia de produzir escoamento superficial, funcionado como parâmetro comparativo entre as bacias (CARVALHO; SILVA, 2006). Dessa forma, a vazão, se refere à quantidade de litros que passam nas secções transversais correspondentes às duas estações pluviométricas do DAEE, utilizadas como fonte dos dados, durante o tempo de um segundo, em função da área das sub-bacias, determinada em km^2 .

Os dados obtidos, referentes às duas estações fluviométricas, foram incluídos no banco de dados, divididos em períodos de 31 dias, envolvendo as datas das imagens considerando 15 dias anteriores e posteriores. Os dados obtidos em metros cúbicos por segundo (m^3/s), foram a vazão média diária, a vazão máxima diária, vazão mínima diária e a amplitude da vazão como apresentado na tabela 17.

Organizaram-se os dados pluviométricos em função dos mesmos períodos definidos para os dados fluviométricos, gerando, para cada uma das 6 estações pluviométricas, os valores em milímetros (mm) de precipitação total e precipitação máxima diária.

Um arquivo vetorial com a localização dos pontos das estações pluviométricas ligado a um banco de dados, incluindo os valores obtidos do DAEE, foi elaborado. Posteriormente, usou-se este arquivo como base para o procedimento de interpolação

pelo método do inverso ponderado da distância, conforme a indicação de Bielenki Junior e Barbassa (2012), disponibilizado na ferramenta “Interpolação” do QGIS.

Tabela 17 - Períodos definidos para as análises em função das datas das imagens.

Período	Data inicial	Data final
Seco	18/07/1988	17/08/1988
Chuvoso	23/11/1988	23/12/1988
Seco	07/09/1989	07/10/1989
Chuvoso	09/10/1989	08/11/1989
Seco	24/07/1990	23/08/1990
Chuvoso	15/12/1990	14/01/1991
Seco	06/04/1991	06/05/1991
Chuvoso	29/09/1991	29/10/1991
Chuvoso	18/11/1992	18/12/1992
Chuvoso	22/02/1993	24/03/1993
Seco	29/05/1993	28/06/1993
Chuvoso	18/09/1993	18/10/1993
Seco	17/06/1994	17/07/1994
Chuvoso	23/10/1994	22/11/1994
Seco	23/08/1995	22/09/1995
Chuvoso	26/10/1995	25/11/1995
Seco	09/08/1996	08/09/1996
Chuvoso	13/11/1996	13/12/1996
Seco	09/06/1997	09/07/1997
Chuvoso	20/02/1998	22/03/1998
Seco	14/07/1998	13/08/1998
Seco	31/08/1998	30/09/1998

Fonte: Organizado pelo autor em out/2015

Magalhães et al. (2013) consideram que o método do inverso ponderado da distância apresenta um desempenho bastante satisfatório quando comparado a outros métodos de interpolação disponíveis para a análise da distribuição espacial da precipitação, além de ser um algoritmo disponível e de fácil implementação em ambiente SIG.

Gardman Junior et al. (2012) destacam que este interpolador estima a variável ao longo do espaço, estabelecendo pesos a cada uma das estações pluviométricas mais próximas. Os resultados obtidos representam uma função do inverso de uma potência da distância e, desta forma, quanto mais próximo da estação estiver o ponto a ser estimado, maior é o peso atribuído ao ponto amostrado.

Por meio do processamento realizado no QGIS, foram obtidos os valores interpolados para os parâmetros: precipitação total, precipitação máxima diária e desvio padrão. Destes valores foi calculada a média das precipitações total e máxima, que alimentaram o banco de dados das sub-bacias dos rios Jacaré-Pepira e Jaú. Nestas tabelas também se incorporaram-se os valores extraídos da variável IVDN

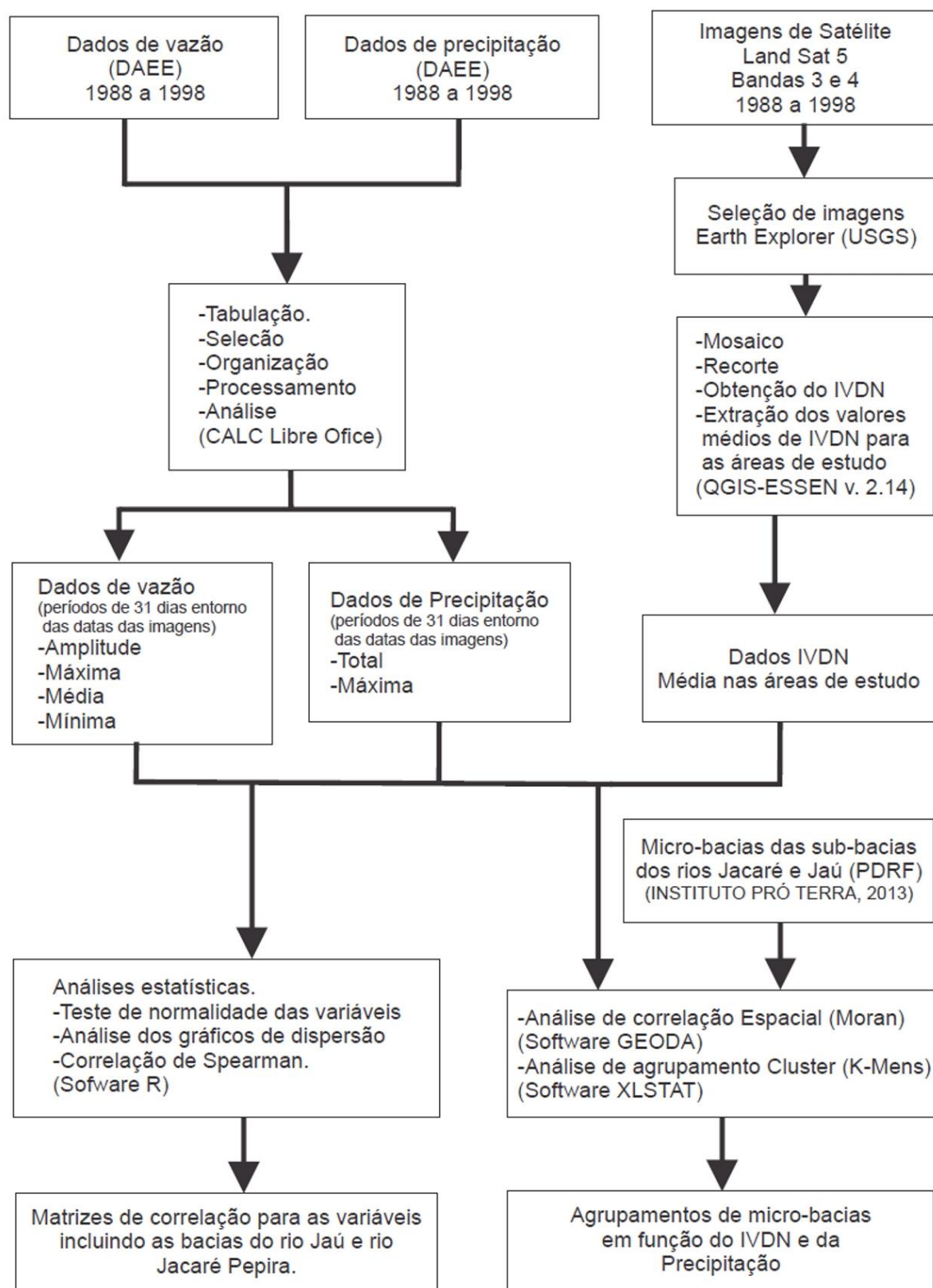
para a duas áreas de estudo, utilizando a ferramenta “Estatística por zonas” do QGIS, que foram associados aos dados de vazão num único banco de dados.

5.5 Análise das relações entre precipitação, vazão e IVDN

O fluxograma da figura 20 sintetiza os procedimentos metodológicos utilizados para a elaboração desta pesquisa. No fluxograma verifica-se que os dados iniciais correspondem a: precipitação, vazão, imagens do satélite e micro-bacias do PDRF, obtidas pelo INSTITUTO PRÓ TERRA (2013).

Os dados de vazão, precipitação e IVDN, foram organizados, tabulados, processados e analisados usando os softwares CALC do Libre Office e o “R”, as variáveis analisadas foram:

- “índice de vegetação” da diferença normalizada (IVDN): considera as médias das distribuições espaciais para cada uma das datas tendo seu valor expresso na unidade resultante da aplicação da fórmula do IVDN gerando valores que podem oscilar entre 1 e -1;
- “precipitação máxima (mm)”: corresponde à média extraída para as áreas de estudo a partir das precipitações máximas interpoladas;
- “precipitação total (mm)”: representada pelo valor total de precipitação para os períodos correspondentes, obtido por meio da consulta espacial ao mapa da distribuição espacial desta variável.
- “amplitude da vazão média diária (m^3/s)”: obtida por meio do cálculo da diferença entre as vazões máximas e mínimas médias diárias, corresponde aos intervalos de 31 dias no entorno de cada data utilizada como referencial da amostra;
- “vazão máxima diária (m^3/s)”: obtida a partir da amostra dos dados de vazão diária.
- “vazão média diária (m^3/s)”: corresponde à média das vazões médias diárias;
- “vazão mínima diária (m^3/s)”: representa a vazão média diária mínima no período considerado nas amostras.

Figura 20 - Fluxograma dos procedimentos metodológicos.

Fonte: Organizado pelo autor.

Os dados foram organizados no banco de dados e serviram como base para gerar os gráficos de dispersão, utilizando o software “R”. Estes gráficos subsidiaram a análise preliminar da correlação entre as variáveis consideradas no estudo. Realizou-se o teste de Shapiro Wilk, para verificar a normalidade dos dados, constatando-se que os dados considerados não apresentavam distribuição normal. O objetivo foi verificar qual o coeficiente de correlação seria o mais indicado para a análise das variáveis, Pearson (variáveis com distribuição normal) ou Spearman (variáveis que não apresentam distribuição normal), conforme indicação de Guimarães (2011). Segundo Lira (2004) o coeficiente de Spearman é conveniente para um número de amostras menor que 30. Posteriormente foram geradas também no “R” matrizes de correlação de Spearman, que permitiram a análise da relação entre a precipitação, a vazão e o IVDN, considerando todo o conjunto de dados.

A correlação de Spearman é utilizada quando os conjuntos de dados não atendem à hipótese de distribuição normal, como apontam Scattolin, Diogo e Colombo (2007). A correlação de Spearman não indica uma tendência linear, mas serve como indicativo de monotonicidade, demonstrando que, para aumentos positivos em valores de uma variável, ocorrem aumentos nos valores da outra variável. Os valores estatísticos representativos foram considerados com base em um nível de significância de 0,05.

O conjunto de dados foi reorganizado segundo os anos padrão: secos, chuvosos e habituais estabelecidos por Rezende (2009). O objetivo foi avaliar as correlações entre as variáveis, considerando as situações extremas dos anos padrão. Para estas análises também foram calculados os coeficientes de correlação de Spearman, para cada conjunto de dados, referente aos grupos de anos padrão, obtendo-se as respectivas matrizes.

Na segunda etapa realizou-se a análise de correlação espacial através do índice de Moran que é um indicador local de associação espacial entre variáveis. Câmara et. al. (2004) comentam que o índice de Moran é um indicador local de autocorrelação espacial que fornece um único valor como medida da associação espacial para todo o conjunto de dados.

Os mesmos autores afirmam que quando o número de áreas analisado é grande, provavelmente ocorram diferentes regimes de associação espacial. É comum o aparecimento de máximos locais de autocorrelação espacial, evidenciando que a

dependência espacial é ainda mais pronunciada nestes casos. Muitas vezes é importante examinar padrões mais detalhadamente, utilizando indicadores de associação espacial que estejam associados às diferentes ocorrências espaciais de uma variável. Os indicadores locais produzem um valor específico para cada área, permitindo assim a identificação de agrupamentos. O índice local de Moran é expresso seguinte fórmula:

$$I_i = \frac{z_i \sum_{j=1}^n w_{ij} z_j}{\sum_{j=1}^n z_j^2}$$

A significância estatística do uso do índice de Moran foi calculada para cada área, obtendo-se o índice local. Neste procedimento, ocorre aleatoriamente a troca do valor das demais áreas, até a obtenção de uma “pseudo” - distribuição que permite calcular os parâmetros de significância, estabelecendo regiões espaciais de agrupamento. Estas regiões podem ser vistas como “bolsões” de não-estacionariedade, sendo áreas com dinâmica espacial própria, que merecem análise detalhada (CÂMARA et. al., 2004).

Este tipo de análise se fundamenta na compreensão do espaço compartimentado segundo um modelo de objetos, como ressaltam Longley et. al. (2013). Devido a isso, foi utilizada como referencial dos objetos espaciais, para a obtenção dos parâmetros analisados, a subdivisão das duas sub-bacias em microbacias. A subdivisão considerada foi proposta no “Plano Diretor de Recomposição Florestal da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos Tietê – Jacaré (INSTITUTO PRÓ-TERRA, 2013).

Para esta etapa da análise foram consideradas as variáveis que apresentavam variação espacial pluviosidade e IVDN. Em relação à pluviosidade, foi considerado exclusivamente o Coeficiente de variação (CV), escolhido por representar de maneira sintética a dinâmica espaço temporal da variável precipitação, considerando os anos padrão secos, chuvosos e habituais, bem como os períodos hidrológicos secos e chuvosos. O IVDN foi usado como indicativo da dinâmica espaço temporal da cobertura vegetal também associada aos anos padrão.

Para obtenção das variáveis analisadas, realizou-se uma consulta espacial no QGIS, utilizando como referencial o mapa de microbacias de cada sub-bacia por meio da ferramenta “Estatística por zonas” do QGIS. O software para a obtenção do índice

de Moran foi o GEODA Software Livre e Gratuito, que oferece inúmeros recursos para análise espacial.

Outra análise amparada nas variáveis espaciais IVDN e pluviosidade consistiu na avaliação dos agrupamentos Cluster “K-Mens”, que segundo Maciel, Vinhas e Câmara (2015), desempenha a função de identificar relações existentes entre dados de um domínio que não são identificados de modo eficiente pelo pesquisador. Esse tipo de análise possibilita diferenciar classes de dados por meio da identificação de padrões, considerando os conjuntos de dados analisado.

Segundo Huang (1997), a análise K-Means corresponde a um método de agrupamento particional ou não-hierárquico. Desta forma, dado um conjunto de objetos numéricos X e um número inteiro k ($k < n$), o algoritmo k-means busca uma partição de X em k clusters que agrupa a soma de erros quadrados. A principal função desta técnica de agrupamento é descobrir as estruturas de agrupamento inerentes aos dados analisados.

Neste sentido, partiu-se do pressuposto de que uma determinada estrutura pode existir num determinado conjunto de dados, sendo aplicada a análise de agrupamento para identificar esta estrutura, conforme proposta de Maciel, Vinhas e Câmara (2015). Na análise de agrupamento, considerou-se apenas as variáveis mencionadas na obtenção do índice de Moran. O software utilizado foi o XLSTAT, versão de demonstração.

Organizou-se ainda uma tabela que contemplou os resultados da análise de agrupamento K-mens e incorporou dados do PDRF da UGRHI 13 (INSTITUTO PRÓ-TERRA, 2013). Consideraram-se nas análises os seguintes parâmetros: Percentual de Cobertura de Remanescentes Florestais (Perc Rem); Prioridade da micro bacia/microrregião estabelecida pelo PDRF (Pri); Manancial de abastecimento Público (Man); Declividade média em percentual (Dec med); Variação de altitude (Var Alt); Área da microbacia / microrregião em hectares (Area_ha); Perímetro da microbacia / microrregião em Quilômetros (Perim_Km); Área dos remanescentes florestais em hectares (Rem_Flo ha).

Esta tabela ofereceu subsídios à análise da associação e comparação das características levantadas pelo PDRF e dos agrupamentos obtidos pela análise K-mens. Este produto viabilizou a verificação das similaridades entre os resultados obtidos pela metodologia empregada no PDRF e pela análise K-means.

6 CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA

A geomorfologia de uma bacia hidrográfica, que envolve a análise do relevo, expressa pela sua morfometria, é de grande relevância em estudos hidrológicos, como destacam os autores Villela; Matos (1975), Cristofolletti (1980; 1999), Garcez; Alvarez; Collischonn; Tassi (2008), Lorandi; Cançado (2002), Oliveira (2013).

Referente aos parâmetros morfométricos associados às sub-bacias dos rios Jaú e Jacaré-Pepira (tabela 18), é possível observar que as drenagens de ambos são de 5ª ordem.

Tabela 18 - Principais parâmetros morfométricos utilizados na caracterização geomorfológica das sub-bacias dos rios Jaú e Jacaré-Pepira.

Parâmetros morfométricos da sub-bacia hidrográfica	Jaú	Jacaré-Pepira
Área da bacia km ²	408,8	462,24
Perímetro da bacia (Km)	102,28	124,77
Altitude máxima (m)	860	1045
Altitude mínima (m)	500	620
Amplitude altimétrica da bacia (m)	360	425
Coeficiente de Compacidade (Kc)	1,42	1,62
Índice de circularidade (Ic)	0,48	0,37
Declividade média da bacia (%)	7,09	9,76
Declividade desvio-padrão da bacia (%)	4,72	8,40
Declividade da bacia-coeficiente de variação (%)	0,67	0,86
Comprimento do curso principal (km)	49,56	42,97
Altitude máxima (m) do canal principal	815	952
Altitude mínima (m) do canal principal	496	610
Amplitude altimétrica do curso principal (m)	319	342
Direção do escoamento do fluxo do curso principal	SE-NW	SE-NW
Declividade média do curso principal (%)	0,64	0,80
Hierarquia fluvial (Ordem)	5	5
Comprimento total dos canais (km)	494,14	464,71
Número total de canais	469	338
Densidade de drenagem	1,21	1,01
Densidade de rios	1,18	0,74

Fonte: Dados obtidos a partir da análise realizada com base nas cartas topográficas do IBGE escala 1:50.000, folhas: Folhas: SF-22-Z-B-II-4; SF-22-Z-B-III-3, SF-22-Z-B-III-4; SF-22-Z-B-VI-2; SF-23-Y-A-I-1 e SF-23-Y-A-I-3; SF-23-Y-A-IV-1.

A diferença observada na amplitude altimétrica se deve ao fato da sub-bacia do Jacaré-Pepira englobar a região das escarpas da região da Cuesta, situada na borda da bacia sedimentar do Paraná, apresentando uma região de grandes altitudes, acima de 1000 m. As regiões baixas, de relevo mais suave, estão situadas na depressão periférica, atingindo altitudes próximas de 620 m. Na sub-bacia do Jaú, a amplitude altimétrica é menor, definida estruturalmente por se situar na região geomorfológica do reverso da Cuesta, região com uma inclinação mais suave e

uniforme, quando comparada à região escarpada caracterizada pelo Front. Desta forma, as maiores amplitudes altimétricas indicam maior tendência para um escoamento mais rápido, refletindo diretamente na vazão, como destacam Brubacher, Oliveira e Guasselli (2011).

Outro parâmetro considerado foi a avaliação da forma da bacia (CRISTOFOLETTI, 1980); a forma é um fator importante quando considerada a comparação entre a forma de uma bacia e uma área similar, perfeitamente esférica, podendo-se utilizar como referência o índice de circularidade (I_c) ou coeficiente de compacidade (K_c), apresentado por Vilela; Matos (1975).

O valor do K_c , mais próximo da unidade, indica que a forma da bacia se aproxima da circunferência, o que implica numa dinâmica do escoamento fluvial mais intensa, que promove o escoamento rápido das águas originadas pela precipitação. Sob este aspecto a bacia do rio Jacaré-Pepira possui forma mais alongada (1,62), enquanto o Jaú possui forma mais arredondada (1,42), com variação aproximada de 15%.

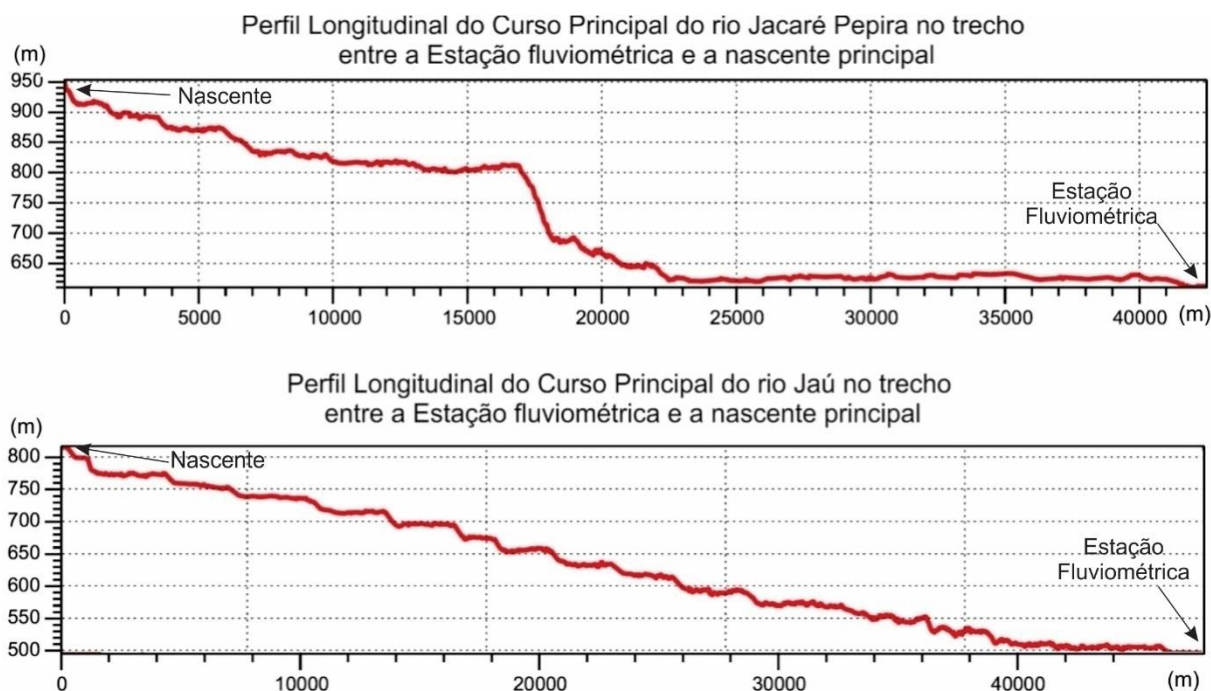
O índice de circularidade, com valor mais próximo do 1, indica que a forma se aproxima de uma forma circular; neste aspecto se confirmam as observações de que a bacia do Jaú, com I_c de 0,48, possui forma mais arredondada que a do Jacaré-Pepira, com 0,37 e com variação de quase 29%. Este indica uma tendência a um tempo de concentração mais curto, uma vez que bacias mais circulares possuem maior tendência a enchentes.

A declividade média, apontada por Mendonça (1999) como um importante parâmetro, evidencia as inclinações do relevo e foi obtida por meio de ferramentas em ambiente SIG, com a utilização de modelos digitais de terreno, conforme sugestão de Silveira, Louzada e Beltrame (2000). Verificou-se que a declividade média foi próxima nas duas sub-bacias, 7% na do Jaú e 10% no Jacaré-Pepira.

No curso principal a amplitude altimétrica é de 319 metros para o Jaú e de 342 metros no Jacaré, sendo esta última cerca de 7% superior. A declividade média do curso principal apresenta o mesmo padrão observado em relação à declividade média na bacia, ou seja, a declividade do canal principal de escoamento foi superior na sub-bacia do Jacaré-Pepira, que apresentou uma declividade média de 0,8%, enquanto para a do Jaú este valor ficou em 0,64%, com diferença próxima de 23%

entre os dois cursos principais. Os perfis longitudinais dos cursos d'água principais do Jacaré-Pepira e do Jaú podem ser observados na figura 21.

Figura 21 - Perfis Longitudinais das sub-bacias dos rios Jacaré-Pepira e Jaú.



Fonte: Dados obtidos por meio de processamentos realizados no Software QGIS 1.4.1 com base nas Fonte: IBGE (1973, 1974b;1974a;1973a,1971a,1969a)

No perfil do Jacaré-Pepira, é possível perceber que o trecho entre o 15 e 20 km, a partir da nascente principal, apresenta declividade acentuada, com um desnível superior a 300 metros num trecho de 5 Km, resultando numa declividade de mais de 15%. No trecho superior, a montante do desnível acentuado, apresenta características similares às do Jaú, com gradiente de inclinação relativamente constante, podendo ser identificado como um rio de planalto; no trecho a jusante do desnível mencionado, possui um gradiente suave. Devido a essa característica, pode-se relacionar a esse fato que o trecho superior (alto curso) próximo das nascentes enquadra-se no relevo definido pela presença de colinas médias. Em relação ao médio curso, existe um desnível acentuado, em função de sua passagem pelo setor identificado no mapa geomorfológico pela presença de escarpas festonadas, e no baixo curso, no seguimento posterior ao desnível acentuado, atravessa uma região caracterizada pela presença de planícies aluviais.

A densidade da drenagem apresenta valores de 1,24 para a sub-bacia do Jacaré-Pepira e 1,01 para o Jaú, e a densidade de rios 1,84 e 1,09, respectivamente.

Segundo Vilella; Matos (1975), quanto maior o valor do parâmetro densidade de drenagem, mais bem drenadas podem ser consideradas as bacias hidrográficas. Assim os valores obtidos indicam que, apesar de apresentarem densidades de drenagem bem próximas, a sub-bacia do Jacaré-Pepira possui a densidade de drenagem 25% superior.

Referente à rede hidrográfica, a extensão total dos cursos d'água verificada na sub-bacia do Jaú é de 494 Km e do Jacaré de 464 Km; o número total de canais é de 469 e 338, respectivamente. As duas sub-bacias, segundo o método proposto por Strahler (1952), são de 5ª ordem, como pode ser observado na tabela 19 e nas figuras 22 e 23.

Tabela 19 - Dados relativos aos canais de drenagem das respectivas ordens nas sub-bacias hidrográficas dos rios Jacaré-Pepira e Jaú.

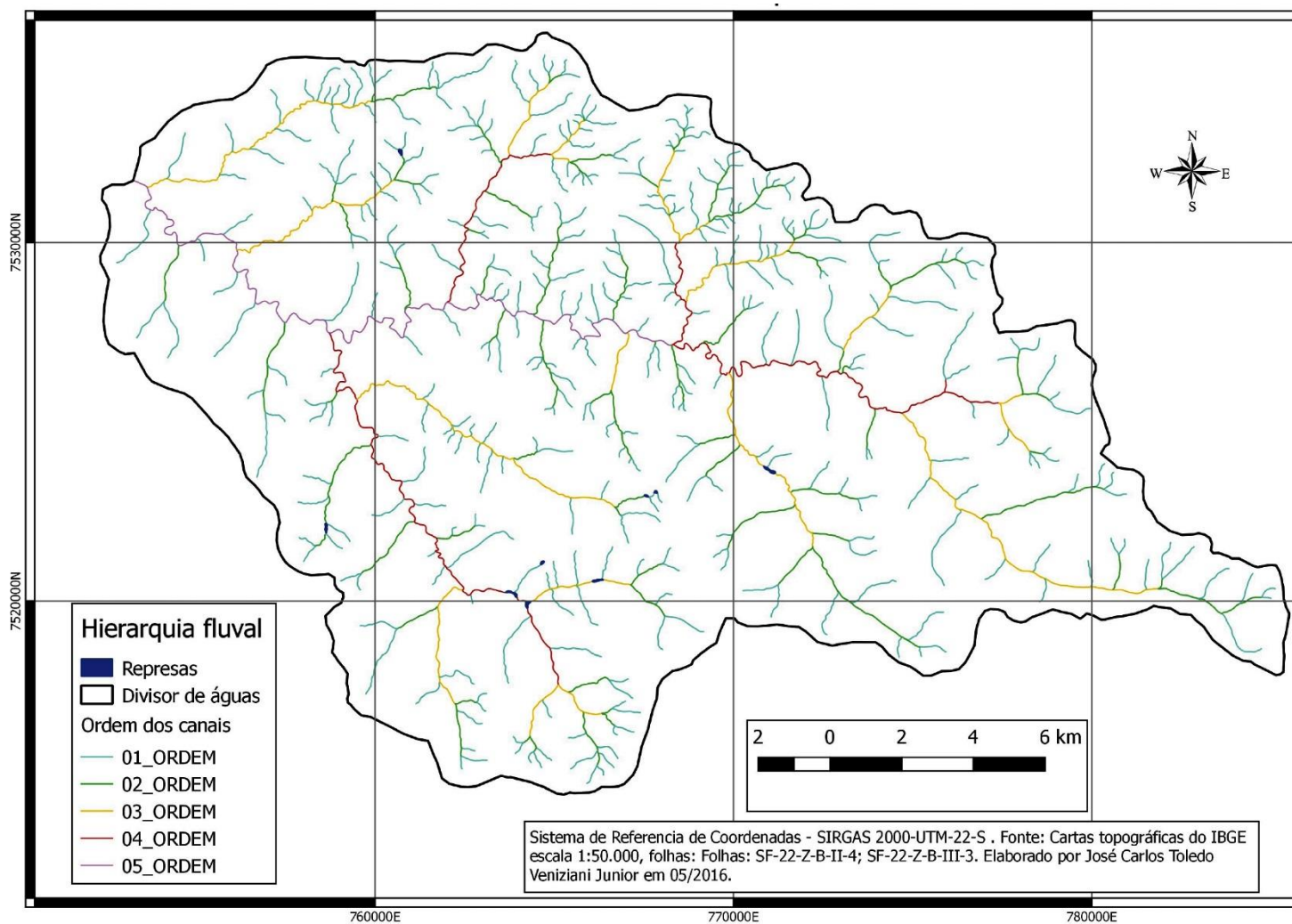
Ordem	Número de canais		Extens. Total dos canais (Km)		Comp. med. dos canais Lm. (Km)		Rb		Rlm		Rib	
	Jaca.	Jaú	Jaca.	Jaú	Jaca.	Jaú	Jaca.	Jaú	Jaca.	Jaú	Jaca.	Jaú
1ª	250	368	232,88	269,96	0,93	0,73	-	-	-	-	-	-
2ª	66	76	101,79	90,78	1,54	1,19	3,79	4,84	1,66	4,92	0,44	1,02
3ª	16	20	66,83	68,96	4,18	3,45	4,13	3,80	2,71	3,57	0,66	0,94
4ª	5	4	34,39	38,89	6,88	9,72	3,20	5,00	1,65	2,92	0,51	0,58
5ª	1	1	28,88	25,58	28,88	25,58	5,00	4,00	4,20	6,38	0,84	1,60
Total	338	469	464,77	494,17	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Fonte: IBGE (1973, 1974b;1974a;1973a,1971a,1969a)

Em geral os índices obtidos para a relação entre o comprimento médio dos canais de cada ordem, em relação à ordem diretamente superior (Rlm), foram superiores na sub-bacia do Jacaré entre a 1ª e 2ª ordens e da 4ª para a 5ª; nas demais, foram superiores para o Jaú.

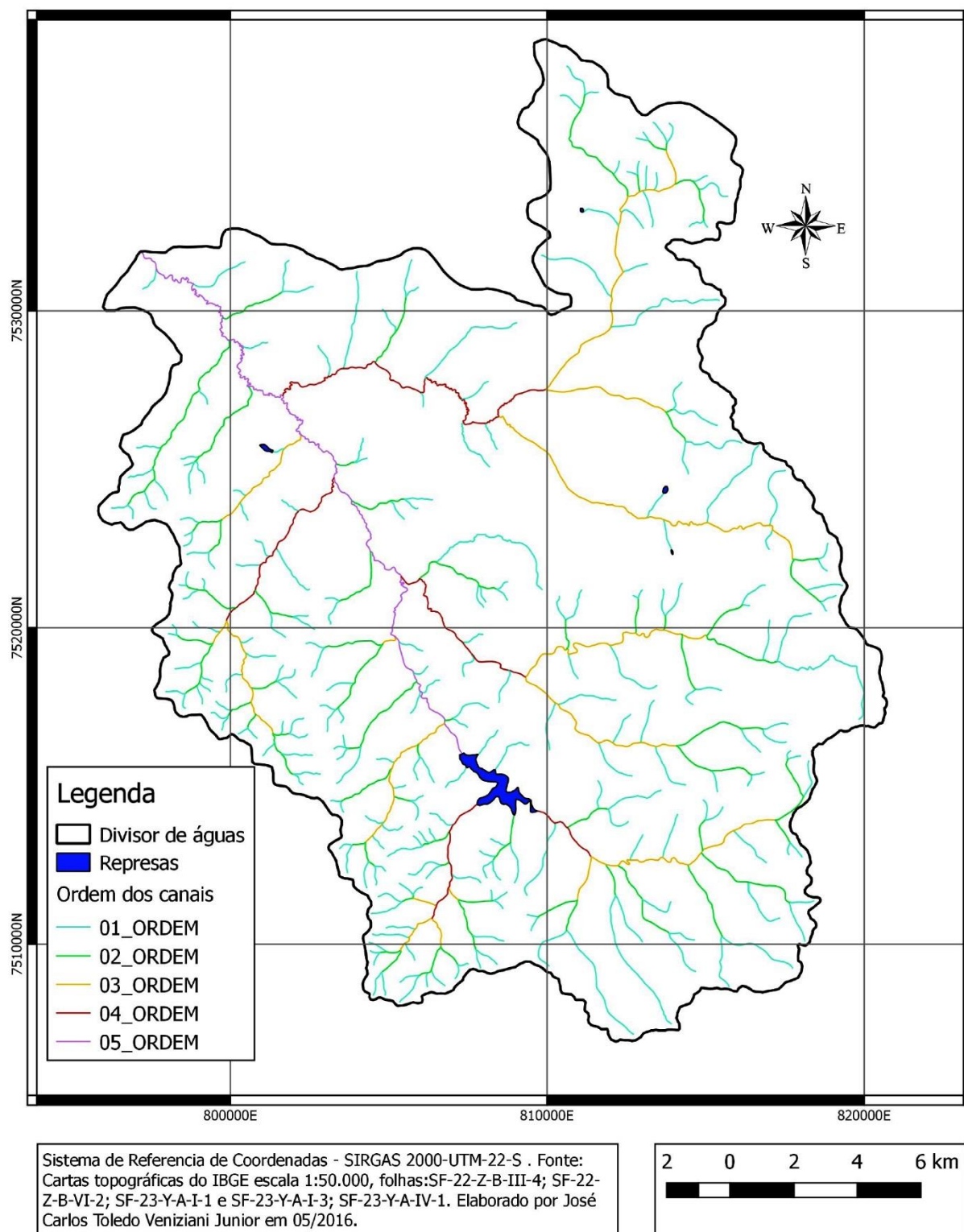
A relação de bifurcação (Rb) apresentou valores maiores para o Jaú entre as ordens 1ª e 2ª e 3ª e 4ª, sendo que para a 5ª ordem os valores obtidos para o Jacaré-Pepira foram maiores. A mesma situação foi verificada na relação entre o índice do comprimento médio dos canais e o índice de bifurcação (Rib), porém os dois índices maiores para a sub-bacia do Jaú foram entre a 2ª e 3ª e a 3ª e 4ª ordens.

Figura 22 - Mapa da hierarquia fluvial da sub-bacia do rio Jaú.



Fonte: IBGE (1973, 1974b).

Figura 23 - Mapa da hierarquia fluvial da sub-bacia do rio Jacaré-Pepira.



Fonte: Fonte: IBGE (1974a;1973a,1971a,1969a).

Com base nesses parâmetros, foi possível constatar que não existem diferenças significativas relacionadas ao escoamento superficial entre as duas sub-bacias. É possível considerar que possíveis diferenças relacionadas às vazões

registradas nessas duas áreas não seriam influenciadas de forma expressiva por esses parâmetros.

Segundo Christofolletti (1980), valores maiores de Relação de Bifurcação e do comprimento médio dos canais são indicativos de aspectos fisiográficos, como o relevo e a forma da bacia, sendo que os valores obtidos sugerem relativo equilíbrio nos padrões de escoamento superficial entre as duas sub-bacias.

Os aspectos geológicos e pedológicos das duas sub-bacias indicam uma propensão ao escoamento superficial pouco superior na sub-bacia do Jaú, em virtude das grandes áreas ocupadas por latossolo vermelho eutroférico e nitossolo vermelho eutroférico, associados à formação geológica Serra Geral, que tem capacidade de infiltração reduzida.

Essas características indicam menor capacidade de infiltração em relação aos solos arenosos como o latossolo vermelho amarelo e os neossolos quartizarênicos, associados aos afloramentos das formações Botucatu e Piramboia, que ocorrem na região, que também se verifica na ocorrência de grandes áreas cobertas por argissolos, normalmente ligados aos afloramentos da formação Itaqueri. Percebe-se que os efeitos locais da geologia e pedologia não representam um fator altamente relevante que possa explicar possíveis diferenças no comportamento das vazões em relação às duas sub-bacias analisadas.

Com base nos parâmetros morfométricos avaliados, verificou-se que a sub-bacia do Jacaré-Pepira apresenta leve tendência a um escoamento superficial mais rápido, quando comparada à sub-bacia do Jaú. No entanto, essa diferença não é expressiva para justificar possíveis diferenças em valores de vazão medidos para as duas bacias. As constatações embasadas nos parâmetros morfométricos apresentam relativa similaridade com os resultados obtidos por Machado; Souza (2005); Stipp, Campos e Caviglione et al. (2010); Bernardi, Righes e Buriol (2015) e Rezende (2009).

A análise ambiental de parâmetros morfométricos, por meio do uso de técnicas de geoprocessamento implementadas em Sistemas de Informação Geográfica, ofereceu suporte adequado, corroborando as constatações de Campos et al. (2015); Fraga et al. (2014); Tagliarini, Rodrigues e Campos (2014) e Nardini et al. (2016).

7 ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE ÍNDICE DE VEGETAÇÃO, PLUVIOSIDADE E VAZÃO

Para garantir uma melhor compreensão do papel da vegetação na dinâmica do ciclo hidrológico foram realizadas análises, envolvendo a dinâmica espaço temporal da cobertura vegetal, a dinâmica espaço temporal das precipitações e o comportamento das vazões. Os dados obtidos subsidiaram a análise da correlação entre a precipitação, vazão e cobertura vegetal, envolvendo, num primeiro momento, todo o conjunto de dados, e posteriormente, os dados reorganizados em função dos anos padrão habituais, secos e chuvosos. Também foram realizadas análises espaciais (índice de MORAN e K_{mens}), considerando apenas o IVDN e o coeficiente de variação da chuva com o objetivo de verificar o potencial do uso do IVDN como subsídio à gestão ambiental de bacias hidrográficas.

A análise morfométrica e a descrição dos principais aspectos ambientais, apresentados na caracterização da área de estudo, também ofereceram importantes contribuições para as análises aqui propostas, subsidiando a compreensão das correlações verificadas.

7.1 Análise da distribuição espaço-temporal da cobertura vegetal estimada pelo IVDN

Neste item foi apresentada a análise do contexto do uso das terras agrícola regional, e os possíveis impactos dessas atividades na distribuição espaço-temporal da cobertura vegetal estimada pelo IVDN. Esta ofereceu subsídios para a posterior avaliação da cobertura vegetal, como um fator que interage com a relação entre a água precipitada e a água escoada dentro da bacia hidrográfica.

Os valores da tabela 20 e dos gráficos da distribuição temporal do IVDN, (figuras 24 e 25), demonstram que nas datas correspondentes aos períodos secos ocorreram quedas acentuadas nos valores médios de IVDN obtidos para as áreas de estudo, enquanto nos períodos chuvosos verifica-se um aumento nos valores médios obtidos deste índice. Os valores do IVDN médio obtidos para a sub-bacia do Jacaré-Pepira foram de 0,39 para o período chuvoso e 0,31 para o período seco, e para o Jaú, 0,32 e 0,28, respectivamente. Nos mapas da distribuição espacial do IVDN (figuras 26 e 27), verificou-se a variação sazonal ocorrida em função das datas de

obtenção das imagens, que estão representadas por tonalidades que variam entre amarelo e o verde, sendo que quanto mais intenso é o verde maior o vigor vegetativo indicado pelo IVDN.

Tabela 20 - Médias e os desvios-padrão da distribuição espacial dos valores do IVDN para as sub-bacias dos rios Jacaré-Pepira e Jaú.

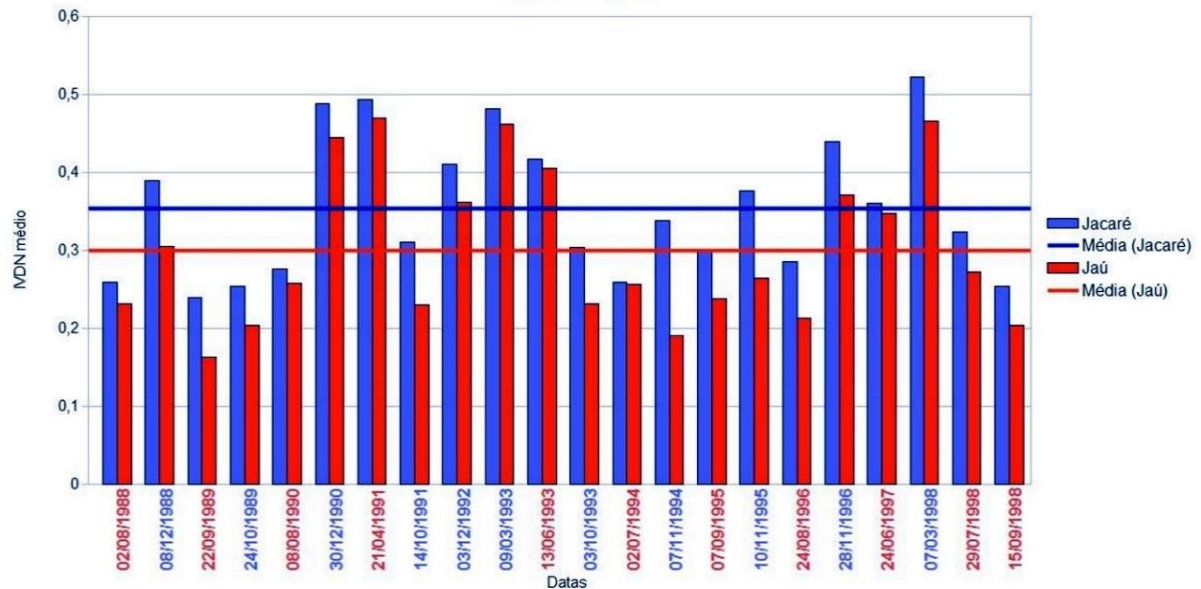
DATA E PERÍODO HIDROLÓGICO		IVDN-MÉDIA		IVDN-COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (CV)		IVDN EM RELAÇÃO A MÉDIA	
DATA	Período	Jacaré	Jaú	Jacaré	Jaú	Jacaré	Jaú
02/08/88	Seco	0,26	0,23	54,74	62,44	Abaixo	Abaixo
08/12/88	Chuvoso	0,39	0,30	35,32	43,24	Acima	Acima
22/09/89	Seco	0,24	0,16	33,89	48,37	Abaixo	Abaixo
24/10/89	Chuvoso	0,25	0,20	32,84	46,96	Abaixo	Abaixo
08/08/90	Seco	0,28	0,26	48,75	58,42	Abaixo	Abaixo
30/12/90	Chuvoso	0,49	0,44	28,05	36,83	Acima	Acima
21/04/91	Seco	0,49	0,47	24,94	33,66	Acima	Acima
14/10/91	Chuvoso	0,31	0,23	38,83	55,68	Abaixo	Abaixo
03/12/92	Chuvoso	0,41	0,36	32,10	38,15	Acima	Acima
09/03/93	Chuvoso	0,48	0,46	23,66	27,37	Acima	Acima
13/06/93	Seco	0,42	0,41	27,37	35,50	Acima	Acima
03/10/93	Chuvoso	0,30	0,23	34,09	48,73	Abaixo	Abaixo
02/07/94	Seco	0,26	0,26	52,47	55,00	Abaixo	Abaixo
07/11/94	Chuvoso	0,34	0,19	37,29	63,89	Abaixo	Abaixo
07/09/95	Seco	0,30	0,24	39,97	55,47	Abaixo	Abaixo
10/11/95	Chuvoso	0,38	0,26	36,76	56,05	Acima	Abaixo
24/08/96	Seco	0,28	0,21	48,10	65,48	Abaixo	Abaixo
28/11/96	Chuvoso	0,44	0,37	34,65	41,74	Acima	Acima
24/06/97	Seco	0,36	0,35	38,47	43,32	Acima	Acima
07/03/98	Chuvoso	0,52	0,47	23,40	35,43	Acima	Acima
29/07/98	Seco	0,32	0,27	37,39	52,70	Abaixo	Abaixo
15/09/98	Seco	0,25	0,20	32,84	46,96	Abaixo	Abaixo
MÉDIA CHUV.		0,39	0,32	32,45	44,92		
MÉDIA SECO		0,31	0,28	39,90	50,67		
MÉDIA GERAL		0,35	0,30	36,18	47,79		

Fonte: USGS (2013) e INPE (2014).

Observaram-se ainda situações diferentes da variação sazonal, como é o caso das imagens de 24/10/1989, 14/10/1991, 03/10/1993 e 07/11/1994. Esta situação aconteceu porque as datas representam o início do período chuvoso, portanto a vegetação ainda não teria recuperado seu vigor vegetativo, após o período de estresse hídrico ao qual foi submetida.

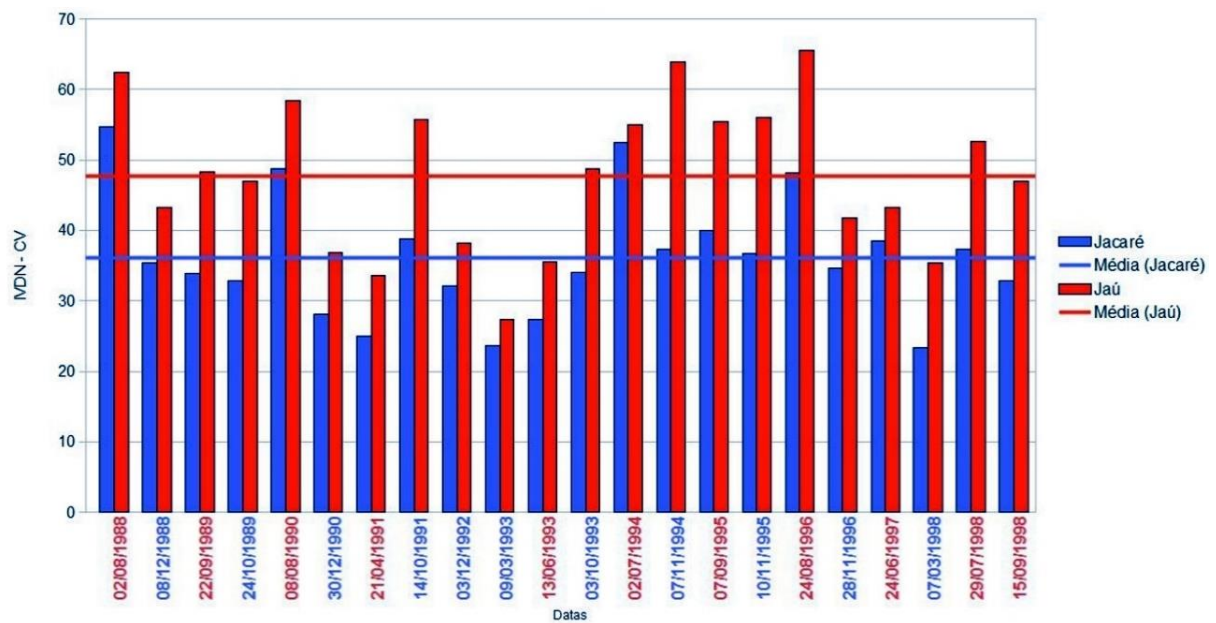
Na mesma linha de raciocínio, são apresentados os mapas de IVDN das datas de 21/04/1991 e 13/06/1993, que correspondem ao período seco, porém apresentam valores acima da média. A imagem de abril de 1991 representa o início do período seco, sendo ainda influenciada pelas precipitações do final da estação chuvosa, resultando na ocorrência de valores mais elevados do índice.

Figura 24 - Distribuição dos valores das amostras do IVDN médio das sub-bacias dos rios Jacaré-Pepira e Jaú correspondentes ao período 1988-1998.



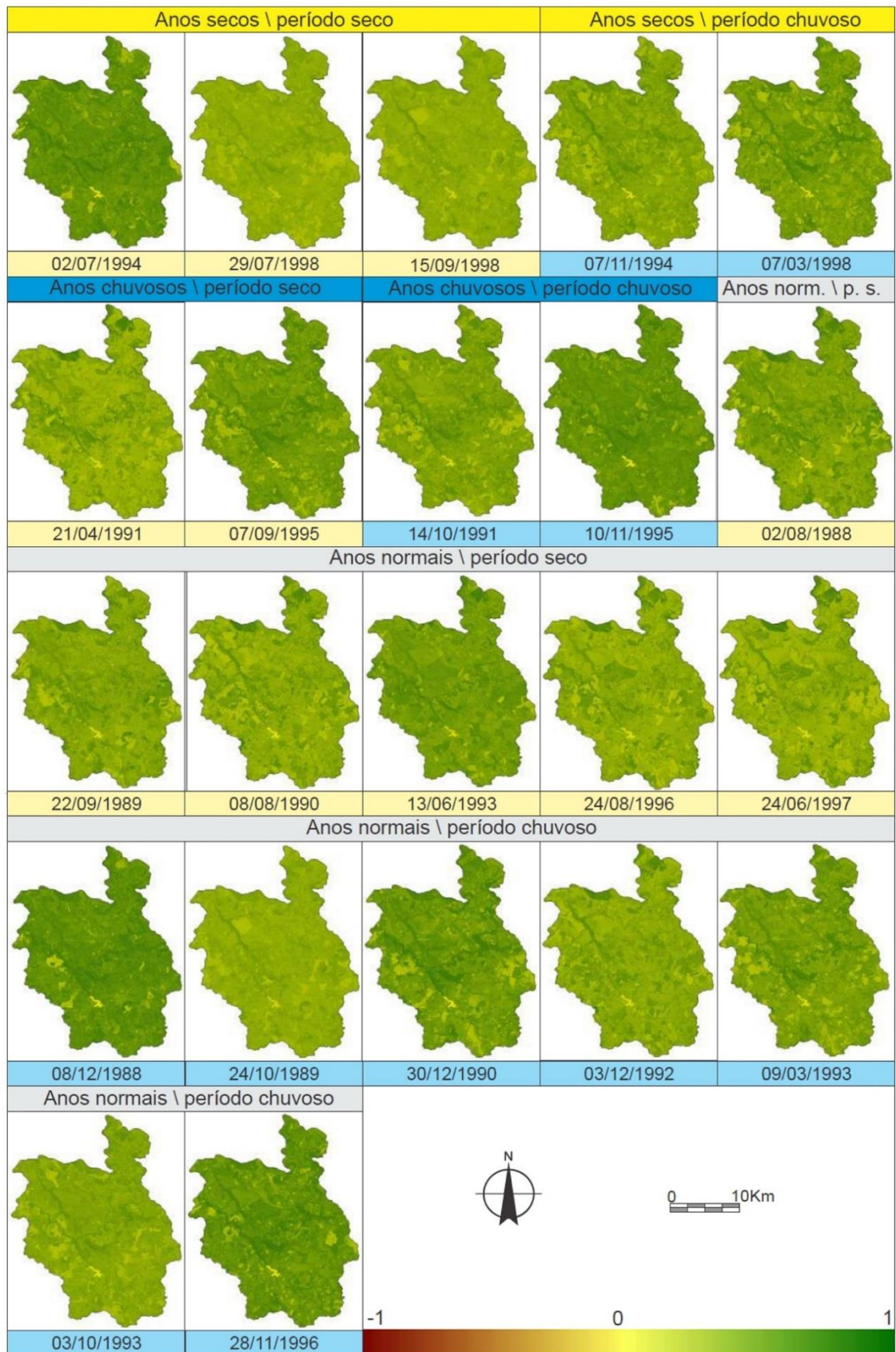
Fonte: USGS e INPE (2014).

Figura 25 - Distribuição dos valores das amostras do coeficiente de variação do IVDN das sub-bacias dos rios Jacaré-Pepira e Jaú no período 1988-1998.



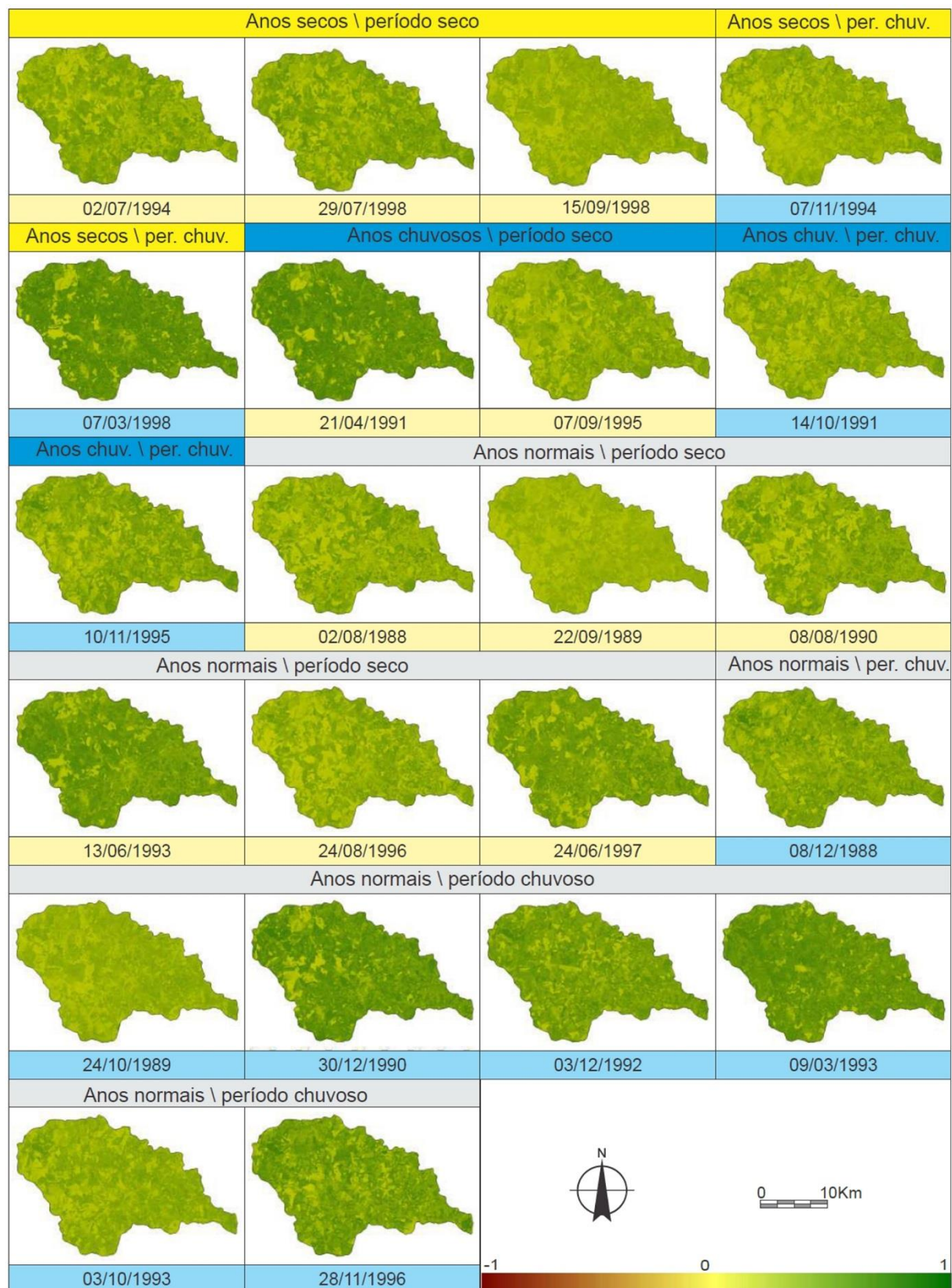
Fonte: USGS e INPE (2014).

Figura 26 - Mapas do IVDN da sub-bacia do rio Jacaré-Pepira correspondentes ao período 1988-1998.



Fonte: USGS e INPE (2014). Os tons da legenda representam a variação no IVDN.

Figura 27 - Mapas do IVDN da sub-bacia do rio Jaú correspondentes ao período 1988-1998.



Fonte: USGS e INPE (2014). Os tons da legenda representam a variação no IVDN.

Os mapas de IVDN do dia 10/11/1995, da sub-bacia do Jacaré-Pepira apresentaram valores superiores à média, enquanto para a área do rio Jaú foram abaixo da média. Os valores acima da média estariam relacionados ao tipo de produção agrícola característica do município de Dois Córregos, na qual está inserida a maior parte das terras da sub-bacia do Jaú. A região apresenta grande área ocupada pelo cultivo de cana-de-açúcar, essa data representa o período final da safra, portanto, a maior parte da colheita já havia sido realizada, e muitas parcelas da área provavelmente encontravam-se na época com solo exposto, ou em estágios iniciais de desenvolvimento da lavoura. Durante a década de 1990 era adotada a prática da queimada da palha antes da colheita, que remove totalmente a cobertura vegetal, explicando a intensa queda nos valores médios do IVDN.

No município de Brotas (sub-bacia do rio Jacaré-Pepira), os usos predominantes são de culturas perenes (pastagens e eucalipto), elevando os valores médios do índice obtidos.

As demais datas das amostras analisadas apresentam valores médios estimados do IVDN adequados ao contexto hidrológico sazonal, sendo que em 15 datas, de um total de 22, o índice correspondeu adequadamente à estação hidrológica na qual estava inserido.

Os aspectos da dinâmica da produção agrícola canavieira, predominante na região da sub-bacia hidrográfica do rio Jaú, apresentam reflexos no comportamento do IVDN médio das áreas de estudo, como averiguaram Lira et al. (2009).

Esta dinâmica viabiliza o monitoramento do ciclo de desenvolvimento dessa cultura, evidenciada pela variação sazonal dos índices de cobertura vegetal, relacionados a esta atividade agrícola e expressos no IVDN. Corroboram as constatações os trabalhos de Simões (2004), Simões, Rocha e Lamparelli (2009) e Esteves et al. (2012), cujos índices de vegetação, obtidos por imagens de satélite, apresentaram uma boa correlação com os estágios de desenvolvimento da cana-de-açúcar.

Os dados do LUPA 1995/1996 (SÃO PAULO, 2008), permitiram verificar que a pastagem é o uso das terras predominante na sub-bacia do rio Jacaré-Pepira. Este tipo de cobertura vegetal apresenta alterações na densidade da cobertura devido à sazonalidade, porém, como não ocorre supressão da vegetação em nenhum período

do ano, as variações nos valores obtidos de IVDN entre os períodos hidrológicos são menores. Esta constatação se confirma na observação dos valores do coeficiente de variação (CV) verificados para as sub-bacias do Jaú e do Jacaré-Pepira (tabela 20).

O valor obtido do coeficiente de variação dos valores médios do IVDN, na sub-bacia do Jaú foi 32%, superior ao verificado na sub-bacia do Jacaré. Para o IVDN médio, os valores obtidos foram 16% maiores na bacia do rio Jacaré-Pepira. Em média, os valores desse índice são inferiores na sub-bacia do Jaú, provavelmente em função dos aspectos sazonais, verificados no cultivo canavieiro, quando comparados à relativa estabilidade na dinâmica de produção encontrada nas pastagens e plantações de eucaliptos, predominantes na bacia do Jacaré.

A capacidade de detecção da variabilidade sazonal das pastagens pode ser confirmada segundo as conclusões de Andrade et al. (2013), que utilizaram o IVDN para avaliar a degradação das pastagens no estado de Goiás.

O IVDN possibilitou a verificação da diferença entre estágios de degradação de pastagens, sendo possível considerar que a capacidade de aferição do vigor vegetativo pode também ser relacionada às variações sazonais, que ocorrem em função das estações secas e chuvosas, como evidenciado por Ferreira et al. (2005) e Andrade et al. (2010).

A cultura do eucalipto representa mais de 20% da área total cultivada na área da sub-bacia do rio Jacaré-Pepira e apenas 4% da área plantada no Jaú. É um indicativo de maior efetividade da cobertura vegetal proporcionada pela floresta de eucalipto, devido a sua dinâmica de ocupação que envolve períodos maiores em função dos estágios de crescimento, até atingir o ponto de corte. Como também verificaram Almeida et al. (2015).

Os maiores valores médios de IVDN registrados na sub-bacia do Jacaré-Pepira, relacionados aos valores desse índice observados na sub-bacia do Jaú, são influenciados pelas características inerentes à cultura do eucalipto, e pastagens.

Na sub-bacia do Jaú, o IVDN médio foi de 0,30 e na do Jacaré-Pepira 0,35 respectivamente. Isso evidencia que o tipo de uso das terras da região na qual está inserida a sub-bacia do Jacaré-Pepira apresenta cobertura vegetal mais intensa que na região da bacia do Jaú. Isso ocorre devido à presença de cultivo de cana-de-

açúcar, que envolve períodos de colheita e de replantio, expondo o solo na sub-bacia do Jaú, enquanto na região da sub-bacia do Jacaré existe relativa estabilidade na cobertura vegetal, garantida principalmente pela perenidade das pastagens e das plantações de eucalipto.

Os valores da média do coeficiente de variação (CV) apresentam valor inferior para a área do Jacaré (39,9%) e superior para a área do Jaú (47,79%), corroborando a constatação de que a constante alteração espacial da cobertura vegetal, provocada pelo ciclo de cultivo da cana-de-açúcar, aumenta os valores do coeficiente de variação para a região da sub-bacia do Jaú.

7.2 Análise da distribuição espaço-temporal das precipitações

Este item contempla a análise da distribuição espaço-temporal das precipitações nas duas áreas de estudo, e teve como objetivo verificar possíveis diferenças relacionadas à precipitação entre as duas áreas avaliadas.

Os mapas de pluviosidade foram elaborados através da interpolação, considerando a precipitação total, média, máxima diária e desvio-padrão das sete estações pluviométricas do DAEE. Posteriormente, obtiveram-se os valores médios da distribuição espacial dessas variáveis, e estes foram incluídos na planilha eletrônica para elaboração da tabela 21, a fim de gerar uma síntese das informações.

Também foram elaborados gráficos que descrevem o comportamento da precipitação total, máxima diária e coeficiente de variação (figuras 28, 29 e 30), que ilustram a distribuição das variáveis analisadas em relação à pluviosidade, viabilizando a comparação entre as duas áreas de estudo.

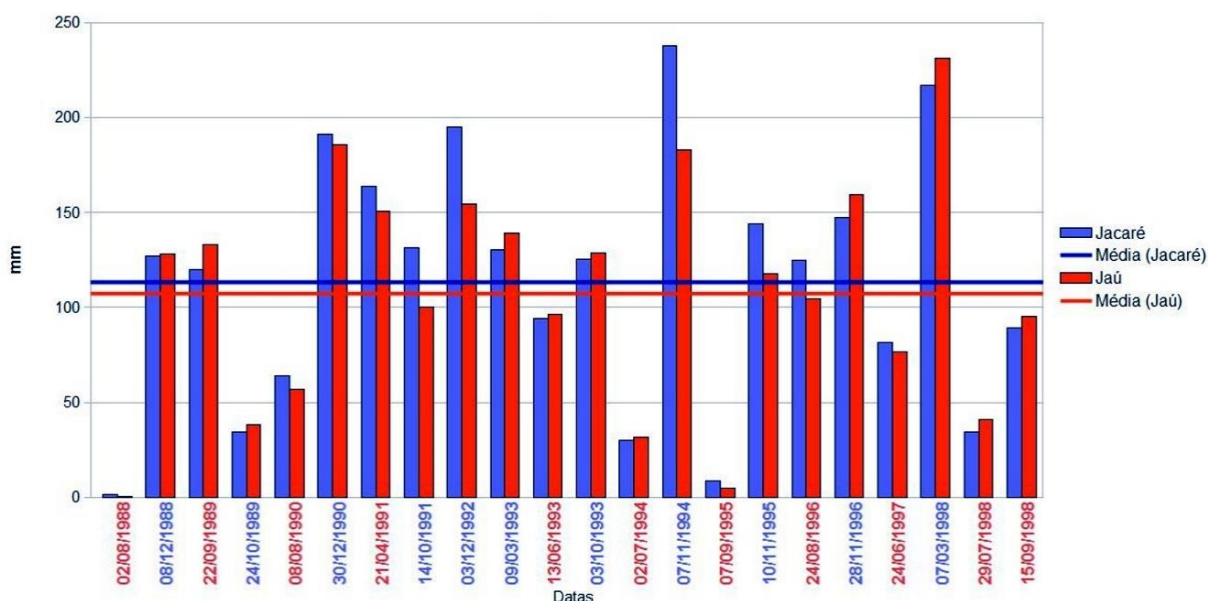
O objetivo de sintetizar essas variáveis foi a obtenção de um cenário espaço-temporal da distribuição das precipitações nas sub-bacias, descartando diferenças nos padrões de precipitação que pudessem ocasionar variações expressivas nos padrões de escoamento superficial, verificados nas vazões registradas para os mesmos períodos.

Tabela 21 – Precipitações registadas pelos postos do DAEE e interpoladas para as sub-bacias dos rios Jacaré-Pepira e Jaú (1988-1998).

Data de referência	Precipitação total (mm)		Precipitação máxima (mm)		Precipitação Coef. de Var. (%)		Período
	Jacaré	Jaú	Jacaré	Jaú	Jacaré	Jaú	
02-08-1988	1,6	0,4	1,46	0,42	53.45	56.13	Seco
08-12-1988	126,9	128,3	28,94	30,28	31.59	36.84	Chuvoso
22-09-1989	120,0	133,3	63,95	83,47	19.53	20.42	Seco
24-10-1989	34,3	38,2	26,83	29,71	43.40	43.50	Chuvoso
08-08-1990	63,8	56,9	27,36	27,07	27.97	30.35	Seco
30-12-1990	190,9	185,6	64,99	63,10	22.0	22.86	Chuvoso
21-04-1991	163,8	150,5	61,99	57,58	25.59	25.85	Seco
14-10-1991	131,6	99,9	33,46	26,58	19.41	21.32	Chuvoso
03-12-1992	195,2	154,6	13,16	19,52	22.05	20.62	Chuvoso
09-03-1993	130,6	139,2	37,77	44,70	20.81	24.06	Chuvoso
13-06-1993	94,3	96,1	31,34	32,46	9.41	12.52	Seco
03-10-1993	125,3	128,9	36,56	38,91	21.98	21.96	Chuvoso
02-07-1994	29,9	31,5	13,16	19,52	29.68	38.29	Seco
07-11-1994	237,7	182,8	60,96	44,42	19.86	20.81	Chuvoso
07-09-1995	8,4	4,8	6,21	4,12	44.92	49.37	Seco
10-11-1995	144,3	118,0	7,82	5,80	22.68	21.71	Chuvoso
24-08-1996	124,9	104,6	38,84	42,52	22.71	26.72	Seco
28-11-1996	147,3	159,3	33,07	46,95	18.23	20.92	Chuvoso
24-06-1997	81,6	76,7	31,19	33,39	27.84	31.56	Seco
07-03-1998	216,8	231,3	55,55	58,19	18.20	18.34	Chuvoso
29-07-1998	34,7	41,0	12,30	17,41	25.69	30.02	Seco
15-09-1998	89,3	95,5	39,62	39,85	26.98	27.63	Seco
Média	113,32	107,16	33,02	34,82	26.09	28.26	-

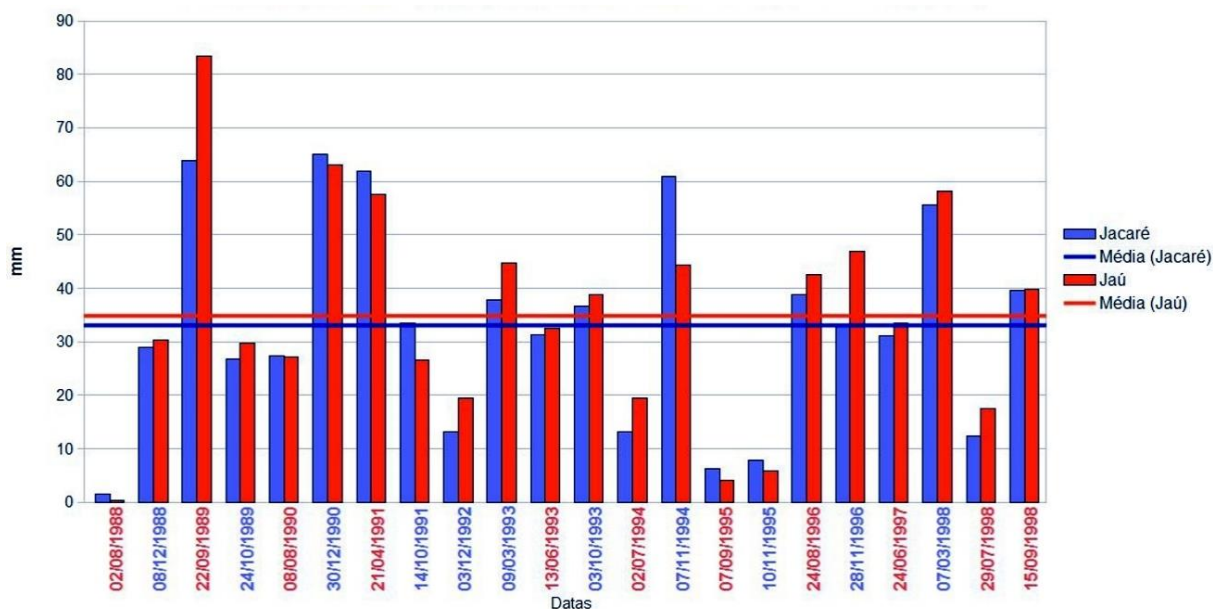
Fonte: Resultado da interpolação dos dados das estações pluviométricas, prefixos: D4-036, D4-074, D5-006, D5-007, D5-084, D5-086 e D5-087 (DAEE, 2011).

Figura 28 - Precipitação total das sub-bacias do Jacaré Pepira e Jaú (1988-1998).



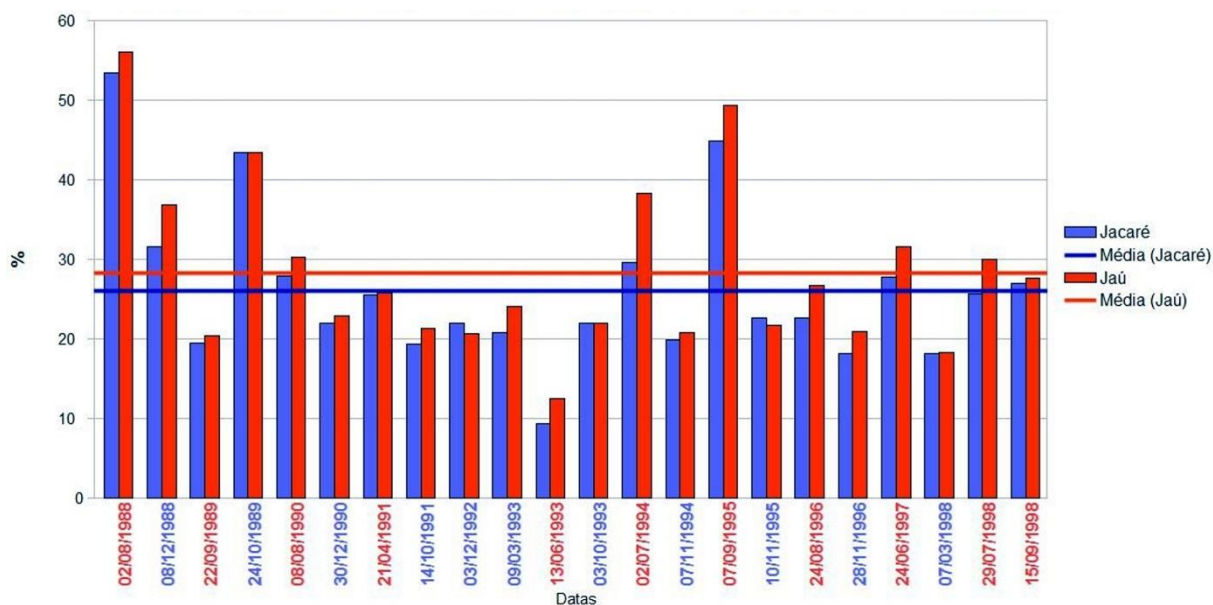
Fonte: Resultado da interpolação dos dados das estações pluviométricas, prefixos: D4-036, D4-074, D5-006, D5-007, D5-084, D5-086 e D5-087 (DAEE, 2011).

Figura 29 - Precipitação máxima das sub-bacias do Jacaré Pepira e Jaú(1988-1998).



Fonte: Resultado da interpolação dos dados das estações pluviométricas, prefixos: D4-036, D4-074, D5-006, D5-007, D5-084, D5-086 e D5-087 (DAEE, 2011).

Figura 30 - Gráfico dos dados do coeficiente de variação da precipitação das sub-bacias do Jacaré Pepira e Jaú (1988-1998).



Fonte: Resultado da interpolação dos dados das estações pluviométricas, prefixos: D4-036, D4-074, D5-006, D5-007, D5-084, D5-086 e D5-087 (DAEE, 2011).

Na tabela 21 e nos gráficos das figuras 28, 29 e 30, a média da precipitação total, referente a todos os períodos analisados, foi de 113 mm na sub-bacia do rio Jacaré-Pepira e 107 mm na sub-bacia do Jaú. Desta forma a pluviosidade nos períodos avaliados não apresentou diferença expressiva entre as sub-bacias. De acordo com o valor máximo diário de chuva, observa-se que a ocorrência de eventos extremos tem baixa probabilidade.

O maior valor registrado para a precipitação máxima diária foi para a sub-bacia do Jaú, com uma precipitação de 83,47 mm no período correspondente à data 22/09/1989, enquanto no Jacaré o maior valor obtido foi de 64,99 mm, referente à 30/12/1990. O coeficiente de variação foi superior para a sub-bacia do rio Jaú, em relação à sub-bacia do Jacaré, em 20 dos 22 períodos analisados e apenas 7% inferior na região Jacaré-Pepira.

Com base nos períodos secos e chuvosos na sub-bacia do Jacaré, observados no gráfico apresentado na figura 30, percebe-se que a precipitação total foi superior à média em todos os 11 períodos chuvosos, enquanto nos períodos secos, apenas em 3 dos 11 períodos os valores totais de precipitação superaram a média. Destaca-se a data de 21/04/1991, cujo valor de precipitação acumulado no intervalo de 31 dias foi superior à média. Em relação à sub-bacia do rio Jaú, em dois períodos, enquadrados dentro do período seco, as precipitações totais registradas superaram a média, e em relação aos chuvosos, em 9 das 11 datas de referência.

Quando comparadas as precipitações totais verificadas nas duas sub-bacias no período correspondente à 14/10/1991 (chuvoso), apesar de as precipitações observadas na sub-bacia do Jacaré-Pepira terem superado a média, na região do Jaú registraram-se valores abaixo da média, fato que se repetiu na data de referência 24/06/1996 (seca). Com base nas observações realizadas, não é possível considerar que as diferenças na variação espaço-temporal das precipitações justifiquem diferenças de vazão entre as duas sub-bacias.

Quando comparados os dados para as duas sub-bacias, apresentados na figura 31, constatou-se que, em relação às precipitações máximas os valores obtidos foram superiores em 10 datas de referência para a região do Jaú e em 9 para a sub-bacia do Jacaré-Pepira. Se consideradas apenas as ocorrências ligadas aos períodos

chuvosos, verificou-se que em 6 das 11 datas a precipitação máxima superou a média, sendo que as outras 4 correspondem a períodos hidrológicos secos.

Os dados dos coeficientes de variação podem ser observados na figura 32 e indicam valores superiores à média em 8 datas na região do Jaú, sendo que, destas, 6 corresponderam a períodos hidrológicos secos, situação similar à verificada na região do Jacaré-Pepira.

Esta situação corrobora a constatação de que a movimentação das massas de ar que ocorrem na região no período seco são caracterizadas pela ocorrência de precipitações frontais, associadas a alguns dias nos quais ocorre a passagem da frente, sendo que nos demais dias praticamente não ocorrem eventos pluviométricos. Isso ocasiona uma intensificação nos valores do coeficiente de variação temporal da precipitação, principalmente nos períodos hidrológicos secos. Em relação ao coeficiente de variação da chuva, constatou-se que não há diferenças expressivas entre as áreas de estudo.

Para a análise da distribuição espacial das variáveis pluviométricas, foram elaborados mapas de distribuição das precipitações para a precipitação total e máxima. Como é possível observar nos mapas de distribuição espacial em séries temporais (22 períodos) das precipitações totais e máximas (figuras 31 e 32), há grande variabilidade no padrão de distribuição espaço-temporal.

Ainda com base na distribuição espacial das precipitações, foram obtidos os valores do coeficiente de variação da distribuição espacial da precipitação, possibilitando quantificar a dispersão da distribuição espacial das precipitações, em relação a seus valores médios. Esse valor foi considerado como um indicativo da irregularidade espacial da distribuição, uma vez que, quanto maior o valor dessa variável, mais irregular pode ser considerada a distribuição espacial das precipitações na região avaliada. Na tabela 22 podem ser observados os dados obtidos referentes à distribuição espacial das variáveis relacionadas à pluviosidade utilizadas na pesquisa.

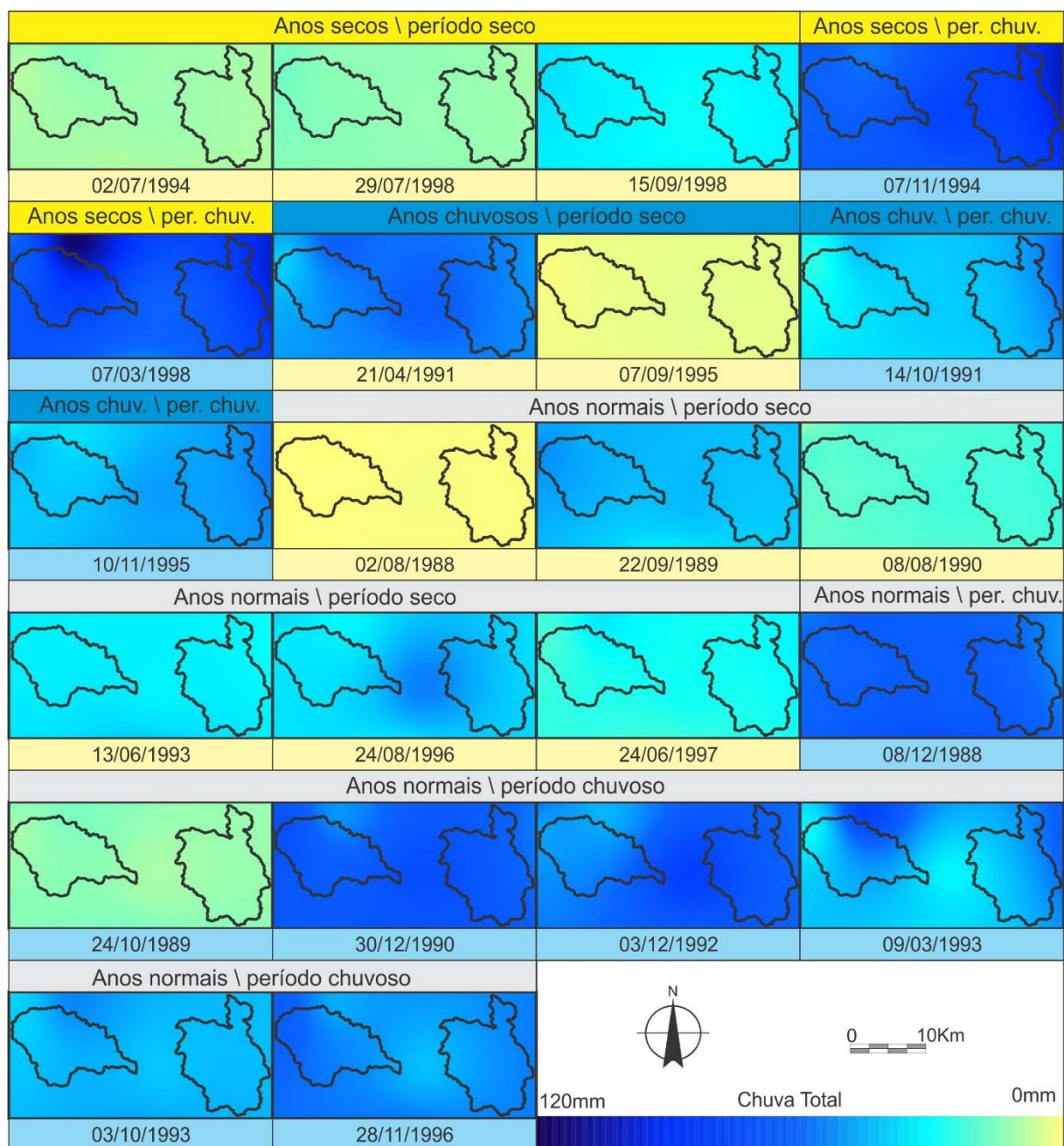
Tabela 22 - Variação espacial das precipitações registadas pelos postos do DAEE para as Sub-bacias dos rios Jacaré-Pepira e Jaú (1988-1998).

Data de referência	Precipitação Total CV (%)		Precipitação Máxima CV (%)		Precipitação Desvio CV (%)		Precipitação Média CV (%)		Período
	Jacaré	Jaú	Jacaré	Jaú	Jacaré	Jaú	Jacaré	Jaú	-
02-08-1988	25,31	99,80	31,14	99,83	29,64	98,68	24,83	99,71	Seco
08-12-1988	4,58	2,42	1,08	6,35	5,03	4,16	4,59	2,42	Chuvoso
22-09-1989	2,53	5,29	5,75	6,66	1,69	6,24	2,53	5,31	Seco
24-10-1989	4,89	7,03	6,67	8,85	6,54	8,06	4,93	6,83	Chuvoso
08-08-1990	2,08	3,20	3,60	8,74	1,58	6,09	2,06	3,18	Seco
30-12-1990	4,62	6,28	5,37	2,73	4,20	2,78	4,61	6,21	Chuvoso
21-04-1991	4,83	10,76	2,28	8,43	2,86	9,35	4,85	10,66	Seco
14-10-1991	8,62	12,55	8,99	9,87	8,90	8,76	8,65	12,44	Chuvoso
03-12-1992	6,15	10,19	5,70	11,88	10,48	14,66	6,16	10,14	Chuvoso
09-03-1993	12,91	19,10	6,98	23,11	7,40	21,13	12,97	18,94	Chuvoso
13-06-1993	2,96	1,23	5,41	3,93	1,53	7,66	2,97	1,23	Seco
03-10-1993	1,15	6,27	4,13	6,27	2,05	5,25	1,16	6,26	Chuvoso
02-07-1994	4,79	9,75	5,70	11,88	1,53	7,66	97,95	99,01	Seco
07-11-1994	5,95	5,20	4,01	8,38	4,98	4,90	5,97	5,18	Chuvoso
07-09-1995	3,60	35,21	9,67	29,90	6,38	30,82	3,61	34,51	Seco
10-11-1995	3,13	5,08	52,18	74,62	5,19	5,53	3,15	5,03	Chuvoso
24-08-1996	8,99	8,80	3,78	8,13	6,63	5,00	9,02	8,74	Seco
28-11-1996	5,20	7,92	4,06	10,66	3,56	7,35	5,20	7,86	Chuvoso
24-06-1997	3,25	9,42	10,15	13,60	5,42	11,60	3,28	9,37	Seco
07-03-1998	9,40	12,27	4,66	10,06	5,12	5,77	9,42	12,20	Chuvoso
29-07-1998	3,74	7,01	3,05	7,66	3,20	9,32	3,74	7,08	Seco
15-09-1998	2,75	4,26	3,23	5,55	3,83	4,60	2,75	4,21	Seco
Média	5,97	13,41	8,53	17,46	5,81	13,29	10,20	17,39	-

Fonte: Resultado da interpolação dos dados das estações pluviométricas, prefixos: D4-036, D4-074, D5-006, D5-007, D5-084, D5-086 e D5-087 (DAEE, 2011).

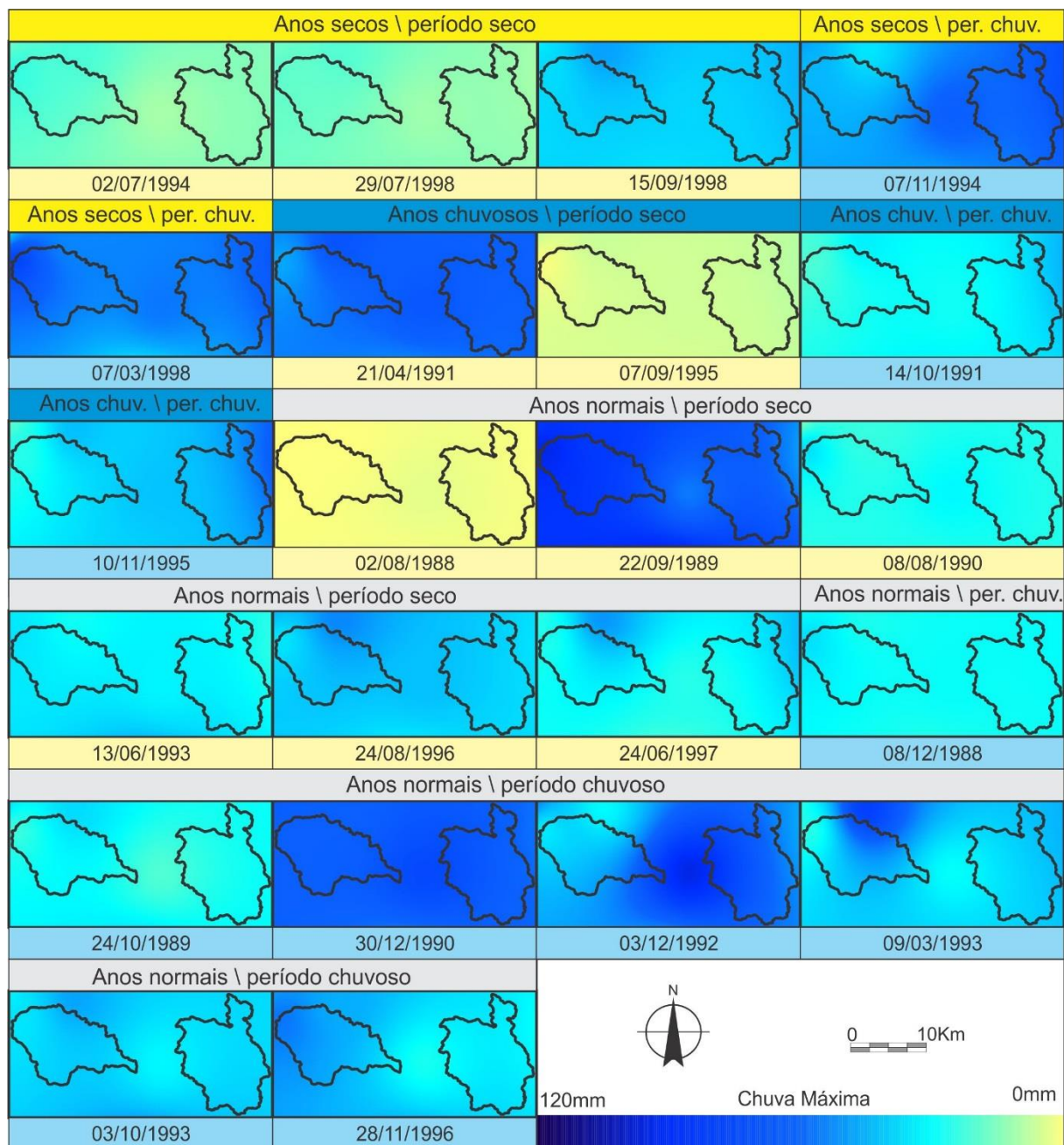
De acordo com os dados da tabela 22, constatou-se que a variação espacial da precipitação total, expressa pelo coeficiente de variação espacial, foi maior na sub-bacia do Jaú, superando os 13%, enquanto na sub-bacia do Jacaré foi de 6%. Em relação à precipitação máxima, a variabilidade espacial foi superior na sub-bacia do Jaú, atingindo mais de 17%, enquanto no Jacaré foi superior a 8%. Para o desvio-padrão, também se verificou situação semelhante, com o Jacaré atingindo 5,8%, e o Jaú mais de 13%, e para a precipitação média os valores foram de 10,2% e 17,39%, respectivamente.

Figura 31 - Mapas da distribuição da precipitação total nas sub-bacias dos rios Jacaré-Pepira e Jaú (1988-1998).



Fonte: Resultado da interpolação dos dados das estações pluviométricas, prefixos: D4-036, D4-074, D5-006, D5-007, D5-084, D5-086 e D5-087 (DAEE, 2011).

Figura 32 - Mapas da distribuição da precipitação máxima nas sub-bacias dos rios Jacaré-Pepira e Jaú (1988-1998).

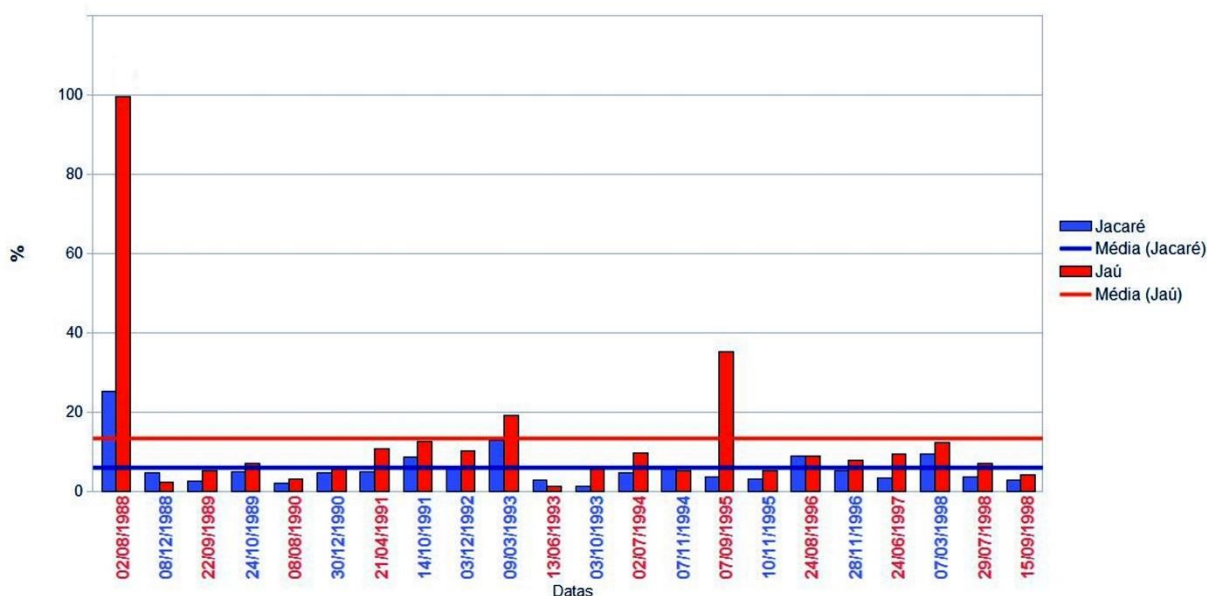


Fonte: Resultado da interpolação dos dados das estações pluviométricas, prefixos: D4-036, D4-074, D5-006, D5-007, D5-084, D5-086 e D5-087 (DAEE, 2011).

No Gráfico da figura 33, é possível perceber que em 17 períodos o valor do coeficiente de variação foi maior para a sub-bacia do Jaú; ainda se observa que os períodos que têm como referência as datas 02/06/1988 e 07/09/1995 apresentaram valores superiores do coeficiente de variação para as duas áreas, no entanto, foram maiores na sub-bacia do Jacaré-Pepira. Este fato pode ser considerado atípico por corresponder ao período hidrológico seco. Desta forma, uma medida pluviométrica

inferior não indica um valor representativo. Os dados apresentados evidenciam uma distribuição espacial da precipitação total mais irregular na área da sub-bacia do rio Jaú.

Figura 33 - Gráfico do coeficiente de variação espacial da precipitação total das sub-bacias dos rios Jacaré-Pepira e Jaú.

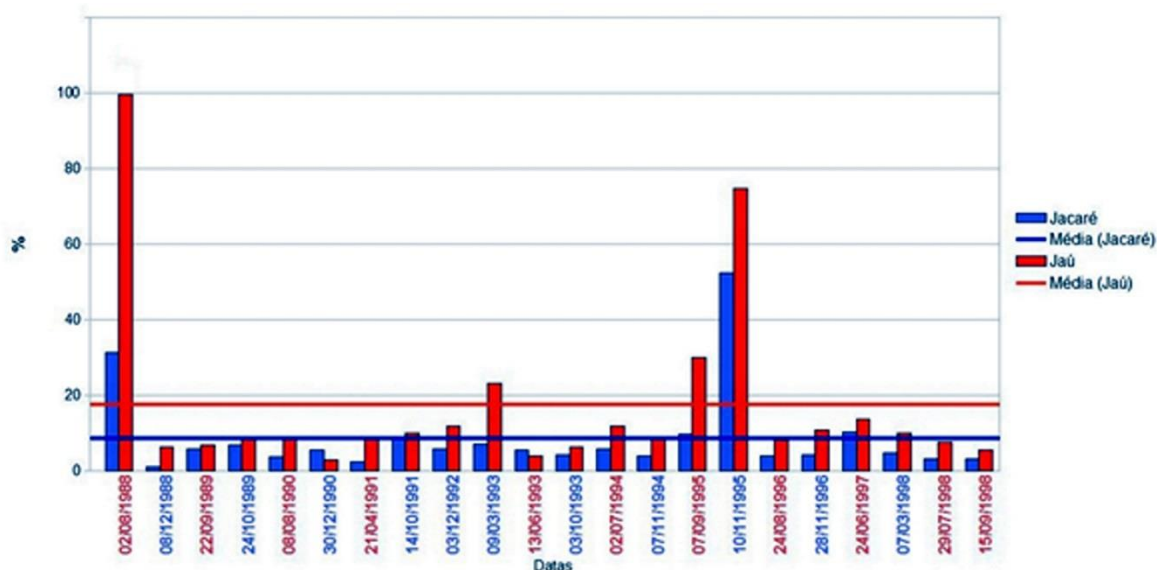


Fonte: Resultado da interpolação dos dados das estações pluviométricas, prefixos: D4-036, D4-074, D5-006, D5-007, D5-084, D5-086 e D5-087 (DAEE, 2011).

A figura 34 apresenta o gráfico que facilita a comparação entre os valores do coeficiente de variação (CV) da distribuição espacial da precipitação máxima. Em 20 das 22 datas de referência, os valores do CV foram maiores na área da sub-bacia do Jaú, em relação ao Jacaré-Pepira. Essa variável foi superior à média em quatro datas, enquanto no Jacaré apenas em duas. Com base nos dados obtidos, é possível considerar que a variabilidade espacial da precipitação máxima apresenta maior variação na sub-bacia do Jaú.

Os valores do coeficiente de variação do desvio-padrão indicam a variação espacial do desvio-padrão temporal da precipitação (figura 35) para as duas áreas; da mesma forma que nos dados anteriores, é possível constatar que, em relação à região do Jaú, existe um predomínio da irregularidade na distribuição espacial dessa variável, sendo que em 15 das 22 datas de referência os valores foram superiores aos verificados para a região do Jacaré-Pepira.

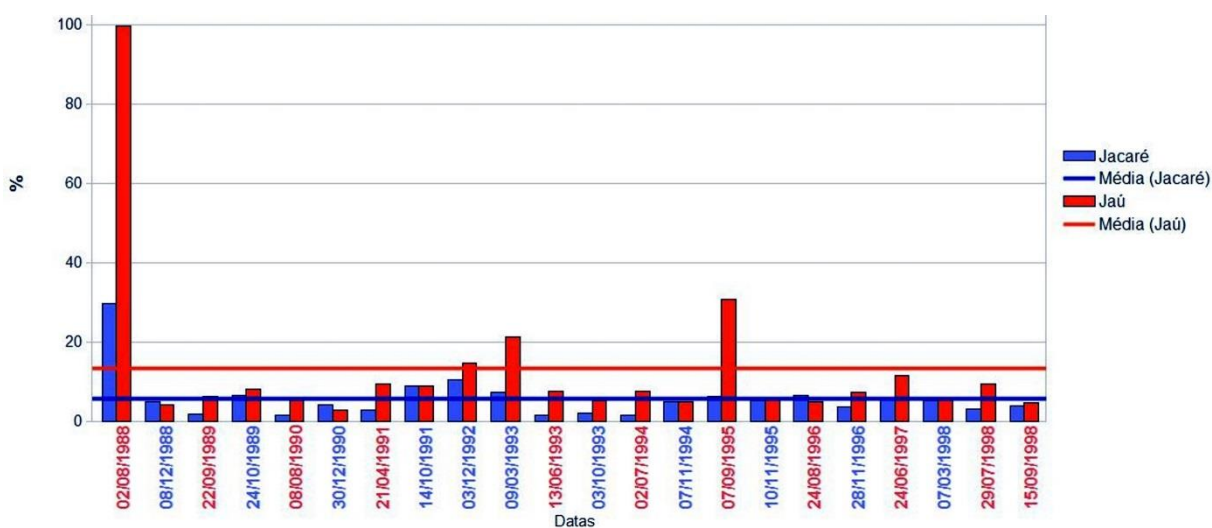
Figura 34 - Gráfico do coeficiente de variação espacial da precipitação máxima das sub-bacias dos rios Jacaré-Pepira e Jaú.



Fonte: Resultado da interpolação dos dados das estações pluviométricas, prefixos: D4-036, D4-074, D5-006, D5-007, D5-084, D5-086 e D5-087 (DAEE, 2011).

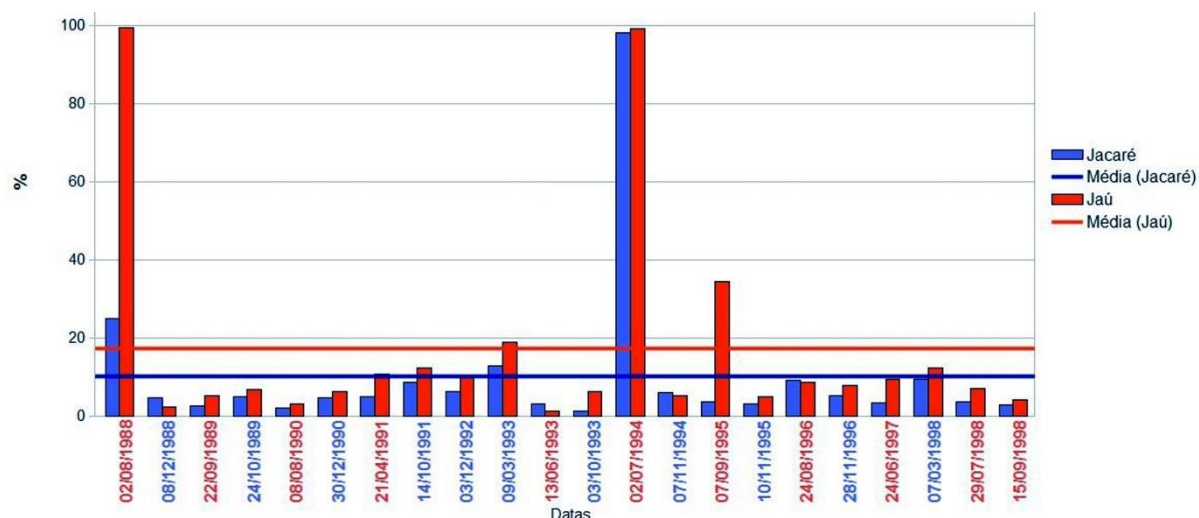
Observa-se ainda que em quatro datas os valores verificados foram superiores às médias no Jaú, enquanto para a outra região isso ocorre apenas uma vez. Em relação à precipitação média, na figura 36, é possível observar que em 18 datas os valores foram superiores na sub-bacia do Jaú, permanecendo acima da média em quatro períodos, enquanto no Jacaré esse fato ocorreu uma vez.

Figura 35 - Gráfico do coeficiente de variação espacial do desvio padrão da precipitação das sub-bacias dos rios Jacaré-Pepira e Jaú.



Fonte: Resultado da interpolação dos dados das estações pluviométricas, prefixos: D4-036, D4-074, D5-006, D5-007, D5-084, D5-086 e D5-087 (DAEE, 2011).

Figura 36 - Gráfico do coeficiente de variação espacial da média da precipitação das sub-bacias dos rios Jacaré-Pepira e Jaú.



Fonte: Resultado da interpolação dos dados das estações pluviométricas, prefixos: D4-036, D4-074, D5-006, D5-007, D5-084, D5-086 e D5-087 (DAEE, 2011).

O uso de ferramentas de geoprocessamento em ambiente SIG associado a ferramentas de interpolação ofereceu suporte adequado para a realização da análise da distribuição espaço temporal das precipitações, confirmando as observações de Trindade et al. (2016) e Xavier et al. (2016), que verificaram em suas pesquisas a eficiência dos métodos de interpolação na avaliação espaço-temporal de variáveis relacionadas à precipitação.

A análise da distribuição espaço-temporal das precipitações não indicou diferenças significativas entre as duas bacias hidrográficas. Dessa forma, considera-se, há uniformidade climática, confirmando o enquadramento das duas áreas no mesmo tipo climático (Cwa). Os dados obtidos encontram respaldo nos resultados apresentados por Rezende (2009), que também avaliou as principais características da distribuição pluviométrica para as duas regiões constatando a uniformidade.

7.3 Análise das vazões

Este item corresponde à análise do comportamento das vazões ao longo do período estudado para as duas áreas de estudo. Foi possível comparar as características principais da vazão, possibilitando diferenciar os comportamentos hidrológicos das sub-bacias dos rios Jacaré-Pepira e Jaú.

Na tabela 23, é possível verificar que as vazões médias diárias foram superiores em 27% na sub-bacia do Jacaré em relação à do Jaú. A vazão máxima foi 15% superior na sub-bacia do Jacaré-Pepira. As vazões mínimas foram 13% maiores no Jacaré, enquanto a amplitude das vazões apresentou uma diferença de 30% no Jaú, com coeficiente de variação de cerca de 35% superior. Com base nestes valores, verifica-se que, em relação ao parâmetro vazão máxima, indicativo de picos de vazão, existe maior ocorrência de valores médios na sub-bacia do Jaú com picos de vazão mais frequentes.

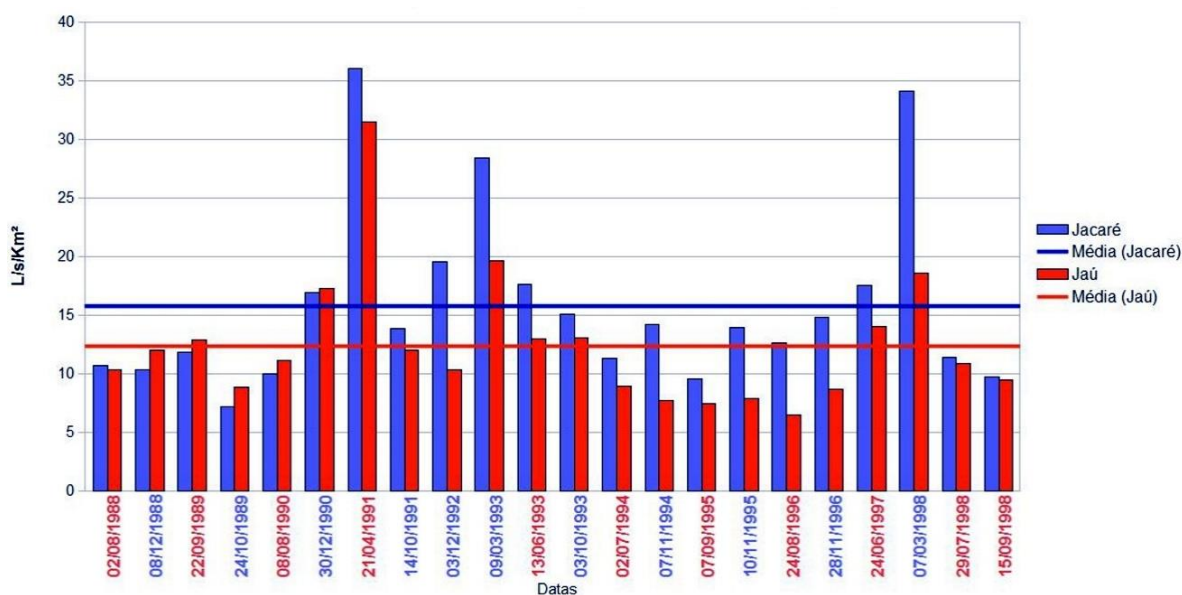
Tabela 23 – Vazões médias diárias do período 1988-1998 calculadas para as sub-bacias dos rios Jacaré-Pepira e Jaú.

Data de referência	Vazão média diária (L/s/km ²)		Vazão máxima diária (L/s/km ²)		Vazão min diária (L/s/km ²)		Vazão Coeficiente de Variação (%)		Amplitude da vazão (L/s/km ²)		Período
	Jacaré	Jaú	Jacaré	Jaú	Jacaré	Jaú	Jacaré	Jaú	Jacaré	Jaú	
02-08-1988	10,69	10,35	11,12	11,10	9,91	9,56	3,57	6,29	1,21	1,54	Seco
08-12-1988	10,31	11,96	25,68	81,36	6,40	6,71	43,34	99,57	19,28	74,65	Chuvoso
22-09-1989	11,86	12,88	19,21	26,65	8,70	9,18	25,90	34,10	10,51	17,47	Seco
24-10-1989	7,20	8,88	9,13	17,22	5,91	8,11	10,95	17,93	3,22	9,11	Chuvoso
08-08-1990	9,94	11,08	14,36	24,35	8,31	8,83	17,43	28,65	6,05	15,52	Seco
30-12-1990	16,95	17,22	23,67	89,50	9,87	10,33	27,70	82,53	13,8	79,17	Chuvoso
21-04-1991	36,01	31,49	71,35	99,80	24,88	21,71	27,82	59,16	46,47	91,09	Seco
14-10-1991	13,84	11,99	24,68	19,74	8,55	9,81	37,35	18,28	16,13	9,93	Chuvoso
03-12-1992	19,51	10,33	37,12	22,06	11,12	8,81	33,98	27,45	26	13,25	Chuvoso
09-03-1993	28,42	19,64	42,60	33,83	19,34	15,42	26,93	21,42	23,26	18,41	Chuvoso
13-06-1993	17,57	13,00	20,25	27,89	13,80	10,50	10,98	29,99	6,45	17,39	Seco
03-10-1993	15,06	13,07	19,34	27,99	10,88	8,48	17,76	40,35	8,46	19,51	Chuvoso
02-07-1994	11,27	8,93	13,15	11,40	9,91	7,98	7,13	9,39	3,24	3,42	Seco
07-11-1994	14,18	7,68	34,85	17,47	8,76	5,01	41,41	48,37	26,09	12,46	Chuvoso
07-09-1995	9,51	7,43	11,36	8,63	8,09	7,04	9,99	5,49	3,27	1,59	Seco
10-11-1995	13,93	7,87	18,58	14,57	9,32	5,89	24,34	21,94	9,26	8,68	Chuvoso
24-08-1996	12,63	6,48	27,13	15,97	8,57	4,44	39,57	39,66	18,56	11,53	Seco
28-11-1996	14,83	8,68	18,48	13,40	11,34	6,26	13,63	20,01	7,14	7,14	Chuvoso
24-06-1997	17,56	14,04	26,63	19,16	11,34	10,73	30,41	17,61	15,29	8,43	Seco
07-03-1998	34,07	18,60	51,94	31,99	15,04	13,87	42,60	26,45	36,9	18,12	Chuvoso
29-07-1998	11,38	10,82	17,00	13,87	8,91	9,46	22,29	10,99	8,09	4,41	Seco
15-09-1998	9,69	9,49	11,08	18,41	8,24	7,44	8,22	27,43	2,84	10,97	Seco
Média	15,75	12,36	24,94	29,97	10,78	9,34	23,79	32,09	14,16	20,63	-

Fonte: (DAEE, 2011).

Constatou-se, no gráfico comparativo da vazão média diária (figura 37) que os valores ficaram acima da média em 8 períodos na região do Jacaré, sendo 6 em período hidrológico chuvoso e 2 em período seco. Na região do Jaú, a ocorrência de valores acima da média diária foi observada em 5 períodos, sendo 1 em período seco e 4 em período chuvoso. Os valores dessa variável foram superiores para a sub-bacia do Jacaré-Pepira em 17 períodos, indicando que a vazão média é frequentemente inferior na sub-bacia do Jaú.

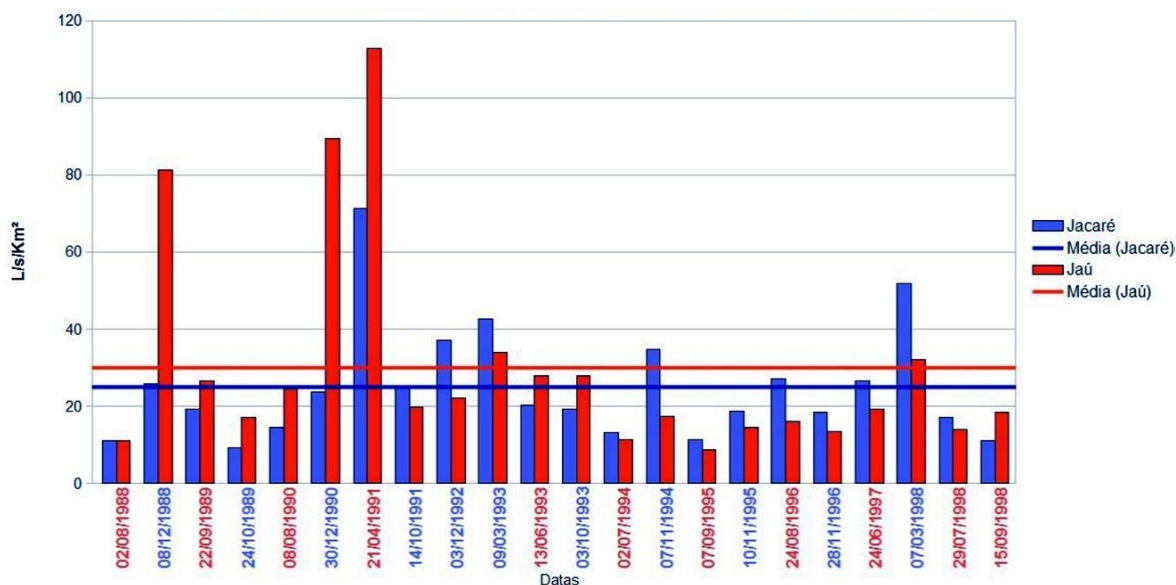
Figura 37 - Gráfico da vazão média diária das sub-bacias dos rios Jacaré-Pepira e Jaú (1988-1998).



Fonte: (DAEE, 2011).

Na figura 38 é possível notar certo equilíbrio nos valores da vazão máxima, uma vez que em 12 períodos ocorreram valores maiores para a sub-bacia do Jacaré. No Jacaré os valores registrados foram acima da média das máximas diárias em 7 datas, sendo 3 em período seco e 4 em chuvoso, enquanto no Jaú corresponderam a 8 datas, sendo 5 em período seco e 3 em chuvoso.

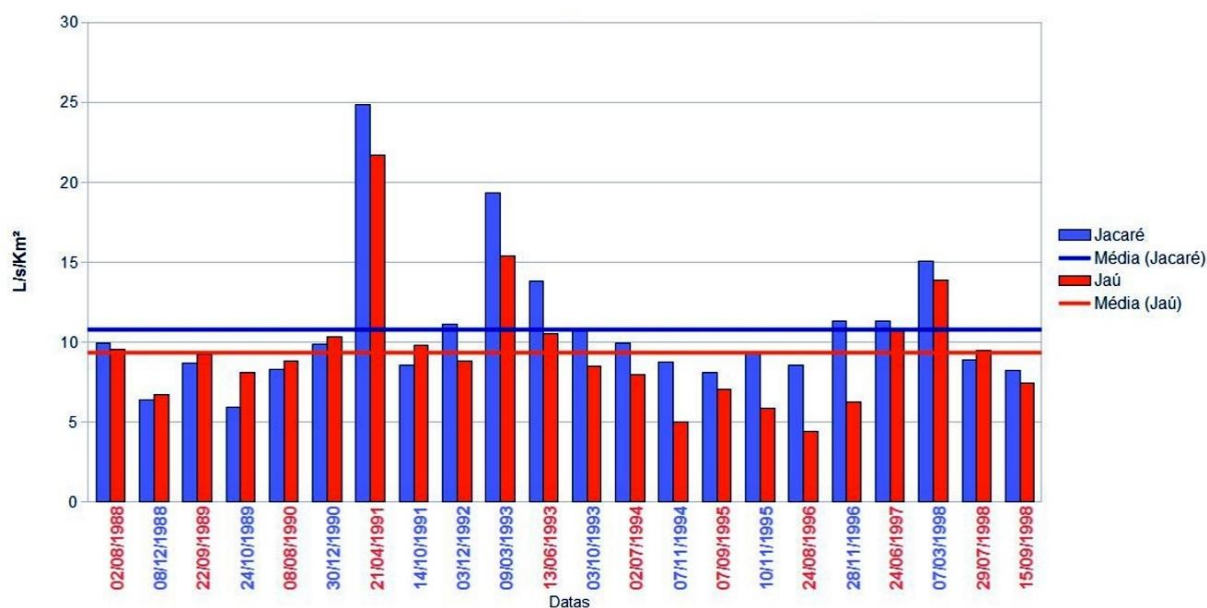
Figura 38 - Gráfico da vazão máxima média diária das sub-bacias dos rios Jacaré-Pepira e Jaú (1988-1998).



Fonte: (DAEE, 2011).

Na figura 39 verifica-se que em 15 dos 22 períodos analisados os valores da vazão mínima observados foram maiores na sub-bacia do Jacaré-Pepira, e em 6 destes, os valores registrados foram acima da média, apresentando 3 ocorrências em cada um dos períodos hidrológicos. Para o Jaú, os valores acima da média foram verificados em 8 datas, sendo 6 referentes ao período seco.

Figura 39 - Gráfico da vazão mínima média diária das sub-bacias dos rios Jacaré-Pepira e Jaú (1988-1998).

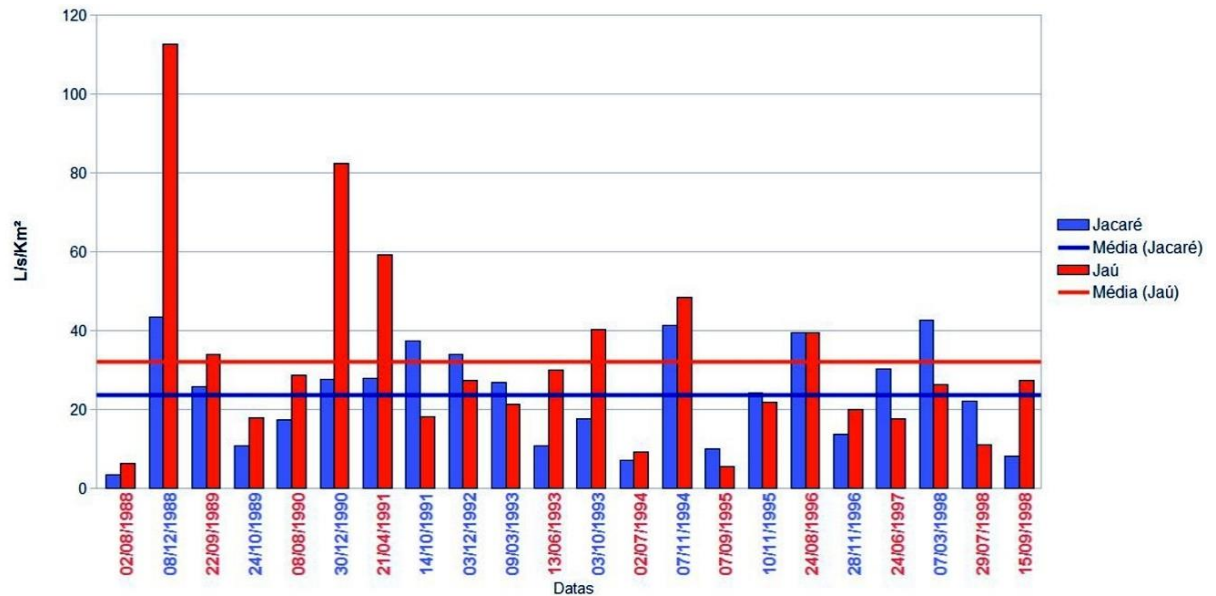


Fonte: (DAEE, 2011).

Na figura 40, que apresenta os valores do coeficiente de variação, é possível notar que em 13 períodos os valores registrados foram maiores no Jaú, superando a média em 7 destas ocorrências, sendo 2 no período seco. No Jacaré ficaram acima da média em 11 períodos, sendo 4 em períodos secos.

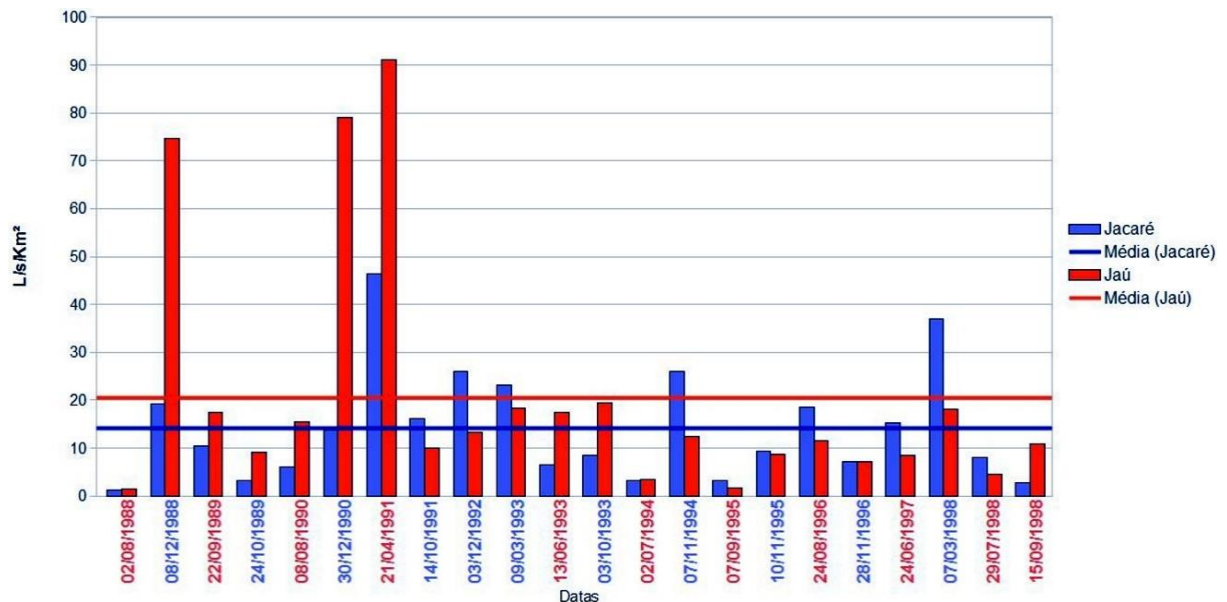
Para a amplitude das vazões médias diárias (figura 41), em 11 períodos analisados as amplitudes foram maiores no Jaú. Quando comparadas à média, observa-se que em 3 períodos ocorreu a superação da média, 2 vezes em período chuvoso. Para o Jacaré-Pepira, em 9 vezes ocorreu a superação da média, sendo apenas em 3 delas no período seco.

Figura 40 - Gráfico do coeficiente de variação da vazão média diária das sub-bacias dos rios Jacaré-Pepira e Jaú (1988-1998).



Fonte: (DAEE, 2011).

Figura 41 - Gráfico da amplitude da vazão média diária das sub-bacias dos rios Jacaré-Pepira e Jaú (1988-1998).



Fonte: (DAEE, 2011).

A avaliação das vazões registradas, no período de 1988 a 1998, permitiu verificar que existem algumas diferenças nos padrões de vazão das sub-bacias. A vazão média, que é um indicativo da disponibilidade de recursos hídricos superficiais para as atividades humanas regionais, foi maior para a sub-bacia do Jacaré-Pepira.

As vazões mínimas diárias, foram superiores no Jacaré, confirmando a constatação anterior, uma vez que maiores valores de vazão mínima indicam uma maior disponibilidade de recursos hídricos em períodos de estiagem.

A ocorrência de vazões máximas representa um indicativo de ocorrência de picos de vazão. Estes picos foram mais frequentes na sub-bacia do rio Jacaré, porém mais intensos na sub-bacia do Jaú, situação confirmada pela observação dos valores obtidos em relação à dispersão temporal das vazões, como a amplitude das vazões e o coeficiente de variação.

Os resultados verificados nesta pesquisa se confirmam nas análises realizadas por Rezende (2009), que chegou a conclusões semelhantes, trabalhando com as séries históricas completas para o mesmo período analisado, realizando-se análise comparativa para estas mesmas áreas.

7.4 Análise da relação entre precipitação, vazão e IVDN

Em relação a esta análise, buscou-se estabelecer as relações entre a precipitação, vazão e cobertura vegetal por meio da verificação da correlação estatística entre as variáveis obtidas, possibilitando compreender principalmente os impactos das atividades humanas nas variações dos componentes deste sistema. Foi analisada a influência das atividades agrícolas nos índices de cobertura vegetal da bacia hidrográfica. Desta forma, observou-se que a densidade de cobertura vegetal é determinante para a maior ou menor influência das precipitações ocorridas nas vazões observadas.

Foram analisadas as relações entre a precipitação e vazão registradas pelas estações pluviométricas e fluviométricas, buscando demonstrar os impactos da distribuição espaço-temporal das precipitações na vazão, focando nos períodos analisados de 31 dias, que englobam a data de aquisição das 22 imagens de satélite utilizadas no estudo, as quais correspondem a 15 dias anteriores e 15 posteriores às respectivas datas.

O objetivo dessa definição foi verificar a possível influência da cobertura vegetal, estimada por ferramentas de sensoriamento remoto, na relação entre a precipitação e a vazão, porém, para analisar especificamente os impactos da cobertura vegetal nessa relação, foi necessário compreender melhor os aspectos intrínsecos ao contexto exclusivo da pluviosidade e da vazão sem a influência da vegetação.

Constatou-se, por meio do teste de Shapiro Wilk, que apenas os dados da “precipitação total” apresentam distribuição normal, para os dois conjuntos de amostras (Jacaré-Pepira/Jaú), ou seja, todas as demais, com exceção da “precipitação máxima” na sub-bacia do Jaú, não atenderam à hipótese de normalidade. As figuras 42 e 43 apresentam as matrizes de gráficos de dispersão obtidas para as duas áreas, e a tabela 24 os valores obtidos de correlação para as áreas analisadas.

Tabela 24 - Coeficiente de correlação de Spearman para as variáveis fluviométricas e pluviométricas das sub-bacias do Jacaré-Pepira e Jaú (1988-1998).

Jacaré	Q. Med	Q. Max	Q. Min	Amplitu. Q.	P Tot	P. Max.	IVDN Med	Jaú
Q. Med (m3/s)		0,772	0,956	0,693	0,414	0,493	0,721	Q. Med (m3/s)
Q. Max (m3/s)	0,922		0,595	0,993	0,446	0,462	0,564	Q. Max (m3/s)
Q. Min (m3/s)	0,909	0,819		0,495	0,236	0,338	0,697	Q. Min (m3/s)
Amplitu de Q.	0,845	0,978	0,681		0,447	0,450	0,506	Amplitu de Q.
P. Tot (mm)	0,564	0,660	0,323	0,725		0,695	0,509	P. Tot (mm)
P. Max. (mm)	0,464	0,535	0,346	0,557	0,669		0,278	P. Max. (mm)
IVDN Med	0,816	0,730	0,685	0,682	0,643	0,372		IVDN Med
Jacaré	Q. Med	Q. Max	Q. Min	Amplitu.	P. Tot	P. Max.	IVDN Med	Jaú

OBS. As abreviações empregadas na tabela correspondem a: Q-Vazão; P Precipitação; Med-Média; Max-Máxima; Min-Mínima; Amplitu-Amplitude.

Fonte: Dados das estações fluviométricas e pluviométricas do DAEE e imagens do Satélite LANDSAT 5, do período entre 1988 a 1998.

Na tabela 24 nota-se que na sub-bacia do Jacaré os valores de Spearman obtidos indicam a existência de correlação para a maior parte das variáveis, sendo a relação entre a vazão média e a máxima de 0,922; entre a média e a mínima de 0,909;

e entre a média e a amplitude, 0,845. Os valores da vazão máxima e da vazão mínima apresentaram coeficiente de 0,819; entre a máxima e a amplitude, de 0,978 e entre a precipitação mínima e a amplitude, de 0,681. Todos os valores apresentados confirmam o que se observa nos gráficos de dispersão, evidenciando existência de correlação das variáveis ligadas à vazão.

Os gráficos de dispersão das variáveis pluviométricas relacionadas à sub-bacia do rio Jacaré-Pepira (Figura 42), indicam a existência de correlação entre algumas das variáveis analisadas. Entre a precipitação total e a precipitação máxima existe correlação, com valor obtido do coeficiente de Spearman de 0,669.

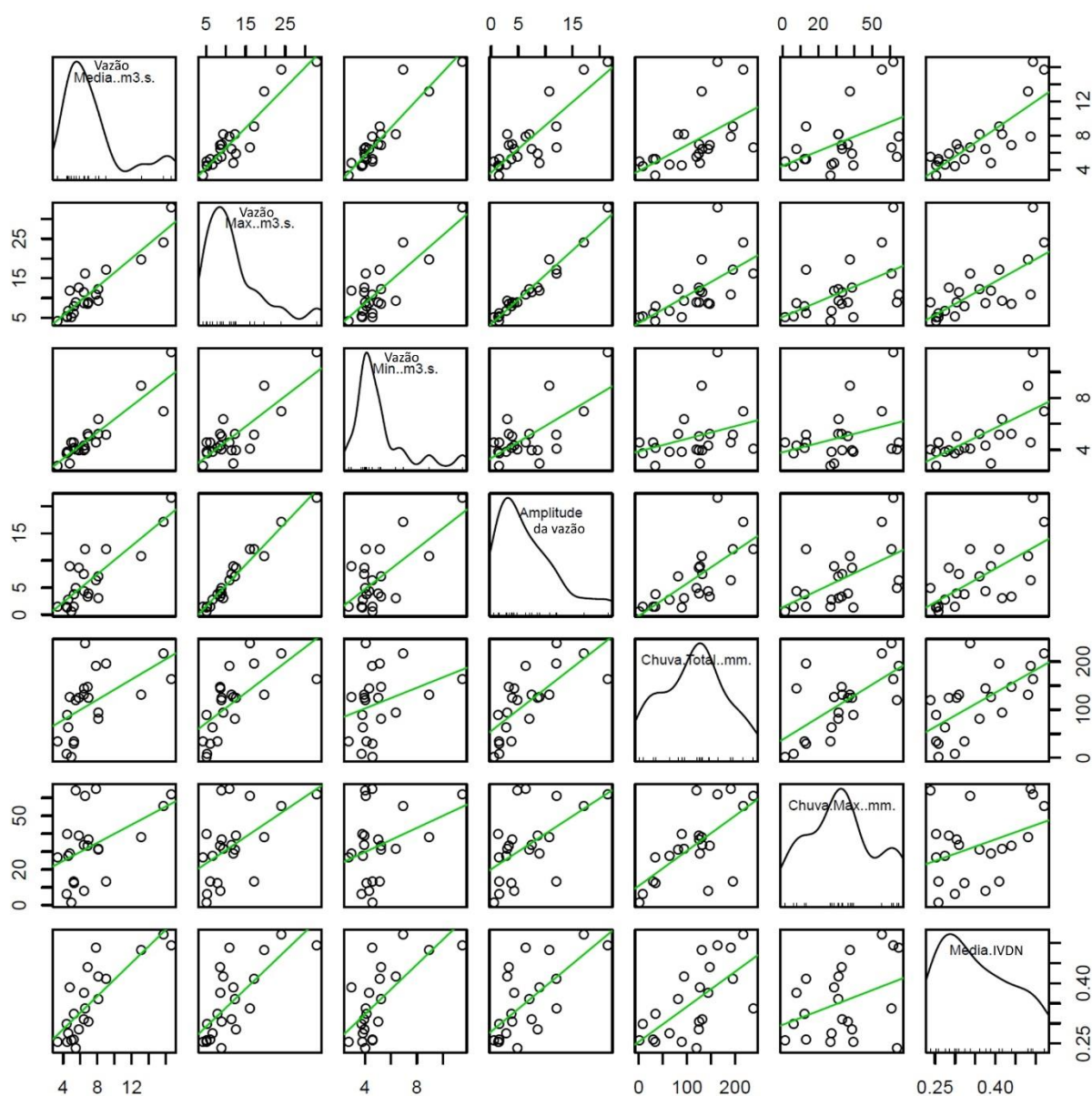
Comparadas a “amplitude da vazão” e a “precipitação máxima”, a nuvem de pontos apresenta alinhamento crescente. Essa situação é confirmada pelo valor obtido do índice de correlação, que atingiu o valor de 0,557. Para a relação entre os valores da precipitação máxima e vazão média, foi constatada maior dispersão da nuvem de pontos, obtendo-se um valor de correlação de 0,464.

Referente à correlação entre a precipitação máxima e a vazão máxima, o coeficiente foi acima de 0,5 (0,535) e o gráfico (figura 42) apresenta pontos menos alinhados. A relação entre a precipitação total e as vazões média e máxima ficou em 0,564 e 0,660 respectivamente, indicando correlação leve, confirmada por meio da análise dos gráficos de dispersão.

A precipitação total apresentou correlação com a amplitude da vazão, como é possível observar figura 42, que exhibe uma nuvem com valores pouco dispersos e pontos não distantes da reta ajustada. Essa constatação é confirmada pelo valor obtido do coeficiente de Spearman, que foi de 0,725. A vazão mínima apresentou baixa correlação com as variáveis relacionadas à precipitação total e máxima, obtendo os valores de 0,323 e 0,346, respectivamente, observação confirmada no gráfico de dispersão.

Verificou-se correlação entre o IVDN médio e todas as variáveis utilizadas no estudo, exceto para a precipitação máxima. Observando a tabela 24, nota-se que a correlação entre o IVDN e a vazão máxima apresentou valor 0,730 e a amplitude da vazão 0,682.

Figura 42 - Matriz de gráficos de dispersão das variáveis precipitação, vazão e IVDN da Sub-bacia do Jacaré-Pepira.



Fonte: Dados das estações fluviométricas e pluviométricas do DAEE e imagens do Satélite LANDSAT 5, do período entre 1988 a 1998.

Em relação à precipitação total e IVDN verificou-se correlação, evidenciada pelo valor de 0,643. Para a relação entre o índice de vegetação e a vazão máxima, o valor obtido foi 0,372, assinalando baixa correlação entre estas.

A correlação do IVDN com a vazão média é importante para esta análise, uma vez que, segundo Collischonn e Tassi (2008), isso representa um indicativo de disponibilidade de recursos hídricos. A correlação entre estas foi 0,816. A vazão mínima e IVDN também apresentaram correlação com valor do coeficiente de Spearman 0,685.

Segundo Tucci (2000), o parâmetro vazão mínima é mais representativo, se considerada a frequência de ocorrência anual, obtida em séries hidrológicas. Devido aos dados analisados apresentarem estrutura descontínua, que inviabiliza a obtenção da frequência anual das mínimas, este parâmetro foi considerado como um indicativo dos valores da vazão durante a estiagem do período analisado.

A vazão mínima representa a menor vazão registrada no período de 1988 a 1998. Dessa forma, este parâmetro é um indicativo de menor quantidade de água disponível nos intervalos de tempo analisados. Vazques et al. (2015), utilizando dados de precipitação, vazão e IVDN e empregando a regressão linear simples e múltipla, com a vazão como variável dependente, verificaram que a variabilidade da precipitação e do IVDN também apresentou correlação com a vazão no período de 2001 a 2003 por eles analisado, confirmando os resultados aqui verificados.

Para a sub-bacia do Jaú, os dados obtidos indicam que a vazão média possui correlação com a vazão máxima (0,772) e a vazão mínima (0,956). Em relação à amplitude da vazão, embora com valor um pouco menos expressivo, também exibiu um coeficiente de Spearman expressivo (0,693).

A vazão máxima apresentou alta correlação com a amplitude da vazão, 0,993, e entre a vazão mínima e a máxima o valor foi de 0,595. Para a correlação entre amplitude da vazão e a vazão mínima, o índice ficou em 0,495, inferior aos anteriores.

A vazão média comparada à precipitação total e à precipitação máxima, indica que neste caso a precipitação total não apresentou correlação (0,414), situação semelhante à precipitação máxima (0,493). O coeficiente calculado entre a vazão máxima e as precipitações total e máxima gerou valores de 0,446 e 0,462, respectivamente, não indicando a existência de correlação.

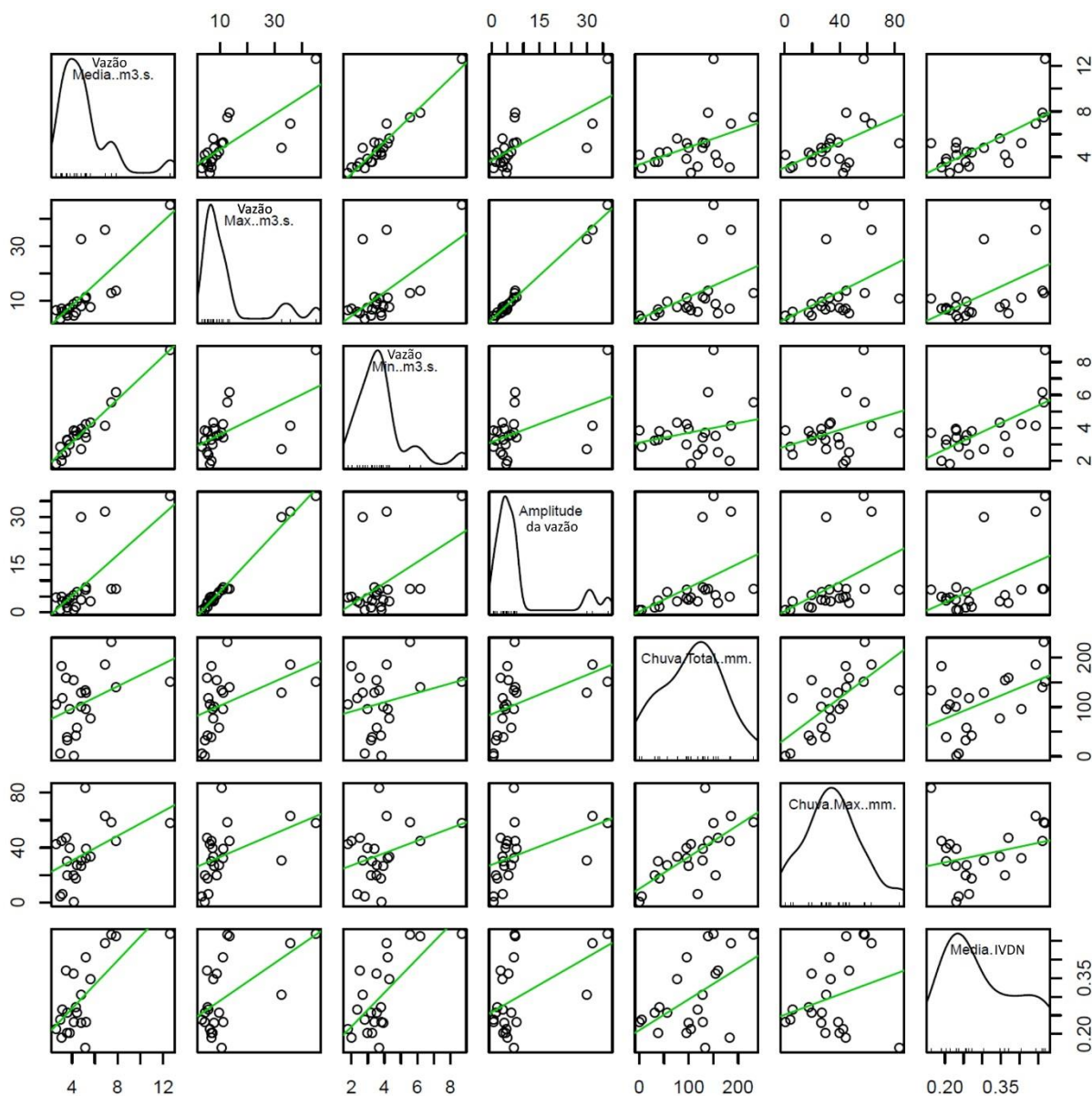
A correlação entre a amplitude da vazão e as precipitações total e máxima, com valores de 0,447 e 0,450, é próxima aos valores obtidos na correlação com a vazão máxima, indicando que estas apresentam comportamento semelhante, quando comparadas à precipitação. Constatou-se ainda que a precipitação total e a precipitação máxima não apresentam correlação com a vazão mínima, (0,236 e 0,338), enquanto a relação precipitação total e precipitação máxima apresentou correlação (0,695).

A observação dos gráficos de dispersão (figura 43) permite perceber que a situação apresentada em relação à combinação entre as variáveis relacionadas à precipitação e à vazão se confirma, sendo ainda possível perceber certo alinhamento da nuvem de pontos.

Nos valores observados na matriz de correlação (tabela 24), envolvendo as correlações entre as demais variáveis e o IVDN médio, o IVDN não apresentou correlação com a precipitação máxima, (0,278), porém em sua relação com vazão média, vazão máxima, vazão mínima, amplitude da vazão e precipitação total, os valores registraram 0,721; 0,564; 0,697; 0,506; 0,509, respectivamente. Os gráficos de dispersão apresentados na figura 43 confirmam os valores obtidos para os coeficientes de correlação, apresentando nuvens de pontos organizadas, de forma a confirmar os valores do coeficiente de correlação.

Na sub-bacia do Jaú foi possível verificar que os dados obtidos confirmam a correlação existente entre a vazão e o IVDN, como também observado por Vasquez et al. (2015). Considerou-se que as variáveis precipitação e IVDN são representativas da disponibilidade de recursos hídricos materializada na vazão. Desta forma, os dados e análises apresentados se confirmam com as considerações de Peters et al. (2005); Zalewski et al. (2008); Guerra (2008); Collischonn; Tassi (2008) e Góis; Mendes (2013), referentes à influência da cobertura vegetal na garantia da disponibilidade hídrica.

Figura 43 - Matriz de gráficos de dispersão das variáveis precipitação, vazão e IVDN da sub-bacia do Jaú.

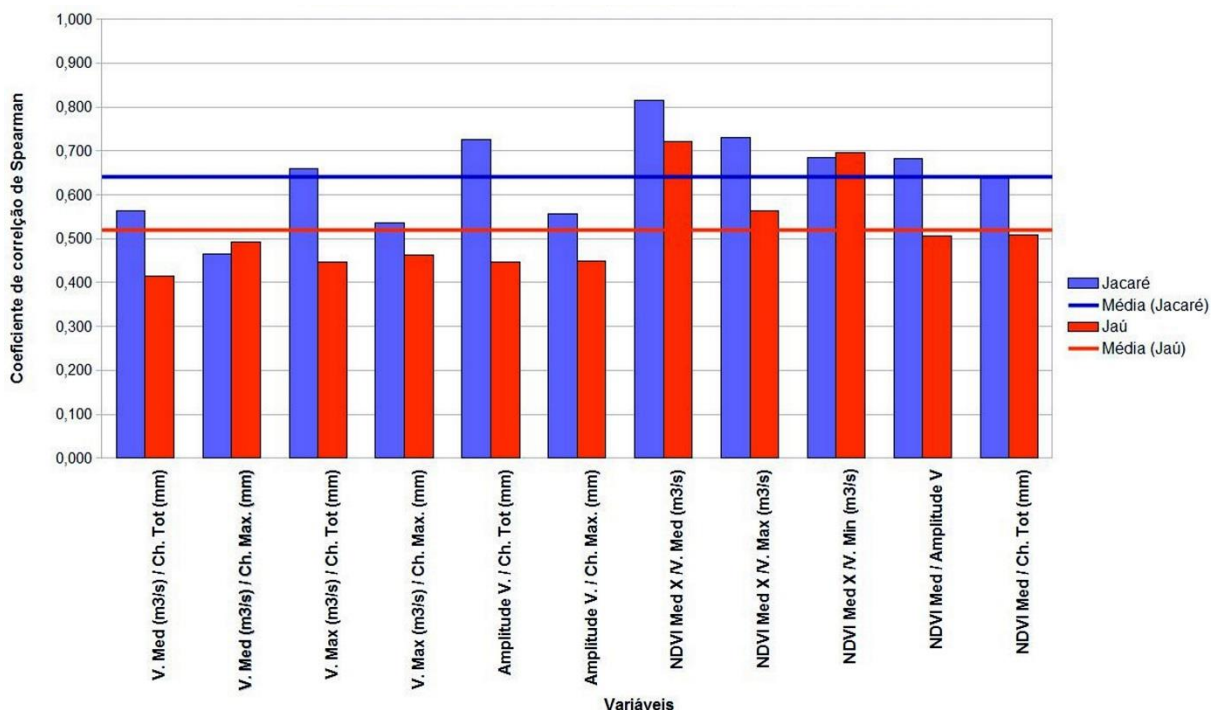


Fonte: Dados das estações fluviométricas e pluviométricas do DAEE e imagens do Satélite LANDSAT 5, do período entre 1988 a 1998.

O gráfico (figura 44) indica que a correlação entre a vazão média e a precipitação total foi maior para a sub-bacia do Jacaré-Pepira, enquanto o Jaú apresentou maior valor de correlação entre a precipitação máxima e a vazão média. Essas observações evidenciam a relação destes valores com influência da cobertura vegetal, estimada por meio do IVDN, que apresenta valores maiores para a região do Jacaré e menores para a região do Jaú. Esta maior densidade da cobertura vegetal contribui para a redução do escoamento superficial e aumento da infiltração, garantindo maior disponibilidade de água, com maiores valores de vazão média, como

afirmam Collischonn e Tassi (2008).

Figura 44 - Coeficiente de correlação de Spearman para as variáveis empregadas no estudo nas sub-bacias dos rios Jacaré-Pepira e Jaú (1988-1998).



Fonte: Dados das estações fluviométricas e pluviométricas do DAEE e imagens do Satélite LANDSAT 5, do período entre 1988 a 1998.

A correlação entre vazão máxima e as precipitações totais foi mais intensa no Jacaré-Pepira que no Jaú. O argumento defendido é que o uso das terras locais, que envolve atividades como pastagens e silvicultura, interfere na densidade da cobertura vegetal, determinando que as vazões máximas acompanhem as precipitações máximas e totais, evidenciando o ajuste do sistema entre entrada (precipitação) e saída (vazão). Este comportamento tem sua eficiência reduzida em relação ao comportamento sistêmico na sub-bacia do Jaú, que apresenta atividades agrícolas mais dinâmicas como a cana de açúcar, ocasionando variações no escoamento, comparada aos volumes precipitados, confirmando desequilíbrio entre os processos de infiltração e escoamento. Esta situação indica o importante papel desempenhado pela cobertura vegetal, estimada pelo IVDN na dinâmica interna desse sistema.

A análise da correlação entre as variáveis avaliadas comparadas ao IVDN confirmam que, com exceção da vazão mínima, existe maior relação entre as variáveis ligadas à vazão e à precipitação na sub-bacia do Jacaré-Pepira. A média dos valores

das correlações foi mais representativa nessa sub-bacia. Essa situação se ampara na dinâmica espaço temporal da ocupação do solo mais estável, representada por valores do IVDN médio maiores.

Os valores do coeficiente de variação do IVDN comprovam uma maior variabilidade na distribuição espacial. Isso explica as diferenças, uma vez que uma maior uniformidade espacial da cobertura vegetal determina maior influência desta sobre as variáveis hidrológicas relacionadas à vazão, tornando perceptível esta correlação da densidade da cobertura vegetal com a vazão nas sub-bacias do Jacaré-Pepira e do Jaú.

As variáveis importantes para a gestão da disponibilidade de recursos hídricos são a vazão média e a vazão mínima (COLLISCHONN; TASSI, 2008). Os valores obtidos do coeficiente de Spearman indicam a existência de correlação destas variáveis com o IVDN. Dessa forma, se confirma o papel da cobertura vegetal na manutenção da vazão média e mínima, uma vez que a cobertura vegetal mais densa possibilita a infiltração da água, proporcionando também maior vazão mínima nos períodos secos, confirmando as conclusões dos autores Oliveira; Rodrigues (2009), Tucci (2002), Lorandi; Cançado (2002) e Guerra (2008).

O IVDN funciona como um indicativo da densidade da cobertura vegetal, uma vez que com base nos dados levantados, foi constatado que este índice é capaz de refletir a atuação da cobertura vegetal nos processos de infiltração, retardando e reduzindo o escoamento superficial, garantindo a maior disponibilidade de recursos, como o observado por Viana (2012).

A caracterização dos componentes do ciclo hidrológico viabilizou a análise dos processos ecológicos que envolvem a entrada de água no ecossistema, por meio da precipitação, e a saída (vazão). Desta forma, é possível considerar que a quantidade de água de um ecossistema é dependente do clima, da fisiografia, da vegetação e da geologia da região, como afirma Vandana (2006).

As correlações verificadas na maior parte das variáveis analisadas confirmam que a cobertura vegetal interfere diretamente no ciclo hidrológico, influenciando na manutenção do equilíbrio da bacia hidrográfica. Verificou-se também que o IVDN representa a dinâmica do uso das terras, refletida nas características da cobertura vegetal, evidenciando a dinâmica espacial regional agrícola, caracterizada pela variação espacial e sazonal dos valores de IVDN.

7.5 Análise da relação entre precipitação, vazão e IVDN em função dos anos padrão Secos, Úmidos e Habituais.

Foi feita a verificação das relações entre a precipitação, a vazão e a cobertura vegetal estimada pelo IVDN, considerando-se os anos padrão habituais, secos e chuvosos. O objetivo foi compreender melhor o impacto de situações extremas de excesso e escassez de precipitações, a partir dos dados anos padrão chuvosos e secos. No contexto da dinâmica climática, analisou-se a correlação através do coeficiente de Spearman, em função dos anos padrão climáticos secos, chuvosos e habituais, obtidos por Rezende (2009). A tabela 25 apresenta os valores calculados para a correlação entre as variáveis analisadas.

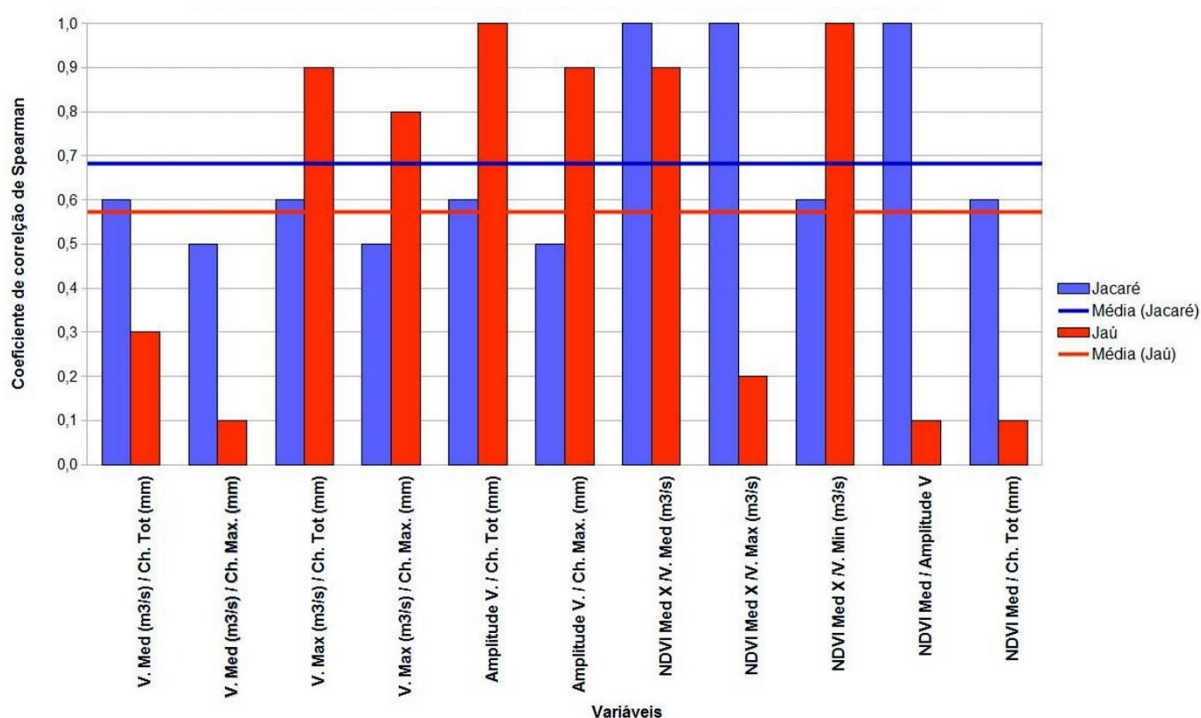
Tabela 25 - Coeficiente de correlação de Spearman para as variáveis empregadas no estudo envolvendo os anos padrão secos, chuvosos e habituais para as sub-bacias do Jacaré-Pepira e Jaú.

	Anos secos		Anos Chuvosos		Anos Habituais		Todos os anos	
	Jacaré	Jaú	Jacaré	Jaú	Jacaré	Jaú	Jacaré	Jaú
IVDN/Q.Min	0.6	1.0	1.0	0.2	0.6	0.5	0.7	0.7
IVDN/Q.Med	1.0	0.9	1.0	0.4	0.7	0.5	0.8	0.7
IVDN /Q.Max	1.0	0.2	0.8	0.4	0.6	0.4	0.7	0.6
IVDN/Q.Amp	1.0	0.1	0.8	0.4	0.5	0.2	0.7	0.5
IVDN/P.Tot	0.6	0.1	1.0	0.8	0.7	0.5	0.6	0.5
IVDN/P.Max	0.5	0.0	0.8	0.4	0.3	0.1	0.4	0.3
Q.Min/P.tot	-0.2	0.1	1.0	0.4	0.3	0.0	0.3	0.2
Q.Min/P.Max	-0.1	0.0	0.8	0.8	0.2	0.1	0.3	0.3
Q.Min/Q.Amp	0.6	0.1	0.8	0.8	0.2	0.2	0.7	0.5
Q.Min/Q.Max	0.6	0.2	0.8	0.8	0.4	0.3	0.8	0.6
Q.Min/Q.Med	0.6	0.9	1.0	0.8	0.9	0.8	0.9	1.0
Q.Med/P.Tot	0.6	0.3	1.0	0.8	0.6	0.2	0.6	0.4
Q.Med/P.Max	0.5	0.1	0.8	1.0	0.3	0.3	0.5	0.5
Q.Med/Q.Amp	1.0	0.3	0.8	1.0	0.6	0.6	0.8	0.7
Q.Med/Q.Max	1.0	0.5	0.8	1.0	0.7	0.7	0.9	0.8
Q.Amp/P.Tot	0.6	1.0	0.8	0.8	0.7	0.5	0.7	0.4
Q.Amp/P.Max	0.5	0.9	1.0	1.0	0.3	0.4	0.6	0.5
Q.Amp/Q.Max	1.0	0.9	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	1.0
Q.Max/P.Tot	0.6	0.9	0.8	0.8	0.6	0.4	0.7	0.4
Q.Max/P.Max	0.5	0.8	1.0	1.0	0.3	0.3	0.5	0.5
P.Tot/P.Max	0.9	0.9	0.8	0.8	0.4	0.7	0.7	0.7

Fonte: Dados das estações fluviométricas e pluviométricas do DAEE e imagens do Satélite LANDSAT 5, do período entre 1988 a 1998.

Na tabela 25 e na figura 45 é possível observar que nos anos padrão secos, o IVDN e a vazão mínima apresentaram correlação de 0,6 para a sub-bacia do rio Jacaré-Pepira e de 1,0 para o Jaú, enquanto para a vazão média e o IVDN os valores são 1,0 e 0,9 respectivamente. Isto evidencia que a cobertura vegetal mais densa está relacionada a maior quantidade água disponível, principalmente considerando eventos pluviométricos extremos ligados a maiores e menores intensidades, destacados pelos anos padrão chuvosos e secos.

Figura 45 - Gráfico dos valores do coeficiente de correlação de Spearman em relação aos anos padrão secos para algumas variáveis empregadas no estudo.



Fonte: Dados das estações fluviométricas e pluviométricas do DAEE e imagens do Satélite LANDSAT 5, do período entre 1988 a 1998.

Os anos padrão secos foram considerados como períodos nos quais ocorre déficit hídrico no sistema bacia hidrográfica. Dessa forma a cobertura vegetal influencia na disponibilidade de água, caracterizada por uma maior vazão mínima, fornecendo segurança hídrica, corroborando as afirmações de Lima e Zákia (2000), Bacellar (2005), Balbinot, Oliveira e Vanzeto (2008) e Carvalho, Brumatti e Dias (2012), sobre o papel da vegetação no ciclo hidrológico do sistema bacia hidrográfica.

Com base nos valores obtidos da correlação entre a vazão média e o IVDN, verificou-se alta correlação entre essas, o que indica que a disponibilidade média diária de água nestas áreas é influenciada diretamente pela densidade da cobertura

vegetal, confirmando sua importância na manutenção da vazão, pois, como salientam Lorandi; Cançado (2002), a vazão média representa um importante indicativo da disponibilidade de águas superficiais para suprir as demandas da sociedade.

Em relação às diferenças observadas dos valores de correlação, entre a sub-bacias analisadas, para as variáveis mencionadas, a explicação principal para estas diferenças está no ciclo produtivo das atividades agrícolas predominantes nas duas regiões, que apresentam diferentes dinâmicas espaço-temporais. Esta situação foi constatada na análise dos dados disponibilizados pelo LUPA 1995/1996 (SÃO PAULO, 2008), que evidenciam a existência de um predomínio de cultivo da cana de açúcar na sub-bacia do rio Jaú e de pastagens e silvicultura no Jacaré.

Na sub-bacia do rio Jacaré-Pepira, a atividade agrícola predominante na época da aquisição das imagens era caracterizada por pastagens e silvicultura de eucaliptos, conforme dados do LUPA 1995/1996 (SÃO PAULO, 2008). Estes usos do solo não possuem ciclos de cultivo anuais, portanto apresentam certa estabilidade na variação da densidade da cobertura vegetal média, quando comparados ao cultivo da cana de açúcar.

A análise da relação entre as variáveis precipitação total e IVDN permitiu verificar que na bacia do rio Jaú a precipitação total não apresenta correlação com o IVDN (0.1), enquanto na sub-bacia do Jacaré-Pepira ela existe (0.6). Esta situação permite ponderar que as práticas agrícolas na sub-bacia do Jaú representam o principal fator que influencia na dinâmica da cobertura vegetal local. Na sub-bacia do Jacaré ocorre o inverso e a cobertura vegetal é mais influenciada pela precipitação total, especialmente no que se refere aos anos secos, devido à estabilidade na dinâmica do ciclo vegetativo dos cultivos.

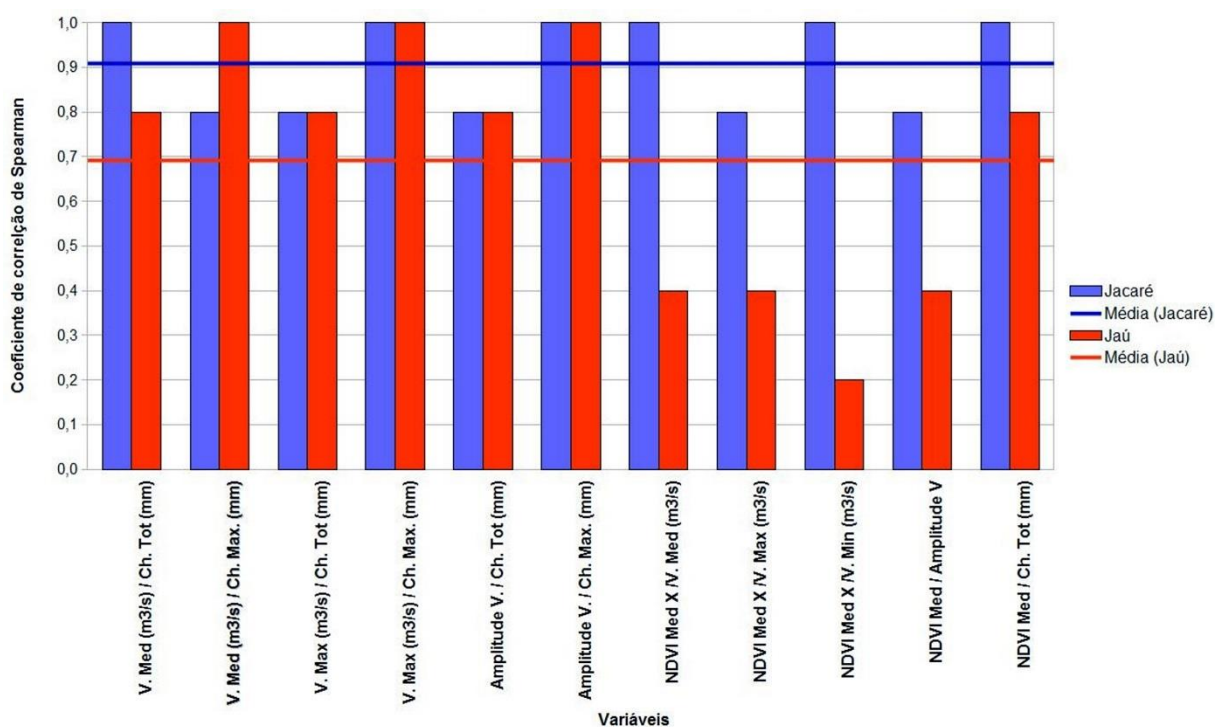
Os valores obtidos da correlação entre a vazão média e a precipitação total nos anos padrão secos foram de 0,6 para a sub-bacia do Jacaré-Pepira e de 0,3 para a do Jaú. Quando se considera que a quantidade total de precipitação influencia na vazão média, fica evidente o ajuste dos processos de infiltração relacionados à cobertura vegetal mais intensa na Sub-bacia do Jacaré-Pepira, que ocasionam menor variação da vazão.

A instabilidade da densidade da cobertura vegetal que ocorre na sub-bacia do Jaú promove a redução na vazão. Isto se deve a ocorrência do escoamento superficial

e da evapotranspiração mais intensos, que reduzem a capacidade de infiltração e, consequentemente, a disponibilidade de água no subsolo. Uma cobertura vegetal mais densa impacta na vazão, principalmente nos momentos em que o sistema bacia hidrográfica recebe pouca entrada de água, por meio das precipitações.

A análise dos anos padrão chuvosos (tabela 25 e figura 46) indica que os valores da correlação entre o IVDN e a vazão mínima foram elevados na sub-bacia do rio Jacaré (1,0), enquanto na sub-bacia do rio Jaú não apresentaram correlação (0,2). O maior volume de água representado pela precipitação total nos anos chuvosos, em ambas sub-bacias, promove a manutenção das suas vazões médias, porém esta relação é mais intensa no Jacaré-Pepira (1,0), em relação ao Jaú (0,8).

Figura 46 - Gráfico dos valores do coeficiente de correlação de Spearman em relação aos anos padrão chuvosos para variáveis empregadas no estudo.



Fonte: Dados das estações fluviométricas e pluviométricas do DAEE e imagens do Satélite LANDSAT 5, do período entre 1988 a 1998.

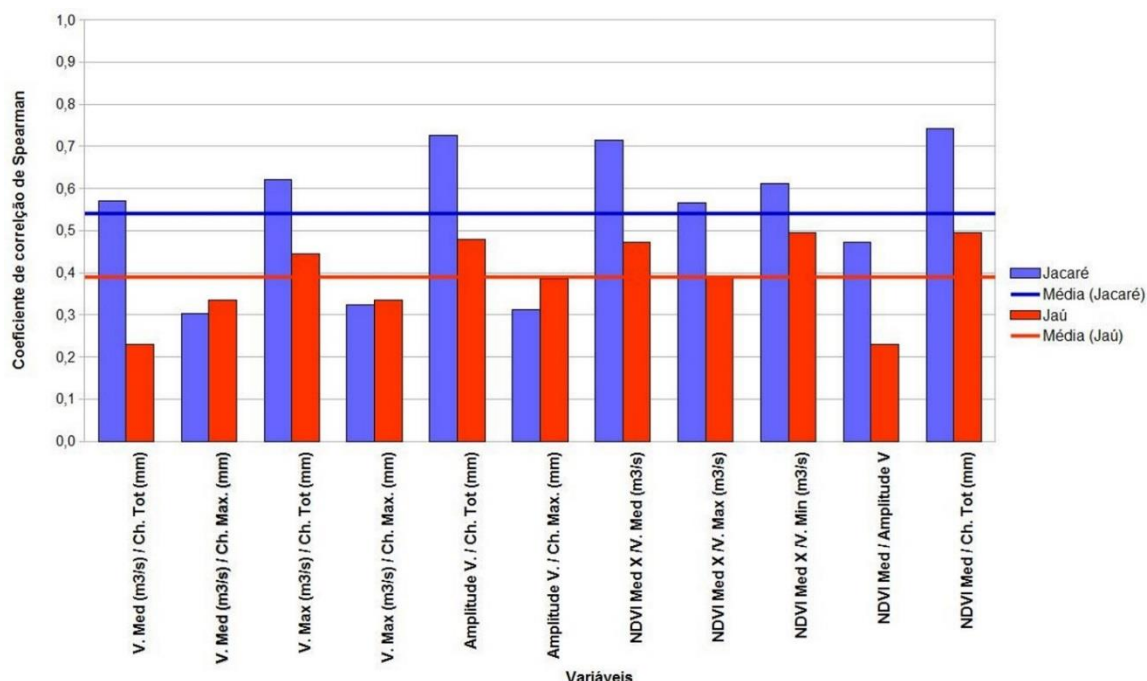
No entanto, a relação entre cobertura vegetal expressa pelo IVDN e a vazão mínima evidencia que a maior entrada de água no sistema bacia hidrográfica, com menores densidades de cobertura vegetal, diminui o armazenamento de água no subsolo que influencia na vazão mínima. Ocasiona ainda perdas maiores por escoamento superficial e evapotranspiração, que também reduzem a quantidade de água disponível no sistema, diminuindo a vazão mínima. Na sub-bacia do rio Jacaré-

Pepira, a menor variação na densidade da cobertura vegetal promove uma maior estabilidade do sistema, garantindo o funcionamento ajustado dos processos hidrológicos, refletindo numa menor redução das vazões mínimas.

Nos anos chuvosos, a vazão não apresenta correlação significativa com o IVDN na sub-bacia do Jaú, com exceção da precipitação total. Na sub-bacia do Jacaré essa correlação foi mais intensa, em função das diferenças na dinâmica espaço temporal das atividades agrícolas. Verificou-se que nas áreas com cobertura vegetal mais densa, representadas pela sub-bacia do rio Jacaré-Pepira, existe menor variabilidade sazonal da vazão. Em áreas de intensas alterações na cobertura vegetal (sub-bacia do Jaú), verificou-se uma maior tendência a perdas de água no sistema bacia hidrográfica, evidenciando os desequilíbrios decorrentes do tipo de atividade agrícola que impacta diretamente na densidade da cobertura vegetal.

Nos anos Habituais (tabela 25 e figura 47) se repete a situação observada nos anos chuvosos para às variáveis relacionadas à vazão

Figura 47 - Gráfico dos valores do coeficiente de correlação de Spearman em relação aos anos padrão habituais para variáveis empregadas no estudo.



Fonte: Dados das estações fluviométricas e pluviométricas do DAEE e imagens do Satélite LANDSAT 5, do período entre 1988 a 1998.

Analisando o gráfico, nota-se que a correlação entre as variáveis analisadas

apresenta valores mais expressivos de correlação com o IVDN na sub-bacia do Jacaré, permitindo constatar que a maior estabilidade da cobertura vegetal representa maior vazão nos cursos d'água.

As análises apresentadas consideraram principalmente as variáveis vazão mínima e vazão média, por estas representarem importantes indicativos de disponibilidade de recursos hídricos, como apontam Lorandi; Cançado (2002).

7.6 Análise espacial entre a precipitação e a cobertura vegetal (IVDN).

Esta etapa se refere à análise espacial das relações entre a pluviosidade e a cobertura vegetal estimada pelo IVDN. Consideraram-se os dados que apresentam variação espacial, pluviosidade e IVDN, excluindo a vazão. Empregou-se índice de Moran, que é um indicador local de auto correlação espacial e a análise de agrupamentos Cluster “K-Mens”, que possibilita diferenciar classes de dados por meio da identificação de padrões, nos conjuntos de dados analisados.

As unidades espaciais usadas foram as microbacias ou microrregiões hidrográficas, definidas no “Plano Diretor de Recomposição Florestal” da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos Tietê – Jacaré (INSTITUTO PRÓ-TERRA, 2013). Buscou-se verificar a possibilidade do emprego da pluviosidade e IVDN, na caracterização de agrupamentos de regiões hidrológicas (microbacias), viabilizando o agrupamento de áreas que apresentam similaridade espacial entre estas variáveis, auxiliando na gestão ambiental destas áreas.

A precipitação e IVDN apresentam distribuição espacial, possibilitando a análise de indicadores locais de associação, utilizando o do índice de Moran. Como unidades de análise foram utilizadas as microbacias e/ou microrregiões hidrográficas das sub-bacias dos rios Jacaré-Pepira e Jaú.

A tabela 26 apresenta os valores da correlação espacial obtidos entre o coeficiente de variação da precipitação (CV) e IVDN. O CV foi escolhido por representar a dinâmica espaço temporal da precipitação, considerando os anos padrão secos, chuvosos e habituais, bem como os períodos hidrológicos secos e chuvosos.

Tabela 26 - Valores obtidos do índice de correlação espacial (Moran) para as microbacias e/ou microrregiões hidrográficas das sub-bacias dos rios Jacaré-Pepira e Jaú.

Jaú			Jacaré		
5% significância.			5% sig		
Período	Moran	Pseudo Valor	Período	Moran	Pseudo Valor
SPs	-0,33	0,08	SPs	-0,11	0,45
SPc	-0,16	0,15	SPc	-0,13	0,38
CPs	-0,32	0,001	CPs	-0,02	0,75
CPc	-0,28	0,001	CPc	-0,1	0,51
NPs	-0,35	0,001	NPs	0,14	0,15
NPc	-0,22	0,015	NPc	0,05	0,14

Fonte: Dados gerados pelo software GEODA com base no coeficiente de correlação da precipitação e IVDN.

OBS: As abreviações correspondem aos períodos analisados correspondentes a: SPs - ano padrão seco no período seco; SPc - ano padrão seco no período chuvoso; CPs - ano padrão chuvoso no período seco; CPc - ano padrão chuvoso no período chuvoso; Nps - ano padrão habitual no período seco; NPc - ano padrão habitual no período chuvoso.

O valor do índice de Moran obtido para o “coeficiente de variação da precipitação” e “IVDN”, em função dos anos padrão secos no período seco foi de -0,33 para a sub-bacia do rio Jaú. Este valor, quando comparado ao pseudo-valor, com significância de 5%, indica a existência de correlação entre estas variáveis. Essa mesma situação se verifica para os demais períodos analisados, ou seja, nos períodos chuvosos dos anos secos e nos períodos chuvosos e secos dos anos padrão habituais e chuvosos.

Quando considerados os valores obtidos para a sub-bacia do rio Jacaré-Pepira, verifica-se a ausência de correlação em todos os períodos analisados. Isto indica que nos períodos avaliados existe correlação entre estas variáveis para as microbacias ou microrregiões hidrográficas da sub-bacia do rio Jaú, enquanto para as áreas da sub-bacia do rio Jacaré-Pepira a correlação está ausente.

Estas constatações se fundamentam nas características do uso das terras na sub-bacia do rio Jaú, que está sujeita a uma dinâmica de produção relacionada à cana de açúcar. Esta possui maior dependência com a variabilidade da precipitação, sendo esta dependência mais evidente, quando considerados os períodos secos dos anos padrão secos. Verificou-se que os valores de IVDN das áreas canavieiras são afetados pela distribuição irregular da precipitação, ou seja, a densidade da cobertura é influenciada pela irregularidade da precipitação.

Os resultados obtidos corroboram as constatações de Francisco et al. (2012) e Foody (2003), que verificaram que as variações na precipitação impactaram nos valores observados no IVDN. Esta situação confirma o fato de também serem observadas elevadas correlações em anos secos e períodos secos.

Outro procedimento utilizado foi a análise de agrupamento cluster K-means, em função da variação espacial dos dados coeficiente de variação da precipitação e IVDN. Como resultado, foram obtidos grupos de microbacias e/ou microrregiões hidrográficas. Estes grupos indicam semelhanças nos padrões de distribuição das precipitações (CV) e do IVDN, representando um indicativo da variação espacial da cobertura vegetal.

Para melhor compreender as características e semelhanças entre as microbacias foram organizadas duas tabelas (Tabelas 27 e 28), com informações sobre as regiões obtidas no Plano Diretor de Recuperação Florestal da UGRHI 13 (PRÓ TERRA, 2013) (PDRF). Nestas tabelas foi possível verificar as características dos atributos considerados nas análises do Plano Diretor para as microbacias pertencentes ao mesmo grupo. Os mapas dos agrupamentos resultantes desta análise podem ser observados nas figuras 48 e 49.

Os dados apresentados na tabela 27, referem-se à sub-bacia do rio Jacaré-Pepira, e indicam que na classe 1 obtida por meio da análise fatorial K-means existe relativa coincidência com a classificação “alta prioridade” para recuperação florestal, como consta no PDRF.

A classificação proposta no PDRF (PRÓ TERRA, 2013) envolveu análise multicritério, elencando mais de 10 variáveis para a definição de áreas com características similares, com o objetivo de estabelecer áreas prioritárias para a recuperação florestal, considerando principalmente questões hidrológicas.

Nos agrupamentos obtidos foi possível verificar similaridades entre resultados obtidos no PDRF e os da análise de K-means. O agrupamento proposto identificou relações entre estas regiões hidrológicas, utilizando como referencial o coeficiente de variação da precipitação e IVDN. Esta constatação demonstra que o método atingiu às expectativas, permitindo obter alguns resultados similares aos do PDRF com o uso de procedimentos metodológicos simplificados.

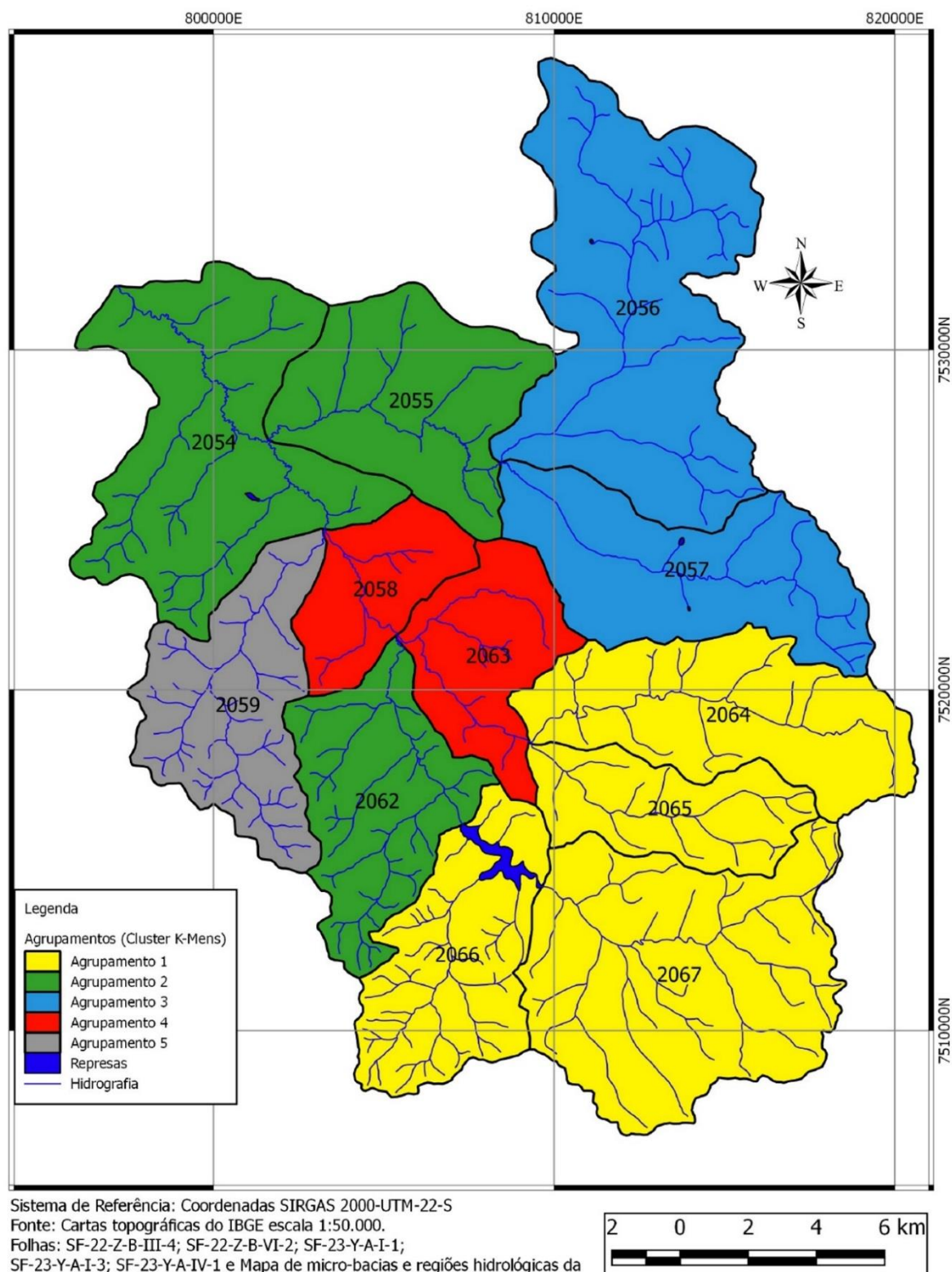
Tabela 27 - Agrupamentos com base na análise fatorial K-means Clustering para as variáveis CV da precipitação e IVDN considerando as microbacias e/ou microrregiões hidrográficas da sub-bacia do rio Jacaré-Pepira.

COD	NOME	Classe Kmens	Perc Rem	Pri	Man	Dec med	Var Alt	Area_ha	Perim_Km	Rem_Flo ha
2064	Rib do Pinheirinho	1	9,49	alta	não	7,96	332,63	3979,94	32,60	377,58
2065	Rib dos Pintos, Corr Jerivá	1	7,09	alta	não	7,33	273,18	2186,10	23,62	155,05
2066	Represa do Rio Jacaré-Pepira, Rib dos Bicudos ou do Sitio Velho	1	10,32	alta	não	7,62	122,28	3269,20	27,99	337,49
2067	Corr Tapera, Corr Recreio, Rio Jacaré-Pepira, Rib da Divisa	1	5,82	alta	não	7,91	173,63	6205,35	37,88	360,92
2054	Rio Jacaré-Pepira ou Grande, Corr do Canivete, Corr Benjamim	2	12,85	baixa	não	6,35	247,81	5464,97	42,06	702,30
2055	Rib do Tamanduá, Corr da Cabeça de Vaca	2	9,96	alta	não	6,29	210,14	3602,70	26,61	358,94
2062	Corr Tijuco Preto, Rio Jacaré-Pepira, Corr do Saltinho	2	18,20	alta	não	9,99	280,90	3151,33	29,47	573,56
2056	Corr do Curtume, Rib Goiabal, Corr das Araras, Corr do Barreiro	3	19,50	alta	não	10,86	305,50	6834,63	47,47	1332,89
2057	Rib do Tamanduá, Corr do Tanque	3	19,33	média	não	10,66	302,61	3932,76	33,24	760,03
2058	Rio Jacaré-Pepira	4	17,99	média	não	7,21	236,64	1718,00	18,26	309,11
2063	Corr do Tamanduá, Corr do Ceveiro, Rib do Pinheirinho	4	25,25	média	não	12,68	271,19	2258,82	23,37	570,40
2059	Rib Claro ou do Varjão, Corr Clarinho, Corr dos Pires	5	12,33	média	não	7,52	254,72	3252,85	30,83	401,21

Fonte: Análises realizadas pelo autor com base nos dados do DAEE, (2011); USGS (2014); INPE (2014); PRÓ-TERRA (2013).

A proposta do PDRF (PRÓ TERRA, 2013) envolveu várias informações elencadas e ranqueadas por meio de uma avaliação multicritério. A metodologia de agrupamento K-means, em função do IVDN e do CV da chuva, apesar de ser uma proposta mais simples, obteve para algumas áreas específicas resultados similares aos do PDRF. Trata-se, portanto, de uma metodologia alternativa que não possui a mesma abrangência da proposta do PDRF, mas por apresentar similaridades nos resultados indica a possibilidade de sua aplicação de forma complementar ou alternativa podendo também subsidiar a gestão de bacias hidrográficas.

Figura 48 - Mapa das microbacias e/ou regiões hidrológicas da sub-bacia do rio Jacaré-Pepira segundo os agrupamentos K-mens a partir das variáveis, coeficiente de variação da precipitação e IVDN.



Fonte: Análise K-means realizada com base nos dados do DAEE, (2011); USGS (2014); INPE (2014); PRÓ-TERRA (2013).

Constatou-se que o agrupamento “classe 1”, obtido pela análise K-means, apresentou valores próximos de 10%, ou inferiores a isto em relação ao percentual de remanescentes florestais, o que reforça a existência de relação entre estas regiões em função do IVDN. Pode-se assinalar que estes percentuais de cobertura vegetal se enquadraram numa mesma classe. Os valores de declividade média demonstram também uma expressiva relação, uma vez que os valores oscilam dentro do limiar de 7% a 8 % de declividade.

Quando comparado o mapa do agrupamento das regiões da sub-bacia do Jacaré-Pepira, representado na figura 48, ao mapa geológico da figura 9, nota-se que as áreas correspondentes à classe de agrupamento 1 correspondem principalmente a arenitos da formação Itaqueri. Em relação ao mapa geomorfológico (figura 12), correspondem predominantemente à unidade geomorfológica colinas médias.

Dessa forma, evidencia-se que existe relação entre os aspectos geomorfológicos, o IVDN e o coeficiente de variação da precipitação. Esta situação indica a existência de correlação entre a cobertura vegetal e distribuição das precipitações e o relevo, como apontam também os autores Guerra (2008); Collischonn; Tassi (2008) e Pissarra, Politano e Ferraudó (2004).

Em relação aos demais agrupamentos, também se verificou relação entre a declividade e percentual de cobertura, demonstrando também as relações existentes entre os demais parâmetros mencionados.

Os dados obtidos para a sub-bacia do rio Jaú, observados na tabela 28 e na figura 49, indicam relação dos parâmetros coeficiente de variação da precipitação e IVDN. Há destaque para o agrupamento 3, que abrange duas regiões hidrológicas caracterizadas por mananciais de abastecimento público. Apesar de ser possível notar uma relação entre os parâmetros avaliados, esta relação é menos evidente, o que se explica pela intensa atividade agrícola desenvolvida nesta região, que promove grande impacto no IVDN. Esta situação causa alterações diminuindo a relação entre o percentual de remanescentes florestais, coeficiente de variação da precipitação e a cobertura vegetal estimada pelo IVDN.

As bacias hidrográficas são sistemas nos quais seus componentes influenciam e são influenciados por outros, como aponta Christofolletti (1980). Dessa forma, fica nítida a importância do elemento cobertura vegetal como regulador da relação entre os processos hidrológicos pluviométricos e fluviométricos.

A análise fatorial de agrupamento K-mens permitiu agrupar áreas de características similares em função dos parâmetros coeficiente de correlação da precipitação e cobertura vegetal (IVDN). É importante assinalar que a atuação antrópica intensifica alterações ambientais que impactam diretamente nas variáveis avaliadas, situação evidenciada pela comparação entre as duas áreas.

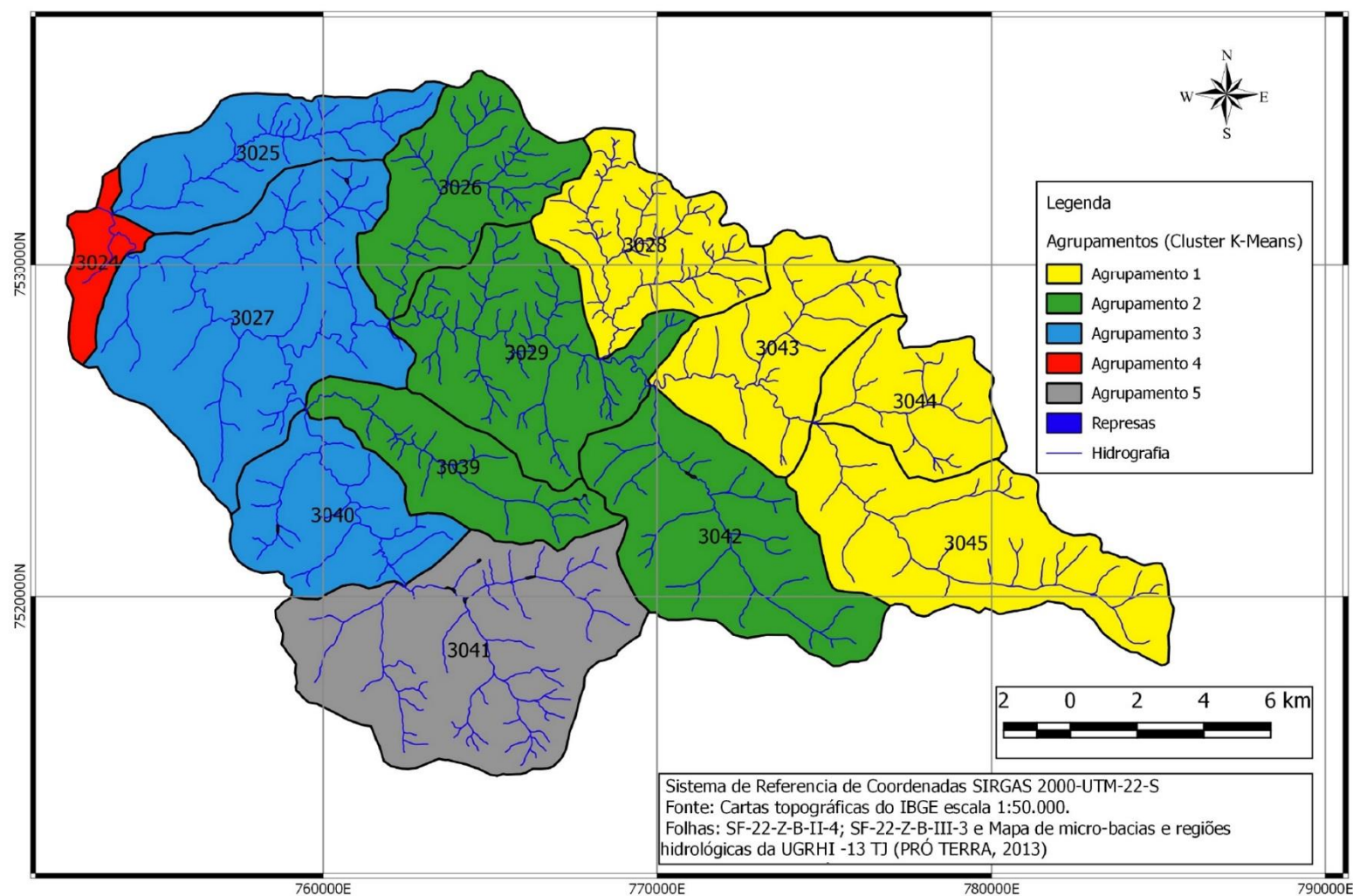
Se utilizada esta forma de análise para o planejamento ambiental, deve-se considerar que maiores interferências humanas no espaço geográfico tornam os sistemas ambientais mais complexos, em função das alterações promovidas nos elementos do sistema. Dessa forma, o emprego da estratégia de agrupamento das variáveis IVDN e coeficiente de variação da precipitação, com o objetivo de subsidiar a gestão ambiental demonstra ser capaz de incluir nas análises os impactos da ação antrópica.

Tabela 28 - Agrupamentos com base na análise fatorial K-means Clustering para as variáveis CV da precipitação e IVDN considerando as microbacias e/ou micro-regiões hidrológicas da sub-bacia do rio Jaú

COD	NOME	Clas Kmens	Perc Rem	Pri	Man	Dec med	Var Alt	Area_ha	Perim _Km	Rem_Flo ha
3045	Rib do Bugio, Corr do Bugio	1	6,02	alta	não	5,79	149,15	4048,57	33,24	243,61
3044	Corr da Prata	1	5,17	alta	não	6,38	130,38	1793,81	18,52	92,69
3043	Rib do Bugio, Corr do Queixada,	1	5,93	alta	não	6,33	150,61	2749,04	24,44	162,97
3028	Corr da Garra, Corr das Palmeiras	1	11,99	media	não	7,02	150,23	2581,29	24,20	309,54
3042	Rib do Lajeado, Corr Fura- Olho	2	3,58	muito alta	sim	5,38	165,60	3881,50	28,61	138,96
3039	Corr do Gavião	2	2,45	alta	não	6,70	196,75	2035,60	24,46	49,84
3029	Corr do Saltinho, Corr do Veadinho, Rio Jau	2	4,69	media	não	6,79	168,15	3694,75	30,41	173,14
3026	Rib do Matão, Corr da Floresta	2	4,05	media	não	6,77	182,08	2509,70	23,74	101,54
3040	Rib São Joao, Corr da Fazenda Santa Estefânia ou Santa Cecilia	3	1,58	media	não	7,12	175,52	2430,53	21,24	38,41
3027	Corr Joao da Velha, Rio Jau Corr dos Nunes, Rib São João	3	5,53	alta	sim	7,46	197,64	5616,33	35,44	310,34
3025	Corr Santo Antonio	3	5,62	muito alta	sim	7,25	219,96	2304,91	24,78	129,63
3024	Rio Jau, Corr da Figueira	4	0,00	NA	NA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3041	Corr do Pascoal, Rib São João, Corr do Borralho	5	4,74	muito alta	sim	5,28	149,83	5437,18	32,79	257,56

Fonte: Análises realizadas pelo autor com base nos dados do DAEE, (2011); USGS (2014); INPE (2014); PRÓ-TERRA (2013).

Figura 49 - Mapa das microbacias e/ou regiões hidrológicas da sub-bacia do rio Jaú segundo os agrupamentos K-mens a partir das variáveis, coeficiente de variação da precipitação e IVDN.



Fonte: Análise K-means realizada com base nos dados do DAEE, (2011); USGS (2014); INPE (2014); PRÓ-TERRA (2013).

A aplicação destes métodos através das técnicas utilizadas permitiu verificar que o IVDN pode representar um importante referencial para o planejamento ambiental. Isto acontece não somente pelo IVDN ser um indicativo da cobertura vegetal, mas também por este representar a dinâmica das atividades antrópicas desenvolvidas dentro de um sistema bacia hidrográfica. Esta constatação viabiliza o emprego do IVDN como um indicador da situação ambiental destas áreas.

Pode-se destacar que o IVDN é obtido a partir do processamento de imagens de sensores orbitais ou de sensores instalados em aviões e drones, que podem ser adquiridas com relativa facilidade, funcionando como um indicativo ambiental a fim de auxiliar o planejamento e a gestão dos recursos hídricos em bacias hidrográficas.

8 CONCLUSÃO

Esta tese, analisando a relação existente entre a precipitação, a vazão e o IVDN, um indicativo da densidade da cobertura, constatou que as geotecnologias são importantes ferramentas para auxiliar nos procedimentos das análises ambientais, associadas à dinâmica do ciclo hidrológico, no contexto das bacias hidrográficas.

Foram comparadas duas áreas com características ambientais de cobertura vegetal diferentes. A sub-bacia do rio Jacaré-Pepira, que apresentava usos agrícolas perenes, representados principalmente pela silvicultura e pastagens, possuindo também um percentual de fragmentos vegetais (14,2%) quase três vezes maior que a sub-bacia do rio Jaú (5,1%), que ainda apresentava predomínio da cultura temporária da cana de açúcar. Dessa forma optou-se por comparar estas duas áreas com características de cobertura vegetal bastante diferentes, objetivando a melhor compreensão do papel da cobertura vegetal no contexto do ciclo hidrológico.

Os dados obtidos em relação à morfometria permitiram constatar que não existem diferenças significativas entre as sub-bacias que expliquem diferenças no comportamento das vazões. A análise dos dados indicou que a sub-bacia do Jacaré-Pepira apresenta leve tendência ao escoamento superficial mais rápido, porém as diferenças observadas não explicam diferenças nos valores mensurados da vazão.

Nas duas áreas, o IVDN identificou a dinâmica de uso das terras, para o período analisado, conseguindo destacar a variabilidade espaço-temporal da cobertura vegetal. Constatou-se que as áreas analisadas apresentam dinâmica diferenciada de produção agrícola, que foram representadas por diferenças dos valores do coeficiente de variação espacial obtidos para o IVDN.

As vazões máximas, que indicam ocorrência de picos de vazão, foram mais intensas na sub-bacia do Jaú em comparação ao Jacaré-Pepira. O maior equilíbrio do sistema proporcionado pela cobertura vegetal mais densa, na sub-bacia do Jacaré-Pepira, ocasiona uma maior capacidade de absorção da água das precipitações. Esta situação indica que os picos são menos intensos em função da adequação do sistema às entradas relacionadas às precipitações. Na sub-bacia do Jaú, onde a cobertura vegetal está sujeita a intensa dinâmica de alteração no uso das terras, os picos extremos de vazão indicam redução da capacidade de infiltração ocasionando maior escoamento superficial.

Avaliaram-se os impactos da cobertura vegetal através do IVDN, no sistema hidrológico no âmbito das bacias hidrográficas. Procurou-se compreender os principais componentes do sistema através da caracterização das sub-bacias. Com base na geologia, na pedologia e na morfometria, constatou-se que esses aspectos não representam diferenças que evidenciem a influência direta de algum desses elementos na vazão.

Verificaram-se correlações entre as variáveis precipitação, vazão e IVDN, o que demonstra que o papel da cobertura vegetal no ciclo hidrológico é importante na manutenção do equilíbrio do sistema bacia hidrográfica. O uso do IVDN foi capaz de caracterizar de maneira efetiva as nuances espaço-temporais da cobertura vegetal nas duas áreas que refletem os aspectos da dinâmica espacial regional agrícola e suas implicações na variação da densidade da cobertura vegetal. Os dados obtidos permitiram confirmar a importância da cobertura vegetal no ciclo hidrológico que interfere nos processos de infiltração e escoamento superficial.

A cultura da cana é dependente das variações da distribuição das precipitações, sendo essa dependência mais evidente quando considerados os períodos secos dos anos padrão secos. Dessa forma, verificou-se que a distribuição irregular da precipitação causa mais impacto nos valores de IVDN das áreas canavieiras. Assim a densidade da cobertura é mais influenciada pela precipitação, principalmente nos anos padrão secos, enquanto em regiões com atividades agrícolas relacionadas à silvicultura e pastagens, como na sub-bacia do Jacaré-Pepira a influência da precipitação é menor.

O emprego da análise de agrupamento K-means com base no coeficiente de variação da precipitação e IVDN permitiu a caracterização de regiões hidrológicas, cujos resultados, em alguns casos, se aproximaram do agrupamento obtido pela aplicação da análise multicritério, empregada no Plano Diretor de Recuperação Florestal da UGRHI 13. Estes resultados indicam a viabilidade deste tipo de análise como subsídio para a gestão de bacias hidrográficas.

Destaca-se a facilidade na obtenção do IVDN de imagens, que podem ser obtidas a partir de diversos sistemas sensores, sendo possível sua aquisição por meio de imagens aéreas obtidas e aviões ou drones ou orbitais, disponíveis em diversas escalas espaciais e temporais, o que facilita o acesso a este tipo de dado. A facilidade

na obtenção do IVDN, associada à capacidade de identificar a dinâmica espaço-temporal da cobertura vegetal que apresenta alta correlação com as vazões mínima e média, viabiliza seu uso como um indicativo da qualidade ambiental da cobertura vegetal no sistema bacia hidrográfica, subsidiando a gestão de recursos hídricos no âmbito das bacias hidrográficas analisadas.

Os procedimentos metodológicos fundamentados no uso das geotecnologias, tais como os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e o sensoriamento remoto, mostraram-se eficientes como ferramenta para a análise hidrológica de bacias hidrográficas. As análises estatísticas realizadas viabilizaram uma melhor compreensão da correlação entre precipitação, vazão e IVDN, indicando os principais aspectos que as relacionam. Isto evidencia que a proposta metodológica atendeu aos objetivos da pesquisa.

A realização desta pesquisa demonstrou a viabilidade do emprego destes procedimentos metodológicos amparados no uso do IVDN para auxiliar na gestão ambiental de bacias hidrográficas. O uso destes procedimentos pode melhorar a gestão dos recursos hídricos com o objetivo de garantir o atendimento das demandas socioambientais ligadas a estes recursos.

Os resultados obtidos neste trabalho não permitem encerrar a discussão sobre essa temática, pois existem procedimentos de análise de pesquisa relacionados a esses elementos que necessitam de aprofundamento em futuras pesquisas. Dessa forma, fica a sugestão de que a temática continue sendo abordada, com o emprego de procedimentos metodológicos similares, que permitam a confirmação das verificações feitas nesta pesquisa para outras áreas com aspectos fisiográficos semelhantes.

REFERÊNCIAS

- AB´SÁBER, A. N. O Suporte Geoecológico das Florestas Beiradeiras (Ciliares). In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H. F. (Ed.). **Matas Ciliares: Conservação e Recuperação**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo: FAPESP, p.15-25, 2000.
- ALENCAR, D. B. S. de; SILVA, C. L. da ; OLIVEIRA, C. A. da S. Influência da precipitação no escoamento superficial em uma microbacia hidrográfica do Distrito Federal. **Eng. Agríc.** [online], vol.26, n.1, pp.103-112. 2006. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162006000100012>>. Acesso em: 21 nov. 2016.
- ALMEIDA, A. Q.; RIBEIRO, A. DELGADO, R. C.; RODY, Y. P.; OLIVEIRA, A. S.; LEITE, F. P. Índice de Área Foliar de Eucalyptus Estimado por Índices de Vegetação Utilizando Imagens TM - LANDSAT 5. **Floresta e Ambiente**. 22(3): 368-376, 2015.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**. Stuttgart: v, 22, n, 6, p, 711-728, 2013.
- ANDERSON, P. S. **Fundamentos da Fotointerpretação**. Rio de Janeiro: SBC, 1982.
- ANDRADE, R. G.; SANCHES, I. D.; RODRIGUES, C. A. G.; TORRESAN, F. E.; QUARTAROLI, C. F. Classificação preliminar de pastagens degradadas em microbacias da região de Guararapes-SP. In: **Anais VI SIMPÓSIO DE MEIO AMBIENTE 2010**. Lavras: CBCN · Centro Brasileiro Para Conservação da Natureza e Desenvolvimento Sustentável. 2010. Disponível em: <<https://goo.gl/cSNjnN>>. Acesso em: 12 out. 2016.
- ANDRADE, R. G.; Leivas, J. F.; GARÇON, E. A. M.; SILVA, G. B. S.; GOMES, D.; VICENTE, L. E.; BOLFE, E. L.; VICTORIA, D. C. Indicativo de degradação de pastagens a partir de dados Spot Vegetation. In: **Anais XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, 2013, Foz do Iguaçu, PR: SELPER Brasil/INPE, p. 6917-6922, 2013. Disponível em <<https://goo.gl/IPtKX6>>. Acesso em: 10 out. 2016.
- ARNELL, N. W. Climate change and global water resources: SRES emission scenarios and socioeconomic scenarios. **Global Environ Change** 14: 31-52. 2004.
- ATTANASIO JUNIOR, M. R. **Direito ambiental interdisciplinar para estudantes e profissionais das áreas de ciência e tecnologia**. Campinas: Editora MILLENNIUM, 2015.
- AZEVEDO, J. P. C. SILVA, P. D. D. A bacia hidrográfica como unidade de estudo, planejamento e gestão. In **Anais do XVI Encontro Nacional de Geógrafos**. Porto Alegre AGB. 2010. p. 1-9 Disponível em: < <https://goo.gl/v4hb5E>>. Acesso em: 06/12/2016.

AZEVEDO, T. S. **Legislação e Geotecnologias na Definição das Áreas de Preservação Permanente e das Reservas Legais**: Aplicação à Bacia do Córrego das Posses, Município de Extrema – MG. Tese (Doutorado em Geografia) UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “Júlio de Mesquita Filho”, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Campus de Rio Claro, Rio Claro, 2008. Disponível em: <https://goo.gl/5CQOOq>. Acesso em: 20 out. 2015.

BACELLAR, L. A. P. O papel das florestas no regime hidrológico de bacias hidrográficas. **Geo.br**, vol. 1, p. 1-39, 2005. Disponível em: <https://goo.gl/Yi0lwo>. Acesso em: 20 jan. 2017.

BAIRD, A. J. Continuity in hydrological systems. In: WILBY, R. L. **Contemporary Hydrology: towards holistic environmental science**. Ed. Jhon Wiley & Sons. Chichester, England, p. 25-58. 1996.

BALBINOT, R.; OLIVEIRA, N.K.; VANZETTO, S.C. et al. O papel da floresta no ciclo hidrológico em bacias hidrográficas. **Ambiência-Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais**, v.4, n.1, p.131-149, 2008. Disponível em: <https://goo.gl/dizsvd>. Acesso em 21 fev. 2016.

BARBOSA, H. A.; LAKSHMI KUMAR, T. V. Influence of rainfall variability on the vegetation dynamics over Northeastern Brazil. **Journal of Arid Environments**. n. 124, p.377-387, 2016. Disponível em: <https://goo.gl/b2khmQ>. Acesso em jul. 2017

BARBOSA, L. M. Considerações Gerais e Modelos de Recuperação das Formações Ciliares. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H. F. (Ed.). In. **Matas Ciliares: Conservação e Recuperação**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo: FAPESP, p. 289-312, 2000.

BARRETO, S. R.; RIBEIRO, S. A.; BORBA, M. P. (Coord.) **Nascentes do Brasil: Estratégias para a Proteção de Cabeceiras em Bacias Hidrográficas**. São Paulo: WWF – Brasil: Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, 2010.

BARROS, J. R. **Tipos de tempo e incidência de doenças respiratórias**: um estudo geográfico aplicado ao distrito federal. Tese de doutorado, UNESP, Rio Claro, 2006. Disponível em: <https://goo.gl/ZrvCj7>. Acesso em: 18 jan. 2017.

BARROS, J. R.; ZAVATTINI, J. A. Bases Conceituais em Climatologia Geográfica. **Mercator - Revista de Geografia da UFC**, n. 16, p.255-261, 2009. Disponível em: <https://goo.gl/ja4YfU>. Acesso em: 20 mar. 2017.

BEDIENT, P. B.; RUBER, W. C. **Hidrology and floodplain analysis**. Reading, Mass: Addison-Wesley, 1988.

BERNARDI E. C. S.; RIGUES A. A.; BURIOL G. A. Impacto do uso e cobertura do solo no deflúvio do rio conceição, rs. **Disciplinarum Scientia**. Série: Naturais e Tecnológicas, Santa Maria: v. 16, n. 3, p. 357-370, 2015. Disponível em: <https://goo.gl/xYWN9b>. Acesso em: nov. 2016.

BERTINI, M. A.; FUSHITA, A.T.; LIMA, M. I. S. Vegetation coverage in hydrographic basins in the central region of the State of São Paulo, Brazil. **Braz. J. Biol.** [online]. vol.75, n.3, p.709-717, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/1519-6984.21713>>. Acesso em: 21 jul. 2016.

BERTONI, J. C. Elementos de Hidrometria. In TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**, 2ª edição. Porto Alegre: Editora da Universidade UFRGS, p. 53-78, 2000.

BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**, 2ª edição. Porto Alegre: Editora da Universidade UFRGS, p. 177-231, 2000.

BEVEN, K., Surface water hydrology—runoff generation and basin structure, **Rev. Geophys.**, 21(3), 721–730. 1983. Disponível em: <<http://onlinelibrary-wiley-com.ez87.periodicos.capes.gov.br/doi/10.1029/RG021i003p00721/epdf>> Acesso em: 18 jan. 2017.

BIELENK JÚNIOR, C.; BARBASSA, A. P. **Geoprocessamento e Recursos Hídricos**. São Carlos: Ed. UFSCar, 2012.

BRUBACHER, J. P.; OLIVEIRA, G.G.; GUASSELLI, L.A. Suscetibilidade de enchentes a partir da análise das variáveis morfométricas na bacia hidrográfica do rio dos Sinos/RS. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 2011, Curitiba, **Anais**. Curitiba: INPE, 2011. p.1279-1286.

BRUIJNZEEL, L. A. **Hydrology of Moist Tropical Forests and Effects of Conversion: A State of Knowledge Review**. IHP. IAHS. UNESCO, 1990. Disponível em: <<https://goo.gl/FwXfDM>> Acesso em: ago. 2016.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/ConstituicaoCompilado.htm>. Acesso em: jul. 2014.

_____. **Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/civil_03/LEIS/l9433.htm> Acesso em: 12 jul. de 2014.

_____. **Lei 9.984, de 17 de julho de 2000**. Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas - ANA, entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências. Disponível em: <<https://goo.gl/yGopJ5>>. Acesso em: 12jul. 2014.

_____. **Lei 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de

dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória 2.166-67, de 24 de agosto de 2001 e dá outras providências. Disponível em: <<https://goo.gl/GLW3DF>>. Acesso em: 12 jul. 2014.

BRAZ, A. M.; ÁGUAS, T. de A; GARCIA, P. H. M.; Análise de índices de vegetação NDVI e SAVI e índice de área foliar (IAF) para a comparação da cobertura vegetal na bacia hidrográfica do córrego Ribeirãozinho, município de Selvíria – MS. **Revista Percorso – NEMO**. Maringá, v. 7, n.2, p. 05- 22, 2015. Disponível em: <<https://goo.gl/QcVSbs>>. Acesso em: jul. 2017

CAICEDO, N. L. A. Águas Subterrâneas. In TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**, 2ª edição. Porto Alegre: Editora da Universidade UFRGS, p. 289-333, 2000.

CÂMARA, G.; CASANOVA, M. A.; HEMERLY, A. S; MAGALHÃES, G. C.; MEDEIROS, C. M. B. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica**. Curitiba, PR: Sagres, 1996. 193p. Disponível em: <<https://goo.gl/8JnDM1>>. Acesso em: 01 out. 2015

CÂMARA, G.; CARVALHO, M. S.; CRUZ, O. G.; CORREA, V. Análise Espacial de Áreas. In: DRUCK, S.; CARVALHO, M.S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.V.M. (eds) **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Brasília, EMBRAPA, 2004. Disponível em < <https://goo.gl/EpHWRr>>. Acesso em: maio 2017.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. Princípios básicos em geoprocessamento. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura**. 2ª ed. Embrapa, CPAC, Brasília. p 3-12, 1998.

CÂMARA, G., MONTEIRO, A. M. V. Conceitos básicos em ciência da geoinformação. In CÂMARA, G., DAVIS, C., MONTEIRO, M. V. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. Ministério da Ciência e Tecnologia – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). São José dos Campos, 2001. Disponível em: <<https://goo.gl/hFnD8N>>. Acesso em: 20 jul. 2015.

CAMARGO, M. U. C. **Os Sistemas de Informações Geográficas como Instrumentos de Gestão em Saneamento**. Rio de Janeiro: ABES, 1997.

CAMPBELL, J. B. Introduction to Remote Sensing. New York: Guilford Press, 1996.

CAMPOS, S.; DÉSTRO, G. F. G. Implantação de Reservas Legais: Uma nova perspectiva na conservação dos recursos naturais em paisagem rural. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.8, p.887–895. Campina Grande, PB. 2010. Disponível em: <<https://goo.gl/rK5fLz>>. Acesso em 05 out. 2015.

CAMPOS, S.; FELIPE, A.C.; GARCIA, Y.M.; CAMPOS, M.; FERREIRA, L.T.L. Geoprocessamento aplicado na caracterização morfométrica da microbacia do ribeirão Descalvado – Botucatu, SP. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial, 20 anos Irriga

+ 50 anos FCA, p. 52-65, 2015 Disponível em: <<https://goo.gl/1SskDd>>. Acesso em: jun. 2017.

CÁNEPA, E. M.; PEREIRA, J. S.; LANNA, A. E. Água e economia. In: BICUDO, C. E. de M; TUNDISI, J. G.; SCHEUENSTUHL, M. C. B. (Org.). **Águas do Brasil - análises estratégicas**. 1ed.São Paulo: Instituto de Botânica, p. 43-58,2010.

CARMO, A. M. do; SOUTO, M. I V.; DUARTE, S. C. R. ; MESQUITA Á. F. Análise de Risco Ambiental à Erosão Gerada a partir de produtos de sensores remotos: MDE Topodata e LANDSAT 8. In. **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE. 2015. Disponível em < <https://goo.gl/D8dwjY> >. Acesso em: jul. 2017

CARVALHO, D. F. de; SILVA, L. D. B. da. **Hidrologia**. Rio de Janeiro: UFRRJ, 2006. Disponível em: <<https://goo.gl/Hn2geF>> Acesso em:06 ago. 2016.

CARVALHO, A. P. V.; BRUMATTI, D. V.; DIAS, H. C. T. Importância do Manejo da Bacia Hidrográfica e da Determinação de Processos Hidrológicos. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)**, v.2, n.2., p.148-156, 2012. Disponível em: <<https://goo.gl/YqPk5D>> Acesso em: 15 abr. 2017.

CASTRO, L. I. S. **Diagnóstico Ambiental na Sub-Bacia do Ribeirão Pouso Alegre com a Utilização de um Sistema de Informação Geográfica**. Dissertação de mestrado. UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP - Campus de Botucatu, 2008. Disponível em: <<https://goo.gl/F6dpAS>>. Acesso em: 24 out. 2016.

CAVALCANTI JÚNIOR, F. A. **Zoneamento do escoamento superficial da Bacia Hidrográfica do Rio Paciência, Ilha do Maranhão**. Dissertação (Mestrado em Geografia) UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT), Câmpus de Presidente Prudente, Presidente prudente, 2016. Disponível em: <<https://goo.gl/9bGA1Q>>. Acesso em: 10 jan. 2017.

CHECCHIA, T. Influência da Zona Ripária sobre os Recursos Hídricos: Aspectos Quantitativos e Qualitativos. In: **Anais do I SEMINÁRIO DE HIDROLOGIA FLORESTAL: ZONAS RIPÁRIAS**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina. p. 87-101. 2003. Disponível em: <<https://goo.gl/pMg6QL>> Acesso em: 08 jul. 2015.

CHEVALLIER, P. Aquisição e processamento de dados. In TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**, 2ª edição. Porto Alegre: Editora da Universidade UFRGS, p. 289-333, 2000.

CHORLEY, R. J. A geomorfologia e a teoria dos sistemas. **Notícias Geomorfológicas**. Campinas, v. 11, n. 21. 1971.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2ª. ed. São Paulo: Ed. Blucher, 1980.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo: Ed. Blucher, 1981.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Editora Edgard Blücher, São Paulo, 1999.

CHRISTOFOLETTI, A. L. H. Análise da sazonalidade da precipitação na bacia do Piracicaba. **Geografia**, Rio Claro, v. 17, n.2, p. 93-105, 1992.

COELHO NETO, A. L. Hidrologia de Encosta da Interface com a Geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). **Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos**. 8ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 93-148, 2008.

COLLISCHONN, W.; TASSI, R. **Introduzindo hidrologia**. IPH, UFRS, 2008. Disponível em: <<https://goo.gl/ruKxGh>> Acesso em: 21 maio 2015.

CONFALONIERI, U.; HELLER, L.; AZEVEDO, S. Água e saúde: Aspectos globais e nacionais. In: BICUDO, C.E. de M; TUNDISI, J.G.; SCHEUENSTUHL, M. C. B. (Org.). **Águas do Brasil - análises estratégicas**. 1ed.São Paulo: Instituto de Botânica, 2010.

COSTA, A. S.; CARRIELO, B. L.; BLANCO, C.J.C.; PESSOA, F. C. L. Regionalização de curvas de permanência de vazão de regiões hidrográficas no estado do Pará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.27, n.4, p. 413 - 422, 2012.

CRÓSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas: IG- Unicamp, 1992.

CRUZ, M.A.S.; SOUZA, A.M.B.; JESUS, J.S. Avaliação da cobertura vegetal por meio dos Índices de Vegetação SR, NDVI, SAVI e EVI na bacia do rio Japaratuba-Mirim em Sergipe. In: **Anais do XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (SBSR)**, 2011, Curitiba/São José dos Campos: INPE, p. 1357-1364 2011. Disponível em < <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p0811.pdf>> Acesso em 15 jul. 2015.

CUNHA, D. da; RITTER, L. G.; BORBA, W. F. de. Vulnerabilidade ambiental e áreas de infiltração máxima de água. **Revista do Centro do Ciências Naturais e Exatas - UFSM**, Santa Maria V. 13, N. 5: Edição Especial LPMA/UFSM, p. 3761-3776. 2014

DAMBRÓS, C. **Organização espacial e paisagem rural – o potencial multifuncional das pequenas propriedades em Brotas e Rio Claro/SP**. Tese (Doutorado em Geografia) UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “Júlio de Mesquita Filho”, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Câmpus de Rio Claro, Rio Claro, 2016. Disponível em: <<https://goo.gl/M9EI9M>>. Acesso em: 11 out. 2016.

DAVIS, C; CÂMARA, G. Por que Geoprocessamento. In: CÂMARA, G., DAVIS, C., MONTEIRO, M. V. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: Ministério da Ciência e Tecnologia – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2001. Disponível em: <https://goo.gl/hFnD8N>. Acesso em: 15 jul. 2015.

DEPARTAMENTO DE ÁGUA E ENERGIA ELÉTRICA – DAEE. **Sistema de informações para o Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo**. 2011. Disponível em: <<http://www.sigrh.sp.gov.br/>>. Acesso em 10 out. 2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA, Embrapa monitoramento por Satélite, 2015. **Sistemas orbitais de monitoramento e gestão territorial**. Campinas: 2015. Disponível em: <<http://www.sat.cnpm.embrapa.br/>>. Acesso em: 15 jul. 2015.

EPIPHANIO, J. C. N.; GLERIANI, J. M.; FORMAGGIO, A. R.; RUDORFF, B. F. T. Índices de vegetação no sensoriamento remoto da cultura do feijão. **Pesquisa agropecuária brasileira**. v. 31, n. 6, p. 445-454, 1996.

ESTEVES, B. S.; SOUZA E. F.; MENDONÇA J. C.; LOUSADA L. L.; MUNIZ, R. A.; SILVA, R. M. Variações do albedo, NDVI e SAVI durante um ciclo da cana-de-açúcar no Norte Fluminense. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Pernambuco, v.7, n.4, p.663-670. 2012. Disponível em: <<https://goo.gl/DNHvOn>>. Acesso em: 12 out. 2016.

FAN, Y; LI, X.; WU, X.; LI, L.; LI, W.; HUANG, Y. Divergent responses of vegetation aboveground net primary productivity to rainfall pulses in the Inner Mongolian Plateau, China. **Journal of Arid Environments**, n. 129, p. 1-8. 2016. Disponível em <<https://goo.gl/kcRdKU>>. Acesso em Jul. 2017.

FARIA, A L.; XAVIER-DA-SILVA, J.; GOES. M.H.B. Análise ambiental por geoprocessamento em áreas com susceptibilidade a erosão do solo na bacia hidrográfica do ribeirão do Espírito Santo, Juiz de Fora (MG). **Revista Caminhos de Geografia**, v. 9, p. 50-65. 2003.

FAXINA. R. R. C.; REZENDE. J. H.; VENIZIANI JUNIOR. J. C. T.; AZEVEDO. P. F. F.. Urbanização e alterações morfológicas e hidrológicas na bacia hidrográfica do Córrego dos Pires. Jaú. São Paulo. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**. Aquidabã. v.3. n.2, p.57-72, 2012.

FERREIRA, M. E.; PECCININI, A. A.; FERREIRA, L. G.; HUETE, A. R. Análise da sazonalidade de paisagens antrópicas e nativas do bioma Cerrado através dos produtos MODIS índices de vegetação, área foliar e atividade fotossintética. In: **Anais XII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, 2005 Goiânia, INPE, p. 505-512, 2005 Disponível em: <<https://goo.gl/Cd8bsB>>. Acesso em 10 nov. 2016.

FIGUEIREDO, D. **Conceitos básicos de sensoriamento remoto**. São Paulo: CONAB, 2005. Disponível em: <<https://goo.gl/iOBkDy>>. Acesso em: 17ago. 2014.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FLORENZANO, T. G. Geotecnologias na geografia aplicada: Difusão e acesso. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 17, p. 24-29, 2005. Disponível em <<https://goo.gl/97VcM4>> Acesso em: 15 jul. 2015.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação Em Sensoriamento Remoto**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

FOLEGATTI, M. V.; SÁNCHEZ-ROMÁN, R. M.; COELHO, R. D.; FRIZZONE, J. A. Gestão dos recursos hídricos e agricultura irrigada no Brasil. In: BICUDO, C. E. de M; TUNDISI, J. G.; SCHEUENSTUHL, M. C. B. (Org.). **Águas do Brasil - análises estratégicas**. 1ed. São Paulo: Instituto de Botânica, 2010.

FOODY, G. M. Geographical weighting as a further refinement to regression modelling: An example focused on the NDVI-rainfall relationship. **Remote Sensing of Environment** 88(3): 283–293. 2003.

FRAGA, M. de S.; FERREIRA, R. G.; SILVA, F. B.; VIEIRA, N. P. A.; SILVA, D. P. da; BARROS, F. M.; MARTINS, I. S. B. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Catolé Grande, Bahia, Brasil. **Nativa Pesquisas Agrárias e Ambientais**, Sinop, v. 02, n. 04, p. 214-2. 2014. Disponível em <<https://goo.gl/yV6tqz>> Acesso em: jul. 2017

FRANCISCO, P. R. M; CHAVES, I. de B.; LIMA, E. R. V. de; BANDEIRA, M. M.; SILVA, B. B. da. Mapeamento da caatinga com uso de geotecnologia e análise da umidade antecedente em bacia hidrográfica. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 5, n. 3, p. 676-693, 2012.

GALLO, K. P.; DAUGHTRY, C. S. T. Differences in vegetation indices for simulated LANDSAT-5 MSS and TM, NOAA-9 AVHRR and SPOT-1 sensor systems. **Remote Sensing Environment** nº23, p. 439-452, 1987.

GALVÃO, W. S.; MENESES, P. R. Avaliação dos sistemas de classificação e codificação das bacias hidrográficas brasileiras para fins de planejamento de redes hidrométricas. In: **Anais do XII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, Goiânia, GO, INPE, p. 2511-2518, 2005. Disponível em: <<https://goo.gl/yOo5de>>. Acesso em: 30 out. 2012.

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia**, 2 Ed. Revista e atualizada. São Paulo: Edgard Blücher, 1988.

GARCÍA, M. L.; BRONDO, J. A. É.; PÉREZ, M. A. **Satélites de Teledetección para la Gestión del Territorio**. Santa Cruz de Tenerife-Canárias: SATELMAC, 2012. Disponível em: <<https://goo.gl/9MkcZS>>. Acesso em 12 jul. 2015.

GARDIMAN JUNIOR, B. S.; MAGALHÃES, I. A. L.; FREITAS, C. C. A. CECÍLIO, R. A. Análise de técnicas de interpolação para espacialização da precipitação pluvial na bacia do rio Itapemirim (ES). **Revista Ambiência**. V. 8, n.1 p. 61- 71, 2012.

GIUDICE, S. L.; MENDES, J. A. R. Ações antrópicas e seus impactos nos cursos d'água. In: **Ciclo ambiental da água da chuva a gestão**. São Paulo. Ed. Blucher, p. 392-413, 2013.

GÓIS, J. S. de; MENDES, L. E. Hidrologia e hidrometria. In TELLES, D. D.; GÓIS, J. S. de. **Ciclo ambiental da água da chuva a gestão**. São Paulo: Ed. Blucher, p. 55-76, 2013.

GOMES, J.; VELHO, L. Abstraction paradigms for computer graphics. **The Visual Computer**, n.11 p. 227-239. 1995.

GOODCHILD, M. Geographical Information Science. **International Journal of Geographical Information Systems**, 6 (2): 35-45, 1992. Disponível em <<http://www.geog.ucsb.edu/~good/papers/166.pdf>>. Acesso em: 21 jul. 2015

GOODCHILD, M. Geographic information systems and science: today and tomorrow. **Procedia Earth and Planetary Science** · V.1, I.1, p. 1037-1043, 2009. Disponível em <<https://goo.gl/IHILOY>>. Acesso em 17 ago. 2016.

GOULART, M.P., CAMPOS, H. C. N. S.; NEPOMUCENO, O. Tutela jurídica do Aquífero Guarani em Ribeirão Preto (Estado de São Paulo, Brasil). **Boletín Geológico y Minero**, vol. 123, no. 3, p. 389-399. 2012.

GUERRA, A. J. T. Processos Erosivos nas encostas. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.) **Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos**. 8ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2008.

GUIMARÃES, R. C. **Estatística e probabilidade aplicada à hidrologia**. Évora-Portugal: Universidade de Évora – Departamento de Engenharia Rural, 2011. Disponível em: <<https://goo.gl/dfC6lc>> Acesso em 15 jul. 2016.

HAMADA, E.; GONÇALVES, R. R. V. **Introdução ao Geoprocessamento: princípios básicos e aplicação**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2007. Disponível em: <<https://goo.gl/PkkgSk>> Acesso em: jul. 2014.

HAMEED, N. A.; BANNARI, A. The Relationship between Vegetation and Rainfall in Central Sudan. **International Journal of Remote Sensing Applications (IJRSA)** Volume 6, p. 30-40, 2016. Disponível em: <<https://goo.gl/V5k9cL>>. Acesso em: 8 jul. 2017

HILL M. J.; DONALD, G. E. Estimating spatio-temporal patterns of agricultural productivity in fragmented landscapes using AVHRR NDVI time series. **Remote Sensing of Environment**, 8 (4) p. 367–384. 2003.

HORTON, R.E. Erosional development of streams and their drainage basins: a hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geol Soe. Am. Bull.**, v.56, n.3, p.275-370, 1945.

HUANG, Z. Clustering large data sets with mixed numeric and categorical values. **Proceedings** of the First Pacific Asia Knowledge Discovery and Data Mining Conference, Singapore: World Scientific, pp. 21–34. 1997.

HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index. **Remote Sensing Environment**, 49 (3) p.295-309, 1988

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE – Carta Topográfica: Folha Itirapina. Escala 1:50.000. Rio de Janeiro: 1969.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE – Carta Topográfica: Folha São Pedro. Escala 1:50.000. Rio de Janeiro: 1969a.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE – Carta Topográfica: Folha Ribeirão Bonito. Escala 1:50.000. Rio de Janeiro: 1971.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE – Carta Topográfica: Folha São Carlos. Escala 1:50.000. Rio de Janeiro: 1971a.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE – Carta Topográfica: Folha Bariri. Escala 1:50.000. Rio de Janeiro: 1972.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE – Carta Topográfica: Folha Jaú. Dourado 1:50.000. Rio de Janeiro: 1972a.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE – Carta Topográfica: Folha Jaú. Escala 1:50.000. Rio de Janeiro: 1973.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE – Carta Topográfica: Folha São Manuel. Escala 1:50.000. Rio de Janeiro: 1973a.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE – Carta Topográfica: Folha Barra Bonita. Escala 1:50.000. Rio de Janeiro: 1974.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE – Carta Topográfica: Folha Brotas. Escala 1:50.000. Rio de Janeiro: 1974a.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE – Carta Topográfica: Folha Dois Córregos. Escala 1:50.000. Rio de Janeiro: 1974b.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE – Carta Topográfica: Folha Santa Maria da Serra. Escala 1:50.000. Rio de Janeiro: 1974c.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE. **Manual Técnico de Pedologia** (2ª ed.). Rio de Janeiro: IBGE, 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Estimativas populacionais para os municípios brasileiros**. Rio de Janeiro: IBGE, 2016. Disponível em <<https://goo.gl/QXAAp0>>. Acesso em: 15 dez. 2016

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Estimativas populacionais para os municípios brasileiros em 01.07.2014**. Rio de Janeiro: IBGE, 2014. Disponível em <<https://goo.gl/QXAAp0>>. Acesso: mar. 2016

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT. **Diagnóstico da situação atual dos recursos hídricos e estabelecimento de diretrizes técnicas para a elaboração do plano da bacia hidrográfica do Tietê – Jacaré**. São Paulo: (Relatório IPT n° 40674/00), IPT, 2000.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE- **Catálogo de Imagens**, 2014. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>> Acesso em 05 set. 2014

INSTITUTO PRÓ-TERRA – **Plano Diretor de Restauração Florestal da Bacia Tietê-Jacaré, 2013**. Disponível em <<https://goo.gl/yXI3fC>>. Acesso em: 19 maio 2014.

INTER-AMERICAN DEVELOPMENT BANK - IDB. **Technical study: integrated water resources management in Latin America and the Caribbean**, N° ENV-125. Ed. L.E. Garcia. IDB: Washington, 1998.

JACKSON, R. D.; HUETE, A. R. Interpreting vegetation indices. **Preventive Veterinary Medicine**, Amsterdã: v.11, n.3-4, p.185-200, 1991.

JAHU. **Plano Municipal de Saneamento Básico**. Prefeitura Municipal de Jahu, 2012. Disponível em < <http://www.jau.sp.gov.br/arquivos/plano-de-saneamento-basico-agua-e-esgoto-V6.pdf>>. Acesso em jun. 2017.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva de em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese, 2009.

JESUS, N. **Aplicação de metodologia para regionalização de bacias hidrográficas, visando conservação ambiental de áreas de mananciais**: um exemplo na bacia do reservatório Atibainha. Dissertação (Mestrado em Geografia), UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “Júlio de Mesquita Filho”, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Campus de Rio Claro, Rio Claro, 2001.

JORDAN, C.F. Derivation of life area indices from quality of light on the Forest Floor. **Ecology**, 50, p. 663-666, 1969.

KUTÍLEK, M.; NIELSEN, D.R. Interdisciplinarity of hydropedology. **Geoderma**, Amsterdan, v. 138, p.252-260, 2007.

LAWRENCE, R. L.; RIPPLE, W. J. Comparisions among vegetation index and bandwise regression in righly disturbed heterogenous landscape. **Remote SensingEnvironment**. n. 64, p. 91-102, 1998.

LEME, E. J. de A. **Bacia hidrográfica do Rio Jaguari Mirim: Características, hidrologia, uso e gerenciamento de água**. São Carlos: EdUFSCar, 2014.

LEPSCH, I. F.; BELLINAZZI, R.; BERTOLINI, D.; ESPÍNDOLA, C. R. **Manual para Levantamento Utilitário do Meio Físico e Classificação de Terras no Sistema de Capacidade de Uso**, 5ª Aproximação. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991.

LIMA, G. C.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; SILVA, M. A.; OLIVEIRA, A. H.; AVANZI, J. C.; UMMUS, M. E. Avaliação da cobertura vegetal pelo índice de vegetação por diferença normalizada (IVDN). **Ambi-Agua**, Taubaté: v. 8, n. 2, p. 204-214, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.959>>. Acesso em 12 nov. 2016.

LIMA, W. P. **Hidrologia Florestal Aplicada ao Manejo de Bacias Hidrográficas**. 2. ed. Piracicaba. “Manejo de Bacias Hidrográficas” do Curso de Graduação em Engenharia Florestal da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Departamento de Ciências Florestais. ESALQ/USP.2008.

LIMA, W. P.; ZAKIA, M. J. B. Hidrologia de Matas Ciliares. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H. F. (Ed.). **Matas Ciliares: Conservação e Recuperação**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo: FAPESP. p. 33-44. 2000.

LIN, H. Earth's critical zone and hydopedology: concepts, characteristics, and advances. **Hydrology and Earth Systems Science**. Göttingen: v. 14, p.25-45, 2010.

LIN, H. Hydopedology: towards new insights into interactive pedologic and hydrologic processes across scales. **Journal of Hydrology**, Amsterdã, v. 406, p.141-145, 2011.

LIRA, S. A. **Análise de correlação: abordagem teórica e de construção dos coeficientes com aplicações**. Curitiba, Dissertação (mestrado em Métodos Numéricos). Engenharia dos Setores de Ciências Exatas e de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, UFPR, Curitiba, 2004.

LIRA, V. M.; SILVA, B. B.; DANTAS Neto, J.; FARIAS, M. S. S. de; BEZERRA, M. V. C.; FRANCO, E. S.; CRUZ, R. M. C. Análise espectral de índice de vegetação em área irrigada com cana-de-açúcar. **Engenharia Ambiental**, v.6, n.1, p.113- 120, 2009. Disponível em: <<https://goo.gl/quPFZK>>. Acesso em 10 out. 2016.

LISSINER, J. B.z. **Variação do índice de vegetação por diferença normalizada na Lagoa Itapeva, litoral norte do Rio Grande do Sul, Brasil, a partir de análise de séries temporais**. Dissertação (Mestrado em Geografia) Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências, Porto Alegre, 2011. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/32698>> Acesso em: set. 2016.

LONGLEY, P. A.; GOODCHILD, M. F.; MAGUIRE, D. J.; RHIND, D. W. **Sistemas e ciência da informação geográfica**. [Tradução de SCHNEIDER, A.; WEBER, E. J.; HASENACK, H.; LISBOA FILHO, J.; BAHIANA, L. C. C.; FITZ, P. R.] 3. ed. Porto Alegre, RS: Bookman, 2013.

LORANDI, R.; CANÇADO, C. J. Parâmetros Físicos para Gerenciamento de Bacias Hidrográficas. In SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. **Conceitos de Bacias Hidrográficas: teorias e aplicações**. Ilhéus, Ba: Editus, 2002.

MACIEL, M. de N. M.; BASTOS, P. C. de O.; CARVALHO, J. O. P. de; WATRIN, O. dos S. Uso de imagens orbitais na estimativa de parâmetros estruturais de uma floresta primária no município de Paragominas, estado do Pará. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, PA, n. 52, p. 159-178, jul./dez. 2009. Disponível em <<https://goo.gl/1AhmL3>> Acesso em: set. 2016.

MACIEL, A. M.; VINHAS, L.; CÂMARA, G. Algoritmos de clustering para separação de culturas agrícolas e tipos de uso e cobertura da Terra utilizando dados de sensoriamento remoto. In: **Anais** do XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE, 2015. Disponível em <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p0903.pdf>>. Acesso em maio de 2017.

MACHADO, P.J.O.; TORRES, F.T.P. **Introdução à hidrogeografia**. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

MACHADO, G.; SOUZA, J. O. P. Análise morfométrica da bacia hidrográfica do rio Chôco – Ibaíti – PR. In: **Anais do X ENCONTRO DE GEÓGRAFOS DA AMÉRICA LATINA**. São Paulo: USP, p. 8366- 8382, 2005.

MAGALHÃES, I. A. L.; THIAGO, C. R. L.; AGRIZZI, D. V.; SANTOS, A. R. dos. Uso de geotecnologias para mapeamento de áreas de risco de inundação em Guaçuí. ES: uma análise comparativa entre dois métodos. **Cadernos de geociências**. Salvador. BA. v. 8. n. 2. p.63-70. 2011. Disponível em: <<https://goo.gl/83YBYO>>, Acesso em: 11 nov. 2014.

MAGALHÃES, I. A. L.; ALMEIDA, K. L. de; THIAGO, C. R. L.; GARDIMAN JUNIOR, B. S.; ZANETTI, S. S.; CECÍLIO, R. A. Análise de métodos de interpolação para espacialização da precipitação pluvial na região Norte do estado do Espírito Santo, Brasil, In **Anais XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR**, Foz do Iguaçu, INPE, p.5651-5657, 2013. Disponível em: <<https://goo.gl/eEiWEQ>> Acesso em: 11 jun. 2015.

MANCA, R. da S. **Hierarquização de ações pré avaliatórias para o gerenciamento dos sistemas de abastecimento de água**. Tese de Doutorado apresentada a Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp, Campinas, 2015. Disponível em: <<https://goo.gl/WeOzgA1>>. Acesso em 20 fev. 2017.

MARQUES FILHO, O.; VIEIRA NETO, H. **Processamento digital de imagens**. Rio de Janeiro. Brasport, 1999. Disponível em: <<https://goo.gl/W2Es9h>>. Acesso em: 05 out. 2016.

MARQUES, J. S. Ciência Geomorfológica. In: GUERRA, A. J. T. & CUNHA, S. B. (Org.). **Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos**. 8. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 23-50, 2008.

MEDEIROS, C. B.; PIRES, F. Banco de dados e sistemas de informações geográficas. In: ASSAD, E. D.; SANO E. E. (Org). **Sistema de Informações**

Geográficas: Aplicações na Agricultura. 2.ed., rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 1998. P. 31-46.

MENDONÇA, F. Diagnóstico e análise ambiental de microbacia hidrográfica: proposição metodológica na perspectiva do zoneamento, planejamento e gestão ambiental. **RA'E GA: O espaço geográfico em análise**. Curitiba. PR: v. 3.1999. Disponível em: <<https://goo.gl/9DKPQL>>. Acesso em: Nov. 2014.

MELLO, C. R. de; CURI, N. Hidropedology. **Ciênc. Agrotec.** 2012, vol.36, n.2, pp.137-146. ISSN 1413-7054. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542012000200001>> Acesso em: jun. de 2016.

MENESES, P. R. Princípios do Sensoriamento Remoto. In: MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. de. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: UNB-CNPQ, p.1-31, 2012a. Disponível em <<https://goo.gl/BWfG31>> Acesso em jul. 2015.

MENESES, P. R. Formatos das imagens de sensoriamento remoto. In: MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. de. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: UNB - CNPQ, p.82-100, 2012b. Disponível em <<https://goo.gl/BWfG31>> Acesso em jul. 2015.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. de. Classificação pixel a pixel de imagens. In: MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. de. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: UNB - CNPQ, p.77-81, 2012. Disponível em <<https://goo.gl/BWfG31>> Acesso em jul. 2015.

MENESES, P. R.; SANO, E. E. Classificação pixel a pixel de imagens. In: MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. de. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: UNB - CNPQ, p.191-206, 2012. Disponível em <<https://goo.gl/BWfG31>> Acesso em jul. 2015.

MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P.G.; MORO, M.; MAIER, C.; CASSOL, E. A.; WALLING, D. E.; CLARKE, R.T.; REICHERT, J. M. The effects of soil conservation on sediment yield and sediment source dynamics in a catchment in southern Brazil. Sediment dynamics for a changing future, **IAHS**, 337: 59-67, 2010.

MESQUITA, E.A. a; ALBUQUERQUE, E.L.S.; CRUZ, M.L.B. Áreas susceptíveis à erosão na sub-bacia hidrográfica do riacho do sangue, estado do Ceará: Elementos contributivos ao planejamento ambiental. **REVISTA GEONORTE**, Edição Especial 4, V.10, N.1, p.188-191, 2014. Disponível em: < <https://goo.gl/ka7Ngp> > Acesso em jul. 2017.

MONTEIRO, C. A. de F. **A Dinâmica Climática e as Chuvas no Estado de São Paulo – estudo geográfico sob forma de atlas**. São Paulo: Universidade de São Paulo/ Instituto de Geografia, 1973.

MORAES, A. C. R. de. **Meio Ambiente e Ciências Humanas**. São Paulo: 4ª edição, 2005.

MORAES FILHO, L. O., OLIVEIRA, A. L., NASCIMENTO, R. C., BARROS, D. A., LAUDARES, S. S. A., BORGES, L. A. C., PEREIRA, C. M. Apresentação do Sistema de Cadastro ambiental Rural - SICAR. **Curso de Capacitação para o Cadastro Ambiental Rural- CapCAR**, Lavras: UFLA, 2014.

MORAES, L. A. F. de. A visão integrada da ecohidrologia para o manejo sustentável dos ecossistemas aquáticos. **Oecologia Brasiliensis**, 13(4): p. 676-687, 2009.

MOURA, A.C.M. **Geoprocessamento na Gestão e Planejamento Urbano**. Belo Horizonte: Ed. da autora, 2003.

NARDINI, R.C.; CAMPOS, S; Gomes, L.N.; RIBEIRO, F.L.; PISSARRA, T.C.T.; CAMPOS, M. Técnicas de geoprocessamento para análise morfométrica da microbacia do ribeirão ALTO Água Fria – Bofete (SP). **Brazilian Journal of Biosystems Engineering** v. 10(2): 170-180, 2016. Disponível em: <<https://goo.gl/SqTzwo>> Acesso em jul. 2017

NEIFF, J. J. Ideas para la interpretación ecológica del Paraná. **Interciência**, v.15, n. 6, p. 424-441. 1990. Disponível em: <<https://goo.gl/UCrMsF>> Acesso em 15 out 2016.

NEWSON, M. **Hydrology and the River Environment**. Oxford. Clarendon Press, 1994.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Edgard Blucher, 2010.

OLIVEIRA, A. H.; SILVA, M. A.; SILVA, M. L. N.; AVANZI, J. C.; CURTI, N.; LIMA, G.C. Caracterização ambiental e predição dos teores de matéria orgânica do solo na sub-bacia do Salto, Extrema, MG. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, p. 143-154, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33n1p143>>. Acesso em 10 out. 2016.

OLIVEIRA, M. Z.; VERONEZ, M. R.; TURANI, M.; REINHARDT, A. O. Imagens do Google Earth para fins de planejamento ambiental: uma análise de exatidão para fins de planejamento ambiental: uma análise de exatidão para o município de São Leopoldo/RS. In: **Anais do XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**. Natal/São José dos Campos: INPE, p, 1835-1842, 2009. Disponível em: <<https://goo.gl/j2LknY>>. Acesso em: 14 out. 2014.

OLIVEIRA, P. C. A.; RODRIGUES, S. C. Utilização de cenários ambientais como alternativa para o zoneamento de bacias hidrográficas: estudo da bacia hidrográfica do Córrego Guaribas. Uberlândia – MG. **Revista Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 21, n. 3, p.305-3014 dez, 2009. Disponível em: <<https://goo.gl/jXMLSI>>. Acesso em: 02 jul. 2014.

OLIVEIRA, M. S. O. Assoreamento. In TELLES, D. D.; GÓIS, J. S. de. **Ciclo ambiental da água da chuva a gestão**. São Paulo: Ed. Blucher, p. 347-369, 2013.

PADILLA, J. H. R.; RINCÓN, M. A. P.; MALHEIROS, T. F.; PARRA, C. A. M.; PROTA M. G.; SANTOS, R. dos. Análisis comparativo de modelos e instrumentos de gestión integrada del recurso hídrico en Suramérica: los casos de Brasil y Colombia. **Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**: v. 8, n.1, 2013. Disponível em: <<https://goo.gl/76YcdH>>. Acesso em: 02 dez. 2016.

PELÁGIO, A. Os costumes e as tradições culturais como fundamento da lei. In: **Revista Sol Nascente** - Centro de Investigação Sobre Ética Aplicada (CISEA) Huambo-Angola p. 105-111, 2013.

PEREIRA FILHO, A. J.; PRADO, L. F.; SANTOS, C. C. dos. Precipitação global regional e local. In TELLES, D. D.; GÓIS, J. S. de. In: **Ciclo ambiental da água da chuva a gestão**. São Paulo: Ed. Blucher, p. 94-117, 2013.

PEREIRA, G. C.; SILVA, B. C. N. Geoprocessamento e Urbanismo. In: GERALDI, L. H. O.; MENDES, I. A. **Teoria, Técnicas, Espaços e Atividades – Temas de Geografia Contemporânea** - Rio Claro: Programa de Pós-graduação em Geografia – UNESP; Associação de Geografia Teorética – AGETEO. 2001. p.97-137.

PEREIRA JÚNIOR, J. S. **Recursos hídricos**: conceituação, disponibilidade e usos. Biblioteca Digital da Câmara dos Deputados, Brasília: DF. 2004. Disponível em <<https://goo.gl/F2EdOF>>. Acesso em: 21 out. 2016.

PETERS, J.; WIEME, V.; BOECKX, P.; SAMSON, R.; GODOY, R.; OYARZÚN, C.; VERHOEST, N. Possibilities for ecohydrological monitoring in natural and managed ecosystems in southern chile. **Gayana Bot**. Concepción: v. 62, n. 2, p. 120-129, 2005. Disponível em: <<https://goo.gl/ZE9gDi>>. Acesso em 12out. 2015.

PETERS, N.E. Chapter 9 - Hydrologic studies. In: MOLDAN, B.; CERNY, J. (eds.), **Biogeochemistry of Small Catchments: A Tool for Environmental Research**. SCOPE Report 51, 207-228. 1994. Disponível em: <<https://goo.gl/cZGKO6>>. Acesso em: 18 jan. 2017.

PIRES, J. S. R.; SANTOS, J. E. dos; DEL PRETTE, M. E. A Utilização do Conceito de Bacia Hidrográfica para a Conservação dos Recursos Naturais. In SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. **Conceitos de Bacias Hidrográficas: teorias e aplicações**. Ilhéus, Ba: Editus, 2002.

PISSARRA, T. C. T., POLITANO, W., FERRAUDO, A. S., Avaliação de características morfométricas na relação solo-superfície da bacia hidrográfica do córrego rico, Jaboticabal (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 297-305, 2004, Disponível em:<<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180214034008>> Acesso em jun. 2017.

PONZONI, F. J. Comportamento Espectral da Vegetação. In: MENESES, P. R., NETTO, J. S. M. **Sensoriamento remoto, reflectância dos alvos naturais**. Brasília: Editora da UNB, p 157-199, 2001.

PONZONI, F. J. Sensoriamento remoto no estudo da vegetação: diagnosticando a mata atlântica. In: RUDORFF, B. F. T.; MORAES, E. C.; PONZONI, F. J.; CAMARGO JÚNIOR, H.; CONFORTE, J. C.; MOREIRA, J. C.; EPIPHANIO, J. C. N.; MOREIRA,

M. A.; KAMPEL, M.; ALBUQUERQUE, P. C. G. de; MARTINI, P. R.; FERREIRA, S. H.; TAVARES JÚNIOR, S. S.; SANTOS, V. M. N. dos (Ed.). **Curso de uso de sensoriamento remoto no estudo do meio ambiente**. São José dos Campos: INPE, Capítulo8p. 1-27, 2002. Disponível em: <<https://goo.gl/7XbYCu>>. Acesso em: 12out. 2015.

PORTO. M. F. A.; PORTO. R. L. L. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos avançados**. São Paulo: v. 22. n. 63. 2008. Disponível em: <<https://goo.gl/J4bNh4>>. Acesso em: 02 abr. 2014.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO - PNUD. **Atlas do desenvolvimento humano no Brasil**. Disponível em: <<http://www.pnud.org.br/atlas/>>. Acesso em: out. 2016.

REBOUÇAS, A. C. Água doce no mundo e no Brasil. In: REBOUÇAS, A. C. et al. (orgs.) **Águas Doces no Brasil: Capital Ecológico. Uso e Conservação**. São Paulo: Escrituras, 2ª Ed., 2002.

RECHA, C. W.; SHISANYA, C. A.; ANYAMBA, A.; OKOLLA, J. Determinants of Seasonal Rainfall And Forecast Skills in Semi-arid South-east Kenya. **Journal of the Geographical Association of Tanzania**, Vol. 34, p.1-13, 2014. Disponível em: <<https://goo.gl/QYVYQ7>> Acesso em: jul. 2017.

REQUICHA, A. A. G. Representations for rigid solids: Theory methods, and systems. **ACM Computing Surveys**, n.12, p.437-464, 1980.

RESENDE, E. K.; **Pulso de inundação**: processo ecológico essencial à vida no Pantanal. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2008. Disponível em: <<https://goo.gl/Kml0kQ>>. Acesso em: 11 nov. 2016.

REZENDE, J. H. **Análise Fluviológica e Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Jaú - SP**. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009. Disponível em: <<https://goo.gl/NtdCLH>>. Acesso em 15 jul. 2015.

RIBEIRO, O. C. F. **Um Estudo das Políticas Públicas de Lazer de Brotas/SP**. Tese de doutorado. Tese de Doutorado apresentada a Faculdade de Educação Física da Unicamp, Campinas, 2012. Disponível em: <<https://goo.gl/ubeq87>>. Acesso em 20 fev. 2017.

RIO GRANDE DO SUL. **Lei 10.350, de 30 de dezembro de 1994**. Institui o Sistema Estadual de Recursos Hídricos, regulamentando o artigo 171 da Constituição do Estado do Rio Grande do Sul. Disponível em: <<https://goo.gl/3cWUvi>> Acesso em: 15 jul. 2015.

RIVAS, R. E.; CARMONA, F. Evapotranspiration in the Pampean Region using field measurements and satellite data. In **Physics and Chemistry of the Earth**, n. 55-57, p. 27–34, 2013.

ROCHA, C. H. B. **Geoprocessamento: Tecnologia Transdisciplinar**. 3. ed. Juiz de Fora, MG, 2007.

ROSA, R. Geotecnologias na geografia aplicada. **Revista do Departamento de Geografia da USP**. 16, 81-90, 2005. Disponível em: <<https://goo.gl/YuEvUO>>. Acesso em: 15 jul. 2015.

ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. 6.ed., p.248. Uberlândia: EDUFU, 2007.

ROSALEN, D. L. **Utilização de um Sistema de Informações Geográficas associado à equação universal de perda de solo no planejamento do ecoturismo no município de Santo Antonio do Pinhal – SP**. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais) - Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, São Carlos, 2002. Disponível em: <<http://de.scientificcommons.org/9033387>>. Acesso em: 20 abr. 2012.

ROSENDO, J. S.; ROSA, R. Mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal a partir do índice de vegetação NDVI. **Anais do XII ENCUESTRO DE GEÓGRAFOS DE AMÉRICA LATINA**, artigo nº 16 2009. Disponível em: <<https://goo.gl/PEBFJ3>>. Acesso em: 09 set. 2016.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; Deering, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS, **Third ERTS Symposium**, NASA SP-351:309-317.1973.

SANTOS, M. L. F. dos; SOUSA, L. H. G. de. SILVA NETO, C.F. da. Análise do uso das terras da Área de Proteção Ambiental Tambaba – litoral sul da Paraíba. In: **Anais do XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR**. Curitiba. PR. Brasil. INPE. 2011.

SANTOS, R. F. **Planejamento Ambiental – Teoria e prática**. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2004.

SÃO PAULO. Secretaria de Energia, Recursos Hídricos e Saneamento. Departamento de Águas e Energia Elétrica. **Lei nº 7663, de 30 de dezembro de 1991**. Disponível em: <http://www.daee.sp.gov.br/legislacao/lei_7663.htm>. Acesso em: 16 maio 2016.

SÃO PAULO. Secretaria de Agricultura e Abastecimento. Coordenadoria de Assistência Técnica Integral. Instituto de Economia Agrícola. **Levantamento censitário de unidades de produção agrícola do Estado de São Paulo - LUPA 1995/1996**. São Paulo: SAA/CATI/IEA, 2008. Disponível em: <<http://www.cati.sp.gov.br/projetolupa>>. Acesso em: 21 out. 2016.

SÃO PAULO. FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS - SEADE. Disponível em: <<http://www.seade.gov.br>>. Acesso em out. 2016

SCATTOLIN, F. A. de A.; DIOGO, M. J. D.; COLOMBO, R. C. R. Correlação entre instrumentos de qualidade de vida relacionada à saúde e independência funcional

em idosos com insuficiência cardíaca. **Cad. Saúde Pública**, Rio de Janeiro, 23(11):2705-2715, 2007. Disponível em: <<https://goo.gl/o0hX5s>>. Acesso em 10 mar. 2016.

SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. **Conceitos de Bacias Hidrográficas: teorias e aplicações**. Ilhéus, Ba: Editus, 2002.

SCHNACK, J.A.; MARILUIS, J; CENTENO, N; MUZÓN, J. Composición específica, ecología y sinantropía de Calliphoridae (Insecta: Diptera) en el Gran Buenos Aires. **Rev. Soc. Entomol. Argent.** 54: 161-171. 1995. Disponível em: <<https://goo.gl/MBz3ol>>. Acesso em 15 nov. 2016.

SCHUSSEL, Z.; NASCIMENTO NETO, P.. Gestão por Bacias Hidrográficas: Do Debate Teórico à Gestão Municipal. **Ambient. soc.** São Paulo, v. 18, n. 3, p. 137-152, Set. 2015. Disponível em: <<https://goo.gl/YqsJPN>>. Acesso em 25 ago. 2017.

SILVA, A.M. da; OLIVEIRA, P. M. de; MELLO, C. R.; PIERANGELI, C. Vazões mínimas e de referência para a outorga na região do Alto Grande, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.2, p.374–380, 2006. Disponível em: <<https://goo.gl/o94Rlt>>. Acesso em: 02 dez. 2016.

SILVA, F. das G.; B. da; MINOTTI, R. T.; LOMBARDI NETO, F.; PRIMAVESI, O.; CRESTANA, S. Previsão da perda de solo na Fazenda Canchim - SP (EMBRAPA) utilizando geoprocessamento e o USLE 2D. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro , v. 15, n. 2, p. 141-148, Jun. 2010 . Disponível em <<https://goo.gl/XBqbeV>>. Acesso em Jul. 2017

SILVA, F. H. B. da. **Método de determinação do escoamento superficial de Bacias hidrográficas a partir de levantamentos pedológicos**. Rio de Janeiro. EMBRAPA Solos, 2000. Disponível em: <<https://goo.gl/1QEFL1>> Acesso em: 21 jul. 2016.

SILVA, R. M. **Introdução ao Geoprocessamento: conceitos, técnicas e aplicações**. 2. ed. Novo Hamburgo, RS: Feevale, 2010.

SILVA, J X.; ZAIDAN, R. T. (organizadores). **Geoprocessamento e análise ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. 368 p.

SILVA, S.; SARMENTO, P. L. V. S. SANTOS M. A. L.; ROCHA, A.; E. Q.; TEODORO, I.; LYRA, G.. B. ; SOUZA, J. L.; LYRA, Guilherme, B. Relações hidroclimáticas num cultivo de cana-de-açúcar na região de Rio Largo-AL. In: **Anais XVII CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA**, 2011, Guarapari: 2011. v. 1. Disponível em: <<https://goo.gl/6bppBs>> Acesso em: 11 nov. 2016.

SILVEIRA, A. L. L. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**, 2ª edição. Porto Alegre: Editora da Universidade UFRGS, p. 35-51, 2000.

SILVEIRA, A. L. da; LOUZADA, J. A.; BELTRAME, L. F. Infiltração e Armazenamento no Solo. In **Hidrologia: ciência e aplicação**, 2ª edição. Porto Alegre: Editora da Universidade UFRGS, p.335-372, 2000.

SIMÕES, M. S. **Relação entre indicadores de crescimento e de produção da cana-de-açúcar e dados espectrais terrestres e orbitais**. Tese (Doutorado em Planejamento e Desenvolvimento Rural e Sustentável) Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, Campinas 2004. Disponível em <<https://goo.gl/GoQ614>>. Acesso em: 10 out. 2016.

SIMÕES, M. S.; ROCHA, J. V.; LAMPARELLI, R. A. C. Orbital spectral variables, growth analysis and sugarcane yield. **Scientia Agricola**, v.66, n.4, p.451-461, 2009. Disponível em: <<https://goo.gl/r0auwT>>. Acesso 10 out. 2016.

SOUZA, A. C. M.; SILVA, M. R. F. da; DIAS, N. da S. Gestão de recursos hídricos: o caso da bacia hidrográfica Apodi/Mossoró (RN). **Revista irriga**, Botucatu, v. 1, n. 1, p. 280-296, 2012. Disponível em: <<https://goo.gl/LbCTBO>>. Acesso em: 21 jul. 2012.

SOUZA, A. M.; CREMONESI, F.L. Jaú – **Imagens de um Rio**. Piracicaba-SP: Copiadora Luis de Queiroz, 2004.

SOUZA, E. R.; FERNANDES, M. R. **Sub-bacias hidrográficas**: unidades básicas para o planejamento e gestão sustentáveis das atividades rurais. DETEC/EMATER, Belo Horizonte. 2006. Disponível em: <<https://goo.gl/qY8iSU>>. Acesso em: 15 nov. 2016.

SOUZA, J. L. L. L.; GOMES, T. S.; DIAS, R. S.; OLIVEIRA, G. M. A.; SANTOS, R. L. S. Avaliação de métodos de interpolação aplicados à espacialização das chuvas no território identidade Portal do Sertão / Bahia. In: **Anais do XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**. p. 4295-4302. 2011. Disponível em: <<https://goo.gl/HLXMxJ>>. Acesso em nov. 2015.

SOUZA, M. M.; COSTA; L. H. da; CARVALHO, D. A. S. de. Utilização de ferramentas de geoprocessamento para mapear as fragilidades ambientais na área de influência direta da UHE de Belo Monte, no estado do Pará. **Espaço Plural**. Ano XII. Nº 25, 2011. Disponível em: <<https://goo.gl/m27f6J>> Acesso em 15. jul. 2017.

SOUZA, L.; PONZONI, F. J. Considerações sobre transformação de dados orbitais para estimativa de índice de área foliar (IAF). In: **Anais do XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**. p. 292-296. 1996. Disponível em: <<https://goo.gl/GmalCp>>. Acesso em 15 jul. 2015.

SOUZA, V.; GALVANI, E. Determinação do potencial natural à erosão laminar na bacia do rio Jacaré Guaçú (SP). **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 39, p. 08 - 23, abr. 2017. Disponível em: <<http://revistas.ufpr.br/raega/article/view/40661>>. Acesso em: jul. 2017.

STEINKE, E. T. **Climatologia Fácil**. São Paulo, Oficina de Textos, 2012

STIPP, N. A. F.; CAMPOS, R. A.; CAVIGLIONE, J. H. Análise morfométrica da bacia hidrográfica do rio Taquara - uma contribuição para o estudo das ciências ambientais. **Portal da Cartografia**, v. 3, n. 1, p. 105 –124, 2010. Disponível em: <<https://goo.gl/Ae2o46>> Acesso em 16 out. 2016.

STRAHLER, A. N. "Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topology". **Geological Society of America Bulletin** 63 (11): 1117–1142, 1952.

TAGLIARINI, F. de S. N.; RODRIGUES, M. T.; CAMPOS, S. Geoprocessamento de variáveis morfométricas para caracterização da microbacia córrego do Petiço. **Periódico Eletrônico do Fórum Ambiental da Alta Paulista**. v. 10, n. 2, nov. 2014. Disponível em: <<https://goo.gl/LUqFUQ>>. Acesso em: Jul. 2017.

TELLES, D. D. Água e meio ambiente. In TELLES, D. D.; GÓIS, J. S. de. **Ciclo ambiental da água da chuva a gestão**. São Paulo. Ed. Blucher, p. 27-54, 2013.

TOMAZ, P. **Critério Unificado para Manejo das Águas Pluviais em Áreas Urbanas**. [Livro eletrônico]. 2007. Disponível em: <<https://goo.gl/j7oq5C>> Acesso em ago. 2016

TRINDADE, A. L. F.; OLIVEIRA, P. T. S.; ANACHE, J. A. A.; WENDLAND, E. Variabilidade espacial da erosividade das chuvas no Brasil. **Pesq. agropec. bras.** Brasília, v.51, n.12, p.1918-1928, dez. 2016. Disponível em: <<https://goo.gl/3T9Y1E>> Acesso em: jul. 2017.

TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2ª edição. Porto Alegre: Editora da Universidade UFRGS, 2000.

TUCCI, C. E. M. Interceptação. In TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**, 2ª edição. Porto Alegre: Editora da Universidade UFRGS, p. 243-252, 2000a.

TUCCI, C. E. M. **Fundamentos do escoamento não permanente**. In _____. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**, 2ª edição. Porto Alegre: Editora da Universidade UFRGS, p. 373-389, 2000b.

TUCCI, C. E. M.; BELTRAME, L, F. S. Evaporação e Evapotranspiração. In TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**, 2ª edição. Porto Alegre: Editora da Universidade UFRGS, p. 253-287, 2000.

TUCCI, C. E. M. **Impactos da variabilidade climática e do uso das terras nos recursos hídricos**. ANA, 2002. Disponível em: <<https://goo.gl/owR0dV>> Acesso em 15 jul. 2015.

TUCCI, C.E.M.; MENDES, C.A.B. **Avaliação Ambiental Integrada de Bacias Hidrográficas**. Ministério do Meio Ambiente e PNUD (Projeto PNUD 00/20. Apoio a Políticas Públicas na Área de Gestão e Controle Ambiental. Brasília-DF. 2006. Disponível em: < <https://goo.gl/jdop4w>> acesso em jul. 2016.

TUCKER, Compton J. Red and Potographic Infrared Linear Combinations for Monitoring vegetation. **Remote Sensing Environment**, n. 8, p. 127-150, 1979.

TUNDISI, J, G, **Água no Século XXI: Enfrentando a Escassez**, 2. ed. São Carlos: Editora Rima, 2005.

TUNDISI, J, G, Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. **Estud. Av.**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 7-16, 2008. Disponível em: < <https://goo.gl/4stCGZ> > Acesso em 20 jun. 2016.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY - USGS. **Earth Explorer**. 2013. Disponível em: <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 14 fev. 2014.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY - USGS. **The Water Cycle**, Portuguese. 2016. Disponível em: <<https://goo.gl/AD5NNm>> Acesso em: 02 jul. 2016.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. USGS. LANDSAT-Earth observation satellites: **U. S. Geological Survey Fact Sheet** 2015. Disponível em: <<https://goo.gl/PJAI7H>> Acesso em: set. 2016.

URGEGHE, A. M.; BRESHEARS D. D.; MARTENS, S. N.; BEESON, P. C. Redistribution of Runoff Among Vegetation Patch Types: On Ecohydrological Optimality of Herbaceous Capture of Run-On. Rangeland. **Ecol Manage** 63: 497–504, 2010.

VANDANA, S. **Guerras por água: privatização, poluição e lucro**: São Paulo: Radical Livros, 2006.

VÁSQUEZ, I.; ARAUJO, L. M. N.; MOREIRA, D. M.; ROTUNNO FILHO, O. C. Análise espaço-temporal conjunta do regime chuva-vazão e do NDVI usando ondeletas e expoente de Hurst na bacia do rio Piabanha/RJ. In: **Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, João Pessoa-PB, Brasil, INPE, 25 a 29 de abril de 2015. Disponível em: < <https://goo.gl/qrinlw> >. Acesso em: 10 de nov. 2016.

VELASCO, D. W.; COOK, M. J. Medição de velocidade do escoamento em rios e sua aplicação em sistemas de alerta. In: **Anais do XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS**: Maceió, ABRH, 2011. Disponível em: <<https://goo.gl/BIVP0n>> Acesso em jun. 2015.

VIANA, L. Q. **Avaliação do Potencial de Regionalização Hidrológica do Modelo Chuva-Vazão SMAP na Bacia do Rio Preto usando NDVI**. Dissertação de Mestrado, Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2012.

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

VOGEL, R. M.; FENNESSEY, N. M. Regional flow duration curve for ungauged sites in Massachusetts. **Journal of Water Resources Planning Management**, v. 116, n. 4, p. 530-549, 1990.

WILBY, R. L The Changing Roles of Hidrology. In:.. Contemporary Hidrology: towards holistic environmental science. Ed. Jhon Wiley & Sons. Chichester, England, p. 01-24. 1996.

XAVIER, R. A.; MACIEL, J. dos S.; SILVA, V. M. de A. Análise espacial das chuvas na bacia do rio Taperoá, Região Semiárida da Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física** v.09, n.05 (2016) 1357-1369. Disponível em: <<https://goo.gl/mjT6zB>> Acesso em jul. 2017

YUAN, F.; BAUER, M. E. Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in LANDSAT imagery. **Remote Sensing of Environment**, 106 (3), 375-386. 2006. Disponível em: <<https://goo.gl/bVNjd2>>. Acesso em: set. 2016.

ZALEWSKI, D. M.; HARPER, D. M.; DEMARS, B. JOLÁNKAI, G.; CROSA, G.; JANAUER, G. A.; PACINI, N. Linking biological and physical processes at the river basin scale: the origins, scientific background and scope of ecohydrology. In HARPER, D.; ZALEWSKI, M.; PACINI, N. **Ecohydrology**: process, models and case studies. Trowbridge: UK, Cromwell Press, 2008.