

Programa de Pós-graduação em Agronomia

**INDICADORES AMBIENTAIS E PLANEJAMENTO INTEGRADO DOS
RECURSOS HÍDRICOS NA MICROBACIA DO CÓRREGO DO
COQUEIRO**

Renato Alberto Momesso Franco

Orientador: Fernando Braz Tangerino Hernandez

Tese apresentada à Faculdade de
Engenharia - UNESP - Campus de Ilha
Solteira, para obtenção do título de Doutor
em Agronomia.

Especialidade: Sistemas de Produção

Ilha Solteira - SP

Março/2012

Programa de Pós-graduação em Agronomia

**INDICADORES AMBIENTAIS E PLANEJAMENTO INTEGRADO DOS
RECURSOS HÍDRICOS NA MICROBACIA DO CÓRREGO DO
COQUEIRO**

Renato Alberto Momesso Franco

Orientador: Fernando Braz Tangerino Hernandez

Tese apresentada à Faculdade de
Engenharia - UNESP - Campus de Ilha
Solteira, para obtenção do título de Doutor
em Agronomia.

Especialidade: Sistemas de Produção

Ilha Solteira - SP

Março/2012

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação

F825i Franco, Renato Alberto Momesso.
Indicadores ambientais e planejamento integrado dos recursos hídricos na microbacia do córrego do coqueiro / Renato Alberto Momesso Franco. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2012
252 f. : il.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Especialidade: Sistema de Produção, 2012

Orientador: Fernando Braz Tangerino Hernandez
Inclui bibliografia

1. Qualidade de água. 2. Análise multicritério. 3. Perda de solos. 4. Áreas prioritárias á restauração florestal. 5. Planejamento ambiental. 6. Recursos hídricos.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA



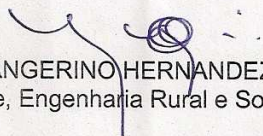
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

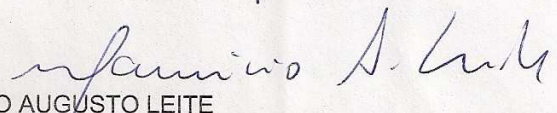
TÍTULO: Indicadores Ambientais e Planejamento Integrado dos Recursos Hídricos na Microbacia do Córrego do Coqueiro

AUTOR: RENATO ALBERTO MOMESSO FRANCO

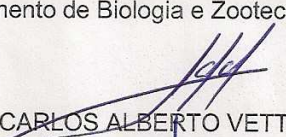
ORIENTADOR: Prof. Dr. FERNANDO BRAZ TANGERINO HERNANDEZ

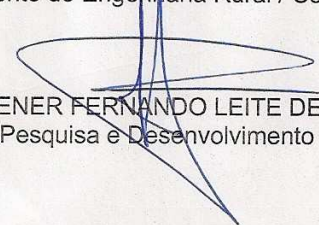
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR EM AGRONOMIA ,
Área: SISTEMAS DE PRODUÇÃO, pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. FERNANDO BRAZ TANGERINO HERNANDEZ
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira


Prof. Dr. MAURÍCIO AUGUSTO LEITE
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira


Prof. Dr. SERGIO LUIS DE CARVALHO
Departamento de Biologia e Zootecnia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira


Prof. Dr. CARLOS ALBERTO VETTORAZZI
Departamento de Engenharia Rural / Usp - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz


Prof. Dr. JENER FERNANDO LEITE DE MORAES
Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Solos e Recursos Ambientais / Instituto Agronômico de Campinas

Data da realização: 01 de março de 2012.

Ao meu amor, companheira e
esposa, Jú.

Ofereço.

Aos meus pais (Elenice e
Sebastião) pelo grande
apoio e pelas lições e
exemplos recebidos na vida.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a DEUS pela existência no planeta Terra e pela energia espiritual da natureza recebida em todos os momentos e Viva a Natureza!

Meus agradecimentos ao Orientador Fernando Braz Tangerino Hernandez, pela grande oportunidade concebida de trabalhar no Laboratório de Hidráulica e Irrigação da UNESP Ilha Solteira, compartilhando idéias, experiência de vida e reflexões a todo o momento, além da infraestrutura concebida para a realização dos trabalhos de campo e laboratório.

A todos da Área de Hidráulica e Irrigação: principalmente ao Biólogo Gustavo C. Barboza ("Borga"), ao Ronaldo pelo auxílio e conhecimento agrônomo, ao Engº Ambiental Gilmar ("Nenê") com a ajuda de Laboratório e campo, ao Diego (Piro) pelo auxílio de campo (..quando estava acordado!) e conhecimento agrônomo; ao Marcus ("Paraíba") pelo auxílio de campo, ao Analista de Sistema Jean Quaresma pelo apoio tecnológico e ao Luis Sergio Vanzela pelas idéias e sugestões.

A minha filha Lorrani pelo carinho e as minhas irmãs Denizi, Milena e Débora pelo carinho, amizade e convivência. Aos companheiros das irmãs, estão os cunhados: Fernando, Devanir e Tito. E aos frutos dessas uniões resultaram as sobrinhas (o): Nayara, Kauê, Nayla e Tayna. Do lado da minha esposa merece também agradecimentos: a grande Sogra Judite, ao sogro Rover, ao Cleiton, a Érica cunhada e ao concunhado Leonardo e o fruto desta união veio a Melissa.

Aos colegas de Doutorado, em especial os amigos Hernandes Queiroz (Lango), Rafael Montanari (Carniça), Igor Malaspina e Jéferson Anselmo (Caracol).

Aos professores Sergio Luís de Carvalho e Maurício Augusto Leite pelas sugestões.

Aos funcionários da UNESP, principalmente os funcionários do Programa de Pós-Graduação. O Sr. José Jesus Batista Apolinário (*in memoriam*), nosso Saudoso Motorista, sempre prestativo e que nos conduziu com segurança pelas estradas que ligam ao córrego do Coqueiro.

Ao Professor e Pesquisador Jener Fernando Leite de Moraes e ao João Paulo, do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), pelos ensinamentos sobre SIG e geoprocessamento.

Aos Professores Silvio F.B. Ferraz e Carlos A. Vettorazzi pelo auxílio no uso da análise multicritério na gestão dos recursos ambientais.

Ao Engenheiro Agrônomo Claudemir Moura, da Casa da Agricultura de Palmeira d'Oeste, pela ajuda e conhecimento da área da microbacia do Coqueiro.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e CAPES, pelas Bolsas de Doutorado e pelo apoio financeiro para execução desta pesquisa.

“Quase tudo que acontece, acontece em algum lugar. Portanto, saber onde as coisas acontecem é de fundamental importância” (LONGLEY, 2005).

Indicadores ambientais e planejamento integrado dos recursos hídricos na microbacia do córrego do Coqueiro

Autor: Renato Alberto Momesso Franco

Orientador: Fernando Braz Tangerino Hernandez

RESUMO

Com o avanço econômico e tecnológico, os ecossistemas naturais são substituídos pelos agroecossistemas e pela paisagem urbana. Esse processo tem início com a substituição parcial da cobertura vegetal nativa por áreas de culturas ou pastagem necessárias para a produção de alimentos, fibras e de outros produtos agrícolas. A produção de alimentos é dependente dos recursos ambientais, principalmente o uso da água. A microbacia do córrego do Coqueiro, no noroeste paulista é dependente dos recursos hídricos para a produção de uva e citros, além do abastecimento público de água para atender os municípios de Palmeira d'Oeste e Marinópolis. A partir da caracterização ambiental, o trabalho tem como objetivo fazer um diagnóstico dos recursos ambientais da microbacia por meio de ferramentas geotecnológicas e apresentar uma proposta de planejamento integrado dos recursos hídricos na microbacia do córrego do Coqueiro. A avaliação da qualidade e disponibilidade de água ocorreu nos anos de 2006, 2007, 2008 e 2009 e para a caracterização ambiental utilizou técnicas de geoprocessamento e SIG. Os resultados indicam que os recursos ambientais estão sendo usados de forma inadequada, com alterações na qualidade da água, principalmente nas características físicas e químicas da água superficial; possivelmente, decorrentes características climáticas, altas taxas de transferência de sedimentos aos corpos d'água, manejo inadequado do solo e ausência de matas ciliares. Houve reduções nas vazões ao longo dos anos avaliados, com valores inferiores a $Q_{7,10}$ nos meses de setembro e outubro. A integração dos temas ambientais em ambiente SIG permitiu a avaliação espacial do ambiente e propor o plano de ação para o manejo dos recursos hídricos da microbacia e subsídios técnicos para os gestores municipais.

Palavra chave: Análise multicritério. Água. Perda de solos.

Environmental indicators and integrated planning of water resources in the watershed of the stream of Coqueiro

ABSTRACT

With economic and technological advancement, natural ecosystems have been replaced by agroecosystems and urban landscape. This process begins with the partial replacement of native vegetation by fields of crops, or pasture, need for the food production, fiber and other agricultural products. Food production is dependent on environmental resources, especially water. The watershed of Coqueiro, in northwestern São Paulo is dependent on water resources for the production of grapes and citrus, as well as public water supply to serve the cities of Palmeira d'Oeste and Marinópolis. From the environmental characterization, the study aims to make a diagnosis of the environmental resources of the watershed through technology tools and present a proposal for integrated planning of water resources in the watershed. The evaluation quality and disponibility of water occurred in the years 2006, 2007, 2008 and 2009 and for the environmental characterization geoprocessing techniques and GIS were used. The results indicate that environmental resources are being used inappropriately, with changes in water quality, especially in physical and chemical characteristics of water surface, possibly resulting from climate characteristics, high transfer rates of sediment to water bodies, improper soil management and lack of riparian vegetation. Reductions in flows over the evaluated years, with lower rates the $Q_{7,10}$ in September and October. The integration of environmental issues in a GIS environment allowed the environment evaluation and propose an blueprint plan for the management of water resources and watershed subsidies for municipal managers.

Key-words: Multicriteria analysis. Water. Soil loss.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Esquema da configuração básica de um SIG.	30
Figura 2- O processo de modelagem.	32
Figura 3 - Mapa de localização da microbacia do córrego do Coqueiro.....	65
Figura 4- Dados de população dos municípios pertencentes à microbacia do Coqueiro.....	68
Figura 5 - Densidade demográfica dos municípios pertencentes à microbacia do Coqueiro.....	69
Figura 6 - Produção agrícola de uva no ano de 2006 e 2007 em toneladas nos municípios pertencentes à microbacia do córrego do Coqueiro.....	70
Figura 7- Área colhida de uva, no ano de 2006 e 2007 nos municípios pertencentes à microbacia do córrego do Coqueiro.	71
Figura 8 - Área colhida de laranja, no ano de 2006 e 2007 nos municípios pertencentes à microbacia do córrego do Coqueiro.....	72
Figura 9 - Produção de laranja em toneladas, no ano de 2006 e 2007 nos municípios pertencentes à microbacia do córrego do Coqueiro.....	73
Figura 10 - Área colhida de limão, no ano de 2006 e 2007 nos municípios pertencentes à microbacia do córrego do Coqueiro.....	74
Figura 11 - Produção de limão em toneladas, no ano de 2006 e 2007 nos municípios pertencentes à microbacia do córrego do Coqueiro.....	75
Figura 12 - Densidade de sistema de irrigação nos municípios pertencentes à microbacia do córrego do Coqueiro.	77
Figura 13 - Sistema de aspersão nos municípios pertencentes à microbacia do córrego do Coqueiro.....	78
Figura 14 - Sistema de irrigação localizada nos municípios pertencentes à microbacia do córrego do Coqueiro.	79
Figura 15 - Mapa de solos da microbacia do córrego do Coqueiro.....	82
Figura 16 - Localização dos pontos de amostragem e definição das sub-bacias do córrego do Coqueiro.....	87
Figura 17 - Mapa de localização da sub-bacia 1 do córrego do Coqueiro.	88
Figura 18 - Mapa de localização da sub-bacia 2 do córrego do Coqueiro.	90
Figura 19 - Mapa de localização da sub-bacia 3.....	91
Figura 20 - Mapa de localização da sub-bacia 4.....	94

Figura 21 - Representação esquemática da variação sazonal no sistema fluvial. ...	103
Figura 22 - Pontos de coleta de água e medição de vazão.	105
Figura 23 - Ábaco para a determinação da concentração relativa.	108
Figura 24 - Etapas para a obtenção do mapa de fragilidade ambiental.	118
Figura 25 - Mapa de distância APP a partir dos fragmentos florestais nativos da microbacia do córrego do Coqueiro.	128
Figura 26 - Mapa de proximidade da vegetação nativa no córrego do Coqueiro. ...	130
Figura 27 - Mapa de uso ocupação do solo e mapa de critérios do uso nas APP. .	132
Figura 28 - Categorias de área de preservação permanente na microbacia do córrego do Coqueiro.....	134
Figura 29 - Mapa de vulnerabilidade a erosão na microbacia do córrego do Coqueiro.	136
Figura 30 - Etapas de desenvolvimento da análise multicritério de programação por compromisso.	137
Figura 31- Comportamento médio anual das variáveis climáticas na microbacia do córrego do Coqueiro entre o período de 2006 a 2010.....	140
Figura 32- Comportamento médio anual das variáveis climáticas na microbacia do córrego do Coqueiro entre o período de 2006 a 2010.....	141
Figura 33- Valores médios mensais de precipitação no período de 2006 a 2010 na microbacia do córrego do Coqueiro.	142
Figura 34 - Extrato do balanço hídrico mensal para o município de Marinópolis - 1999 - 2009 (SANTOS; HERNANDEZ; ROSETTI, 2010).	142
Figura 35 - Variação dos dados mensais meteorológicos de precipitação (P), evapotranspiração potencial (ETP) e evapotranspiração real (ETR) (SANTOS; HERNANDEZ; ROSETTI, 2010).	143
Figura 36 - Valores médios de precipitação entre o período seco e chuvoso na microbacia do córrego do Coqueiro.	144
Figura 37 - Mapa de uso ocupação do solo na microbacia do córrego do Coqueiro.	146
Figura 38 - Mapa de uso e ocupação nas Áreas de Preservação Permanente na microbacia do córrego do Coqueiro.	151
Figura 39 - Mata ciliar nas proximidades do ponto 5 de amostragem.....	156
Figura 40 - Mapa de vegetação da microbacia do córrego do Coqueiro.....	158
Figura 41 - Mapa de vegetação representando a mata ciliar.	159

Figura 42 - Mapa de nascentes identificadas no córrego do Coqueiro.	160
Figura 43 - Identificação das nascentes na microbacia do córrego do Coqueiro. ...	161
Figura 44 - Mapa de fragilidade ambiental na microbacia do córrego do Coqueiro.	163
Figura 45 - Mapa de perda de solo da microbacia do córrego do Coqueiro.....	166
Figura 46 - Mapa de prioridade da restauração florestal.....	169
Figura 47 - Valores médios de temperatura por ponto de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.....	170
Figura 48 - Valores médios de temperatura por ano de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.....	171
Figura 49 - Níveis médios de temperaturas na microbacia do córrego do Coqueiro.	172
Figura 50 - Valores médios de sólidos suspensos por ponto de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.	173
Figura 51 - Valores médios de sólidos suspensos por ano de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.	174
Figura 52 - Níveis médios de sólidos suspensos na microbacia do córrego do Coqueiro.....	176
Figura 53 - Valores médios de sólidos dissolvidos por ponto de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.	177
Figura 54 - Valores médios de sólidos dissolvidos por ano de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.	178
Figura 55 - Níveis médios de sólidos dissolvidos na microbacia do córrego do Coqueiro.....	179
Figura 56 - Valores médios de sólidos totais por ponto de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.	180
Figura 57 - Valores médios de sólidos totais por ano de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.....	181
Figura 58 - Distribuição dos valores médios de sólidos totais na microbacia do córrego do Coqueiro.....	182
Figura 59 - Valores médios de turbidez por ponto de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.....	183
Figura 60 - Valores médios de turbidez por ano de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.....	184

Figura 61 - Distribuição dos valores médios de turbidez na microbacia do córrego do Coqueiro.....	185
Figura 62 - Valores médios de cálcio por ponto de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.....	186
Figura 63 - Valores médios de cálcio por ano de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.....	187
Figura 64 - Distribuição dos valores médios de cálcio na microbacia do córrego do Coqueiro.....	188
Figura 65 - Valores médios de magnésio por ponto de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.....	189
Figura 66 - Valores médios de magnésio por ano de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.....	190
Figura 67 - Distribuição dos valores médios de magnésio na microbacia do córrego do Coqueiro.....	191
Figura 68 - Valores médios de dureza total por ponto de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.....	192
Figura 69 - Valores médios de dureza total por ano de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.....	193
Figura 70 - Distribuição dos valores médios de dureza total na microbacia do córrego do Coqueiro.....	194
Figura 71 - Valores médios de oxigênio dissolvidos por ponto de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.	195
Figura 72 - Valores médios de oxigênio dissolvido por ano de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.	196
Figura 73 - Distribuição dos valores médios de oxigênio dissolvido na microbacia do córrego do Coqueiro.....	197
Figura 74 - Valores médios de ferro total por ponto de amostragem no período seco e chuvoso, na microbacia do córrego do Coqueiro.	198
Figura 75 - Valores médios de ferro total por ano de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.....	199
Figura 76 - Distribuição espacial dos valores médios de ferro total na microbacia do córrego do Coqueiro.....	200
Figura 77 - Valores médios de pH por ponto de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.....	201

Figura 78 - Valores médios de pH por ano de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.....	202
Figura 79 - Distribuição dos valores médios de pH na microbacia do córrego do Coqueiro.....	203
Figura 80 - Valores médios de condutividade elétrica por ponto de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.	204
Figura 81 - Valores médios de condutividade elétrica por ano de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.	205
Figura 82 - Distribuição dos valores médios de condutividade elétrica na microbacia do córrego do Coqueiro.....	206
Figura 83 - Valores médios de coliformes fecais por ponto de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.	207
Figura 84 - Valores médios de coliformes fecais por ano de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.	208
Figura 85 - Distribuição dos valores médios de coliforme fecais na microbacia do córrego do Coqueiro.....	209
Figura 86 - Valores médios de coliforme totais por ponto de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.	210
Figura 87 - Valores médios de coliformes totais por ano de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.	211
Figura 88 - Distribuição dos valores médios de coliformes totais na microbacia do córrego do Coqueiro.....	212
Figura 89 - Valores médios de demanda bioquímica de oxigênio por ponto de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.....	213
Figura 90 - Valores médios de fósforo total por ponto de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.....	214
Figura 91 - Valores médios de nitrogênio total por ponto de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.	215
Figura 92 - Valores médios de IQA por ponto de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.....	216
Figura 93 - Valores médios de IQA por ano de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.....	217
Figura 94 - Distribuição espacial dos valores médios do IQA na microbacia do córrego do Coqueiro, ano de 2009.....	219

Figura 95 - Distribuição espacial dos valores médios do IQA na microbacia do córrego do Coqueiro, ano de 2010.....	220
Figura 96 - Valores médios de DST específica do ponto de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.	221
Figura 97 - Valores médios de descarga sólida total por ponto de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.	222
Figura 98 - Valores médios de descarga sólida total por ano de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.	223
Figura 99 - Valores médios de vazão por ponto de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.....	224
Figura 100 - Valores médios de vazão por ano de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.....	225
Figura 101 - Sistemas de irrigação avaliados e áreas irrigadas com uva.	228
Figura 102 - Erosões identificadas na microbacia do córrego do Coqueiro.	234

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classe de uso para irrigação.....	49
Tabela 2. Parâmetros de IQA.....	57
Tabela 3. Nível de qualidade de água.....	58
Tabela 4. Tipo de uso, finalidade de uso e tipos de usuários.....	61
Tabela 5. Classe de solo na microbacia do córrego do Coqueiro	81
Tabela 6. Descrição e valores dos parâmetros morfométricos da rede de drenagem da microbacia do córrego do Coqueiro.	85
Tabela 7. Parâmetros morfométricos da sub-bacia 1.....	89
Tabela 8. Parâmetros morfométricos da sub-bacia 2.....	89
Tabela 9. Parâmetros morfométricos da sub-bacia 3.....	92
Tabela 10. Parâmetros morfométricos da sub-bacia 4.....	93
Tabela 11. Parâmetros morfométricos da microbacia do córrego do Coqueiro.....	95
Tabela 12. Meses de coleta de água e medição de vazão.	96
Tabela 13. Síntese das metodologias e dos equipamentos empregados nas análises das variáveis de qualidade de água avaliadas.	98
Tabela 14. Classificação empregada na caracterização da qualidade da água para a irrigação.....	99
Tabela 15. Limites estabelecidos para a classificação da qualidade de água para a irrigação.....	99
Tabela 17. Legenda do uso e ocupação do solo.....	112
Tabela 18. Grau de declividade, segundo Ross (1994).	116
Tabela 19. Classe de fragilidade e tipos de solos.	116
Tabela 20. Graus de proteção e tipos de cobertura vegetal.....	117
Tabela 21. Precipitação média mensal, período entre 1999 a 2009 e fator erosividade (R).	120
Tabela 22. Valores de C em função das classes de uso e ocupação do solo.....	122
Tabela 23. Valores de P em função das classes de uso e ocupação do solo.....	123
Tabela 24. Classe de perda por erosão laminar.....	124
Tabela 25. Classe de uso e ocupação do solo na microbacia do córrego do Coqueiro.....	131

Tabela 26. Categorias de áreas de preservação permanente na microbacia do córrego do Coqueiro.....	133
Tabela 27. Classes de Declividade e valoração dos pesos.	135
Tabela 28. Legenda dos mapas de uso e ocupações do solo.....	147
Tabela 29. Uso e ocupação da sub-bacia 1.	148
Tabela 30. Uso e ocupação da subbacia 2.	149
Tabela 31. Uso e ocupação do solo na sub-bacia 3.....	149
Tabela 32. Uso e ocupação do solo da subbacia 4.....	150
Tabela 33. Uso e ocupação do solo na APP da microbacia do córrego do Coqueiro.	152
Tabela 34. Uso na APP na sub-bacia 1.	153
Tabela 35. Uso na APP na sub-bacia 2.	153
Tabela 36. Uso na APP na sub-bacia 3.	154
Tabela 37. Uso na APP na sub-bacia 4.	154
Tabela 38. Valores da mata ciliar atual na microbacia, APP e nascentes geradas por proximidade e área de APP a ser recuperada.....	155
Tabela 39. Classes de fragilidade ambiental.....	162
Tabela 40. Perda de solos.....	164
Tabela 41. Classe de prioridade para a restauração da microbacia do córrego do Coqueiro.....	167
Tabela 42. Distribuição dos valores de IQA nos pontos de amostragem.	217
Tabela 43. Área irrigada avaliadas com uva, volume consumido e $Q_{7,10}$	226
Tabela 44. Disponibilidade de água em tanque de subsuperfície.	229

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	20
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1. Planejamento Ambiental	23
2.2. Indicadores ambientais	25
2.3. A bacia hidrográfica	25
2.4. Geotecnologias	28
2.5. Clima.....	35
2.5.1. Precipitação	36
2.5.2. Evapotranspiração.....	36
2.5.3. Balanço hídrico	38
2.6. Temas ambientais na bacia hidrografica	39
2.6.1. Solos.....	39
2.6.2. Vegetação	40
2.6.3. Análise da fragilidade ambiental	42
2.6.4. Recursos Hídricos	44
2.6.4.1. Hidrografia e análise morfométrica	44
2.6.4.2. Disponibilidade e medição hídrica para a irrigação	45
2.6.4.3. Qualidade de água para a irrigação.....	48
2.6.4.4. Enquadramento dos corpos hídricos em classes	49
2.6.4.5. Parâmetros de qualidade de água utilizados na irrigação	50
2.6.4.5.1. Sólidos totais	50
2.6.4.5.2. Turbidez.....	51
2.6.4.5.3. Temperatura	51
2.6.4.5.4. Potencial hidrogeniônico.....	52
2.6.4.5.5. Condutividade elétrica	52
2.6.4.5.6. Oxigênio Dissolvido	53
2.6.4.5.7. Ferro total	53
2.6.4.5.8. Dureza total	54
2.6.4.5.9. Coliformes	55
2.6.4.6. Índice de qualidade de água (IQA)	56
2.6.4.7. Transporte de sedimentos em rios	59

2.6.4.8. Usos múltiplos da água	61
3. MATERIAL E MÉTODOS	63
3.1. Bases Cartográficas.....	63
3.2. Microbacia de estudo.....	64
3.2.1. Localização.....	64
3.2.2. Características socioeconômicas	66
3.2.2.1. Caracterização dos sistemas de irrigação utilizados na região	76
3.3. Geologia, geomorfologia e pedologia	80
3.4. Clima.....	83
3.5. Recursos hídricos	83
3.5.1. Caracterização morfométrica da microbacia	83
3.5.2. Regionalização hidrológica.....	86
3.5.3. Definição das sub-bacias.....	86
3.5.3.1. Sub-bacia 1	87
3.5.3.2. Sub-bacia 2	89
3.5.3.3. Sub-bacia 3	91
3.5.3.4. Sub-bacia 4	92
3.5.3.5. Sub-bacia 5	95
3.5.4. Critérios para a definição dos períodos de amostragem	95
3.5.5. Qualidade de água para a irrigação.....	96
3.5.5.1. Amostragem e análise da água	96
3.5.5.2. Classificação da água utilizada na irrigação.....	98
3.5.6. Índice de qualidade de água (IQA)	100
3.5.6.1. Nitrogênio total	100
3.5.6.2. Fósforo total.....	100
3.5.6.3. Demanda bioquímica de oxigênio	101
3.5.7. Análise estatística dos parâmetros de qualidade de água.....	101
3.5.8. Medição de vazões.....	102
3.5.9. Transporte de sedimentos	106
3.5.10. Usos múltiplos da água na microbacia	108
3.5.10.1. Caracterização dos sistemas de irrigação	109
3.5.10.2. Disponibilidade de água - tanque de subsuperfície	110
3.6. Temas ambientais.....	110
3.6.1. Imagem de satélite	111

3.6.2. Uso e ocupação do solo	111
3.6.3. Uso e ocupação do solo em áreas de preservação permanente.....	112
3.6.4. Modelo Numérico do Terreno	112
3.6.5. Hidrografia	113
3.6.6. Pontos de monitoramento hídrico	113
3.6.7. Mapa de vegetação	114
3.6.8. Identificação das áreas irrigadas	114
3.6.9. Mapa de fragilidade ambiental.....	115
3.6.9.1. Índice de declividade	115
3.6.9.2. Classes de fragilidade do solo.....	116
3.6.9.3. Grau de proteção do solo e o tipo de cobertura vegetal.....	116
3.6.9.4. Fragilidade potencial e fragilidade ambiental.....	117
3.6.10. Mapa de perda de solos	118
3.6.10.1. Erosividade da chuva - Fator R.....	119
3.6.10.2. Fator topográfico (LS)	120
3.6.10.3. Erodibilidade do solo (K).....	121
3.6.10.4. Uso e manejo dos solos (C) e práticas conservacionistas (P)	122
3.6.10.5. Integração das variáveis da USLE no SIG.....	123
3.6.11. Definição dos Pls para a análise multicritério	125
3.6.11.1. Método de análise multicritério	125
3.6.11.2. Pesos dos critérios analisados.....	126
3.6.11.3. Proximidade da vegetação nativa	127
3.6.11.4. Uso e ocupação do solo nas áreas de preservação permanente	130
3.6.11.5. Categorias das áreas de preservação permanente	133
3.6.11.6. Vulnerabilidade à erosão	135
3.6.11.7. Integração dos Pls na análise multicritério.....	137
3.6.12. Avaliação e integração dos temas ambientais.....	138
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	139
4.1. Caracterização climática.....	139
4.2. Avaliações dos temas ambientais.....	144
4.2.1. Uso e ocupação do solo	144
4.2.2. Uso e ocupação na Área de Preservação Permanente.....	150
4.2.3. Mapa de vegetação nativa.....	155
4.2.4. Mapa de Fragilidade	162

4.2.5. Mapa de perda de solo	164
4.2.6. Mapa de prioridade à restauração florestal das APPs.....	167
4.3. Recursos hídricos	170
4.3.1. Qualidade de água para a irrigação.....	170
4.3.1.1. Parâmetros físicos	170
4.3.1.1.1. Temperatura da água	170
4.3.1.1.2. Sólidos suspensos.....	173
4.3.1.1.3. Sólidos dissolvidos	177
4.3.1.1.4. Sólidos totais	180
4.3.1.1.5. Turbidez.....	183
4.3.1.2. Parâmetros químicos.....	186
4.3.1.2.1. Cálcio.....	186
4.3.1.2.2. Magnésio	189
4.3.1.2.3. Dureza total	192
4.3.1.2.4. Oxigênio dissolvido.....	195
4.3.1.2.5. Ferro total	198
4.3.1.2.6. Potencial hidrogeniônico.....	201
4.3.1.2.7. Condutividade elétrica	204
4.3.1.3. Parâmetros biológicos	207
4.3.1.3.1. Coliformes fecais	207
4.3.1.3.2. Coliformes totais.....	210
4.3.2. Índice de qualidade de água (IQA)	213
4.3.2.1. Demanda bioquímica de oxigênio	213
4.3.2.2. Fósforo total.....	214
4.3.2.3. Nitrogênio total	215
4.3.2.4. Valores de IQA	216
4.3.3. Transporte de sedimento.....	221
4.3.4. Vazão	223
4.3.5. Uso da água na microbacia.....	225
4.3.5.1. Irrigação.....	225
4.3.5.2. Tanque de subsuperfície	229
4.3.6. Planejamento proposto para a microbacia	229
4.3.6.1. Projetos e programas	229
4.3.6.2. Reflorestamento	232

4.3.6.3. Impactos do processo erosivo	232
4.3.6.4. Disponibilização dos dados geográficos.....	235
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	235
6. CONCLUSÕES.....	236
7. REFERÊNCIAS	238

1. INTRODUÇÃO

Com o avanço econômico e tecnológico, os ecossistemas naturais são substituídos pelos agroecossistemas e pela paisagem urbana. As alterações antrópicas no ambiente têm ocasionado diversos problemas ecológicos e sociais. Esse processo tem início com a substituição parcial ou total da cobertura vegetal nativa por áreas de culturas ou pastagem, necessárias para a produção de alimentos, fibras e de outros produtos.

Para atender as necessidades humanas é importante a utilização dos recursos ambientais presentes nos ecossistemas que, ao longo dos anos, foram transformados e projetados para receber subsídios de energia auxiliar (adubos, água, seleção genética etc) para canalizar uma conversão máxima de energia solar e de outros tipos de energia em produtos comestíveis e outros. Os benefícios são produção de alimentos para a exportação e comércio, desta forma transformando o alimento em mercadoria e importante fonte de renda na economia local e regional, e não mais como um produto de subsistência para a manutenção da vida.

Apesar dos benefícios, existem os custos dos “serviços ambientais” que muitas vezes não são contabilizados nesse processo de formação dos agroecossistemas tecnificados, e que incluem diversos impactos como a erosão do solo e a sedimentação de represas e lagos; a redução da qualidade e disponibilidade da água; a contaminação química de rios, riachos, lagos e represas; perda da biodiversidade biológica e, em algumas situações, os impactos podem ocasionar desequilíbrios ambientais que podem limitar o desenvolvimento econômico de uma região.

As soluções destes problemas estão no planejamento e gerenciamento dos recursos ambientais, que têm como objetivo organizar uma determinada área, visando ao melhor manejo, em relação aos recursos ambientais disponíveis e é fundamental considerar a mudança de paradigma de um sistema setorial, local e de resposta a crises para um sistema integrado, preditivo e em nível de ecossistema (TUNDISI; TUNDISI, 2011).

Diante desta situação a implementação do planejamento integrado pode evitar o uso inadequado da terra e subsidiar os tomadores de decisões sobre as condições ambientais de uma determinada região. Estudos como o levantamento do uso e

ocupação da terra, a situação da qualidade e disponibilidade dos recursos hídricos, a identificação dos principais usuários da água, as condições climáticas locais, as principais culturas, são exemplos indispensáveis para a análise dos processos agrícolas e ambientais que ocorrem em uma bacia hidrográfica.

A bacia hidrográfica tem certas características essenciais que a tornam uma unidade muito bem caracterizada e permitem a integração multidisciplinar entre diferentes sistemas de gerenciamento, estudo e atividade (TUNDISI; TUNDISI, 2011).

O córrego do Coqueiro é um afluente da margem direita do Rio São José dos Dourados, localizada na região noroeste do Estado de São Paulo, entre os municípios de Jales, Palmeira d'Oeste, Dirce Reis, Urânia e São Francisco.

Essa região tem a economia essencialmente agrícola e determinadas culturas são dependentes de água, com destaque para a viticultura e a citricultura. Estudos do balanço hídrico indicam que a região noroeste apresenta déficit hídrico no solo de oito meses (abril a dezembro) (SANTOS; HERNANDEZ; ROSETTI, 2010), e a região apresenta a maior taxa de evapotranspiração do Estado e suscetibilidade a veranicos (HERNANDEZ; LEMOS FILHO; BUZETTI, 1995; HERNANDEZ et al., 2003).

Para suprir as necessidade hídrica das culturas é importante fazer o uso de um sistema de irrigação, que na região é uma realidade e possibilita principalmente o cultivo de uva e citros, além do desenvolvimento econômico e social dos municípios.

A água disponível para atender a demanda da irrigação vem de mananciais próximos de propriedades rurais, e quando a propriedade fica distante dos corpos d'água, é perfurado um poço subterrâneo. Os ecossistemas aquáticos oferecem “serviços” ambientais ao agricultor e a possibilidade de uso da água para agregar valor econômico ao seu produto.

Por outro lado, as práticas da agricultura convencional utilizadas na região usam os agroecossistemas de forma intensiva e sem o devido cuidado com a sua conservação. Os resultados são áreas degradadas que comprometem os “serviços” dos ecossistemas, reduzindo os recursos ambientais disponíveis e alterando o potencial qualitativo e quantitativo do uso da água para os usos múltiplos, principalmente a irrigação e abastecimento público.

Em geral, os municípios da região noroeste lançam seus efluentes urbanos provenientes de estação de tratamento de esgoto em mananciais, que podem

aumentar significativamente a carga de concentração de material sólido (orgânicos e inorgânicos), coliformes e a redução da concentração de oxigênio dissolvido. A minimização desses efeitos vão depender da capacidade de autodepuração dos sistemas aquáticos e das condições das florestas ripárias existentes na microbacia - que facilitam a capacidade de retenção de sedimentos e nutrientes (RODRIGUES; LEITÃO FILHO, 2001).

Os municípios pertencentes à microbacia estudada lançam seus efluentes urbanos provenientes de estações de tratamento de esgoto em outros corpos receptores, uma situação favorável para o manancial. Pois o mesmo atende ao uso múltiplo da água e oferece água para a irrigação, dessedentação animal e abastecimento público. No município de Palmeira d' Oeste há uma estação de tratamento que retira água superficial do córrego para abastecer o mesmo município e atender o município de Marinópolis.

Neste contexto de avaliações espaço-temporais dos processos agrícolas, o monitoramento da quantidade e da qualidade de água é imprescindível no diagnóstico das condições hídricas dos mananciais, visando à definição de estratégias para o uso sustentável dos recursos hídricos e à implantação de programas de recuperação dos mananciais degradados. No entanto, qualquer estratégia para o uso racional dos recursos hídricos deve se basear em uma base de dados consistentes e normalmente constituído a partir do monitoramento do uso da água, da disponibilidade, qualidade e consumo de água, permitindo promover a orientação dos produtores rurais quanto à importância da preservação das matas ciliares, conservação dos solos e a adoção das técnicas de manejo da irrigação.

A partir da caracterização desses problemas, o trabalho teve como objetivo fazer um diagnóstico dos recursos hídricos e identificar os potenciais indicadores ambientais da microbacia por meio de geotecnologias e apresentar uma proposta de planejamento integrado dos recursos hídricos na microbacia do córrego do Coqueiro, no noroeste paulista.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Planejamento Ambiental

No Brasil e em outros países, os recursos ambientais vêm sendo degradados, como fruto da utilização inadequada do ambiente. Para modificar esse cenário ambiental, é preciso que seja implantado um programa racional que envolva planejamento, manejo e utilização adequada dos recursos disponíveis em uma região.

Um livro texto sobre o assunto deixa bem claro a fundamentação do planejamento ambiental:

O planejamento ambiental fundamenta-se na interação e integração dos sistemas que compõem o ambiente. Tem o papel de estabelecer as relações entre os sistemas ecológicos e os processos da sociedade, das necessidades sócio-culturais a atividades e interesses econômicos, a fim de manter a máxima integridade possível dos seus elementos componentes. O planejador que trabalha sob essa premissa, de forma geral, tem uma visão sistêmica e holística, mas tende primeiro a compartimentar o espaço, para depois integrá-lo (SANTOS, 2004, p.28).

A partir desta visão é importante compartimentar o sistema ambiental. A delimitação do sistema constitui o seu fechamento, tornando-o uma unidade discreta e assim a possibilidade de investigar a estrutura e o comportamento do sistema (CHRISTOFOLETTI,1999).

Um outra explicação de planejamento ambiental é feita por Silva (2007, p. 44) que define como um processo no qual são executados levantamentos e diagnósticos das condições ambientais, com o objetivo de otimizar o uso dos recursos ambientais disponíveis.

O estudo do ambiente é complexo e a representação das variações espaciais e temporais dos fatores ambientais e antrópicos que ocorrem em uma determinada região pode ser armazenada em banco de dados, possibilitados pelo uso de

geotecnológicas que incluem o Sistema de Informação Geográfica (SIG), o Sensoriamento Remoto, a Cartografia e a modelagem. As informações obtidas por essas áreas do conhecimento têm auxiliado no diagnóstico, na formulação do manejo ambiental e na tomada de decisões.

Essa interdisciplinaridade de conhecimentos é fundamental para analisar o ambiente e um desafio para todos os pesquisadores. Pois a integração dos fenômenos (físicos, biológicos, químicos e sociais) presentes no ambiente é muitas vezes analisada em diferentes escalas de observações dos fenômenos em diferentes disciplinas envolvidas, o que dificulta os estudos. O importante é a definição de uma escala para avaliar o ambiente e um consenso entre os pesquisadores envolvidos. De acordo com Santos (2004), cada abordagem tem um aprofundamento com seus elementos componentes e fenômenos atuantes e correspondem a uma representação da dimensão espacial e temporal das informações sobre o meio, ou seja, tem uma escala.

A escala espacial pode fornecer importantes informações sobre a organização fundamental da paisagem (SANTOS, 2004). Além da escala espacial, o tempo é outro fator que deve-se levar em consideração. De acordo com a mesma autora, o tempo é uma escala objetiva de análise que deve situar o presente, o passado e o futuro do espaço diagnosticado.

O planejamento é feito por etapas e o diagnóstico envolve a seleção e obtenção dos dados de entrada, a análise integrada e a elaboração de indicadores que servirão de base para a tomada de decisão (SANTOS, 2004). Segundo Xavier da Silva (2007) o diagnóstico é o produto da análise efetuada sobre um ou várias situações ambientais, refletindo o conjunto de condições positivas e negativas prevalentes em um ambiente.

Para avaliar o ambiente criaram-se temas que facilitam a compreensão e a descrição do meio ambiente. Os temas podem ser divididos em aspectos físicos (declividade, geologia, hidrologia, pedologia, geomorfologia, climatologia), biológicos (vegetação e fauna) e social. Essas informações podem ser mapeadas, armazenadas em banco de dados e auxiliam na compreensão sobre o meio. Com os temas definidos é possível fazer uma análise ambiental dos sistemas e demonstrar as condições positivas e negativas envolvidas no ambiente - essa etapa denominada de diagnóstico.

O uso do ambiente deve ser planejado, para evitar a deterioração da qualidade ambiental e na realidade isso quase não acontece de forma adequada.

2.2. Indicadores ambientais

A palavra *indicador* deriva da língua latina *indicare*, que significa destacar ou revelar algo (MAGALHÃES JUNIOR, 2011). Na Agenda 21 da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento - PNUMA (UNITED NATIONS CONFERENCE ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT, 1992) discute e salienta a importância do uso de indicadores para a tomada de decisões durante o planejamento ambiental.

O termo indicador é definido como um parâmetro ou valor derivado que fornece informações sobre o estado de um fenômeno. Os indicadores tem a função de síntese e são desenvolvidos para proposta específica e parâmetros, por sua vez, é definido como propriedade que pode ser medida ou observada (FILDALGO, 2003).

Os indicadores são informações de caráter quantitativo resultantes do cruzamento de pelo menos duas variáveis primárias (informações espaciais, temporais, ambientais, etc.) (MAGALHÃES JUNIOR, 2011).

Os indicadores são fundamentais para os tomadores de decisão e para a sociedade (SANTOS, 2004).

2.3. A bacia hidrográfica

A bacia hidrográfica é considerada a unidade de planejamento, gerenciamento e integração econômica e social (TUNDISI; TUNDISI, 2011). De acordo com a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), estabelecida pela Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, reconhece-se a bacia hidrográfica como sendo a unidade de seu gerenciamento (BRASIL, 1997).

A bacia hidrográfica uma unidade fisiográfica composta por uma rede de drenagem e uma superfície moldada pelo relevo, de forma variada e distribuída pela superfície terrestre. Observando a partir do perfil topográfico é possível determinar a região de interflúvios, considerada a região mais elevada e também chamada de

divisores de água. A água precipitada nesta superfície infiltra-se no solo e incorpora-se à água subterrânea, uma parte é evaporada pelas condições climáticas e a outra parcela escoar da região mais alta para a região mais baixa através da rede de drenagem em direção ao leito fluvial; e, em seguida, toda a água escoada pela superfície sai pelo exutório da bacia hidrográfica. A bacia hidrográfica é um sistema geomorfológico aberto, que recebe matéria e energia através de agentes climáticos e perde através do deflúvio (LIMA; ZAKIA, 2000, p.33).

A rede de drenagem tem início com as nascentes, formando os rios de primeira ordem e ainda com volume de água reduzido. Em seguida, o rio de segunda ordem recebe dois rios de primeira ordem, e assim sucessivamente formando uma hierarquia fluvial. Em estudos de microbacia observa-se a hierarquia dos cursos d'água até a terceira ordem e em bacias hidrográficas maiores chegam até a décima ordem. Através de técnica de geoprocessamento é possível identificar as características fisiográficas da bacia, como área, densidade de drenagem, forma, declividade, comprimento do leito e outras características relevantes do sistema.

A bacia hidrográfica é uma unidade geomorfológica fundamental, que expressa por meio de suas formas e a mesma define a área de captação do escoamento superficial que alimenta um sistema aquático (CALIJURI; BUBEL, 2006). Segundo Tonello et al. (2006), a área da bacia hidrográfica tem influência sobre a quantidade de água produzida como deflúvio. Outras características, como a forma e o relevo atuam sobre a taxa ou sobre o regime dessa produção de água.

A bacia hidrográfica pode ser subdividida em sub-bacias, muitas vezes denominadas de microbacias, com área de captação menor e mais sensível às chuvas do que as bacias maiores. Segundo Goldenfum (2003, p. 3) e Lima e Zakia (2000) o conceito de microbacia é um tanto vago e/ou subjetivo, pois não há um limite de tamanho para a sua caracterização e não existe um valor único aplicável a todas as situações. Lima e Zakia (2000) definem “microbacia” como sendo aquela cuja área de drenagem é tão pequena que a sensibilidade à chuva de alta intensidade e às diferenças de uso do solo não seja suprimida pelas características da rede de drenagem. Isso significa dizer que essas pequenas bacias convertem a precipitação em vazões nos córregos, com variação no volume (chuvas de alta intensidade e de curta duração). Outro fator são o uso e a ocupação do solo que também tem influência no deflúvio da microbacia e nas grandes bacias o deflúvio é lento.

Além das características fisiográficas da bacia, os rios, afluentes e nascentes são envolvidos por matas ciliares que tem a função de proteção dos corpos d'água. A presença da vegetação ciliar diminui a velocidade de escoamento das águas da chuva, facilitando a infiltração da água no solo e incorporado ao lençol freático. Com o uso e ocupação de pequenas e grandes bacias hidrográficas, ocorreu a fragmentação da paisagem em outras unidades, como pastagem, culturas agrícolas diversas, manchas urbanas e florestas.

O uso e ocupação e as características socioeconômicas podem modificar o funcionamento hidrológico e ecológico de uma bacia hidrográfica, alterando a qualidade e disponibilidade dos recursos hídricos. Os rios são ecossistemas abertos em constante interação com o sistema terrestre e integralizam todos os fenômenos que ocorrem em uma bacia, e através do monitoramento da qualidade e disponibilidade da água podem informar sobre as alterações ocorridas no sistema. Franco e Hernandez (2009) observaram valores elevados de sólidos suspensos na água superficial do córrego do Coqueiro, provavelmente, em razão da ausência de matas ciliares e práticas inadequadas do uso do solo.

Os reflexos são diversos, como assoreamento dos cursos d'água e redução do leito principal ocasionada pela deposição de sedimentos, situação típica observada nos córregos do noroeste paulista. A falta de práticas agrícolas conservacionistas e cobertura florestal contribuem para a sedimentação e instabilidade dos leitos dos rios.

As condições climáticas e o ciclo hidrológico determinam as entradas e saídas de água do sistema. As saídas através da evapotranspiração, evaporação, retirada superficial e subterrânea de água (irrigação, abastecimento humano e dessedentação animal), vazão no talvegue (efluentes) e percolação. As entradas ocasionadas pela precipitação e vazões afluentes proporcionam disponibilidade de água periódica ao sistema hidrológico. Vários estudos e métodos quantificam as entradas e saídas de água do sistema, através de modelos matemáticos e equipamentos de medição que demandam mão-de-obra capacitada e custos operacionais de estações hidrometeorológicas. Entretanto, existe a possibilidade de se obterem dados através de órgão estaduais e federais que disponibilizam informações hidrológicas de determinadas regiões. No Estado de São Paulo é possível obter a regionalização hidrológica para qualquer região do estado, basta entrar com a localização geográfica e a precipitação média anual do local desejado

(SISTEMA DE INFORMAÇÕES PARA O GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2011). Outra ferramenta que auxilia no estudo hidrológico são estações agroclimatológicas que monitoram as condições climáticas locais e armazenam as informações. Recentemente a Universidade Estadual Paulista - UNESP (2011) instalou setes estações agroclimatológicas na região noroeste para o monitoramento climatológico da agricultura irrigada.

A necessidade constante de monitorar e conhecer as condições climatológicas e biofísica do sistema traz subsídios para a compreensão ambiental e possíveis soluções aplicadas ao manejo dos agroecossistemas de forma integrada.

O uso inadequado dos recursos ambientais traz a redução da disponibilidade e qualidade da água dos mananciais e podem-se refletir na economia local, comprometendo o desenvolvimento dos agroecossistemas, pois a água é um fator limitante para o desenvolvimento econômico sustentável.

2.4. Geotecnologias

Na perspectiva do planejamento ambiental e da análise espacial do território é importante a sua ordenação ou o monitoramento do espaço geográfico, que deve incluir uma análise do sistema ambiental; envolvendo o meio físico-biótico, a ocupação humana ao longo do tempo e o seu inter-relacionamento dentro do sistema.

No contexto do planejamento ambiental é importante o levantamento de dados geográficos ligados a diversas áreas do conhecimento e para a integração dos dados ambientais foi utilizado o Geoprocessamento na avaliação do ambiente.

O SIG permite ampla utilização dos dados no planejamento urbano regional, estudo de recursos naturais, análise multitemporal, avaliação e caracterização de bacias hidrográficas, e serve de suporte a decisão em ambiente SIG (CÂMARA et al., 1996).

2.4.1. Geoprocessamento

O geoprocessamento pode ser considerado um ramo da tecnologia de computação eletrônica de dados, na medida em que se apoia diretamente no

processamento de dados georreferenciados (SILVA, 2007). Para Câmara et al. (1996), o principal objetivo é o de fornecer ferramentas computacionais para o tratamento da informação geográfica. Com o uso do geoprocessamento, tornam-se disponíveis para as análises ambientais procedimentos que permitem a investigação detalhada de relacionamentos entre entidades pertencentes a um ambiente (SILVA, 2007, p.43).

No estudo da microbacia foi fundamental a utilização do geoprocessamento na identificação das informações geográficas, aplicadas dentro do contexto hidrológico e ambiental. As informações espaciais adquiridas foram armazenadas em uma base de dados georreferenciados, de forma gráfica e constituindo-se em imagens e plano de informações (PIs).

A estrutura das informações espaciais pode ser vetorial ou matricial. A estrutura vetorial é composta por três primitivas gráficas (ponto, linhas e polígonos) e utiliza um sistema de coordenadas para a sua representação (FITZ, 2008). O mesmo autor descreve a estrutura matricial como sendo uma matriz com n linhas e m colunas, $M(n,m)$, na qual cada célula é denominada de pixel (contração de *picture element*, ou seja, elemento de imagem).

O modelo matricial representa a realidade por meio de superfície projetada por um padrão regular. Neste modelo de representação, os índices da matriz algébrica correspondem às células, que são representações numéricas de fenômenos geográficos reais que foram abstraídos (MIRANDA, 2010).

Os SIGs (Sistemas de Informação Geográfica) podem ser utilizados para as mais diversas finalidades, como: planejamento do uso do solo; monitoramento ambiental e de safras agrícolas; tomada de decisões; gerenciamento de equipamentos distribuídos geograficamente (RAMIREZ; SOUZA, 2007). O desenvolvimento do SIG foi impulsionado pela evolução do computador e de programas desenvolvidos para resolver e quantificar as informações de maneira rápida e eficiente.

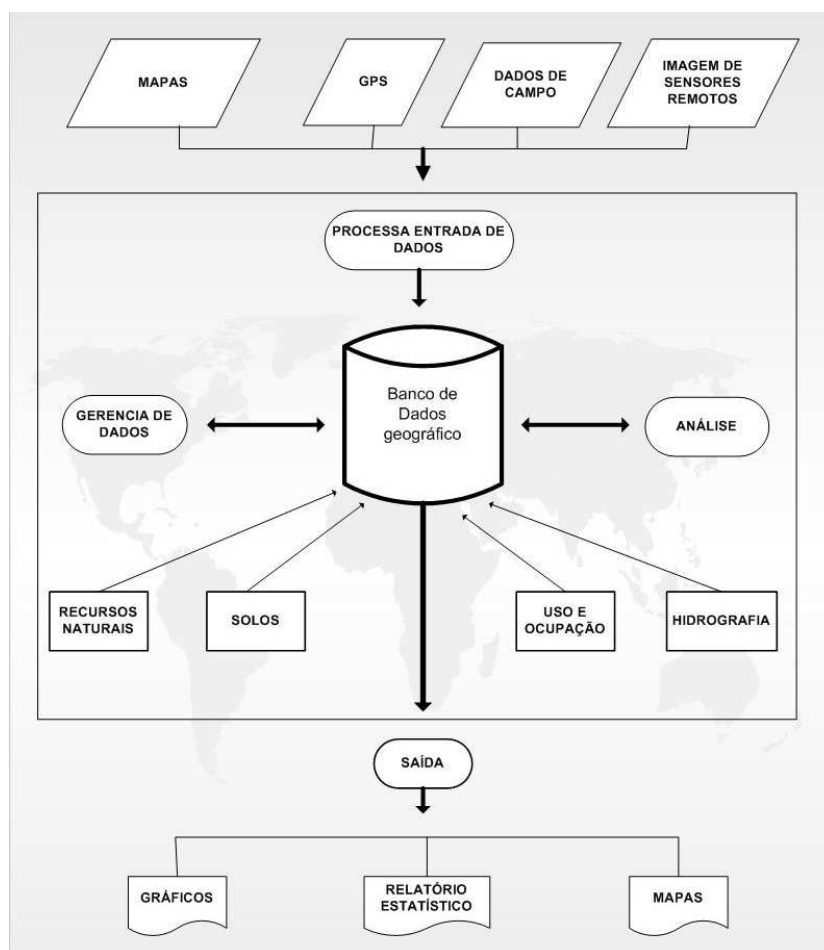
As definições de SIG são amplas e diversas, com várias definições. Para Fitz (2008) o sistema de informação seria compreendido como um sistema utilizado para coletar, armazenar, recuperar, transformar e visualizar dados e informações a ele vinculadas.

Mas na essência de cada definição sempre estão presentes quatro subsistemas que não podem ser esquecidos, conforme é definido por Miranda (2010):

1. Entrada de dados;
2. Armazenamento e recuperação de dados;
3. Manipulação e análise de dados espaciais e
4. Saída.

Na Figura 1 é apresentada a configuração básica de um SIG (MIRANDA, 2010).

Figura 1- Esquema da configuração básica de um SIG.



Fonte: Miranda (2010)

O subsistema de entrada de dados compreende as funções que coletam e processam dados espaciais ou não espaciais, sendo responsáveis pela

transformação de diferentes tipos de dados espaciais. Na parte superior da representação a captura de dados espaciais como os mapas existentes, observações de campo, imagens captadas por sensores em satélites; nesta etapa, todos os dados são transformados em informações digitais padrão do SIG.

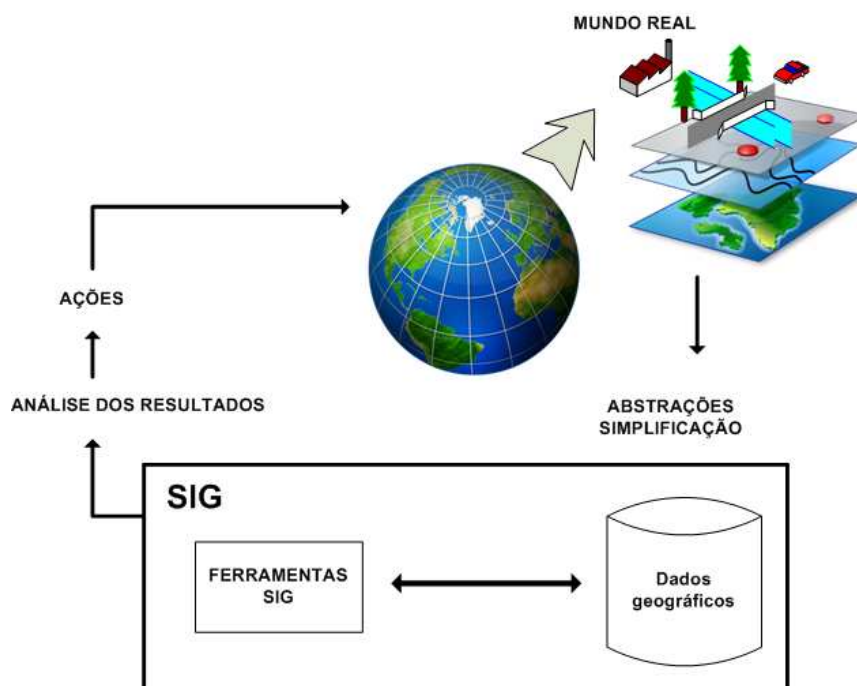
Miranda (2010) comenta que nesta etapa começa-se a montar o banco de dados georreferenciados do projeto em desenvolvimento. A gerência de dados é organizá-los e permitir a sua recuperação, atualização e edição. O armazenamento e recuperação referem-se à maneira de estruturação de uma coleção de mapas e informações associadas na forma digital sobre a localização, topologia e atributos de elementos geográficos.

Todas as informações do ambiente estão numa base de dados georreferenciados e através do SIG é possível realizar generalizações, agregações, análises espaciais e, ao mesmo tempo, deve possibilitar um acesso fácil a todos os dados nela contidos (MEIRELLES; MOREIRA; CÂMARA, 2007).

Dentro do SIG é possível realizar a modelagem ambiental. Miranda (2010) relata que a modelagem é fundamental no princípio de que o banco de dados não apenas representa o ambiente, mas o seu modelo em escala. Outros autores citam que em qualquer projeto dentro de um SIG, a modelagem dos dados é um aspecto fundamental, pois descreve como a realidade geográfica será representada no computador (CÂMARA; MEDEIROS, 1998, p.3-11).

Na Figura 2 a representação de maneira mais simples de entender o mundo, ou parte dele, isolando os fatos de interesse e após uma análise da modelagem, retorna-se ao entendimento da realidade mais complexas do mundo (MIRANDA, 2010).

Figura 2- O processo de modelagem.



Fonte: Franco (2012)

2.4.2. Análise multicritério

Todos os modelos de auxílio à tomada de decisão com SIG podem ser classificados em dois grupos: determinístico e probabilísticos (MIRANDA, 2010). A análise multicritério (AMC) (*Multi Criteria Evaluation* - MCE) é um modelo determinístico e o método é fazer uma escolha entre alternativas levando em conta vários critérios (ZUFFO, 1998; FIDALGO, 2003; MIRANDA, 2010).

Para Eastman et al. (1998), o processo de aplicação de uma regra de decisão é chamado de avaliação. Dentro desta avaliação é importante ter o objetivo específico da análise e avaliar vários critérios e fatores envolvidos (FERRAZ; VETTORAZZI, 2003).

O uso da análise multicritério como ferramenta no auxílio à tomada de decisão é citado na literatura e empregado para diversos fins e pode ser utilizado no ambiente SIG.

Mas foi nos anos 90 que a AMC provou ser uma das mais proveitosas metodologias na análise de otimização, melhorando a qualidade da tomada de decisão disponibilizando tanto uma base metodológica para a análise de decisão como um quadro operacional para a tomada de decisão (MIRANDA, 2010, p. 316). De acordo com Eastman et al. (1998), os critérios podem ser de dois tipos: fatores e restrições. O tipo fator é um critério que melhora ou piora uma alternativa específica associada ao problema-alvo em questão, devendo ser medido em uma escala contínua. O tipo restrição é um critério que limita as alternativas consideradas e geralmente pode atuar por exclusão.

A AMC busca solucionar problemas existentes no planejamento ambiental e exige três tipos de dados, conforme descrito abaixo:

Valores de critérios, pesos e a função de busca. Os valores dos critérios representam o grau com que uma alternativa se relaciona a um certo critério na avaliação multicritério. Quando se trabalha com um problema prático no SIG, uma alternativa se refere a uma solução do problema e um critério pode ser pensado como um tema de um mapa (e.g., solos, rios, estradas etc.). Existem diferentes maneiras de determinar um conjunto de valores para os critérios. A definição desses valores depende do problema em questão (MIRANDA, 2010, p. 317).

Os valores de critérios são uma unidade de medida e o método mais utilizado na transformação dos valores é mapeá-los nos intervalos real entre 0 e 1 (MIRANDA, 2010). Este tipo de procedimento pode ser denominado de normalização ou mudança de escala e/ou padronização.

A definição de peso é a atribuição de uma importância relativa ou prioridade de cada critério em relação aos outros. Definidos os pesos da AMC a próxima etapa é medir as preferências de cada critério.

Na integração dos diferentes fatores da análise multicritério, vários métodos vêm sendo utilizados, como a Booleano; o do Ponto Ideal; o da Combinação Linear

Ponderada; a da Análise de Concordância; da Média Ponderada Ordenada e da Programação por Compromisso. Zuffo (1998) comenta a utilidade do método baseado na distância, ou melhor, na noção geométrica do melhor. São aqueles que, na impossibilidade de atingir a solução ótima, procuram a solução identificada como a mais próxima da solução ideal. Considera-se como Solução de Compromisso aquela solução que, entre todas as soluções não-dominadas, possuir a menor distância da Solução Ideal. O autor coloca a seguinte consideração matemática para explicar a solução de compromisso:

A solução ideal é definida como o vetor $f(x^*) = \{f_1(x^*), f_2(x^*), \dots, f_p(x^*)\}$, em que as $f_i(x^*)$ são as soluções ótimas de cada uma das funções objetivo, soluções do problema. A solução deste tipo de método é obtida calculando-se, individualmente, as soluções ótimas de cada função objetivo.

O vetor de soluções ótimas é utilizado para saber qual seria a “Solução Ideal” para o problema proposto, calcula-se então qual a solução mais próxima da “Solução Ideal”, visto que esta última não se encontra dentro da região factível (ZUFFO, 1998, p. 55).

A aplicação da AMC pode ser vista em diversas áreas do conhecimento científico e gerencial. Na área de recursos hídricos, Zuffo (1998) propõe a incorporação de características ambientais e sociais e econômicas, comumente utilizadas em estudos de planejamento ambiental e de recursos hídricos, como critérios para aplicação dos métodos multicriteriais.

Na área de conservação e manejo florestal podem citar-se os seguintes trabalhos: Ferraz e Vettorazzi (2003) aplicaram análise multicritério e Ecologia da Paisagem para a definição de áreas prioritária à restauração; Valente (2005) empregou o método da Média Ponderada Ordenada para definir áreas de conservação, o método multicriterial utilizado em ambiente SIG foi o “processo hierárquico analítico” (AHP). Este método, conforme Saaty (1994) baseia-se na comparação par-a-par dos critérios considerados.

Na mesma linha de pesquisa Vettorazzi (2006) realizou comparações entre os métodos da Combinação Linear Ponderada e da Média Ponderada Ordenada, na geração de mapas de áreas prioritárias à restauração florestal visando à

conservação dos recursos hídricos, na Bacia do Rio Corumbataí. Francisco (2006) utilizou análise multicritério para definir áreas prioritárias à restauração florestal utilizando o método de programação por compromisso, na bacia do ribeirão das Anhumas, na região de Campinas, SP.

Diante das informações sobre AMC como uma ferramenta aplicada ao planejamento ambiental a sua utilização torna-se útil na análise espacial, principalmente na definição de áreas para a conservação dos recursos naturais, como a Área de Preservação Permanente (APP).

2.5. Clima

O clima é definido pela média das condições do tempo ao longo de um período de algumas décadas. No dia a dia, temos os sistemas de tempo que provocam a variabilidade que observamos e que afetam as atividades humanas (DIAS et al., 2009).

O clima é importante para caracterizar e ordenar as paisagens. Os ecossistemas aquáticos e terrestres estão interligados pelo movimento da água no sistema, transportando materiais orgânicos e inorgânicos através das bacias hidrográficas. O clima determina as condições hídricas de uma bacia hidrográfica, os processos hidrológicos fazem parte do ciclo hidrológico, considerado um sistema que interliga água entre grandes reservatórios, como os oceanos, rios, geleiras, lagos, vapor d'água da atmosfera, águas subterrâneas e água retida nos seres vivos. Essas condições obedecem a uma escala temporal dos fenômenos atmosféricos, com variação diária dos elementos climáticos de uma região para outra. Uma escala maior de variação das condições meteorológicas é anual, como as estações do ano, devido ao posicionamento relativo entre a Terra e o Sol.

As principais variáveis hidrológicas importantes para o manejo dos recursos hídricos e agrícolas são a precipitação (P) e a evapotranspiração (ETp). Essas duas informações são fundamentais para a contabilidade do balanço hídrico de uma região.

Através do balanço hídrico é possível realizar o manejo adequado dos recursos hídricos, principalmente do uso da água para a irrigação e acompanhar a variação

temporal e a disponibilidade de água para as culturas. Com isso é possível saber quando ocorre a maior ou menor necessidade de irrigação, e assim, realizar o uso inteligente da água.

2.5.1. Precipitação

Nas regiões tropicais, a precipitação é a forma principal pela qual a água retorna da atmosfera para a superfície terrestre após o processo de evaporação e condensação, completando, assim, o ciclo hidrológico (PEREIRA et al., 2007). A precipitação é medida como a altura de água ou lâmina que seria acumulada em superfície plana se nenhuma perda ocorresse. O aparelho utilizado para esta medida é o pluviômetro ou pluviógrafo (MARTINS; PAIVA, 2003).

A disponibilidade da precipitação em uma bacia hidrográfica durante o ano é importante na sua quantificação para a determinação da necessidade de irrigação das culturas e no atendimento dos usos múltiplos de água.

O traço climático mais marcante da região Sudeste é a distribuição espacial e temporal da precipitação, fator ambiental de maior importância da região, que influencia grandemente os aspectos físicos, biológicos e socioeconômicos (NUNES et al., 2009). Os maiores problemas em relação à precipitação surgem quando ocorrem em situações de extrema intensidade, frequência, ou quando os intervalos entre precipitação são extremos.

As precipitações não são iguais e apresentam diversas origens e características e podem ser classificadas em orográficas, convectivas e frontais.

A medição da quantidade de água é feita pela pluviometria e as grandezas que caracterizam uma precipitação são: altura pluviométrica, duração da chuva, intensidade, tempo de recorrência e frequência de probabilidade.

2.5.2. Evapotranspiração

Estima-se que, por meio da evapotranspiração, 60% a 80% do volume precipitado retornam à atmosfera, fato que lhe confere o status de agente regulador

fundamental das disponibilidades hídricas, superficiais e subterrâneas, bem como das mais diversas atividades humanas, como por exemplo, agricultura (VICTORIA, 2004).

A informação da evapotranspiração é um elemento climático importante nos estudos hidrológicos. A evaporação da água do solo e das plantas, mais a transpiração vegetal determinam a evapotranspiração, representada pela taxa de perda d'água das superfícies naturais. É considerada um dos principais componentes do balanço de água na superfície, pois a evapotranspiração é um indicativo da produção vegetal, ou seja, a quantidade de massa verde produzida pelas plantas é função direta da evapotranspiração, além de ser usada na quantificação das disponibilidades hídricas regionais e de estimativa da quantidade de água requerida pela irrigação.

O consumo de água pelas plantas é essencial para estimar a quantidade de água requerida para a irrigação. Os conhecimentos do consumo de água nas diversas etapas de desenvolvimento do vegetal permitem a administração de uma agricultura irrigada mais racional e efetiva, e de acordo com a exigência de cada cultura.

A evapotranspiração pode ser expressa em valores totais, médios ou diários, em volume por unidade de área ou em lâmina de água, no período considerado. Para que esse processo ocorra é importante a quantidade de energia solar que chega a superfície terrestre, pois o processo de evapotranspiração tem gasto de energia.

Várias são as equações, métodos e modelos para a determinação da estimativa da evapotranspiração. Existem dois métodos para a estimativa: o direto e o indireto. O método direto é determinado através da estimativa da evapotranspiração potencial diretamente de lisímetros, balanço hídrico e controle de umidade no solo.

Os métodos empíricos podem ser determinados através de estimativas e utilizam equações, apesar do seu caráter empírico tem precisão variável. Nesses modelos estimam a evapotranspiração em função da evapotranspiração de referencia (ET_o) e do coeficiente da cultura (k_c). O método de Thorntwaite e o método de Blaney-Criddle utilizam equações com base na temperatura do ar e outros modelos que utilizam balanço de radiação na superfície terrestre, como o método de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998).

Após rigorosas verificações do método, Allen et al. (1998) verificaram que o método de estimativa Penman-Montheith modificado pela FAO, é o que apresentava a melhor estimativa nos diferentes tipos de climas testados, sendo por esse motivo recomendado como método indireto padrão para a estimativa da evapotranspiração de referencia.

2.5.3. Balanço hídrico

O Balanço Hídrico é considerado um instrumento de análise do estudo do comportamento espacial e temporal da distribuição de água nas bacias hidrográficas. E através deste estudo é possível o diagnóstico das condições hídricas ao longo do ano, auxiliando na gestão dos recursos hídricos de uma região. A agricultura irrigada necessita deste estudo para realizar um manejo adequado e fornecer água ao vegetal com base nas informações do balanço hídrico de uma região, desta maneira usando a água de forma eficiente e inteligente.

O balanço hídrico é a contabilização da água do solo, resultante da aplicação do Princípio de Conservação de Massa num volume de solo vegetado (PEREIRA et al, 2007).

Na modelagem do balanço hídrico considera-se a conservação da massa e a troca de energia entre os sistemas, quantificando-se geralmente a precipitação, evapotranspiração, escoamento superficial e o subterrâneo.

O Balanço hídrico da região noroeste paulista, no município de Marinópolis foi desenvolvido por Santos, Hernandez e Rosetti (2010) que utilizou informações de 1999 a 2009. Para a determinação, foram utilizados dados históricos de precipitação média mensal (P) e evapotranspiração de referência (ETP) estimada pela equação de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998) através de *Datalogger* CR 23 com os seguintes sensores: Campbell 03001 Sensor de Vento, *Campbell* HFT-3 Sensor de Fluxo de Calor do solo, *Campbell* LI-COR200SZ Piranômetro, *Campbell* Q-7.1 Net Radiômetro, *Campbell* CSI Model CS700-L Rain Gage) e *Campbell* HMP45C Temperatura e Umidade Relativa e tempo de varredura de 10 segundos.

De acordo com Santos, Hernandez e Rosetti (2010) o balanço hídrico da região de Marinópolis, obteve valores de precipitação média anual de 1.111 mm e

evapotranspiração potencial de 1.421 mm ao ano. Considerando uma Capacidade de Água Disponível (CAD) de 40 mm o balanço hídrico resultou em oito meses de deficiência hídrica no solo (abril a novembro) com total acumulado de 490 mm e o excedente ocorreu nos meses de dezembro a março com 179 mm, concluindo-se que haveria risco elevado com o cultivo sem o uso de sistemas de irrigação e que devem ser projetados para atender uma demanda entre 3,9 e 4,6 mm.dia⁻¹.

2.6. Temas ambientais na bacia hidrográfica

2.6.1. Solos

O solo é um tema de grande importância para o planejamento ambiental e conforme o manejo adotado no seu uso e ocupação pode interferir na qualidade de disponibilidade dos recursos hídricos. Práticas inadequadas na conservação do solo resultam em sua perda e assoreamento dos corpos d'água. Em área rural, esses fenômenos estão muito ligados à agricultura, reconhecida por alterar substancialmente o meio, gerando impactos severos e rompendo o equilíbrio natural (SANTOS, 2004, p.81).

A caracterização do solo no Brasil pode ser obtida através de órgão oficiais que disponibilizam aos usuários, em forma de mapas, as informações pedológicas predominantes de cada região. Geralmente os mapas são fornecidos em diferentes escala, entre 1: 50.000 e 1:1.000.000 e mapas síntese com escala de 1: 250.000 a 1:1.000.000 (SANTOS, 2004).

A erosão apresenta uma complexidade peculiar aos fenômenos naturais, uma vez que depende diretamente dos fatores ligados às características dos solos, à intensidade das chuvas e à presença de cobertura vegetal (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1999).

O processo erosivo é dependente das variáveis ambientais existentes no meio, como os tipos de solos (erodibilidade), a ocorrência de chuvas (erosividade), a topografia do terreno (declividades e comprimento de encostas), e fatores de uso e ocupação da terra.

Para estimar a erosão existem diversos métodos e o mais utilizado é a Equação Universal da Perda de Solos (EUPS). Através desta metodologia é possível avaliar qualitativamente o potencial de erosão laminar e classificar as áreas susceptíveis a esse processo erosivo para auxiliar no planejamento ambiental.

A formulação da EUPS é uma das mais aceitas e utilizadas para predição de perdas do solo por erosão laminar sendo definida pela seguinte equação:

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad (1)$$

Onde, Onde “A” é a perda de solo, em ton/ha/ano; “R” é o fator erosividade da chuva, em MJ.mm/(ha.h); “K” é o fator erodibilidade do solo, em ton. ha.h. / ha.(MJ.mm); “L” é o fator comprimento de rampa (adimensional); “S” é o fator declividade, baseado em % de declividade; “C” é o fator uso e manejo do solo (adimensional) e “P” é o fator prática conservacionista.

Essas informações sobre as características dos solos na microbacia podem estar relacionados com as alterações qualitativas e quantitativas da água superficial, o que poderá influenciar no planejamento hídrico da microbacia.

2.6.2. Vegetação

A cobertura vegetal quando presente tem a função de reduzir o impacto da chuva no solo. Inicialmente a água da chuva atinge a copa das árvores, escorre pelos troncos ou pelas folhas e alcança o solo da mata, diminuindo a velocidade de escoamento da água das chuvas. Parte desta água é absorvida pelo vegetal, fazendo parte de seu metabolismo para a produção de energia fotossintética e em seguida a água é liberada pelas folhas através do processo de respiração e transpiração, retornando à atmosfera. Outra parcela da água é absorvida pelo solo e pode atingir o lençol freático. Um fator que favorece a infiltração de água no solo é a serapilheira - restos vegetais depositados no solo que funciona como uma esponja, retendo água e sendo liberada gradativamente ao longo do ano, abastecendo os rios e o lençol freático.

Além da absorção da água pelas matas, possui outra função que é de reter os sedimentos e nutrientes carregados pela água das chuvas. Estudos que avaliam a erosão do solo em margens de rios sugerem que larguras mínimas de 52 m ao lado de corpos d'água sejam mantidas para retenção de >50% do total de sedimentos nas margens (SPAROVEK et al., 2002).

A vegetação pode mudar abruptamente, em curtos períodos de tempo e dentro de pequenas distâncias (SANTOS, 2004). Uma maneira de quantificar as áreas de fragmentos florestais e as matas ciliares é através do mapeamento, auxiliado por meio do SIG que permite a quantificação e o armazenamento das informações. Uma das técnicas utilizadas para a determinação da Área de Preservação Permanente (APP) é a proximidade, um tipo de funções de vizinhança e que é uma medida de distância entre elementos (MIRANDA, 2010). Uma função de proximidade muito usada em SIG é o corredor ou zona de contenção - *buffer zone*.

A mata ciliar é uma formação florestal existente ao longo das redes de drenagem e estão sujeitos a inundações periódicas. Rodrigues et al. (2000) denomina a mata ciliar como Floresta Estacional Semidecidual Ribeirinha com influência fluvial sazonal.

As matas ciliares funcionam como corredores ecológicos de ligação entre os fragmentos florestais, conectando determinadas populações de animais e vegetais. Assim favorecendo a conservação da biodiversidade e do patrimônio genético da flora e fauna.

Legalmente as matas ciliares estão amparadas pela Lei Federal n 4771/65 e modificado por Medidas Provisórias. Recentemente há uma discussão sobre a proposta do novo código florestal (Projeto de Lei nº 1876/99) com mudanças na Legislação que poderão afetar a qualidade ambiental do Brasil, pois o Projeto de Lei foi criado sem embasamento técnico e científico.

Em relação as Áreas de Preservação Permanentes (APP) nas proximidades de cursos d'água vigora 30 metros de cada lado do rio, em rios com menos de 10 metros de largura; nas nascentes devem apresentar no mínimo 50 metros (BRASIL, 2002). A medida deve ser a partir do nível mais alto alcançado pela água por ocasião da cheia sazonal, situação típica dos rios tropicais.

Essa largura não é suficiente para manter a conectividade entres os fragmentos existentes na paisagem, devido principalmente ao efeito de borda e redução de hábitat (GALETTI et al., 2010).

A presença das matas ciliares traz benefícios ambientais e não impedem o desenvolvimento econômico. Segundo análise de dados censitários o Brasil apresenta áreas suficientemente extensas para atender a produção agrícola do país, o que ocorrem na realidade são outros fatores como:

A enorme desigualdade na distribuição de terras, a restrição de crédito agrícola ao agricultor que produz alimentos de consumo direto, a falta de assistência técnica que o ajude a aumentar a sua produtividade, a falta de investimentos em infraestrutura para armazenamento e escoamento da produção agrícola, as restrições de financiamento e priorização do desenvolvimento e tecnologia que permita um aumento expressivo na lotação de nossas pastagens, estudos de análise (MARTINELLI et al. , 2010, p.323).

A restauração florestal tem como finalidade retornar uma área degradada da paisagem e uma condição melhor e mais próxima de uma condição original, dentro dos aspectos estrutural e funcional do ecossistema (CRESTANA et al., 2006). A APP pode ser recomposta e para o Estado de São Paulo, a Resolução SMA N° 08 de 31/12/2008 dá orientação para a recuperação florestal de áreas degradadas em áreas rurais, ou urbanas, ou urbanas com uso rural.

2.6.3. Análise da fragilidade ambiental

O mapa de fragilidade ambiental é uma das ferramentas utilizadas no planejamento ambiental. Através deste plano de informação é possível avaliar o ambiente de forma integrada e analisar cada componente do sistema. Ross (1994) argumenta que o ambiente é analisado de acordo com a Teoria dos Sistemas e que se fundamenta nas trocas de energia e matéria, e processam em equilíbrio dinâmico.

Esse equilíbrio pode ser quebrado quando intervenções humanas atuam sobre o ambiente, gerando desequilíbrio no sistema que podem ser temporários e/ou permanentes. Diante destas informações teóricas, Ross (1994) propõe uma hierarquia nominal de fragilidade representada por códigos: muito fraca (1), fraca (2),

média (3), forte (4) e muito forte (5). Estas categorias expressam especialmente a fragilidade do ambiente em relação aos processos ocasionados pelo escoamento superficial difuso e concentrado das águas pluviais.

Para gerar a carta de fragilidade ambiental foi usado o método adaptado de Ross (1990) que é baseada no conceito de ecodinâmica de Tricart (1977), que estabelece a avaliação de paisagens em unidades estáveis, instabilidade emergente ou instabilidade potencial, que podem ser representados por meio cartográfico através da carta de fragilidade ou vulnerabilidade ambiental.

O conceito de fragilidade pode ser definido como à vulnerabilidade do ambiente em sofrer qualquer tipo de impacto e está relacionada com fatores de desequilíbrio de ordem natural e antropogênica (TAMANINI, 2008).

O princípio das Unidades Ecodinâmica proposto por Tricart (1977) tem como objetivo o manejo adequado dos recursos ambientais e identificando os impactos antrópicos (CARDOSO, 2003). Nessa metodologia são eleitos para a análise da estabilidade morfodinâmica da paisagem os níveis categóricos, como a Estrutura Superficial da Paisagem, o Uso do Solo, a Vegetação e os Processos Superficiais da Paisagem, passíveis de observação e classificação qualitativa. De acordo com Ross (1994), dentro desta concepção ecológica o ambiente é analisado sob o prisma da Teoria do Sistema que parte do pressuposto que na natureza as trocas de energia e matéria se processam através de relações em equilíbrio dinâmico. Esse equilíbrio, entretanto, é frequentemente alterado pelas intervenções humanas, gerando estados de desequilíbrios temporários ou até permanentes.

O estudo da Fragilidade Ambiental é o resultado da análise espacial de dois tipos de mapas identificados como Fragilidade Emergente e Fragilidade Potencial. Para a construção do mapa de Fragilidade Potencial usam-se os temas físicos como solos, clima e geomorfologia; o mapa de Fragilidade Emergente é feito a partir da sobreposição de dois mapas - Fragilidade Potencial e uso e ocupação do solo. A fragilidade emergente além de considerar as características físicas, contempla também, os graus de proteção dos diferentes tipos de uso e cobertura vegetal sobre o ambiente.

O mapa de solos fornece as informações sobre tipos e características pedológicas e a importância do conhecimento da erodibilidade do solo na área de estudo. O mapa de declividade possui relação direta com a transformação de energia potencial em energia cinética, esse fator vai interferir na velocidade da água

na superfície. Outro fator envolvido é o clima que interfere no solo acelerando o processo erosivo cuja ação é dependente da intensidade e distribuição sazonal da chuva.

Vale ressaltar que a fragilidade ambiental está ligada a fatores de desequilíbrio, tanto de ordem natural (declividade, erodibilidade, variações climáticas), quanto sociais (técnicas inadequado no manejo do solo) (VITTAE; MELLO, 2009).

2.6.4. Recursos Hídricos

2.6.4.1. Hidrografia e análise morfométrica

A caracterização morfométrica de uma bacia hidrográfica é um dos primeiros procedimentos para o entendimento e compreensão dos processos hidrológicos e tem como objetivo elucidar as várias questões relacionadas como o entendimento da dinâmica ambiental local e regional (TEODORO et al., 2007). Desta maneira, as características geomorfológicas (relevo, forma, rede de drenagem, área, geologia, solo, etc.) o tipo de uso e ocupação, os componentes bióticos da bacia são importantes para o funcionamento do ciclo hidrológico.

A bacia hidrográfica é uma unidade geomorfológica fundamental, que expressa processo que opera no ambiente por meio de suas formas e a mesma define a área de captação do escoamento superficial que alimenta um sistema aquático (CALIJURI; BUBEL, 2006). Segundo Tonello et al. (2006) a área da bacia hidrográfica tem influência sobre a quantidade de água produzida como deflúvio. Outras características como a forma e o relevo atuam sobre a taxa ou sobre o regime dessa produção de água.

Para o estudo das características físicas de uma bacia hidrográfica são analisados os dados morfométricos através dos seguintes parâmetros quantitativos: área e perímetro, coeficiente de compacidade, índice de circularidade e fator de forma da bacia; características do relevo (declividade, altitude, amplitude altimétrica) e características da rede de drenagem (ordem dos cursos d'água, índice de sinuosidade e densidade de drenagem), dentre outros (TONELLO et al., 2006; TEODORO et al., 2007; NETO et al., 2008).

Através dos dados morfométricos de uma bacia hidrográfica são obtidas informações que auxiliarão na compreensão nos estudos hidrológicos e no entendimento dos impactos. Christofolletti (1980) relata que as análises morfométricas relacionadas à drenagem ao relevo e à geologia podem levar à elucidação e compreensão de diversas questões associadas à dinâmica ambiental local. O mesmo autor ressalta que os índices determinados na análise morfométrica, isoladamente, não são capazes de simplificar a complexa dinâmica de uma bacia hidrográfica, que tem forte variação temporal.

Diversos trabalhos sobre análises morfométricas de bacias hidrográficas utilizam o uso do SIG como ferramenta de apoio e agilidade nos resultados.

2.6.4.2. Disponibilidade e medição hídrica para a irrigação

A água é uma necessidade fisiológica para todo ser vivo e do ponto de vista ecológico e agrônômico é um fator limitante, principalmente em ambientes terrestres que passam por estiagens prolongadas e/ou períodos de déficits hídricos acentuados. Um exemplo é a eficiência de transpiração, que é a razão entre o crescimento vegetal (produção líquida) e a água transpirada, geralmente expressa em termos de grama de matéria seca produzida por 1.000 gramas de água transpirada (ODUM, 1998, p.161). A maioria das espécies de interesse agrícola, apresenta uma eficiência de transpiração de dois ou menos, ou seja, 500 gramas ou mais de água perdem-se para cada grama de matéria seca produzida (NORMAN apud ODUM, 1998, p.161). As características fisiológicas dos vegetais e a necessidade de produzir alimentos levaram ao uso de tecnologias como a irrigação para aumentar a eficiência e a produtividade agrícola. Por exemplo, a cultura da videira na região do Vale do São Francisco, necessita de um consumo médio de $12.750 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (TELLES; DOMINGUES, 2006).

O consumo inadequado da água, com aumento da demanda na irrigação, na indústria e no padrão de vida em vários países, traz um cenário quantitativo de que o número de países com escassez de água passará de 31 para 48 nos próximos trinta anos (GLEICK apud TUNDISI et al., 2006, p. 741). Entretanto, a agricultura irrigada vem acompanhando essas mudanças de comportamento em relação ao uso da

água, reduzindo a aplicação dos recursos hídricos sobre a planta, usando técnicas que melhorem a qualidade e a eficiência da irrigação.

Para instalar um sistema de irrigação devem ser levados em consideração vários fatores, entre esses pode-se destacar dois de extrema importância que são o volume e a vazão disponível. Essas duas informações são indicadores importantes para o irrigante e para o gerenciamento do uso da água em uma determinada microbacia. Na Região Hidrográfica do Paraná (MS, SP, PR e partes de MG e GO), e de acordo com o uso múltiplo da água, a irrigação utiliza apenas 24% ($116,7 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), atrás do consumo humano ($167,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) e industrial ($159,9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2007).

Christofidis apud Telles e Domingues (2006, p. 328) relatam que em 1999 a área irrigada no Estado de São Paulo era de 468.400 hectares, com demanda específica de 0,296 L/s.ha e demanda total com vazão de $138,65 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

No Estado de São Paulo a disponibilidade de recursos é bem maior que a demanda. No período de 2004 a 2006, a demanda de água na irrigação foi de $155 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, maior que o uso industrial e abastecimento público que foram de $99 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e $128 \text{ m}^3/\text{s}$, respectivamente (PLANO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS apud SÃO PAULO, 2006). Neste mesmo relatório, a relação entre a vazão mínima (disponibilidade) e as demandas, gerou um indicador que determina onde a disponibilidade é mais restrita em relação à demanda e a bacia do São José dos Dourados ficou na quarta categoria, com uma demanda de 10% a 30% da vazão mínima (SÃO PAULO, 2006, p. 33).

Freqüentemente surge à questão se existe disponibilidade de água não somente em quantidade, mas também, se a qualidade é adequada para os usos pretendidos (GASTALDINI; MENDONÇA, 2003, p. 428). Para os autores, os corpos d'água podem ser caracterizados por três principais componentes, hidrológicos, físico-químicos e biológicos.

Para conhecer disponibilidade de água é importante à medição do volume, e os métodos de vazões são diversos. De acordo com Bernardo (1995, p.141), o melhor método para cada condição dependerá do volume d'água a ser medido, das condições onde serão realizadas estas medidas e da precisão desejada.

Para a medição do volume de água em córregos pode ser utilizado o método do flutuador ou o método do molinete. Na realização do método do flutuador é importante encontrar um trecho do córrego que seja uniforme e retilíneo, e em

seguida determinar os perfis e a distância entre eles; as seções transversais devem apresentar largura e profundidade resultando na área da seção (m^2). Entre uma seção e a outra a velocidade do fluxo de água deve ser medida, com o tempo gasto pelo flutuador entre as duas seções. A equação para a determinação deste método segue abaixo:

$$Q = A.D.C/T \quad (2)$$

Onde,

Q - vazão ($m^3 s^{-1}$);

A - área da seção transversal do córrego (m^2);

D - distância usada para medir a velocidade do fluxo d'água;

C - coeficiente de correção: usar 0,8 para córrego com fundo rochoso ou arenoso; usar 0,9 para córrego com fundo lodoso;

T - tempo (s) gasto pelo objeto flutuador para atravessar a distância D.

No caso do método do molinete o fluxo de água é determinado através do equipamento que mede a velocidade da água que passa na seção transversal do córrego. As velocidades do fluxo são obtidas em uma seção (no caso de seções inferiores a 0,50 m) ou em diversas seções molhadas ao longo da largura do curso d' água, sendo a vazão total calculada por:

$$Q = v_1 \cdot S_1 + v_2 \cdot S_2 + \dots + v_n \cdot S_n \quad (3)$$

Q - vazão do curso d'água ($m^3 s^{-1}$);

v_1 - velocidade do fluxo de água na seção molhada 1 ($m s^{-1}$);

S_1 - área da seção 1 (m^2);

v_2 - velocidade do fluxo de água na seção molhada 2 ($m s^{-1}$);

S_2 - área da seção 2 (m^2);

v_n - velocidade do fluxo de água na seção molhada n ($m s^{-1}$);

S_n - área da seção n (m^2);

O método do molinete é mais preciso que o método do flutuador, segundo Almeida Junior et al. (2010) que realizou a comparação entre os dois métodos e verificou diferenças significativas nas grandezas aferidas. Observou-se uma correlação entre a velocidade aferida pelo método do flutuador e do molinete hidrométrico quando esta é inferior a $0,35 \text{ m s}^{-1}$ e a necessidade de aferição mais precisa da área da seção transversal média para o uso do método do flutuador

Outro meio de calcular o volume de água na microbacia é através da estimativa da disponibilidade hídrica que utiliza vazões mínimas de referencia e representam as menores vazões das séries. A mínima vazão em sete dias consecutivos com período de retorno de dez anos ($Q_{7,10}$), considerada a vazão mínima ecológica por garantir condições ambientais ao curso da água. Esse valor é obtido por meio da análise estatística da série histórica de medidas de vazão, considerando a média de setes dias consecutivos e tempo de recorrência (probabilidade, em anos, para que um evento ocorra novamente) de dez anos.

2.6.4.3. Qualidade de água para a irrigação

A agricultura irrigada necessita de água em quantidade e qualidade, entretanto o aspecto de qualidade e quantidade era desprezado no passado, devido à existência de água em abundância, de boa qualidade e de fácil utilização pelo irrigante. Atualmente, a qualidade da água para a irrigação é uma ferramenta importante, através dessa informação sabe-se o tipo de cultura a ser irrigada (AYERS; WESTCOT, 1991) e os problemas com o equipamento de irrigação devido à obstrução física ou química dos orifícios, principalmente em sistemas de irrigação localizada que apresentam orifícios de pequeno diâmetro e são obstruídos por partículas sólidas (silte e argila) e também por microorganismo como algas e bactérias (NAKAYAMA; BUCKS, 1986).

A qualidade da água para a irrigação está relacionada com a operação do equipamento utilizado no sistema. Pela análise da água é possível saber se a água utilizada pode danificar o sistema de irrigação ou não. Um exemplo é a corrosão e a incrustação que são prejudiciais aos equipamentos de irrigação e por esse motivo a

análise da água pode definir o material de fabricação dos equipamentos e o sistema de irrigação utilizado (TELLES; DOMINGUES, 2006, p 360).

Nakayma e Bucks (1986, p.142-143) relataram que as variáveis físicas, químicas e biológicas que estão relacionadas com risco de obstrução segundo a qualidade da água de irrigação, são: os sólidos suspensos e dissolvidos, pH, ferro total, manganês, sulfito de hidrogênio e população de bactérias.

Para a avaliação da qualidade da água para a irrigação devem ser definidos padrões e critérios das variáveis físicas, químicas e biológicas e os riscos de danos que essas interferem nos sistemas de irrigação.

2.6.4.4. Enquadramento dos corpos hídricos em classes

As Resoluções 20/86 e 357/2005 do CONAMA (BRASIL, 2005) classificam as águas em nove Classes, dividindo-as em doces, salobras e salinas, obtendo-se, assim, as possibilidades dos usos preponderantes no corpo d'água ou em um trecho dele. As cinco primeiras Classes destinam-se às águas doces, sendo que as Classes Especiais destinam-se ao abastecimento doméstico sem prévia ou com simples desinfecção e à preservação do equilíbrio natural da comunidade aquática. Para a irrigação utilizam as quatro primeiras classes, de acordo com a Tabela 2.

Os padrões de qualidade da água dessas duas Resoluções são critérios numéricos ou qualitativos para os parâmetros fundamentais à preservação do uso do corpo d'água. Para cada uma das classes corresponde uma qualidade a ser mantida no corpo d'água, que são condições e padrões de qualidade da água necessários ao atendimento dos usos preponderantes, atuais e futuros.

Tabela 1. Classe de uso para irrigação.

Classes		E	1	2	3
Irrigação	Hortaliças consumidas cruas e frutas que se desenvolvem rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de películas.				
	Hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esportes e lazer, com os quais o público possa vir ter contato direto.				
	Culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras.				

E- classe especial. Fonte: Resolução CONAMA N°357 (2005)

Para o Estado de São Paulo e de acordo com o Decreto Nº 10.755, de 22 de novembro de 1977 foi estabelecido o enquadramento dos corpos d'água receptores. A bacia do Rio São José dos Dourados é enquadrada na classificação dos Corpos de Água Pertencentes à Classe 1.

2.6.4.5. Parâmetros de qualidade de água utilizados na irrigação

Para a região noroeste do Estado de São Paulo alguns parâmetros são importantes na avaliação da qualidade de água para a irrigação. Nas sequências são apresentados os parâmetros físicos, químicos e biológicos aplicados na avaliação da qualidade.

2.6.4.5.1. Sólidos totais

Segundo Gastaldini e Mendonça (2003, p. 433) o termo “sólidos” é amplamente usado para a maioria dos compostos presentes em água e que permanecem em estado sólido após evaporação. Os sólidos suspensos e dissolvidos correspondem aos resíduos filtráveis e não filtráveis, respectivamente. Em saneamento, sólidos nas águas correspondem a toda matéria que permanece como resíduo após evaporação, secagem ou calcinação da amostra durante um tempo fixado (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2005).

Os sólidos suspensos (areia, silte, microorganismos, restos de animais e vegetais) com diâmetro superior a 10 μm , em altas concentrações constituem-se em um dos principais problemas, pois podem ocasionar obstrução dos orifícios em sistema de irrigação localizada (NAKAYAMA; BUCKS, 1986). Segundo Nakayama e Bucks (1986, p. 142-143) quando a água de irrigação apresenta valores acima de 50 mg L^{-1} de sólidos suspensos e 500 mg L^{-1} de sólidos dissolvidos, pode ocorrer danos moderado ao sistema de irrigação localizada, com o entupimento de emissores. Outro problema são os sólidos dissolvidos que apresentam sais minerais, sendo que seu excesso na água de irrigação pode provocar a salinização do solo, dificultando

e/ou impedindo a planta de absorver a água pelas as raízes (AYERS; WESTCOT, 1991, p. 3).

2.6.4.5.2. Turbidez

O tipo e concentração de matéria em suspensão (silte, argila, partículas finas de matéria orgânica e inorgânica, compostos orgânicos solúveis, plâncton, e outros organismos microscópios) controlam a turbidez e a transparência da água (GASTALDINI; MENDONÇA, 2003). Esses autores comentam que a turbidez resulta do espalhamento e absorção da luz incidente por partículas, enquanto que a transparência é o limite de visibilidade na água.

Nos sistemas aquáticos tropicais, a Turbidez dos corpos d'água é particularmente elevada em regiões com solos erodíveis, onde a precipitação pode carrear partículas de argila, silte, areia, fragmentos de rochas e óxidos metálicos do solo. Os rios brasileiros são naturalmente turvos em decorrência das características geológicas das bacias de drenagem, de altos índices pluviométricos e do uso de práticas agrícolas inadequadas (LIBÂNIO, 2005, p.23).

Os valores de turbidez vão de 0 a 1000 unidades nefelométricas (NTU), os valores baixos indicam poucas partículas suspensa na água e o contrário o aumento nos valores de turbidez que indicam a concentração de matérias em suspensão. A turbidez para a irrigação é um indicativo que determina a presença de sedimentos em suspensão na água, que em excesso pode obstruir o sistema de irrigação e para os ambientes aquáticos os altos valores de turbidez reduzem a taxa fotossintética e a quebra da estabilidade ambiental. Segundo Resolução do CONAMA de Nº 357/2005 (BRASIL, 2005), o valor de turbidez permitido para a Classe 1 é de 40 unidades nefelométricas de turbidez, para as Classes 2 e 3, não devem exceder 100 unidades nefelométricas.

2.6.4.5.3. Temperatura

A temperatura é uma variável importante no sistema aquático e vários processos químicos, físicos e biológicos são influenciados por essa variável. Com a elevação da temperatura, de 0° C a 30 °C, a viscosidade, a tensão superficial, a compressibilidade, o calor específico, a constante de ionização e o calor latente de vaporização diminuem. Outras propriedades fatores como a condutividade térmica e a pressão de vapor aumentam as solubilidades com o aumento da temperatura (ESTEVES, 1998).

Os organismos aquáticos, com a elevação da temperatura aceleram a maioria dos processos metabólicos sendo que a taxa de consumo de oxigênio frequentemente aumenta de modo constante e regular com a elevação da temperatura. Em geral, uma elevação de 10°C na temperatura provoca um aumento de 2 a 3 vezes na taxa de consumo de oxigênio e na decomposição de matéria orgânica.

2.6.4.5.4. Potencial hidrogeniônico

O pH influencia muitos processos biológicos e químicos nos corpos d'água (ESTEVES, 1998). O pH é uma função da proporção entre íons de H^+ e os íons de OH^- em solução, e regula numerosos processos fisiológicos que envolvem animais e vegetais e reações físico-químicas do ambiente. As águas naturais de superfície apresentam pH variando de 6,0 a 8,5, este intervalo de pH é o ideal à manutenção da vida aquática (LIBÂNIO, 2005, p. 30).

A Resolução do CONAMA Nº 357/2005, fixa o valor de pH para proteção à vida aquática, na faixa entre 6 e 9. Para a irrigação os valores de pH estão entre baixo (< 7,0), médio (7,0-8,0) e alto (> 8,0) (NAKAYAMA; BUCKS, 1986).

2.6.4.5.5. Condutividade elétrica

A condutividade elétrica determina a capacidade da água de conduzir a corrente elétrica. Quanto maior a concentração iônica de uma solução, maior será a condutividade elétrica, situação contrária com baixa concentração de íons ocorre

menor condutividade elétrica e o contrário maior será a resistência (ESTEVES, 1998). Os íons originam-se da dissolução ou intemperização das rochas e solos, incluindo a dissolução lenta do calcário, do gesso e de outros minerais (AYERS; WESTCOT, 1991). Em ambientes que estão impactados a condutividade elétrica apresenta valores superiores a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (COMPANHIA TECNOLÓGICA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 2005), podendo atingir valores de 1000 $\mu\text{S cm}^{-1}$ em corpos d'água receptores de levadas cargas de efluentes domésticos e industriais (LIBÂNIO, 2005, p. 33).

Para a irrigação, o principal problema do excesso de sais na água é que após a deposição dos íons no solo e com a evaporação da água se tem o acúmulo dos íons, podendo resultar em salinização do solo (AYERS; WESTCOT, 1991).

2.6.4.5.6. Oxigênio Dissolvido

A concentração de oxigênio dissolvido é um parâmetro importante para expressar a qualidade de um ambiente aquático e sua redução pode ocorrer por razões naturais principalmente pela respiração dos organismos presentes no ambiente aquático, mas também por perdas para a atmosfera, mineralização da matéria orgânica e oxidação de íons (LIBÂNIO, 2005, p.34).

É uma variável química importante para as condições ambientais, embora não seja um parâmetro utilizado na caracterização da qualidade de água para irrigação. Através da medição da concentração de oxigênio dissolvido, detecta-se os efeitos de resíduos oxidáveis sobre águas receptoras e a eficiência do tratamento dos esgotos durante a oxidação bioquímica (COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL, 2005). A Resolução do CONAMA de Nº 357/2005 (BRASIL, 2005) determina que em qualquer amostra coletada, os valores de oxigênio dissolvido para as águas de Classe 1, 2 e 3, não podem ser inferiores a 6, 5 e 4 mg L^{-1} , respectivamente.

2.6.4.5.7. Ferro total

O ferro é um macronutriente e tem a sua origem na dissolução de compostos de rochas e solos, sendo um elemento abundante e encontrado nas águas naturais, superficiais e subterrâneas (ESTEVEES, 1998). Apresentando-se nas formas insolúvel (Fe^{+3}) e dissolvida (Fe^{+2}), a forma dissolvida ocorre onde existe baixa concentração de oxigênio dissolvido (LIBÂNIO, 2005, p. 39). A concentração de ferro no meio aquático depende de vários fatores ambientais, sendo o pH, a temperatura e o potencial redox os mais importantes (ESTEVEES, 1998).

O ferro constitui nutrientes para algumas espécies de bactérias, principalmente do gênero *Crenotrix* e *Gallionella* que podem crescer no interior das redes de distribuição também conferindo cor, odor e sabor à água, além de possibilidade de incrustações (LIBÂNIO, 2005, p.39). Nakayama e Bucks (1986, p. 146) também evidenciaram no sistema de irrigação a precipitação do ferro ocasionado pela presença de bactérias dos gêneros *Gallionella*, *Leptothrix*, *Crenothrix* e *Sphaerotilus*

Devido às características geopedológicas ricas em sesquióxidos de ferro, e com a falta de conservação dos solos, processos erosivos acentuados e assoreamento dos mananciais tendem a aumentar a concentração deste elemento nos corpos d'água.

Atualmente o ferro é um dos principais problemas na água de irrigação devido à capacidade de obstruir fisicamente as tubulações e emissores dos sistemas de irrigação localizada. Segundo Hernandez et al. (2001) após a oxidação, de Fe^{+2} para Fe^{+3} , o ferro fica retido nas paredes do tubo, ocasionando o aumento nas perdas de cargas e comprometendo o sistema de irrigação.

Nakayama e Bucks (1986, p. 143) relatam que ferro total em concentrações superiores a $0,2 \text{ mg L}^{-1}$ na água de irrigação pode resultar em precipitação e obstrução de tubulações e emissores, ocasionando danos moderados ao sistema. A remoção de ferro pode ser realizada por aeração, favorecendo a oxidação à forma insolúvel (LIBÂNIO, 2005, p.39). Para a remoção essa aeração deve ocorrer antes de entrar no sistema de irrigação.

2.6.4.5.8. Dureza total

A dureza indica a presença de certos cátions, como os íons Ca^{+2} e Mg^{+2} e a maior parte do cálcio entra na água através de CaCO_3 , na forma de calcário, ou por meio de depósitos minerais de CaSO_4 . Já a fonte de entrada do magnésio é o calcário “dolomítico”, $\text{CaMg}(\text{CO}_3)$ (BAIRD, 2002, p. 476). A dureza tem origem natural pela dissolução de rochas cálcneas, sendo expressa em mg L^{-1} de equivalente de carbonato de cálcio (CaCO_3). A dureza devido ao carbonato é sensível ao calor, precipitando o carbonato devido ao aumento significativo de temperatura, podendo provocar incrustações nas tubulações de água quente, caldeiras e aquecedores (LIBÂNIO, 2005, p.31).

O cálcio é um cátion (Ca^{+2}) presente na água e é essencial para o crescimento de algas, macrófitas aquáticas e muitos animais, em especial moluscos (ESTEVES, 1998). Para a irrigação esse cátion associa-se ao magnésio (Mg^{+2}) e esses dois sais solúveis geralmente determinam a dureza da água, embora possam ocorrer outros cátions.

O magnésio (Mg^{+2}) para o ambiente se deve a sua participação na formação da molécula de clorofila (ESTEVES, 1998). Associado ao cálcio determina a dureza da água e a origem natural desses dois elementos ocorre através da dissolução de minerais, solos e rochas (ALLAN, 1995; ESTEVES, 1998).

Em corpos d'água de reduzida dureza, como é o caso da maioria dos mananciais superficiais, a biota do meio aquático é mais sensível à presença de substâncias tóxicas, já que a toxicidade é inversamente proporcional ao grau de dureza da água (LIBÂNIO, 2005, p.33).

A dureza é uma variável importante para qualidade de água para irrigação. Segundo Nakayama e Bucks (1986) a precipitação dos carbonatos de cálcio e magnésio pode ocorrer se a dureza for elevada e valores de pH acima de 7,5. Para Ayre e Westcot (1991) os valores ideais de cálcio e magnésio na água de irrigação, devem ser de 400 mg L^{-1} de Ca^{+2} e 60 mg L^{-1} de Mg^{+2} .

2.6.4.5.9. Coliformes

As bactérias do grupo coliformes são indicadoras de contaminação fecal, restritas ao trato intestinal de animais homeotérmicos, ou seja, animais de sangue

quente, como aves e mamíferos. A determinação da concentração dos coliformes fecais e totais assume importância como parâmetro indicador da possibilidade da existência de bactérias patogênicas, responsáveis pela transmissão de doenças de veiculação hídrica, como febre tifóide, desintéria bacilar e cólera (COMPANHIA TECNOLÓGICA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 2005).

O uso de coliforme como indicador de possíveis presenças de seres patogênicos de veiculação hídrica que possam estar associados às fezes é de fácil identificação e contagem em laboratório com poucos recursos. Ao contrário de um método analítico em que se procura identificar e quantificar cada um das espécies patogênicas presentes, o “teste de coliformes” procura apenas evidenciar quantitativamente a presença de certos microorganismos que, sendo de origem intestinal, atestam a presença de fezes na água (BRANCO et al., 2006, p. 247).

Esse grupo de coliformes totais são bactérias aeróbias ou anaeróbias capazes de fermentar a lactose de 24 a 48 horas à temperatura de 35 a 37°C (LIBÂNIO, 2005, p.44).

A Resolução CONAMA de Nº20/86 determina o número de coliformes fecais e totais, de acordo com classe de uso. A Classe 2 permite o número de 5.000 coliformes totais em 100 mL de amostra e de coliformes fecais um número de 1.000 coliformes em 100 mL de amostra. Para se tornar inapta de uso, os limites devem ser excedidos em 80% ou mais de pelo menos 5 amostras mensais, colhidas em qualquer mês.

2.6.4.6. Índice de qualidade de água (IQA)

A qualidade de água é resultante dos inúmeros processos que ocorrem na bacia de drenagem de uma região, e os parâmetros físicos, químicos e biológicos analisados estão relacionados diretamente com o uso e ocupação do solo, permitindo, muitas vezes, diagnosticar possíveis causas dos impactos ambientais sobre os recursos hídricos. Pensando nesta possibilidade adotou-se o IQA para testar o efeito do uso e ocupação nos recursos hídricos.

O IQA foi desenvolvido pela *National Sanitation Foundation*, dos Estados Unidos, através de pesquisa de opinião junto a vários especialistas da área

ambiental, quando foram selecionados os parâmetros relevantes para avaliar a qualidade das águas e estipulados, para cada um deles, um peso relativo na série de parâmetros especificados (COMPANHIA TECNOLÓGICA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 2004).

O IQA é um índice de qualidade de água muito utilizado pelos órgãos de gestão dos recursos hídricos no Brasil, como ferramenta para avaliar a qualidade de água superficial de um determinado ecossistema aquático. O cálculo deste índice utiliza nove parâmetros e é calculado através do produtório ponderado das qualidades de água e corresponde aos seguintes parâmetros: temperatura da amostra, pH, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, coliformes fecais, nitrogênio total, fósforo total, resíduo total e turbidez. Cada parâmetro avaliado tem um peso específico e esse valor fixado é em função do nível de significância na avaliação da qualidade de água.

Na Tabela 2 estão os parâmetros utilizados no cálculo do IQA e seus respectivos pesos.

Tabela 2. Parâmetros de IQA.

Parâmetros	Peso - w
Oxigênio dissolvido - OD (% OD Sat.)	0,17
Coliformes fecais (NMP 100 ⁻¹ mL ⁻¹)	0,15
pH	0,12
Demanda bioquímica de oxigênio - DBO mg L ⁻¹	0,10
Nitrogênio Total (mg L ⁻¹)	0,10
Fósforo total (mg L ⁻¹)	0,10
Variação de temperatura	0,10
Turbidez (NTU)	0,08
Sólidos totais (mg L ⁻¹)	0,08

Fonte: Franco (2012)

Segundo a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (2004), o Índice de Qualidade de Água (IQA) é calculado pelo somatório do produto ponderado (w_i) da qualidade de água correspondente aos parâmetros: temperatura da água, pH, oxigênio dissolvido, DBO₅, coliformes, nitrogênio total, fósforo total, sólidos totais e turbidez. Pode ser obtido através da equação 1.

$$IQA = \prod_{i=1}^9 q_i^{w_i} \quad (4)$$

Onde o IQA é o Índice de qualidade da água (valores entre 0 e 100); q_i é a qualidade dos parâmetros i obtidos através de uma curva média específica de qualidade e w_i o peso atribuído ao parâmetro em função da sua importância na qualidade, entre 0 e 100., conforme a Tabela 3.

Tabela 3 - Nível de qualidade de água.

Nível de qualidade	Faixa
Excelente	$90 < IQA \leq 100$
Bom	$70 < IQA \leq 90$
Médio	$50 < IQA \leq 70$
Ruim	$25 < IQA \leq 50$
Muito ruim	$0 < IQA \leq 25$

Fonte: Franco (2012)

O Índice de Qualidade de Água é um facilitador na interpretação geral das condições de qualidade das águas superficiais. Através do índice indica o grau de contaminação das águas em função dos materiais orgânicos e fecais, dos nutrientes e sólidos totais, que normalmente são indicadores de poluição. A partir do IQA é possível avaliar as condições de qualidade de um determinado corpo d'água:

- Ótima (80 a 100): são águas encontradas em rios que se mantêm em condições naturais, não recebem despejos de efluentes não sofrem processos de degradação, excelente para manutenção da biologia aquática, abastecimento público e produção de alimentos.

- Boa (52 a 79): são águas encontradas em rios que se mantêm em condições naturais, embora possam receber, em alguns pontos, pequenas ações de degradação, mas que não comprometem a qualidade para a manutenção da biologia aquática, abastecimento público e produção de alimentos.

- Aceitável (37 a 51): são águas encontradas em rios que sofrem grandes interferências e degradação, mas ainda podem ser utilizadas tanto para abastecimento público após tratamentos físico-químicos e biológicos, como para a manutenção da biologia aquática e produção de alimentos.

- Ruim (20 a 36): são águas encontradas em rios que sofrem grandes interferências e degradação, comprometendo a qualidade, servindo a mesma apenas para navegação e geração de energia.
- Péssima (0 a 19): são águas encontradas em rios que sofrem graves interferências e degradação, comprometendo a qualidade, servindo apenas para navegação e geração de energia.

2.6.4.7. Transporte de sedimentos em rios

Associado ao ciclo hidrológico e aos processos sedimentológicos, os rios transportam sedimentos por escorregamentos e movimentos do regolito, e erodem as rochas do embasamento sobre o qual eles correm (SIMÕES; COIADO, 2003, p. 286). O conhecimento da quantidade de sedimentos transportados pelos rios é de fundamental importância para o planejamento e aproveitamento dos recursos hídricos de uma região (PAIVA, 2003, p. 313). O mesmo autor salienta que os danos causados pelos sedimentos dependem da quantidade e da natureza dos sedimentos, as quais por sua vez dependem dos processos de erosão transporte e deposição de sedimentos.

A natureza dos sedimentos em suspensão na água depende de fatores como: cobertura vegetal, geologia, solo, relevo, área da bacia, clima e velocidade de escoamento (FERRAZ, 2006, p. 159).

Para quantificar existem diversos métodos de cálculo de transporte de sedimentos em rios na literatura e Paiva (2003) relata que:

Existem vários métodos para a estimativa de carga de material de fundo. Desses métodos uns estimam apenas a carga de fundo, outros a carga de sedimentos em suspensão, obtendo a soma de carga de fundo com carga em suspensão a carga total de material de fundo. Alguns métodos fazem a estimativa da quantidade de sedimentos transportados pela corrente de maneira indireta, à partir de parâmetros hidráulicos de corrente em uma seção ou trecho do rio e das características do material de fundo, enquanto outros, fazem essa estimativa à partir da medição direta da concentração de

sedimentos em suspensão, das características hidráulicas da seção ou trecho de rio e das características do material de fundo (PAIVA, 2003, p.314).

De acordo com Vanzela (2004) o método da descarga sólida total calcula à quantidade de sólidos que passa em uma determinada seção transversal de um curso de água, em um intervalo de tempo e é dividida em: descarga sólida em suspensão (partícula de pequena granulometria que são transportadas em suspensão pela ação da água); e descarga sólida do leito (partícula de maior granulometria que são transportados por arraste e saltação no leito do rio).

Para o cálculo da descarga sólida total é importante conhecer a concentração de sólidos suspensos e a vazão em uma determinada seção transversal de um trecho de rio. Em seguida utilizam-se equações que levam em considerações algumas grandezas relativas ao sedimento e ao fluxo de água (granulometria, velocidade do fluxo, profundidade do canal, etc).

Uma das equações mais utilizadas para determinar indiretamente a descarga sólida total é a equação de Colby (1957) (CARVALHO, 1994, p. 201):

$$Q_{st} = q_{sl} \cdot K \cdot L + 0,0864 \cdot C_s \cdot Q_l \quad (5)$$

sendo:

Q_{st} - descarga sólida total ($t \, d^{-1}$);

q_{sl} - $39 \cdot V^{3,36}$ - descarga sólida do leito por unidade de largura ($t \, d^{-1} \, m^{-1}$);

L - largura da seção (m);

$K = 1,18 \sqrt{\frac{C_s}{C_r}}$ - fator de correção;

C_s - concentração de sedimentos em suspensão ($mg \, L^{-1}$);

Q_l - vazão líquida ($m^3 \, s^{-1}$).

A partir dos dados de descarga sólida total e informações sobre a área de drenagem de uma determinada bacia hidrográfica é possível estimar o coeficiente chamado produção específica líquida de sedimentos dentro de um intervalo de

tempo, podendo se referir a um ano ou a valores médios de produção específica de vários anos (SILVA et al., 2003, 140 p.).

A expressão matemática para a obtenção desse parâmetro é:

$$P_s = \frac{D_s}{A} \quad (6)$$

sendo:

P_s - produção específica de sedimentos ($\text{t ano}^{-1} \text{ km}^{-2}$);

D_s - descarga sólida total (t ano^{-1});

A - área de drenagem da bacia contribuinte (km^2).

2.6.4.8. Usos múltiplos da água

Os usos múltiplos da água na microbacia do córrego do Coqueiro atendem a produção agrícola e consumo humano, com a retirada de águas superficiais através da construção de tanque de subsuperfície, construído na proximidade do manancial com a finalidade de uso para irrigação.

O Departamento de Água e Energia Elétrica - DAEE (2010) através do requerimento de outorgas classifica os usuários da água conforme descrito na Tabela 4.

Tabela 4- Tipo de uso, finalidade de uso e tipos de usuários.

Tipo de uso	Finalidade de uso	Tipo de usuário
Captação superficial	Irrigação	Irrigante
Reservação (tanques em sub-superfície)	Combate à erosão	Uso comunitário
Barramento	Regularização de Vazão (Barragem)	Público
Captação superficial	Dessedimentação animal	Uso Rural Pecuarista

Fonte: Franco (2012)

Além do uso da água para a irrigação, tem o uso para o consumo público para atender os municípios de Palmeira d'Oeste e Marinópolis, com retirada de água superficial bruta e tratamento.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Bases Cartográficas

Todas as informações da microbacia do córrego do Coqueiro estão inseridas no sistema geodésico de referência SIRGAS - Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas. O sistema de coordenadas adotado foi o UTM - Universal Transversal de Mercator.

As informações sócio-econômicas dos municípios, recursos hídricos e temas ambientais pertencentes à área de estudo estão representadas em mapas temáticos ou planos de informações (PIs). Os mapas digitais foram obtidos a partir das técnicas do geoprocessamento para a estruturação de dados espaciais em um banco de dados georreferenciados.

Os softwares de SIG e geoprocessamento utilizados no estudo foram:

- ILWIS - *Integrated Land and Water Information System* 3.3, um sistema de informação geográfica (SIG) desenvolvido pelo *Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences* (ITC), da Holanda, que possui as funções básicas de um SIG e um módulo específicos para o tratamento de dados digitais obtidos por meio das técnicas de Sensoriamento Remoto (VAN WESTEN; FARIFTEH, 1997);

- *ArcGIS*®10, que constitui um SIG; produzido pela ESRI - *Environmental Systems Research Institute*. O software *ArcGIS*®10 é um grupo de programas que possibilita realizar procedimentos para a visualização, exploração e análise de informações espaciais.

3.2. Microbacia de estudo

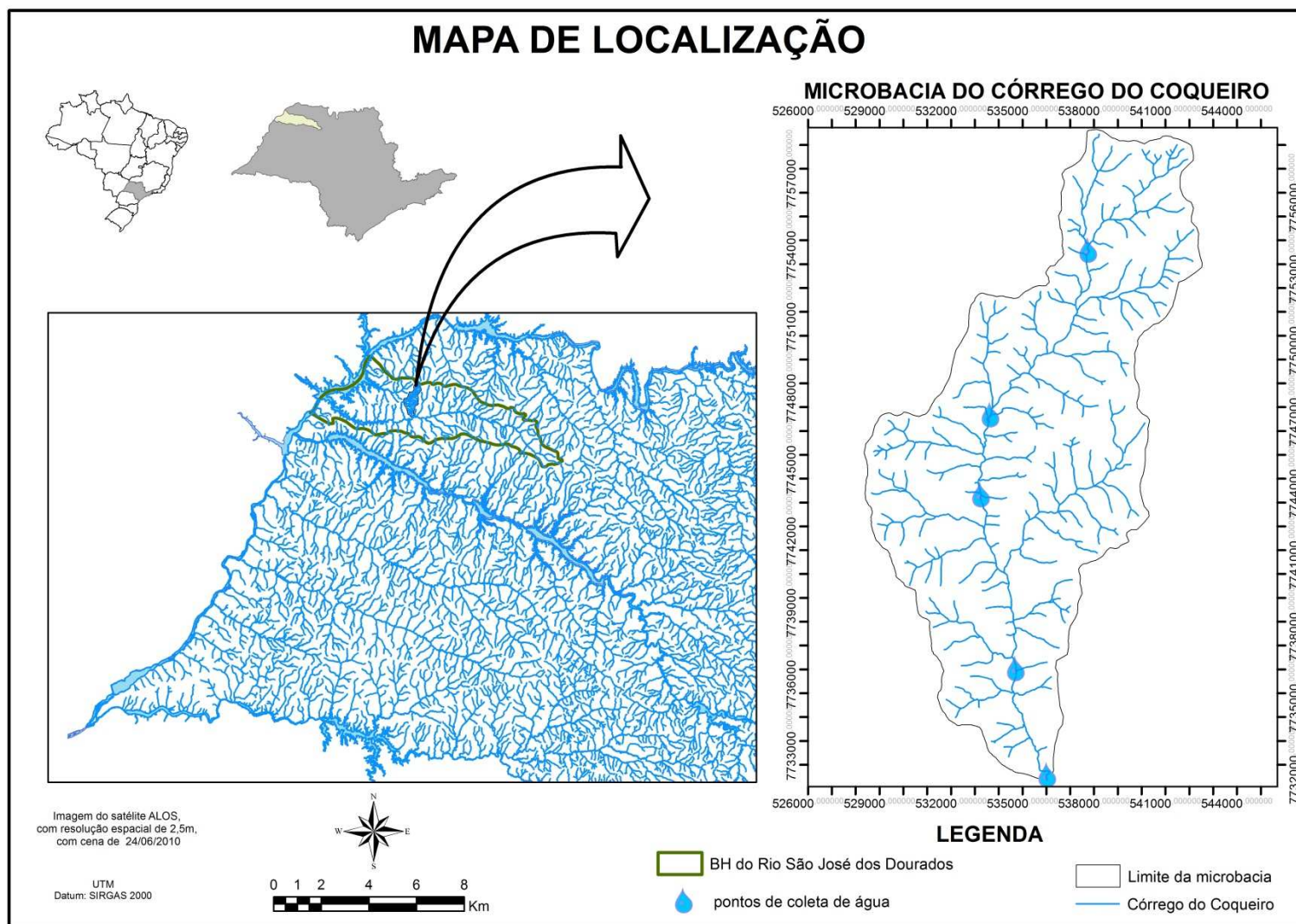
3.2.1. Localização

A área de estudo é a microbacia do córrego do Coqueiro localizada na região noroeste do Estado de São Paulo e pertencente à Unidade de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (UGRHI) de número 18. Essa unidade é composta de 25 municípios, com uma área de drenagem de 6.732 km², que abrangem o Rio São José dos Dourados e Rio Paraná. De acordo com a divisão hidrográfica do Brasil adotada pelo IBGE e pela ANA, a bacia do Rio São José dos Dourados pertence à região hidrográfica do Rio Paraná. Uma população, em 2010, de 227 mil habitantes e para o ano de 2020, a Bacia do Rio São José dos Dourados deve contar com uma população calculada em 235 mil habitantes (FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS, 2010).

O córrego do Coqueiro é um afluente de margem direita do Rio São José dos Dourados, com 33,59 km de extensão da sua nascente até a sua foz (Figura 3). A área da microbacia é de 190,90 km² e o seu limite envolve os municípios de Jales, Dirce Reis, Palmeira d'Oeste, São Francisco e Urânia.

A principal via de acesso aos municípios é a rodovia Estadual Euphly Jalles (SP 593).

figura 3 - Mapa de localização da microbacia do córrego do Coqueiro.



Fonte: Franco (2012)

3.2.2. Características socioeconômicas

As informações obtidas pela Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados - SEAD, foram integradas num SIG (ArcGIS®) e elaborados mapas temáticos da população, densidade demográfica e produção agrícolas dos municípios pertencentes à microbacia do Coqueiro para os anos de 2006 e 2007.

O município de Jales apresenta população de 46.995 habitantes, o que corresponde a 22% da população presente na Bacia do Rio São José dos Dourados. A menor população é do município de Dirce Reis, com 1692 habitantes (FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS, 2010) (Figura 4).

O município que apresenta a maior densidade demográfica é o município de Jales, com 127,4 habitantes por km² e o menor é Dirce Reis com 19,1 habitantes km² (Figura 5).

Essa região do Estado de São Paulo é caracterizada pelas práticas agrícolas diversificadas. As principais culturas temporárias são algodão, abacaxi, arroz, cana-de-açúcar, feijão, mandioca, milho e soja, enquanto as principais culturas permanentes são: uva, banana, borracha, café, coco-da-baía, laranja, limão, manga e tangerina.

Nesta região a paisagem predominante é a cultura da braquiária e recentemente a cana-de-açúcar vem gradativamente substituindo a pastagem, além das instalações de usinas sucroalcooleiras.

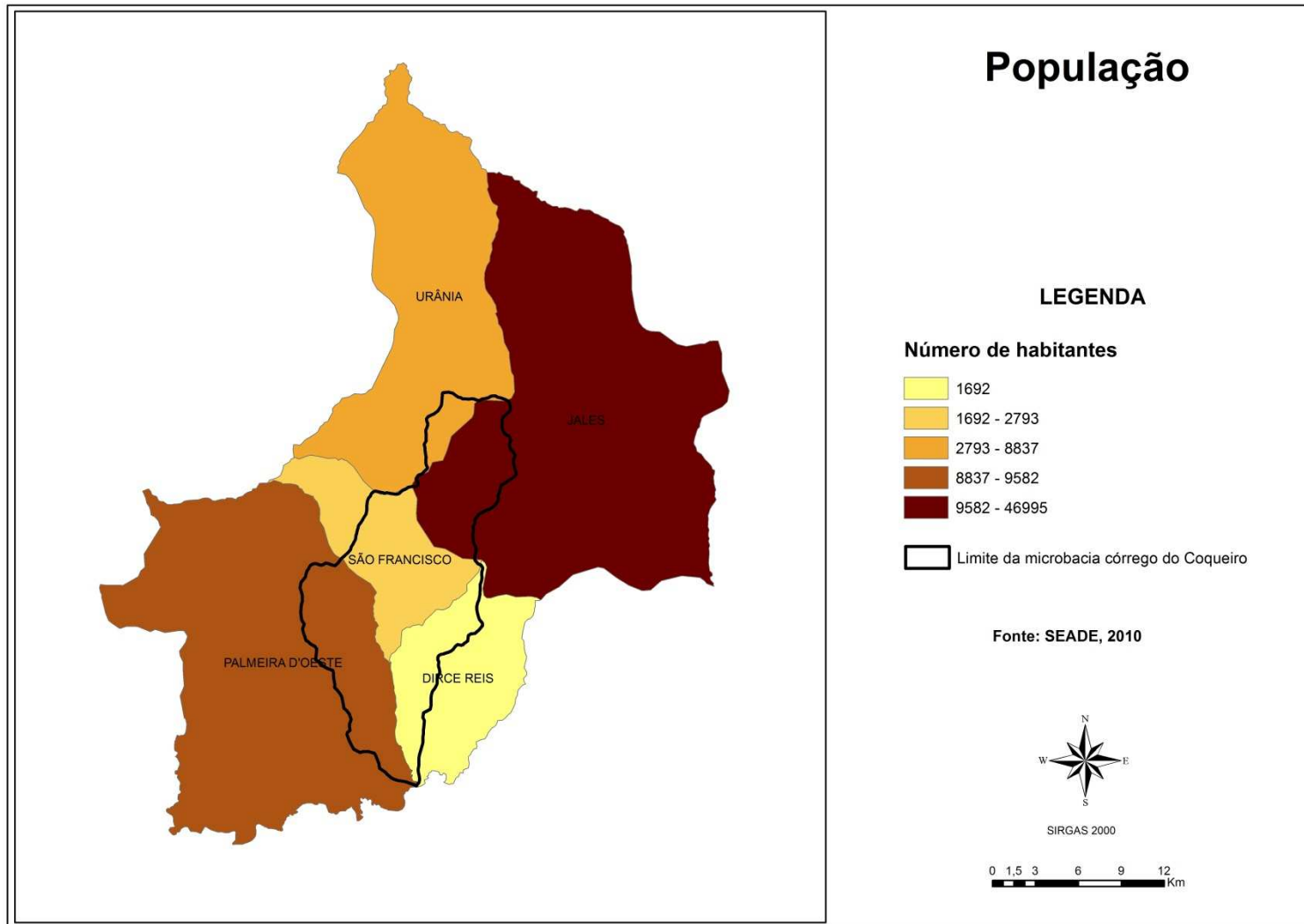
A fruticultura irrigada é umas principais atividades agrícolas na região noroeste, com destaque para a uva e citros. De acordo com dados da Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados - SEAD (2010), no ano de 2006 os municípios pertencentes à microbacia apresentam uma produção de uva entre 80 a 7200 toneladas. No ano de 2007 a produção variou entre 60 e 3438 toneladas e houve ausência de informações para o município de Palmeira d'Oeste neste período (Figura 6). Para o mesmo município a área colhida de uva ficou entre 2 e 180 ha no ano de 2006 e no ano de 2008 foi de 1 a 317 hectares (Figura 7).

A área colhida de laranja no período de 2006 ficou entre 159 a 1700 hectares, sendo Jales a de maior área plantada atingindo valores de 1042 a 1700 hectares (FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS, 2011) (Figura 8). Para o ano de 2007 houve uma redução na área plantada de laranja, com valores

entre 114 a 952 ha. A produção em toneladas de laranja ficou entre 2669 a 28854 no ano de 2006 e em 2007 ficou entre 4406 a 36720 toneladas, apesar da redução na área plantada neste período (Figura 09).

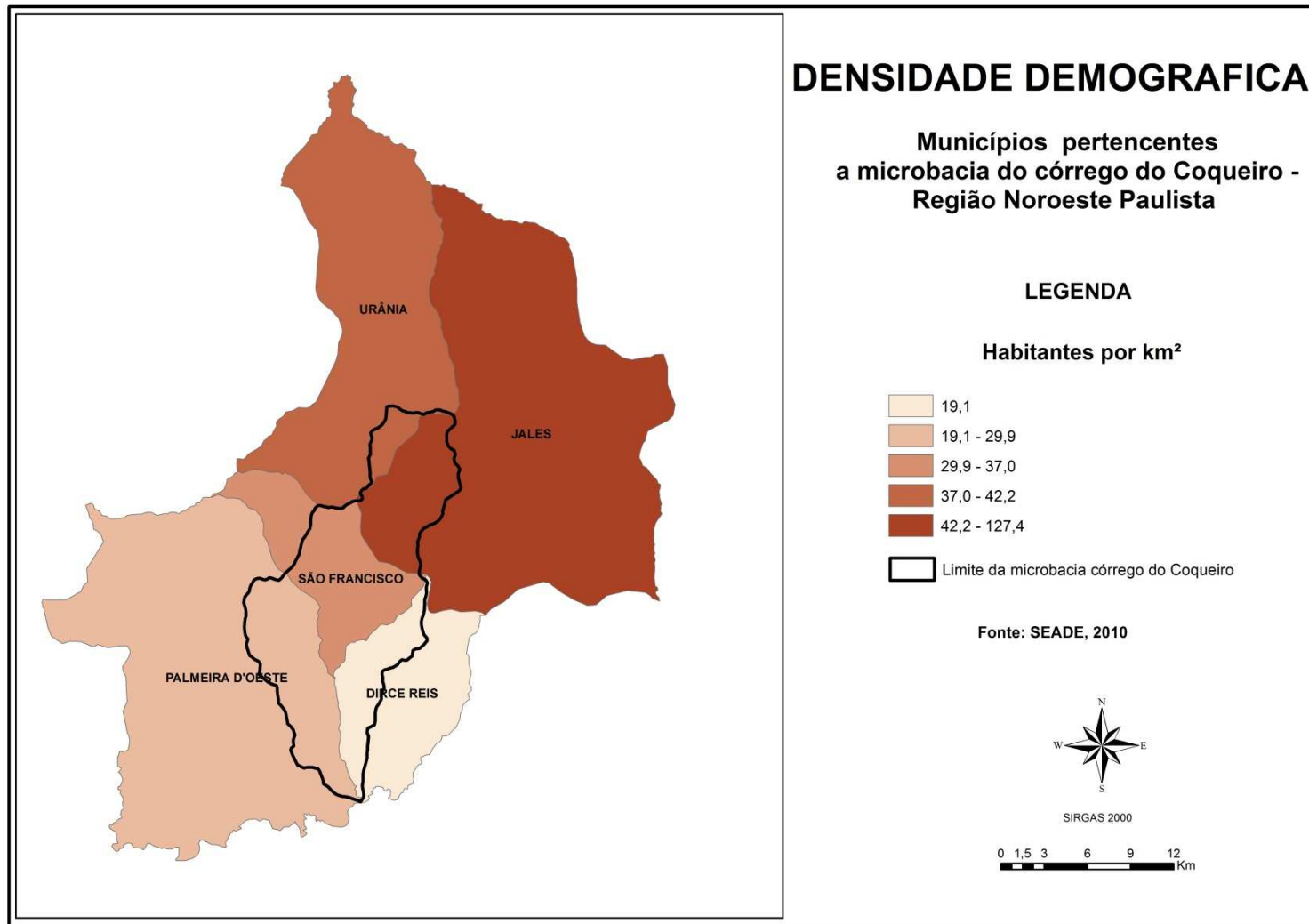
A área colhida de limão no ano de 2006 foi entre 15 a 740 hectares e no ano de 2007 a área ficou entre 20 a 720 hectares (Figura 10). A produção em toneladas de limão ficou entre 135 a 6660 no ano de 2006 e em 2007 variou entre 190 a 6480 toneladas (Figura 11).

Figura 4- Dados de população dos municípios pertencentes à microbacia do Coqueiro.



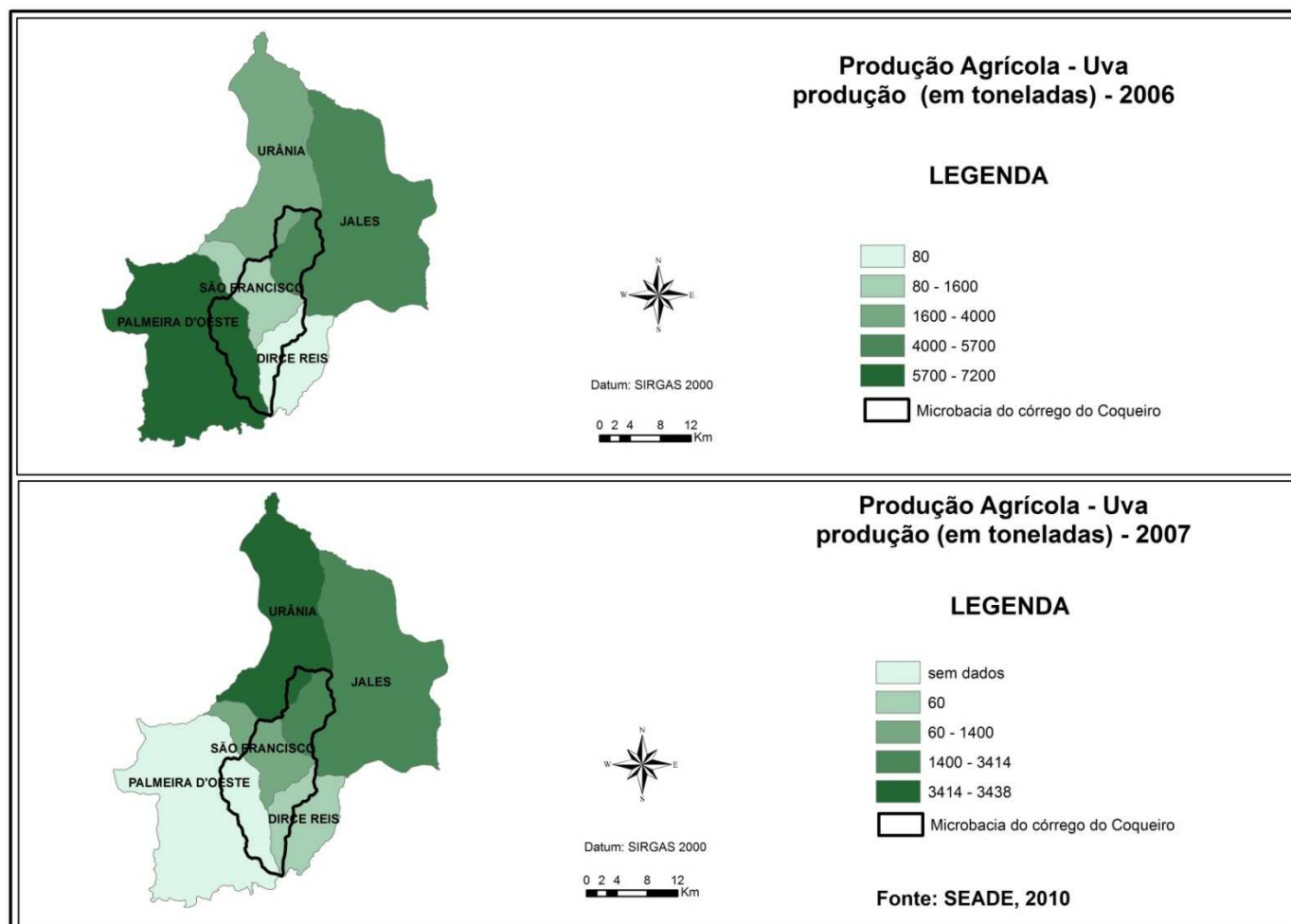
Fonte: Franco (2012)

Figura 5 - Densidade demográfica dos municípios pertencentes à microbacia do Coqueiro.



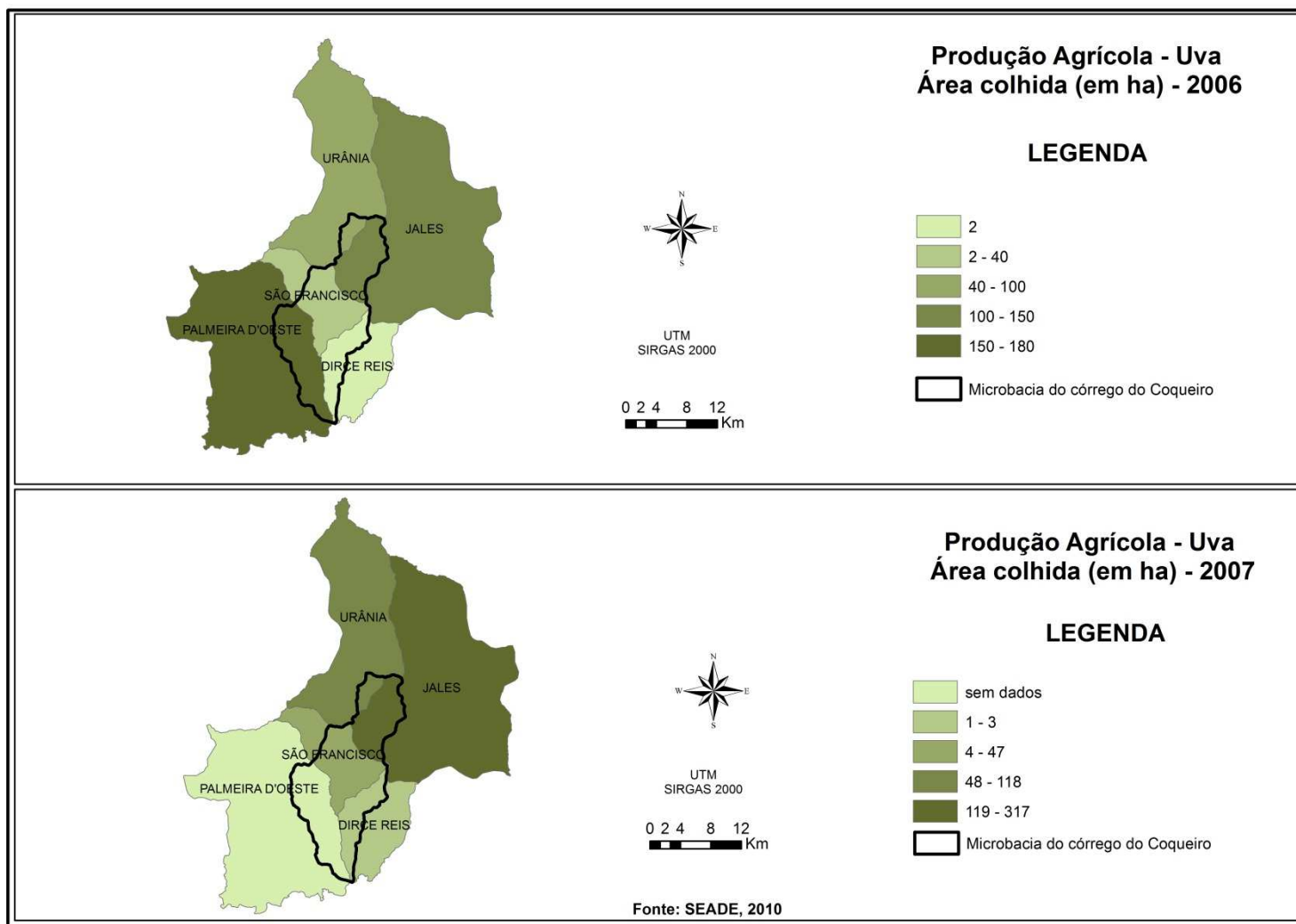
Fonte: Franco (2012)

Figura 6 - Produção agrícola de uva no ano de 2006 e 2007 em toneladas nos municípios pertencentes à microbacia do córrego do Coqueiro.



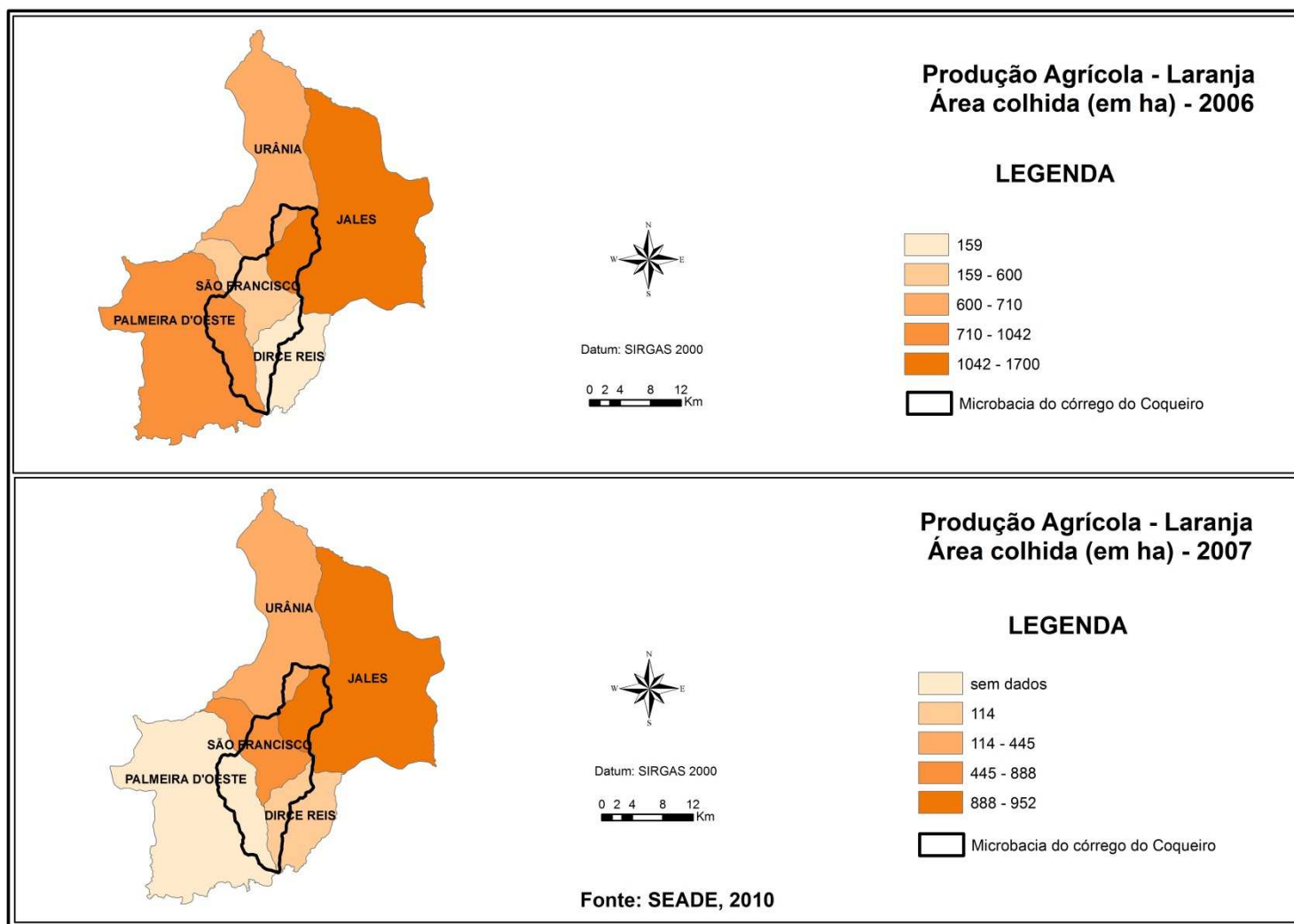
Fonte: Franco (2012)

Figura 7- Área colhida de uva, no ano de 2006 e 2007 nos municípios pertencentes à microbacia do córrego do Coqueiro.



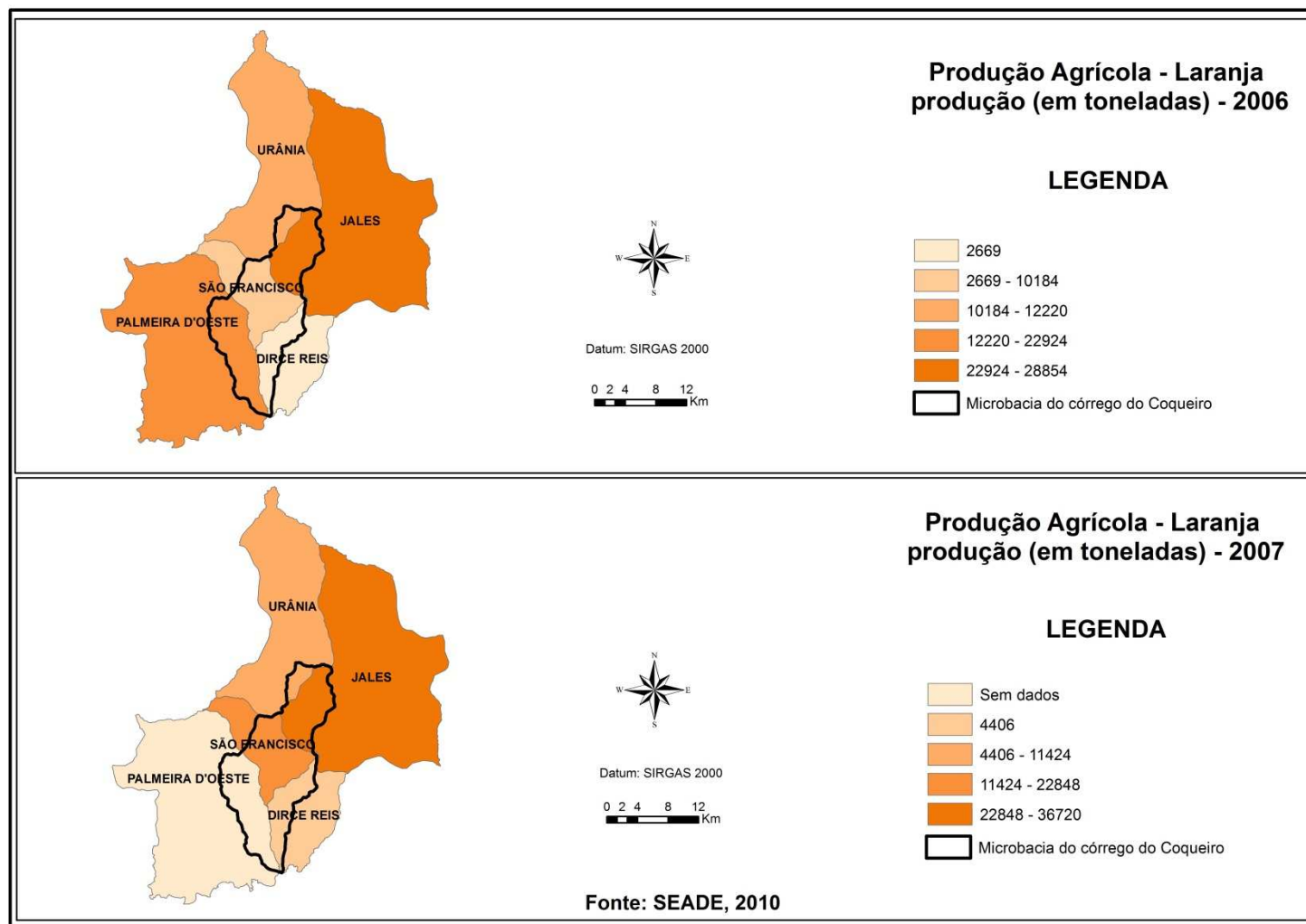
Fonte: Franco (2012)

Figura 8 - Área colhida de laranja, no ano de 2006 e 2007 nos municípios pertencentes à microbacia do córrego do Coqueiro.



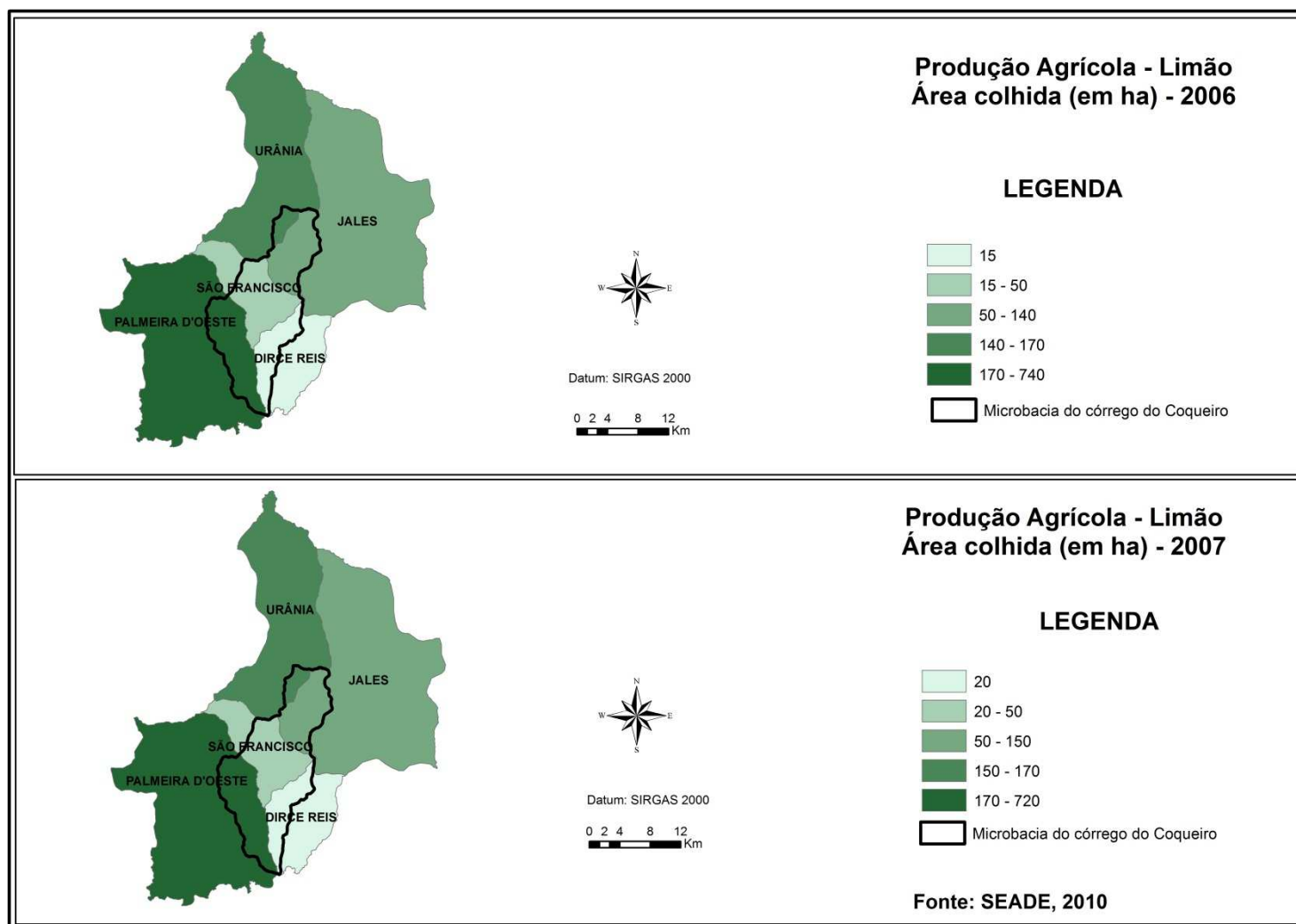
Fonte: Franco (2012)

Figura 9 - Produção de laranja em toneladas, no ano de 2006 e 2007 nos municípios pertencentes à microbacia do córrego do Coqueiro.



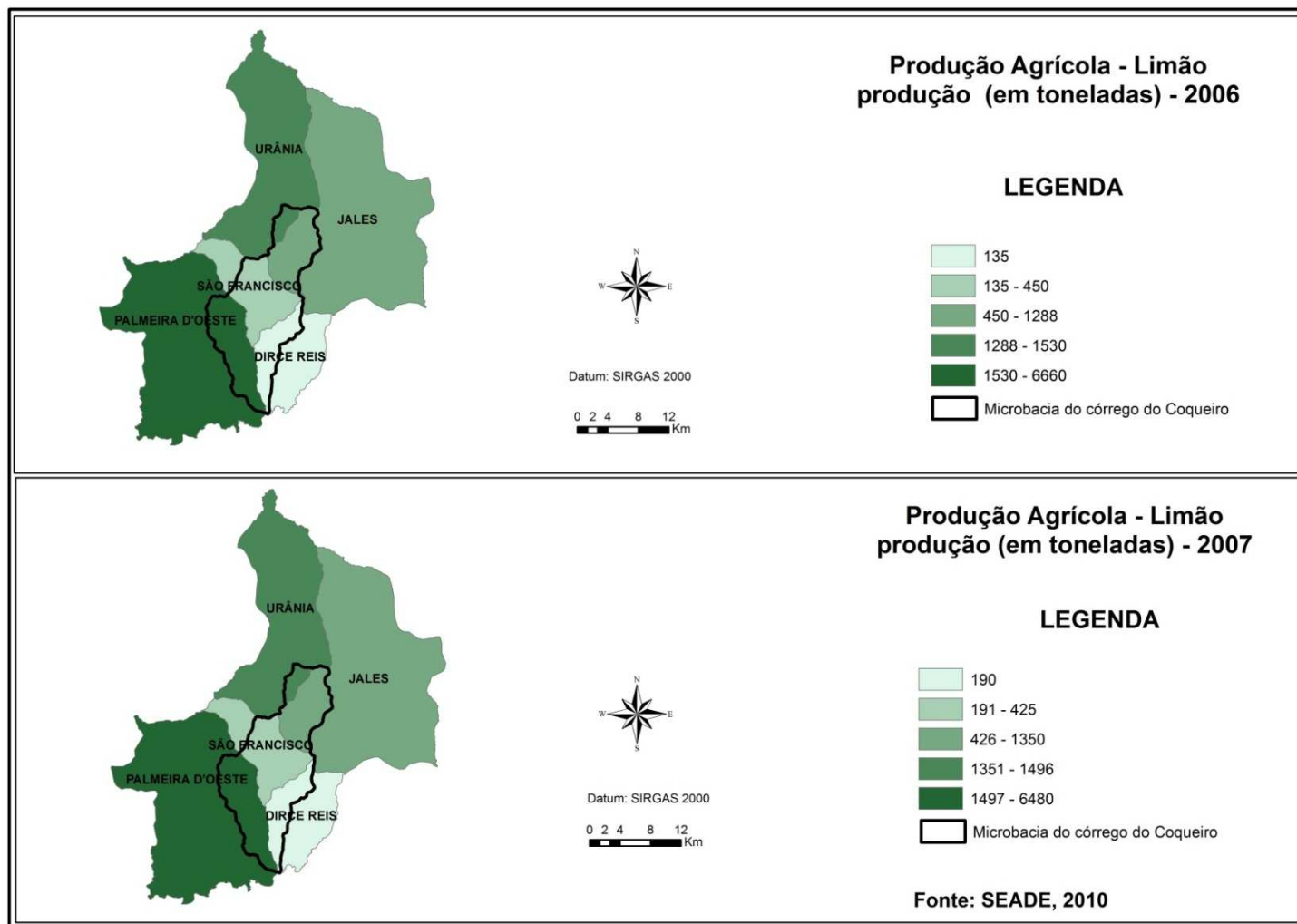
Fonte: Franco (2012)

Figura 10 - Área colhida de limão, no ano de 2006 e 2007 nos municípios pertencentes à microbacia do córrego do Coqueiro.



Fonte: Franco (2012)

Figura 11 - Produção de limão em toneladas, no ano de 2006 e 2007 nos municípios pertencentes à microbacia do córrego do Coqueiro.



Fonte: Franco (2012)

3.2.2.1. Caracterização dos sistemas de irrigação utilizados na região

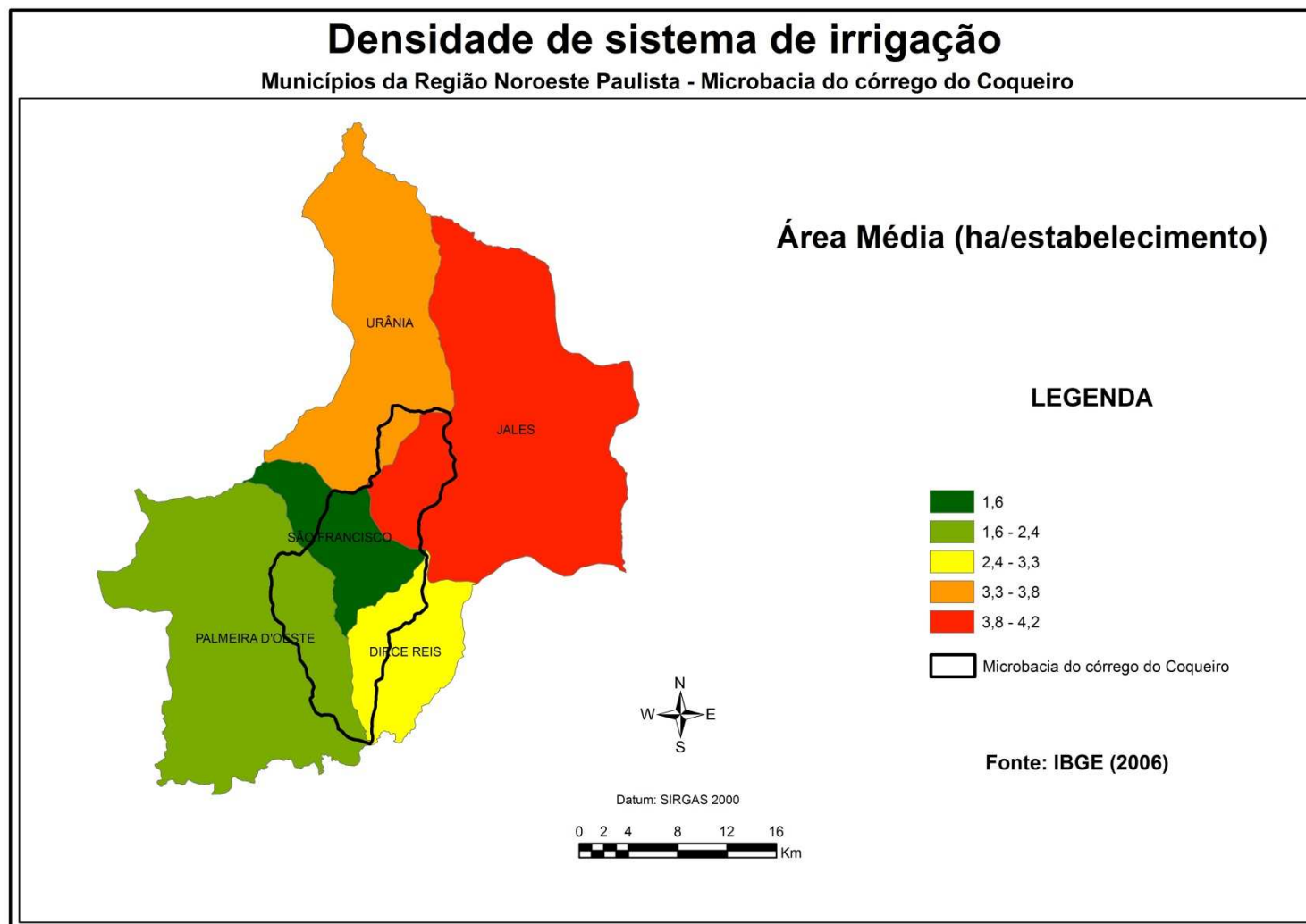
Com os dados do Censo Agropecuário de 2006 (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2009) foram elaborados mapas temáticos dos tipos de sistemas utilizados nos municípios pertencentes à microbacia do córrego do Coqueiro.

O município de Jales apresenta a maior densidade de sistemas de irrigação com 4,2 - área média em hectares por estabelecimento. O município de Urânia apresenta 3,8 e a menor densidade de sistemas de irrigação é o município de São Francisco com 1,6 (Figura 12).

A área de aspersão predomina no município de Jales com 546 hectares e a menor área ocorre no município de Dirce Reis, 35 hectares (Figura 13). Palmeira d'Oeste apresenta o maior número de estabelecimentos com aspersão, um total de 212.

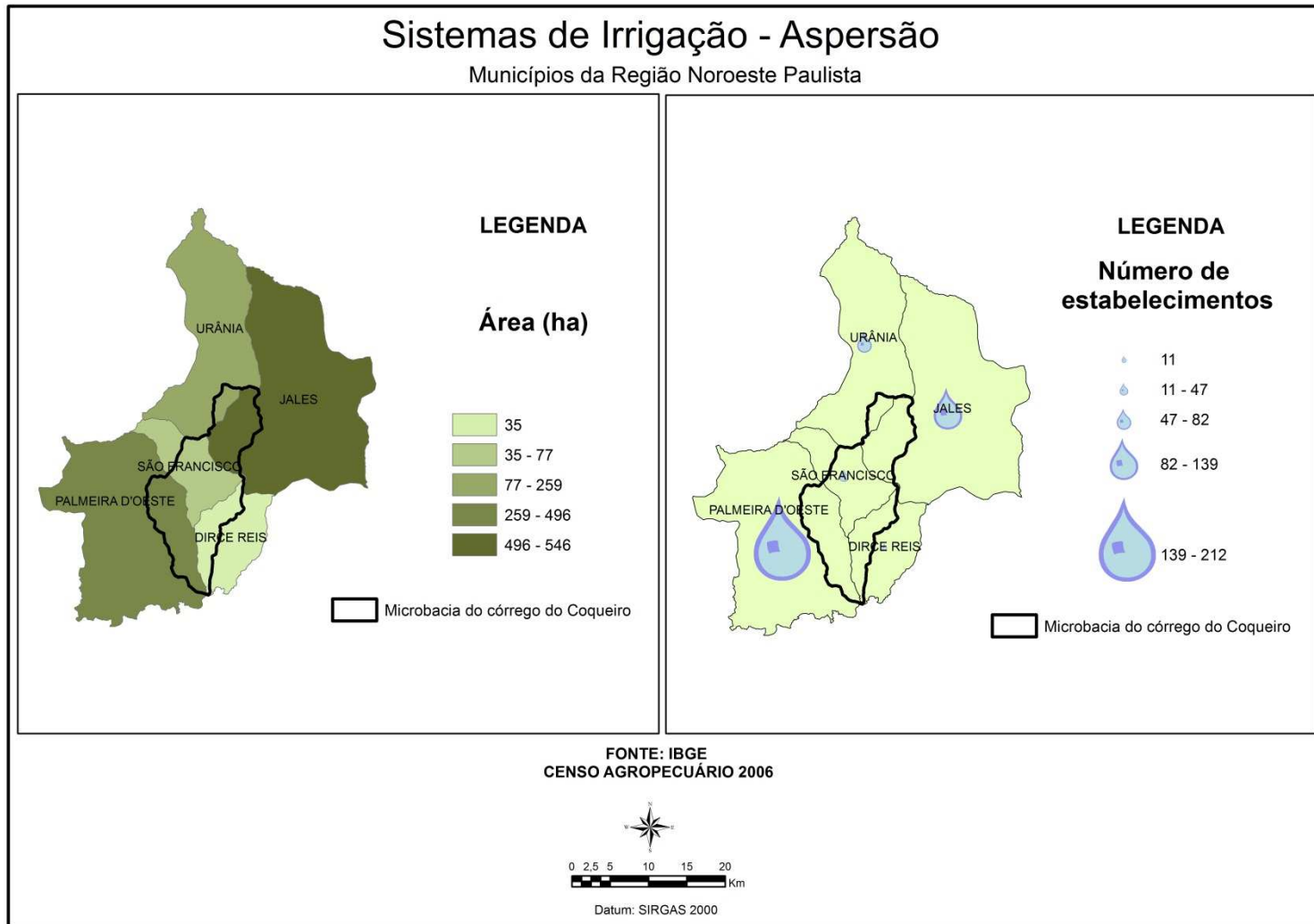
A maior área de sistema de irrigação localizada está localizada no município de Jales, com 477 hectares e nesse mesmo município ocorre o maior número de estabelecimentos que usam esse tipo de sistema (Figura 14). O município de Urânia apresenta um total de 58 estabelecimentos que utilizam sistema de irrigação localizada e os menores números de estabelecimento estão em São Francisco, Dirce Reis e Palmeira d'Oeste.

Figura 12 - Densidade de sistema de irrigação nos municípios pertencentes à microbacia do córrego do Coqueiro.



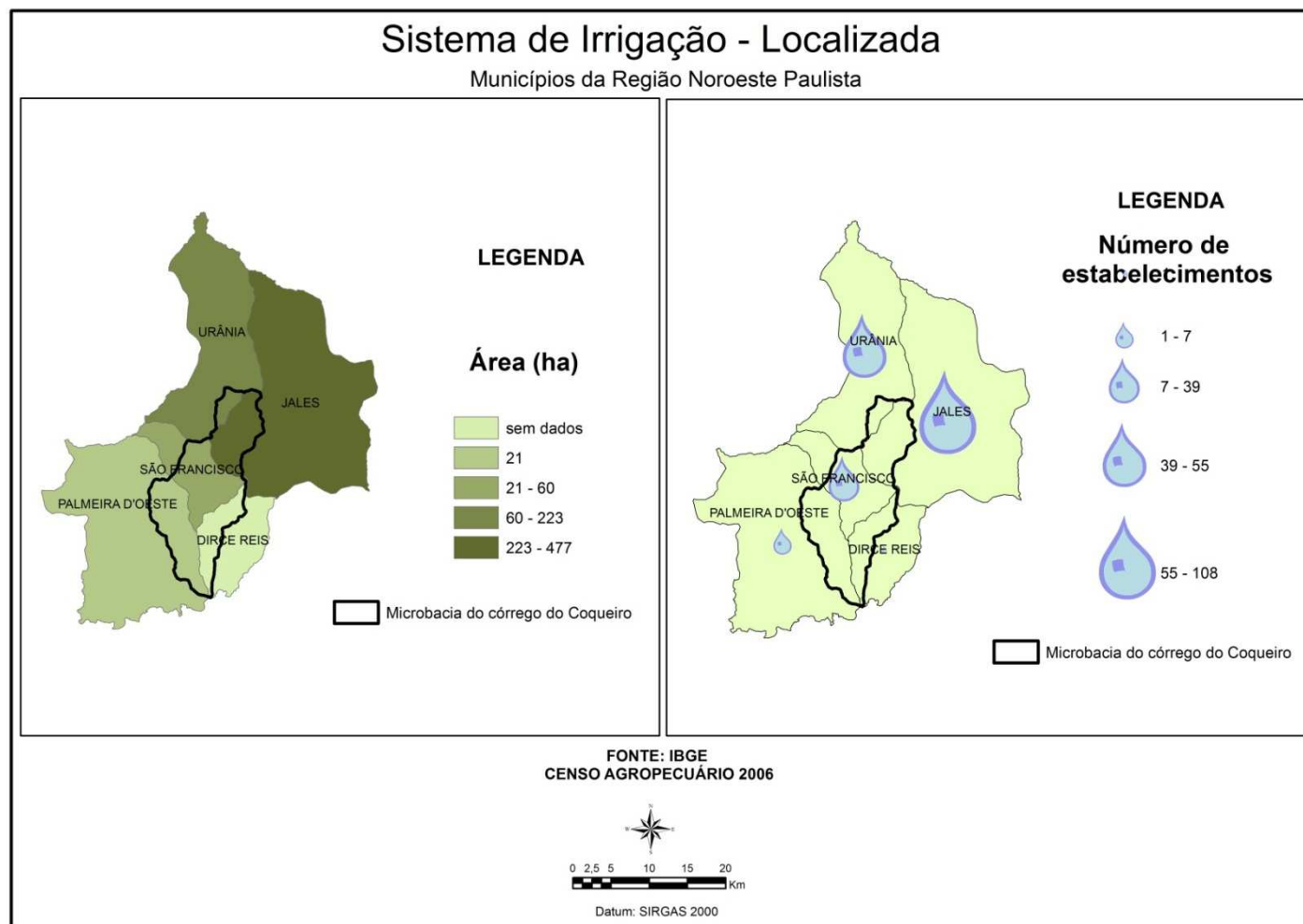
Fonte: Franco (2012)

Figura 13 - Sistema de aspersão nos municípios pertencentes à microbacia do córrego do Coqueiro.



Fonte: Franco (2012)

Figura 14 - Sistema de irrigação localizada nos municípios pertencentes à microbacia do córrego do Coqueiro.



Fonte: Franco (2012)

3.3. Geologia, geomorfologia e pedologia

A microbacia do córrego do Coqueiro localiza-se na região geomorfológica denominada Planalto Ocidental Paulista, que ocupa uma área de aproximadamente 50% do Estado de São Paulo. Este planalto corresponde, geologicamente, aos derrames basálticos que recobrem as unidades sedimentares do final do ciclo de deposição da Bacia Sedimentar do Paraná e às coberturas sedimentares que, por sua vez, foram depositadas na Bacia Bauru, acima desses basaltos (BERTOLO et al., 2009). Na revisão feita por Fernandes e Coimbra (2000) os autores encontraram duas unidades geológicas cronocorrelatas, identificadas como formadoras desta bacia: grupos Caiuá e Bauru. Estes dois sistemas deposicionais teriam se formado sob condições geológicas semelhantes com clima semiárido nas bordas, passando a desértico no interior da bacia. O Grupo Caiuá ocorre no extremo oeste do Estado de São Paulo, enquanto que o Grupo Bauru, predominante no Estado de São Paulo, aflora nos domínios orientais da bacia e é subdividido nas formações Vale do Rio do Peixe, Araçatuba, São José do Rio Preto, Presidente Prudente e Marília e analcimitos Taiúva.

Neste contexto estratigráfico afloram na microbacia do córrego do Coqueiro os sedimentos da Formação Vale do Rio do Peixe ou, de outra forma, os sedimentos da Formação Adamantina. A Formação Vale do Rio do Peixe é constituída por arenitos muito finos a finos de cores marrom claro, rosado a alaranjado, seleção moderada a boa, com intercalações de siltitos de cores creme e marrom e cimentação carbonática localizada. A geometria dos arenitos é predominantemente tabular submétrica de aspecto maciço com zonas de estratificação/laminação plano-paralela grosseira e estratos também tabulares com estratificação cruzada tabular e acanalada de pequeno a médio porte (BERTOLO et al., 2009).

O mapa de solos da microbacia foi obtido através do mapa pedológico do Estado de São Paulo (OLIVEIRA, 1999), disponível no formato vetorial e recortado através da opção *clip* da ferramenta *analysis tools* do *Arctoolbox*, disponível no *software* ArcGIS®10.

Os solos na microbacia são classificados como: PV1- Argissolos Vermelhos eutróficos + Argissolos Vermelhos-Amarelos eutróficos ambos A moderado textura arenosa/média e médio relevo suave ondulado; PV2- Argissolos Vermelhos

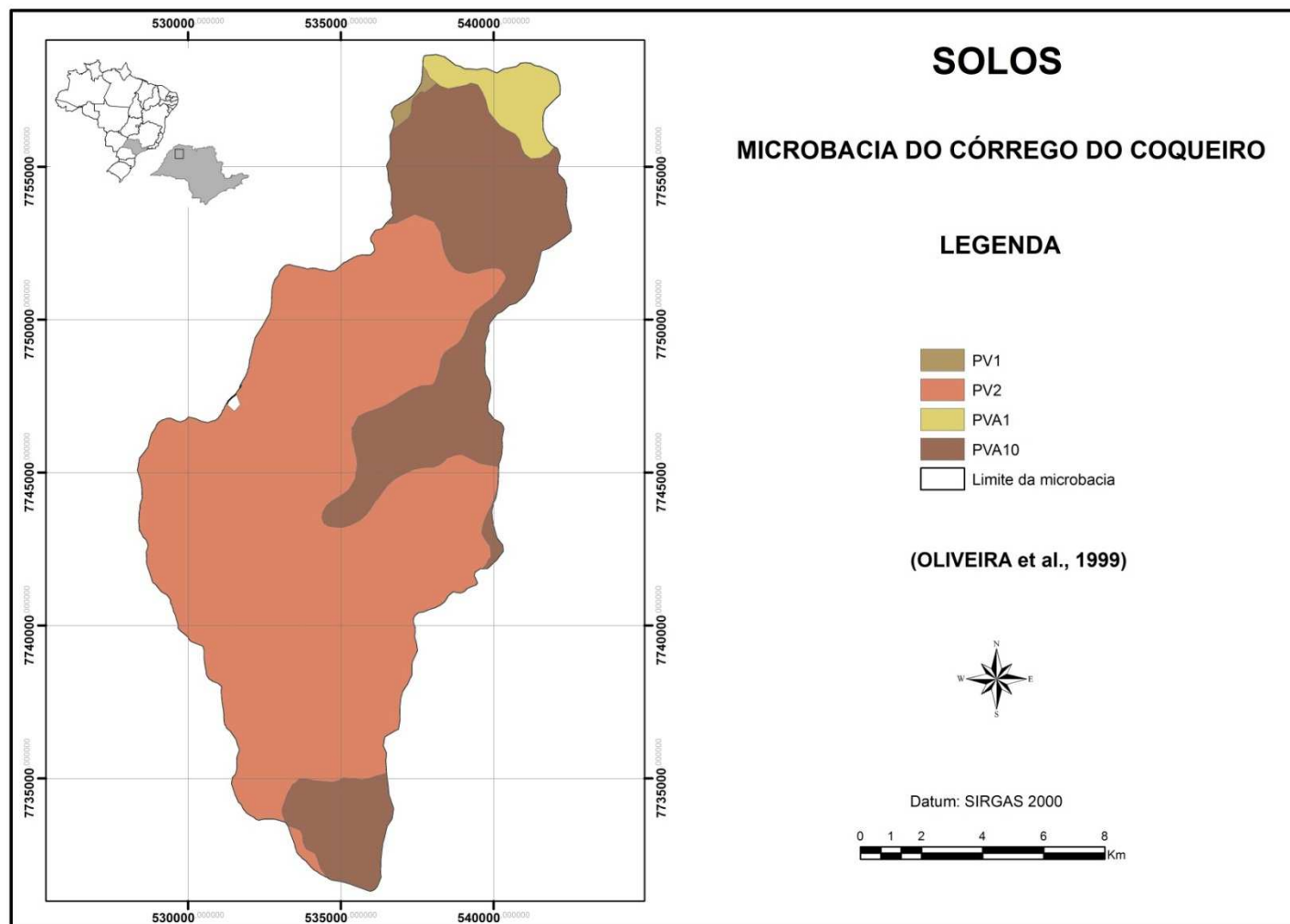
eutróficos + Argissolos Vermelhos-Amarelos eutróficos ambos abruptos A moderado textura arenosa/média relevo suave ondulado e ondulado; PVA1 - Argissolos Vermelhos-Amarelos eutróficos abruptos A moderado textura arenosa/médio relevo suave ondulado e ondulado e PVA10 - Argissolos Vermelhos-Amarelos eutróficos + Argissolos Vermelhos distróficos e eutróficos ambos textura arenosa/média e média relevo suave ondulado + Latossolos Vermelhos distróficos textura média relevo plano todos A moderado (Figura 15). Na Tabela 5 a classe de solo na microbacia do córrego do Coqueiro e a área de cada tipo de solo

Tabela 5. Classe de solo na microbacia do córrego do Coqueiro

LEGENDA	Área (ha)	%
PV 1	66,05	0,35
PV 2	13121,80	68,73
PVA 1	644,08	3,37
PVA 10	5260,83	27,55
Total	19092,7	100,00

Fonte: Franco (2012)

Figura 15 - Mapa de solos da microbacia do córrego do Coqueiro.



Fonte: Franco (2012)

3.4. Clima

A classificação climática de Köppen determina o clima da região como clima de savanas Aw, com inverno seco e ameno e verão quente e chuvoso. De acordo com Santos, Hernandez e Rosetti (2010) que determinaram o balanço hídrico para a região de Marinópolis-SP, utilizando dados históricos de 1999 a 2009 obtiveram precipitação média anual de 1.111 mm e evapotranspiração potencial de 1.421 mm ao ano.

As informações climáticas para o estudo foram obtidas através da Estação Agroclimatológica, localizada no município de Marinópolis-SP e operada pela Área de Hidráulica e Irrigação da UNESP Ilha Solteira (UNESP, 2011).

Os dados utilizados na análise foram dos períodos de 2006 a 2010, e sendo dados médios mensais de temperatura, umidade relativa, radiação solar, radiação líquida e velocidade do vento, evapotranspiração de referência e precipitação. A análise consistiu na variabilidade temporal com os respectivos erros padrões da média ao nível de 95% de confiança estatística.

3.5. Recursos hídricos

3.5.1. Caracterização morfométrica da microbacia

Para a delimitação da microbacia e a construção da rede de drenagem foi utilizada a base cartográfica do IBGE na escala 1: 50.000, com curvas de nível com equidistância de 10 metros. A delimitação foi feita manualmente via tela do computador no modo de edição do *software* ArcGIS®10, identificando os divisores de água através das curvas altimétricas e finalizando a edição de dados em uma estrutura vetorial com a formação de um polígono no formato de arquivo *shapefile* que contem informações geométricas de dados espaciais. Em seguida foi calculado automaticamente a área e o perímetro da microbacia na extensão *XtoolPro* do *software* ArcGIS®10. A hidrografia foi editada em ambiente SIG na forma de linhas

(vetorial) e calculado o extensão linear do rio principal e seus afluentes para ser aplicado ao cálculo morfométrico da microbacia.

Os parâmetros morfométricos, padrão e forma da bacia de drenagem foram calculados a partir de informações obtidas na literatura e apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6 - Descrição e valores dos parâmetros morfométricos da rede de drenagem da microbacia do córrego do Coqueiro.

Parâmetros morfométricos	Fórmula e ferramentas	Descrição	Microbacia	
			valores	unidades
Área	<i>ArcGIS</i>	Estrutura vetorial (polígono)	190,9	km ²
Perímetro	<i>ArcGIS</i>	Estrutura vetorial (linhas)	74,25	km
Comprimento do canal principal (Lp)	<i>ArcGIS</i>	Estrutura vetorial (linhas)	33,59	km
Comprimento total dos canais (Lt)	<i>ArcGIS</i>	Estrutura vetorial (linhas)	258,55	km
Densidade de drenagem (Dd)	$D = \frac{Lt}{A}$	Lt - comprimento dos canais A - área da microbacia	1,36	km/km ²
Densidade hidrográfica (Dh)	$Dh = \frac{Nt}{A}$	Nt - números totais de canais A - área da microbacia	0,94	Dh - canais/km ²
Índice de sinuosidade (Is)	$Is = \frac{L}{lv}$	L - comprimento do canal principal Lv - comprimento vetorial do canal	1,23	Is
Índice fator de forma (K)	$K = \frac{A}{L^2}$	A - Área da microbacia L ² - comprimento do eixo da bacia	0,16	K
Coeficiente de compacidade (Kc)	$K_c = 0,28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}}$	P - perímetro da microbacia A - área da microbacia	1,51	Kc
Extensão do percurso superficial	$Eps = \frac{1}{2 \cdot Dd}$	Dd - densidade de drenagem	0,67	Eps-km
altitude máxima	Curvas altimétricas		480	m
altitude mínima			340	m
Amplitude altimétrica			140	m
Ordem do córrego	Classificação de Horton apud Christofletti (1980)		3º ordem	
Padrão de drenagem			Dendrítico	

Fonte: Franco (2012)

3.5.2. Regionalização hidrológica

Através da regionalização hidrológica foi determinada a vazão plurianual e a vazão mínima de sete dias consecutivos com período de retorno de 10 anos ($Q_{7,10}$). Os cálculos de regionalização hidrológica foram realizados no site Sistema de Informação para o Gerenciamento dos Recursos Hídricos - SIGRHI, no Estado de São Paulo. Para a realização dos cálculos foram inseridos os dados de localização geográfica do ponto de interesse, a área da microbacia de 190,9 km² e a precipitação média histórica da região de Marinópolis de 1.111 mm (SANTOS; HERNANDEZ; ROSETTI, 2010).

O resultado da $Q_{7,10}$ para a microbacia foi de 0,279 m³ s⁻¹ e a vazão plurianual foi de 1,191 m³ s⁻¹.

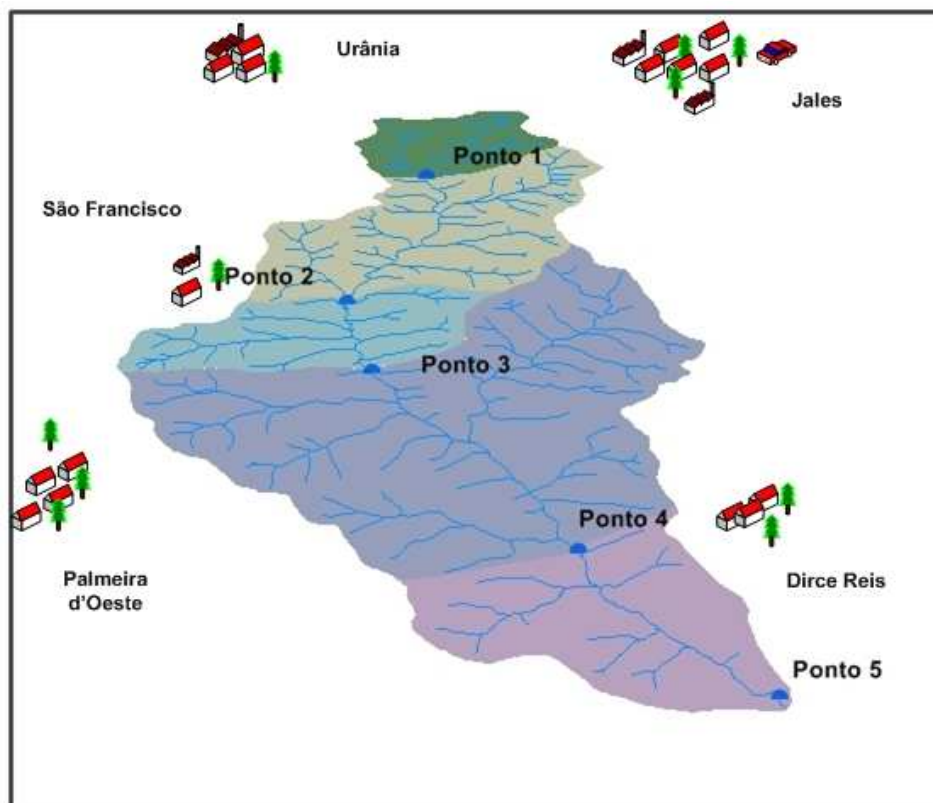
3.5.3. Definição das sub-bacias

Para a compreensão dos fenômenos hidrológicos na microbacia, a mesma foi subdividida em sub-bacias menores (Figura 16). A definição das sub-bacias estudadas levou em consideração os pontos de coleta de água e medição de vazão que foram definidos de acordo com os seguintes critérios: a influência antrópica e ambiental de cada local na qualidade e disponibilidade da água; as subdivisões da microbacia foram feitas através dos limites municipais e dos divisores de água; as condições da calha do rio para a realização da medição de vazão e fácil acesso ao local.

Após a definição das sub-bacias os pontos para a coleta de água e medição de vazão foram identificados em campo e georreferenciados com o uso de receptor GPS (*Global Positioning System*) de navegação e armazenados em banco de dados.

As sub-bacias foram delimitadas manualmente a partir das curvas de nível no modo de edição do ArcGIS®10 e em seguida as áreas das sub-bacias foram calculadas e as informações armazenadas em banco de dados.

Figura 16 - Localização dos pontos de amostragem e definição das sub-bacias do córrego do Coqueiro.

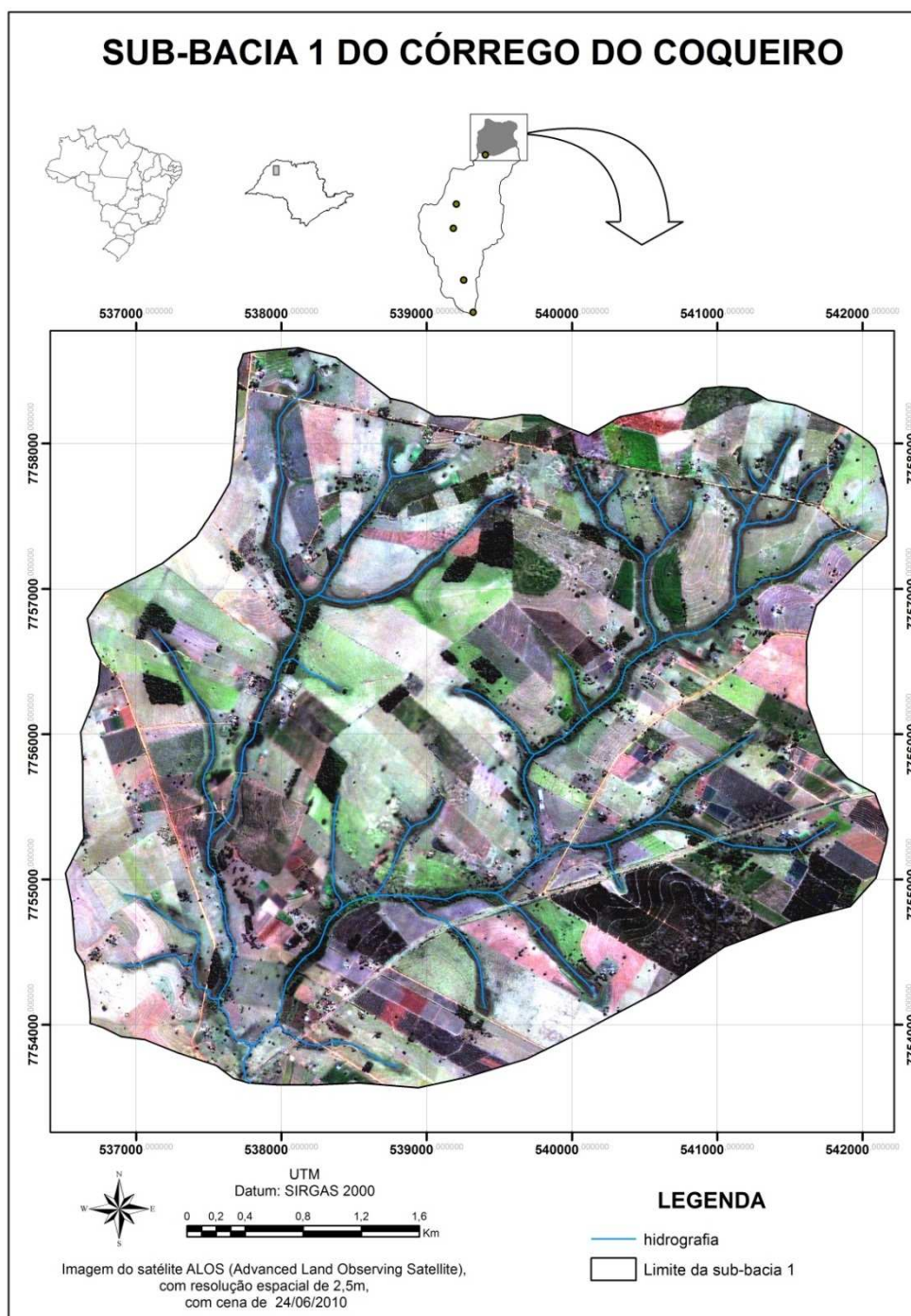


Fonte: Franco (2012)

3.5.3.1. Sub-bacia 1

A partir do ponto 1 de amostragem foi determinado a sub-bacia 1, que abrange os municípios de Jales e Urânia e próximo à rodovia Dr. Euphly Jalles (SP 563) que dá acesso à cidade de Jales, com coordenadas geográficas de 20° 18' 53,7" Sul e 50°38'17,7" Oeste (Figura 17).

Figura 17 - Mapa de localização da sub-bacia 1 do córrego do Coqueiro.



Fonte: Franco (2012)

A 6,78 km da nascente, passando por pequenas propriedades rurais que abrangem os municípios de Jales e Urânia, observam-se trechos com ausência de matas ciliares e pastagens degradadas. O maior número de usuários da água estão

nesta sub-bacia, que utilizam este recurso para atender as necessidades hídricas da viticultura, além do consumo humano e dessedentação animal.

Os parâmetros morfométricos da sub-bacia 1 estão na Tabela 7

Tabela 7. Parâmetros morfométricos da sub-bacia 1.

Parâmetros	Valores	Unidades
área	21,793	km ²
perímetro	19,13	km
comprimento do canal principal	6,78	km
comprimento total da rede de drenagem	33,5	km
altitude máxima	480	m
altitude mínima	400	m
amplitude altimétrica	80	m
densidade de drenagem	1,538	km/km ²
fator de forma	0,474	
coeficiente de compacidade	0,39	

Fonte: Franco (2012)

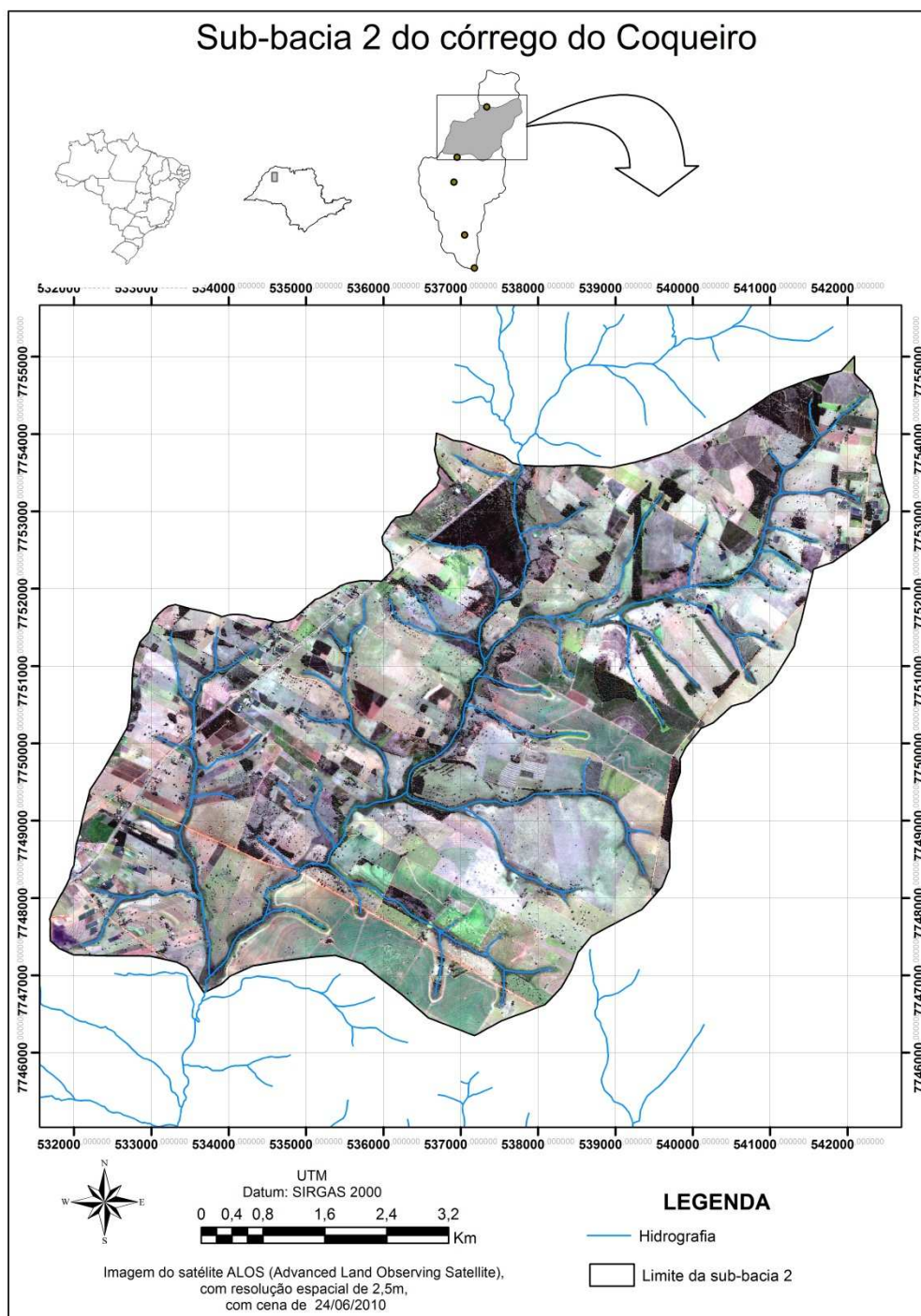
3.5.3.2. Sub-bacia 2

A sub-bacia 2 próxima à cidade de São Francisco, trecho da margem direita com predomínio de pequenas a grandes propriedades rurais e ao lado da margem esquerda, determinadas propriedades substituíram a atividade agropecuária pela cultura da cana-de-açúcar (Figura 18). Os parâmetros morfométricos da sub-bacia 2 estão na Tabela 8.

Tabela 8. Parâmetros morfométricos da sub-bacia 2.

Parâmetros	Valores	Unidades
área	50,28	km ²
perímetro	33,5	km
comprimento do canal principal	9,2	km
comprimento total da rede de drenagem	69,46	km
altitude máxima	460	m
altitude mínima	360	m
amplitude altimétrica	100	m
densidade de drenagem	1,382	km/km ²
fator de forma	0,592	
coeficiente de compacidade	0,68	

Figura 18 - Mapa de localização da sub-bacia 2 do córrego do Coqueiro.

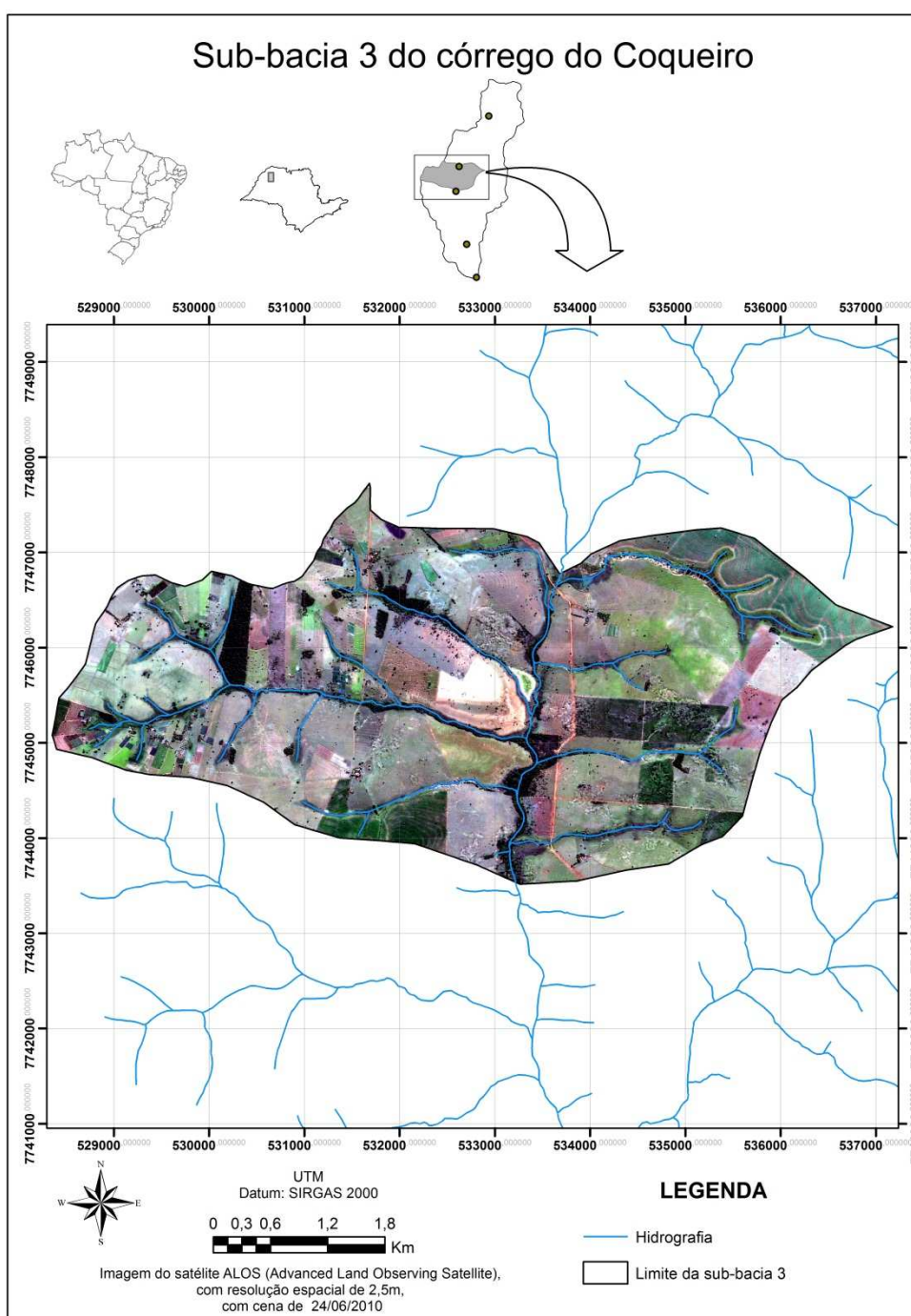


Fonte: Franco (2012)

3.5.3.3. Sub-bacia 3

A sub-bacia, localizado no município de Palmeiras d'Oeste, possui pequenas e médias propriedades, com pastagens degradadas e ausência de conservação do solo (Figura 19).

Figura 19 - Mapa de localização da sub-bacia 3.



Fonte: Franco (2012)

Este ponto de coleta de água e medição de vazão está à jusante da Estação de Tratamento de Água (ETA) da SABESP -Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, que trata a água superficial bruta e abastece os municípios de Palmeiras d'Oeste e Marinópolis.

Tabela 9. Parâmetros morfométricos da sub-bacia 3.

Parâmetros	Valores	Unidades
área	22,23	km ²
perímetro	21,99	km
comprimento do canal principal	3,72	km
comprimento total da rede de drenagem	34,5	km
altitude máxima	440	m
altitude mínima	360	m
amplitude altimétrica	80	m
densidade de drenagem	1,553	km/km ²
fator de forma	1,601	
coeficiente de compacidade	0,45	

Fonte: Franco (2012)

Observa-se que o dique marginal encontra-se em processo erosivo acentuado, ocasionado naturalmente pela dinâmica fluvial do córrego e pela ação antrópica que acelerou o processo erosivo das margens.

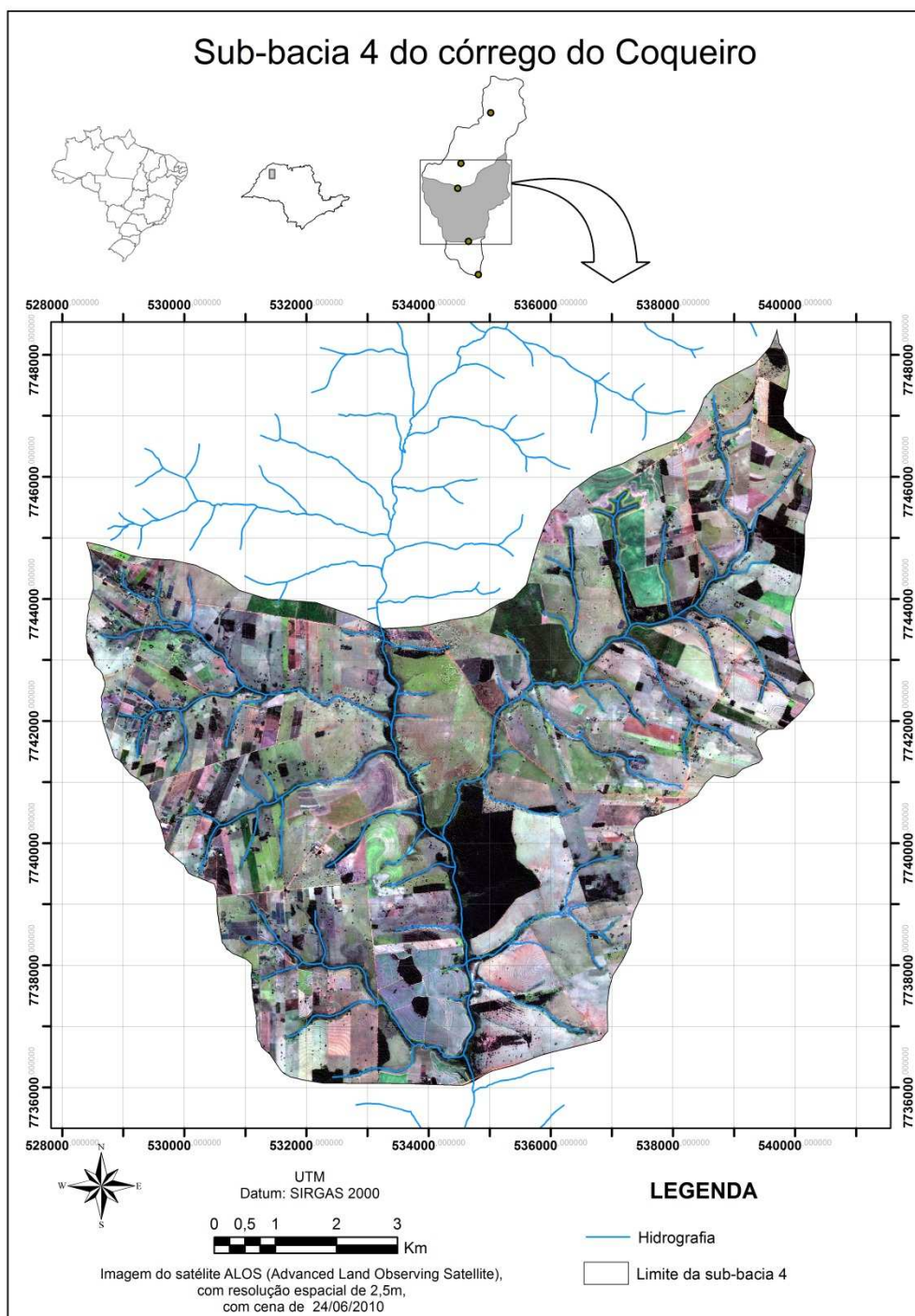
3.5.3.4. Sub-bacia 4

O ponto 4 de amostragem da sub-bacia 4 está localizado no município de Dirce Reis, com coordenadas geográficas 20° 28'24.7" Sul e 50°40'00,1" Oeste (Figura 20). A sub-bacia 4 tem predomínio de pastagem e recentemente a cana-de-açúcar começou a substituir este tipo de cultura e presença de matar ciliar em alguns trechos. Entretanto a área de preservação permanente é menor que 30 metros. Observam-se remanescentes de vegetação nativa, em estádios secundários de regeneração. Os dados morfométricos da sub-bacia estão na Tabela 10.

Tabela 10. Parâmetros morfométricos da sub-bacia 4.

Parâmetros	Valores	Unidades
área	78,4	km ²
perímetro	43,4	km
comprimento do canal principal	8,1	km
comprimento total da rede de drenagem	99,8	km
altitude máxima	460	m
altitude mínima	349	m
amplitude altimétrica	111	m
densidade de drenagem	1,27	km/km ²
fator de forma	1,195	
coeficiente de compacidade	0,88	

Figura 20 - Mapa de localização da sub-bacia 4.



Fonte: Franco (2012)

3.5.3.5. Sub-bacia 5

O ponto 5 de amostragem está localizado próximo a foz da microbacia e no município de Dirce Reis, com coordenadas geográficas 20°30'48,9" Sul e 50°39'14,7" Oeste. Próximo a sub-bacia 5 a terra é ocupada por pequenas a médias propriedades agrícolas que cultivam citros, uva, cana-de-açúcar e o predomínio de pastagem.

Neste ponto de amostragem a vegetação da margem esquerda atende a legislação (Lei 7.803/89; 7.875/89 e 9.985/00), ultrapassa os 30 metros para cursos d'água de menos de 10 metros de largura, entretanto, na margem direita, existem trechos irregulares menores e maiores que 30 metros. Na Tabela 11 estão os valores dos parâmetros morfométricos da microabacia do córrego do Coqueiro.

Tabela 11. Parâmetros morfométricos da microbacia do córrego do Coqueiro.

Parâmetros	Valores	Unidades
área	190,9	km ²
perímetro	74,25	km
comprimento do canal principal	33,59	km
comprimento total da rede de drenagem	258,55	km
altitude máxima	480	m
altitude mínima	340	m
amplitude altimétrica	140	m
densidade de drenagem	1,35	km/km ²
fator de forma	0,169	
coeficiente de compacidade	1,51	

Fonte: Franco (2012)

Este trecho sobre forte influência do Rio São José dos Dourados, devido à condições predominantes do relevo. No período das chuvas ocorrem inundações, formando áreas alagadas que dependem das mudanças no leito do córrego e formando inúmeros pequenos ambientes muito diferentes entre si.

3.5.4. Critérios para a definição dos períodos de amostragem

Os períodos de amostragem foram divididos entre o período seco e chuvoso que foram definidos através do balanço hídrico determinado por Santos, Hernandez e Rosetti (2010) do município de Marinópolis, período histórico avaliado entre 1999 a 2009. Os autores definiram a CAD (Capacidade de Água Disponível) de 40 mm e o balanço hídrico resultou em oito meses de deficiência hídrica no solo (abril a novembro) com total acumulado de 490 mm e o excedente ocorreu nos meses de dezembro a março com 179 mm. Então o período seco ficou definido entre abril a novembro e o período chuvoso de dezembro a março, entretanto no período seco podem ocorrer eventuais precipitações.

As coletas de água e as medições de vazão foram realizadas mensalmente e teve início em 26/10/2006 e término em 13/12/2010 (Tabela 12).

Tabela 12. Meses de coleta de água e medição de vazão.

Meses	Período	2006	2007	2008	2009	2010
Jan	Chuvoso		10/01/07	31/01/08	16/01/09	18/01/10
Fev	Chuvoso		22/02/07	*	28/02/09	19/02/10
Mar	Chuvoso		22/03/07	18/03/08	19/03/09	22/03/10
Abr	Seco		19/04/07	18/04/08	24/04/09	19/04/10
Mai	Seco		24/05/07	23/05/08	14/05/09	17/05/10
Jun	Seco		23/06/07	27/06/08	17/06/09	21/06/10
Jul	Seco		26/07/07	*	16/07/09	21/07/10
Ago	Seco		29/08/07	02/08/08	19/08/09	23/08/10
Set	Seco		26/09/07	19/09/08	16/09/09	23/09/10
Out	Seco	26/10/06	11/10/07	17/10/08	20/10/09	28/10/10
Nov	Seco	23/11/06	09/11/07	26/11/08	16/11/09	22/11/10
Dez	Chuvoso	14/12/06	11/12/07	10/12/08	09/12/09	13/12/10

* não houve coleta. Fonte: Franco (2012).

3.5.5. Qualidade de água para a irrigação

3.5.5.1. Amostragem e análise da água

As amostras de água foram coletadas em garrafas de polietileno de dois litros higienizadas e lavadas com água deionizada. Depois de coletada a água, as garrafas foram condicionadas em caixa de isopor com gelo, sendo posteriormente levadas ao Laboratório de Hidráulica e Irrigação da UNESP de Ilha Solteira, para as análises laboratoriais.

Para a análise da qualidade da água utilizaram-se as seguintes variáveis: físicas, químicas e biológicas. Os parâmetros físicos são constituídos de sólidos totais, suspensos e dissolvidos e foram obtidos através do método gravimétrico. A turbidez que determina o grau da clareza da água foi determinada pelo turbidímetro e a temperatura foi determinada por um termômetro digital.

As variáveis químicas analisadas foram: pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, magnésio, ferro total, dureza total e cálcio. Para as análises de oxigênio dissolvido, utilizou-se garrafas de Van Dorn para a coleta de água e, em seguida, adicionaram-se os reagentes para a complexação do oxigênio dissolvido ainda no campo, para evitar a desoxigenação durante o transporte das amostras; a determinação do oxigênio foi feita pelo método de Winkler modificado. A dureza total, cálcio e magnésio, foram determinados por titulação. O ferro total determinado pelo método colorimétrico - ferroespectral, equipamento da marca Merck.

As variáveis microbiológicas utilizadas foram coliformes fecais e totais. Para análise utilizou-se o kit microbiológico da Alfakit, que determina o número mais provável de coliformes totais e fecais por 100 ml de amostra.

As análises de pH, coliformes totais e fecais foram realizadas com no máximo 12 horas após a coleta. As análises de oxigênio dissolvido, ferro total, turbidez e condutividade elétrica foram realizadas no máximo 24 horas após a coleta. Para sólidos totais, sólidos suspensos, sólidos dissolvidos, dureza total, cálcio e magnésio, as análises foram realizadas em no máximo 7 dias após a coleta.

A síntese das variáveis avaliadas, bem como os métodos e equipamentos utilizados nas análises laboratoriais, estão apresentados na Tabela 13.

Tabela 13. Síntese das metodologias e dos equipamentos empregados nas análises das variáveis de qualidade de água avaliadas.

PARÂMETROS	MÉTODOS	PRECISÃO	EQUIPAMENTOS
Sólidos totais	Gravimétrico	1,0 mg L ⁻¹	Cápsula de porcelana, balança eletrônica de precisão JK-200 da YMC Co, estufa 305 SE da Fanem, dissecador e papel de filtro (poros de 28 µm)
Sólidos dissolvidos			
Sólidos suspensos			
Turbidez	Nefelométrico	0,1 NTU	Turbidímetro 2020 La Motte
pH	Peagâmetro	0,01	Q-400 da Quimis
Condutividade Elétrica	Eletrodo de platina	0,1 µS cm ⁻¹ a 25° C	DM3 Digimed
Ferro total	Colorimétrico ferroespectral	0,1 mg L ⁻¹	Colorímetro Merck
Oxigênio Dissolvido	Winkler modificado	0,1 mg L ⁻¹	Pipetas de 2 ml, garrafas de Van Dorn e bureta
Dureza total			
Cálcio	Titulação	1,0 mg L ⁻¹	Bureta e pipetas
Magnésio			
Coliformes Totais	Contagem de bactérias	100 NMP100 ⁻¹ ml ⁻¹	Kit microbiológico-ALFAKIT
Coliformes Fecais			

Fonte: Franco (2012)

3.5.5.2. Classificação da água utilizada na irrigação

A análise dos dados de qualidade de água consistiu na caracterização da qualidade de água para a irrigação de acordo com os potenciais de danos aos sistemas de irrigação, conforme a Tabela 14.

Tabela 14. Classificação empregada na caracterização da qualidade da água para a irrigação.

Problema	Parâmetro Avaliado	Referências
Dano ao sistema de irrigação	Sólidos suspensos e dissolvidos	Nakayama; Bucks (1986)
	Ferro	
	pH	Ayers; Westcot (1986)
	Cálcio, Magnésio e Dureza	
Potencial de salinização do solo	Condutividade elétrica (dS/m a 25°C)	U.S.D.A. Agriculture Handbook Nº60 apud Bernardo, 1989)
Concentração de partículas em suspensão na água	Turbidez	Resolução 357/2005 do CONAMA, 2005: Águas de classe II
Contaminação por microorganismos	Coliformes Totais e Fecais	
Carga orgânica	Oxigênio dissolvido	

Fonte: Franco (2012)

Os critérios de classificação da qualidade de água para a irrigação estão descritos na Tabela 15.

Tabela 15. Limites estabelecidos para a classificação da qualidade de água para a irrigação.

Variáveis	Limite Estabelecido			
	Classificação			Referência
	Baixo	Médio	Alto	
Sólidos Suspensos (mg L ⁻¹)	< 50	50-100	> 100	Nakayama; Bucks (1986)
Sólidos dissolvidos (mg L ⁻¹)	< 500	500-2000	> 2000	
pH	< 7,0	7,0-8,0	> 8,0	
Ferro Total (mg L ⁻¹)	< 0,2	0,2-1,5	> 1,5	
CE dS m ⁻¹	< 0,25	0,25-0,75	0,75- 2,25	U.S.D.A. Agriculture Handbook Nº 60 apud Bernardo (1989)
Cálcio (mg L ⁻¹) Magnésio (mg L ⁻¹)	Normal		Alto	AYERS; Westcot (1986)
	0-400		>400	
	0-60		>60	
	Adequado		Inadequado	
Turbidez (NTU)	≤ 100		> 100	Resolução 357/05 e 20/86 do CONAMA: Classe 2
Oxigênio dissolvido (mg L ⁻¹)	≤ 5,0 mg/L		> 5,0	
Coliformes Totais (100 NMP100 ⁻¹ ml ⁻¹)	≤ 5.000*		> 5.000*	
Coliformes Fecais (100 NMP100 ⁻¹ ml ⁻¹)	≤ 1.000*		> 1000*	

* Resolução Nº 20/86, em 80% ou mais de pelo menos cinco amostras mensais colhidas em qualquer mês. (Do próprio autor.)

3.5.6. Índice de qualidade de água (IQA)

O Índice de qualidade de água teve início em janeiro de 2009 e término em dezembro de 2010, com dois anos de amostragem.

Alguns parâmetros utilizados para determinar a qualidade de água para a irrigação foram utilizados também para determinar o índice de qualidade de água, como o oxigênio dissolvido, sólidos totais, pH, turbidez, coliforme fecal e temperatura.

Os outros parâmetros utilizados no índice de qualidade de água estão descritos abaixo.

3.5.6.1. Nitrogênio total

Para a determinação de Nitrogênio Total, utilizou-se do Método de Digestão por Persulfato LR (0,5 até 25,0 mg L⁻¹ N), tendo como equipamentos um Reator de DQO e um espectrofotômetro da marca Hach[®] DR/2700.

Basicamente o nitrogênio total foi determinado realizando-se a digestão das amostras no reator de DQO a 106°C por 30 minutos com o reagentes da Hach Company, chamados *Total Nitrogen Persulfate Reagent Powder Pillow* e *Total Nitrogen Hydroxide Reagent*. Após a digestão foram adicionados mais dois reagentes, chamados de *Total Nitrogen (TN) Reagent A Powder Pillow* e *Total Nitrogen (TN) Reagent B Powder Pillow*. Finalizando o experimento misturaram-se 2ml de cada amostra digerida nos frascos do *Total Nitrogen (TN) Reagent C* e em seguida colocaram-se os frascos no compartimento do espectrofotômetro Hach DR/2700 para determinação das concentrações de nitrogênio total em cada amostra.

3.5.6.2. Fósforo total

A determinação de fósforo foi feita através do Método do Ácido Ascórbico (0,02 até 2,50 mg L⁻¹ PO₄³⁻), utilizando-se de um espectofotômetro da marca Hach, modelo DR/2700.

De maneira básica, a cada amostra de água foi adicionado o reagente da *Hach Company* chamado *Phos Ver 3 Phosphate Powder Pillow* e esperaram-se 2 minutos para ocorrer a reação. Após estes procedimentos colocaram-se os frascos no compartimento do espectofotômetro para a determinação das concentrações de fósforo total em cada amostra.

3.5.6.3. Demanda bioquímica de oxigênio

Para se determinar os valores de DBO nas amostras coletadas foi utilizado o Método de Winkler Modificado, que conforme AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (1995).

O cálculo deste índice utiliza nove parâmetros e é calculado através do produtório ponderado das qualidades de água e corresponde aos seguintes parâmetros: temperatura da amostra, pH, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, coliformes fecais, nitrogênio total, fósforo total, resíduo total e turbidez. Cada parâmetro avaliado tem um peso específico e esse valor fixado é em função do nível de significância na avaliação da qualidade de água.

No *item* 2.6.4.6, página 58 foi apresentada o cálculo do IQA.

3.5.7. Análise estatística dos parâmetros de qualidade de água

Os dados de qualidade de água foram analisados levando em consideração os períodos seco e chuvoso, conforme discutido no *item* 3.5.3. Após essa definição, os dados receberam tratamento estatístico descritivo e para diferenciar as médias entre os períodos avaliados, os anos de amostragem e as sub-bacias analisadas entre 2007 a 2010 foi adotado o critério que diferencia estatisticamente as médias, o que ocorre quando não há sobreposição dos limites superior e inferior dos erros padrão

na comparação das médias, conforme apresentado por Gravetter e Wallnau (1995, 429p).

Os valores médios de qualidade de água para a irrigação e IQA foram representados através de mapas temáticos que indicam os valores distribuídos em classe e os limites aceitáveis de cada parâmetro de qualidade de água analisado, conforme definido no *item* 3.5.5.2.

3.5.8. Medição de vazões

As vazões foram medidas pelo método do molinete hidrométrico, onde as velocidades do fluxo são obtidas em uma seção (no caso de seções inferiores a 0,50 m) ou em diversas seções molhadas ao longo da largura do curso d' água, sendo a vazão total calculada por:

$$Q = v_1 * S_1 + v_2 * S_2 + ... + v_n * S_n \quad (7)$$

sendo:

Q - vazão do curso d'água ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$);

v_1 - velocidade do fluxo de água na seção molhada 1 (m s^{-1});

S_1 - área da seção 1 (m^2);

v_2 - velocidade do fluxo de água na seção molhada 2 (m s^{-1});

S_2 - área da seção 2 (m^2);

v_n - velocidade do fluxo de água na seção molhada n (m s^{-1});

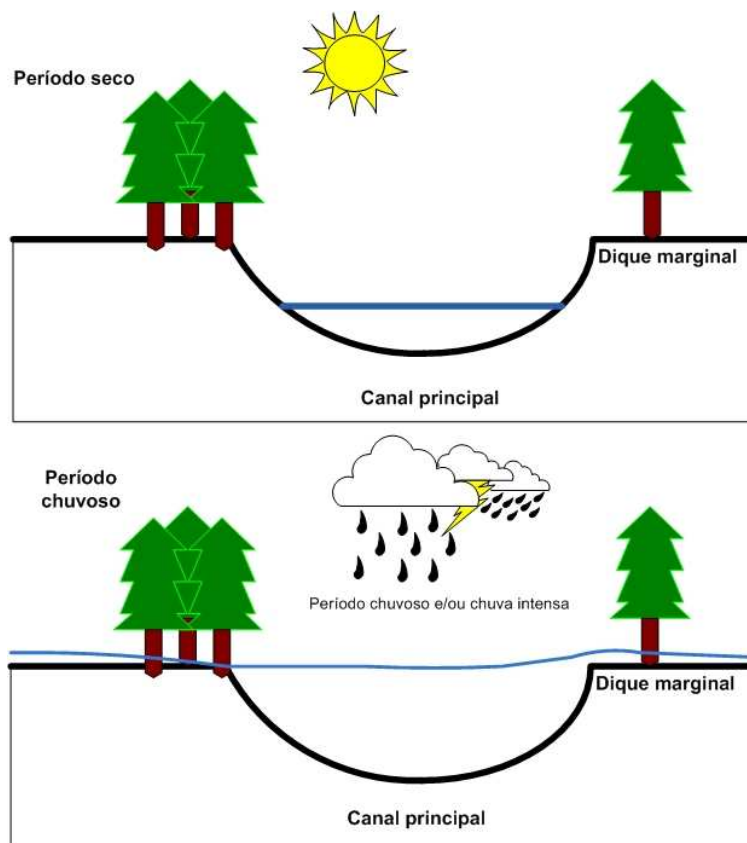
S_n - área da seção n (m^2);

A velocidade do fluxo é determinada diretamente pelo molinete da marca Global water, modelo FP 101-FP 201. As seções molhadas foram determinadas por meio da medição do perfil transversal do canal, coletando-se as profundidades à espaçamentos regulares de uma margem a outra e digitalização em *software* AutoCAD, onde são calculadas as respectivas seções molhadas.

Na avaliação dos dados médios de vazão foi adotado o critério que diferencia estatisticamente as médias, o que ocorre quando não há sobreposição dos limites superior e inferior dos erros padrão na comparação das médias (GRAVETTER; WALLNAU,1995, 429p).

Em algumas coletas nos meses de chuva não foram possíveis às medições de vazões, devido ao volume de água do manancial ultrapassar o dique marginal, impossibilitando a caracterização de um perfil adequado para medição de vazão (Figura 21). Por essa razão os dados de vazões nos pontos 4 e 5 no período chuvoso ficaram sem informação e comprometeram a análise estatística nestes pontos de amostragem.

Figura 21 - Representação esquemática da variação sazonal no sistema fluvial.

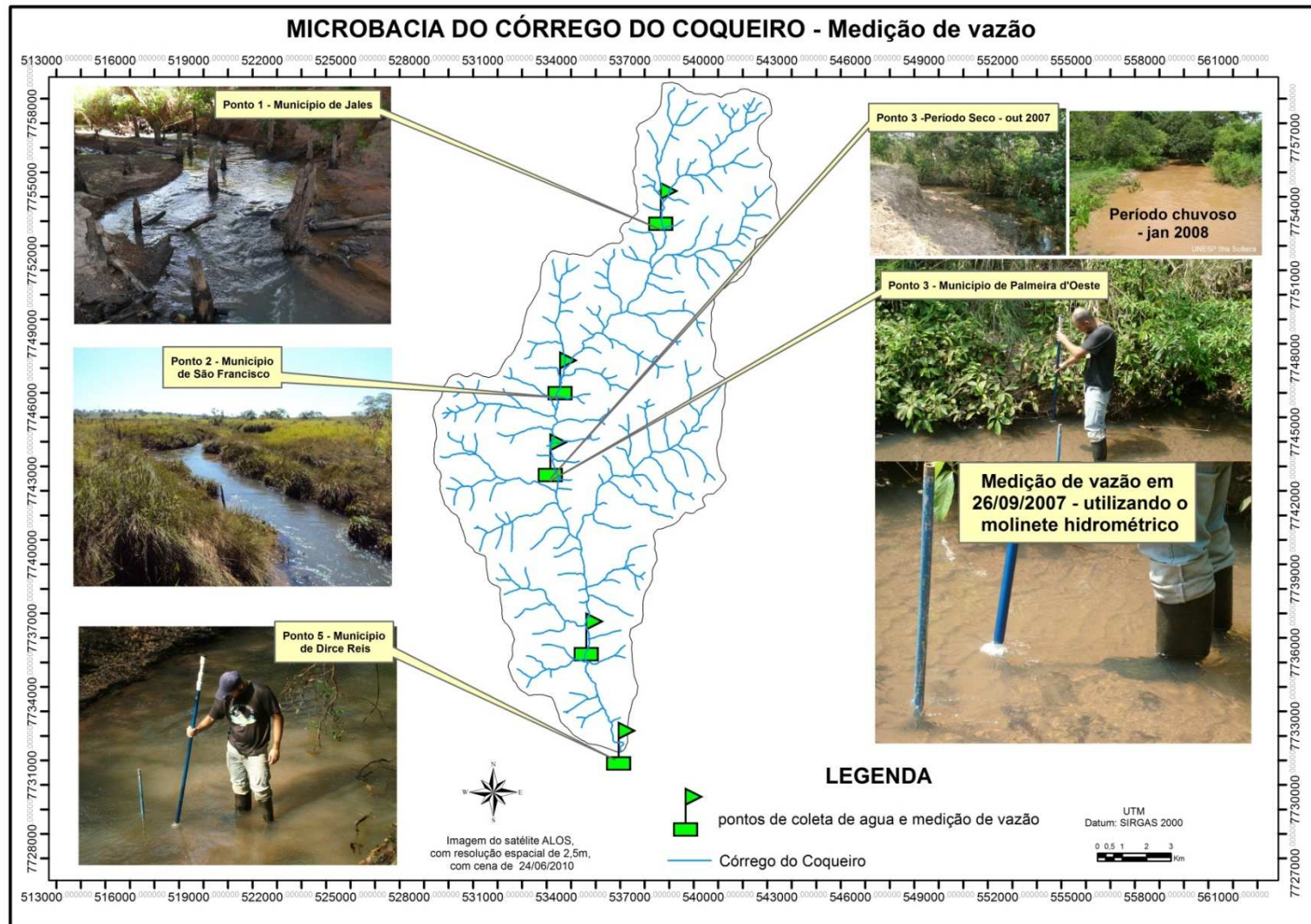


Fonte: Franco (2012)

Na Figura 22 mostra a variação do nível d'água em duas situações, período seco (26/09/2007) e chuvoso (jan/2008), no ponto 3 próximo a Estação de Tratamento de Água, no município de Palmeira d'Oeste. No canto superior direito da Figura 22, o

registro fotográfico da elevação de nível de água ocorrido no período chuvoso e a impossibilidade de medição de vazão nestas condições.

Figura 22 - Pontos de coleta de água e medição de vazão.



Fonte: Franco (2012)

3.5.9. Transporte de sedimentos

A descarga sólida total da microbacia foi determinada pelo método de (COLBY (1954; CARVALHO, 1994, 372p.). Neste método a descarga sólida total (DST) é determinada pela seguinte expressão:

$$DST = DSS + DSL \quad (8)$$

sendo:

DST - descarga sólida total (kg d⁻¹)

DSS - descarga sólida em suspensão (kg d⁻¹)

DSL - descarga sólida do leito (kg d⁻¹)

A descarga sólida em suspensão é determinada pelo produto da vazão pela concentração de sólidos totais, com base na seguinte equação:

$$DSS = \frac{(C_{st} * Q) * 24}{10^9} \quad (9)$$

sendo:

DSS - descarga sólida em suspensão (kg d⁻¹);

C_{st} - concentração de sólidos totais (mg L⁻¹);

Q - vazão (L h⁻¹).

A descarga sólida do leito é determinada em função da concentração de sólidos em suspensão, da velocidade média do fluxo e das dimensões do canal, por meio da seguinte expressão:

$$DSL = (39 * V_m^{3,36} * L * K) * 10^3 \quad (10)$$

sendo:

DSL - descarga sólida do leito (kg d^{-1});

V_m - velocidade média do fluxo (m s^{-1})

L - largura linear da seção do canal (m);

K - fator de correção.

O fator de correção é determinado em função da concentração de sólidos totais e da concentração relativa, utilizando a seguinte expressão:

$$K = 1,18 * \left(\frac{C_{st}}{C_R} \right) \quad (11)$$

sendo:

K - fator de correção;

C_{st} - concentração de sólidos totais (mg L^{-1});

C_R - concentração relativa (mg L^{-1}).

A concentração relativa é determinada com o auxílio do Ábaco de Colby, em função da velocidade média do fluxo e da profundidade média do canal (Figura 23).

Em seguida realizou-se a conversão da descarga sólida total em descarga sólida total específica para cada sub-bacia, utilizando a seguinte expressão:

$$DST_{esp} = \frac{DST}{A * 10^3} \quad (12)$$

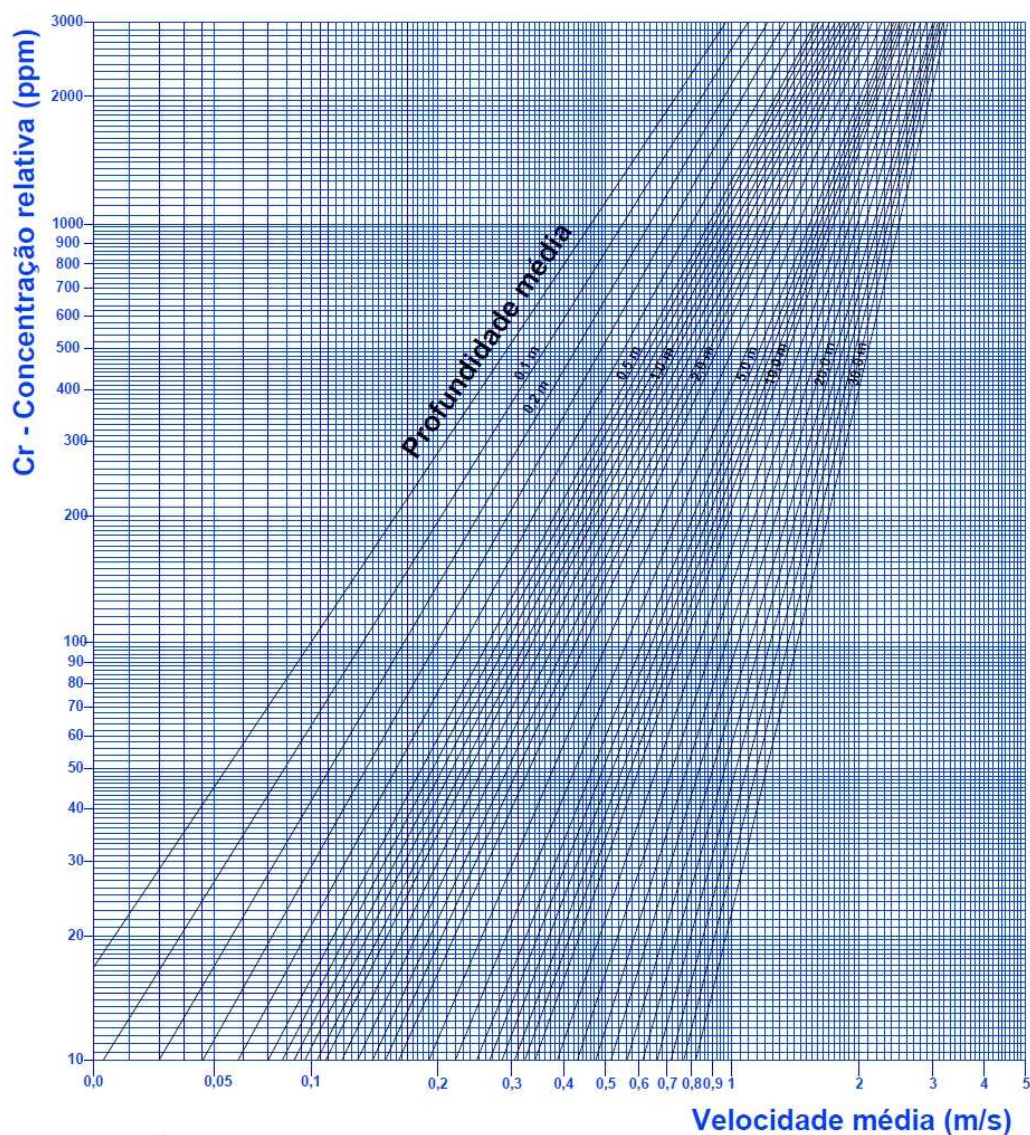
sendo:

DST_{esp} - descarga sólida total específica ($\text{td}^{-1} \text{ km}^{-2}$)

DST - descarga sólida total (kg d^{-1})

A - área de drenagem da sub-bacia (km^2).

Figura 23 - Ábaco para a determinação da concentração relativa.



Fonte: Vanzela (2008)

3.5.10. Usos múltiplos da água na microbacia

Na microbacia a finalidade de uso da água em destaque é a irrigação, com 54% dos pedidos de outorga são para essa finalidade (DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA, 2011).

3.5.10.1. Caracterização dos sistemas de irrigação

A caracterização dos sistemas de irrigação na microbacia baseou-se no trabalho de Feitosa et al. (2011), que avaliou 16 sistemas de irrigação, distribuídos em oito propriedades. Para a quantificação das vazões dos sistemas de irrigação utilizaram-se os seguintes procedimentos: para o sistemas de aspersão, coletava-se a vazão do aspersor com o auxílio de uma mangueira de polietileno de 2" e de um balde graduado durante um determinado tempo e em seguida o volume era transformado em m³/h; na irrigação localizada, foram utilizadas provetas posicionadas em três pontos na mesma linha lateral, o primeiro emissor, posicionado a 40% do comprimento total da linha e no último emissor medindo a precipitação ou vazão horária que era coletada por três vezes para a obtenção da média a ser utilizada nos cálculos posteriores, o procedimento era realizado em três linhas laterais distribuídas no início, meio e final do mesmo setor de irrigação.

Os valores médios de vazão obtida nos sistemas de irrigação localizada e aspersão eram multiplicados pelo número de emissores/aspersores para a obtenção da vazão do setor avaliado. A partir daí obteve-se a vazão total da área avaliada somando-se a vazão de todos os setores.

Com as informações de vazões médias de cada sistema de irrigação avaliado e a partir da identificação das áreas irrigadas através do plano de informação de uso e ocupação do solo da microbacia foi estimado o valor consumido das áreas irrigadas, principalmente as áreas destinadas ao cultivo de uva, pois é um tipo de cultura que é 100% irrigada.

Estimou-se o consumo total de água pela irrigação, relacionando o consumo dos setores avaliados em cada propriedade com a área irrigada e em seguida extrapolando esta relação para a área irrigada total identificada no Córrego do Coqueiro, de acordo com as seguintes expressões:

$$Q_{\text{setor}} = Q_i * n \quad (13)$$

Sendo:

Q_{setor} - Vazão do setor irrigado em m³ h⁻¹;

Q_i - Vazão média emissor/aspersor em m³ h⁻¹;

n - número de emissores/aspersores.

$$Q_{total} = \frac{(Q_{setor1} + Q_{setor2} + Q_n)}{(A_{setor1} + A_{setor2} + A_n)} * A_{total} \quad (14)$$

Sendo:

Q_{total} - Vazão total dos sistemas de irrigação na microbacia em $m^3 h^{-1}$;

Q_{setor1} - Vazão do setor 1 em $m^3 h^{-1}$;

A_{setor1} - Área do setor 1;

A_{total} - Área total de irrigação na microbacia.

3.5.10.2. Disponibilidade de água - tanque de subsuperfície

Os tanques de subsuperfície existentes foram identificados através do plano de informação do uso e ocupação do solo e que será descrito no item 3.6.2 . A partir da área foi calculado o volume de água, adotando uma profundidade média de 1,5 metro.

3.6. Temas ambientais

Os temas ambientais da microbacia foram elaborados no formato *raster* e vetorial e a construção do banco de dados georreferenciado em ambiente SIG. Os temas ambientais elaborados para o trabalho foram:

- Uso e ocupação do solo;
- Uso e ocupação do solo em áreas de preservação (APP);
- Modelo numérico do terreno - isolinhas altimétricas, declividade;
- Limite da microbacia e sub-bacias;
- Hidrografia;
- Pontos de monitoramento hídrico;
- Mapa pedológico;

- Mapa de vegetação;
- Identificação das áreas irrigadas (videiras)
- Mapa de fragilidade ambiental;
- Mapa de perda de solos;
- Mapas de critério para a elaboração da análise multicritério.

3.6.1. Imagem de satélite

A imagem utilizada para a construção dos planos de informações foi do satélite ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*), dos sensores AVNIR (*Advanced Visible and Near-Infrared Radiometer - Type 2*) e PRISM (*Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping*).

A operação de registro da imagem foi realizada no *software* ArcGIS 10[®] e executada através da identificação de pontos de controle na imagem digital. A próxima etapa foi realização do processo de fusão que consistiu em unir a banda pancromática (resolução espacial de 2,5m) com as bandas multiespectrais com a cena de 24/06/2010 (resolução espacial de 10 m). O resultado foi uma imagem fusionada, de resolução espacial de 2,5 m e composição natural de 3(R), 2(G) e 1(B).

Finalizada esta etapa a imagem da microbacia foi integrada ao banco de dados e passou a compor a imagem base para a construção de outros planos de informação (PIs).

3.6.2. Uso e ocupação do solo

A partir da imagem de satélite foi feita a digitalização manual via mouse do uso e ocupação do solo em ambiente SIG, através do *software* ArcGIS 10[®], em estrutura vetorial e na forma geométrica polígono e em seguida, armazenado no formato *shapefile*. Para a identificação dos alvos adotou-se uma descrição, conforme a Tabela 18.

Tabela 16. Legenda do uso e ocupação do solo.

Uso	Ocupação	Descrição
Rural	Cultura arbórea	Culturas representadas por formações perenes.
	Cultura herbácea	Culturas anuais e semiperenes
	Pastagem	Pastagem cultivadas com gramíneas.
	Pasto sujo	Pastos com a presença de arbustos e pequenas árvores
	Construções	Representam as casas, galpões
	Misto	As áreas em que não é possível, devido à escala final, separar as coberturas. Normalmente são pequenos pomares ao lado de hortas, construções, misturados numa matriz indizível.
Vegetação	Fragmento de mata	Formações florestais remanescentes de mata.
	Mata ciliar	Vegetação florestal que se desenvolve ao longo da rede hidrográfica.
	Várzea	Áreas úmidas recobertas com vegetação arbustiva e taboa (<i>Typha</i> sp.) próxima aos cursos d'água.
Água	Tanque de subsuperfície	Tanque construído para armazenamento de água e geralmente próximo à margem do córrego.
	Açudes	São as lâminas d'água criadas por barramentos.

Fonte: Franco (2012)

Com o auxílio de um receptor de GPS de navegação, foram realizadas observações em campo para a identificação de alguns alvos que não puderam ser identificados através das suas características espectrais.

3.6.3. Uso e ocupação do solo em áreas de preservação permanente

Para a elaboração do mapa de uso ocupação do solo em áreas de preservação permanente foi criado inicialmente um mapa de distância. A partir do plano de informação hidrografia e foi definida uma distância de 30 metros da rede de drenagem e para as nascentes definiu-se uma distância de 50 metros do vetor ponto.

3.6.4. Modelo Numérico do Terreno

As informações sobre as variações da altitude do terreno foram obtidas do Projeto Topodata - INPE, que disponibiliza dados geomorfométricos locais derivadas de dados SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) para todo o território nacional (VALERIANO, 2008). Através da Internet é possível acessar o arquivo ZN.tif de altitude numérica e o mesmo serviu de informação de entrada para a criação das curvas altimétricas no formato *shapefile*.

3.6.5. Hidrografia

Para compor as informações de hidrografia foi utilizada a carta topográfica do IBGE de 1966 na escala 1: 50.000, com curvas equidistantes de 10 metros. A carta topográfica foi transformada de analógica para digital e a mesma foi sobreposta à imagem *raster* para integrar os dados. Para corrigir as imperfeições da rede hidrográfica presente na carta topográfica com a imagem de satélite, a hidrografia foi digitalizada manualmente através da imagem ALOS, no modo de edição do ArcGIS 10[®].

3.6.6. Pontos de monitoramento hídrico

Os pontos de monitoramento foram obtidos em campo através do GPS de navegação e as coordenadas geográficas de cada ponto foram armazenadas no banco de dados e transformadas em estrutura vetorial. Junto ao PI de pontos de monitoramento foram adicionadas as informações de qualidade de água. As informações físicas, químicas e biológicas de água foram editadas em planilhas na extensão.dbf e importada para o *software* de SIG. A planilha de qualidade de água foi organizada da seguinte maneira: ponto de amostragem; data; temperatura; temperatura (T); condutividade elétrica (CE); ferro total (Fe); cálcio (Ca); magnésio (Mg); dureza total (DT); sólidos suspensos (SS); sólidos dissolvidos (SD); sólidos totais (ST); oxigênio dissolvido (OD); potencial hidrogeniônico (pH); coliformes totais (CT); coliformes fecais (CF); turbidez (TD); vazão (Q); seção molhada (Sm); largura

da seção (L); profundidade média do canal (Prof); velocidade média do fluxo (v) e descarga sólida total (DST).

3.6.7. Mapa de vegetação

Através do mapa de uso e ocupação do solo foram selecionados os fragmentos florestais existentes na microbacia para compor o mapa de vegetação. Esse procedimento foi realizado no *menu selection* do ArcGIS[®]10 na seguintes sequência: *selection; selection by attributes*. Por meio desta seleção o software de SIG extrai a opção selecionada, neste caso os fragmentos de mata identificados durante a confecção do mapa de uso e ocupação. Após a seleção do *shapefile* de mata foi calculada a área de cada polígono e determinado a porcentagem de mata na microbacia.

A vegetação da região noroeste do Estado de São Paulo foi classificada como Florestal Estacional Semidecidual (VELOSO et al., 1991), atualmente as formações existentes são secundária ao meio dos agroecossistemas. Este tipo de vegetação está todo fragmentado e degradado por estarem em áreas que passaram por grandes transformações econômicas (SÃO PAULO, 2006).

Com informações da Fundação SOS Mata Atlântica (2009) que avaliaram os remanescentes florestais e ecossistemas associados da Mata Atlântica no Estado de São Paulo, no período 2005 foi observado que restava apenas 13,64% de Floresta no Estado. Em 2008, esse valor caiu para 13,63%, um desfolhamento de 0,11% e que representam uma área de 2.455 hectares. Em 2010, em relação ao ano de 2008 foi de 0,02%, uma área de 514 hectares.

De um modo geral as matas ciliares na região noroeste do Estado de São Paulo estão reduzidas e o sistema de drenagem está sem proteção, com leito coberto com sedimentos finos, devido ao processo de assoreamento e fluxo de água reduzido, favorecendo condições ao estabelecimento de macrófitas enraizadas emersas, especialmente a do gênero *Typha*.

3.6.8. Identificação das áreas irrigadas

As áreas irrigadas com uva foram identificadas inicialmente através da imagem de satélite durante a elaboração do mapa de uso e ocupação do solo e visitas ao campo para a identificação da verdade terrestre dos alvos da imagem analisadas.

Após a checagem em campo e finalização do mapa de uso e ocupação, as áreas irrigadas foram selecionadas pelo mesmo procedimento realizado no item 3.4.9..

Os irrigantes identificados por Feitosa et al. (2011) na microbacia foram inseridos no banco de dados em forma de planilha na extensão .dbf e as colunas identificadas com a seguinte informações: ID da propriedade, coordenadas geográficas, tipo de cultura, área irrigadas (ha), tipo de captação e vazão média dos emissores (mm h^{-1}).

3.6.9. Mapa de fragilidade ambiental

Através dos temas ambientais clima, relevo, declividade, solos, geologia, tipo de cobertura vegetal podem ser integrados ambiente SIG e chegar a uma classificação das categorias hierárquicas da fragilidade ambiental. Para a microbacia os PIs para a criação do mapa de fragilidade da microbacia foram o mapa pedológico, declividade e uso e ocupação do solo.

Para os PIs da microbacia (solos, declividade e uso e ocupação) foram identificadas as classes de cada plano e em seguida os valores foram ponderados entre 1 a 5 que vão do mais forte ao mais fraco e no caso do uso e ocupação do solo do mais protegido ao menos protegido. O plano de informação relevo não foi utilizado na análise e as informações de cada PIs serão descritas nos subitens abaixo.

3.6.9.1. Índice de declividade

O índice de declividade seguiu a metodologia de Ross (1994) conforme a Tabela 19, definida por classes e grau de declividade. Através do mapa de declividade do córrego do Coqueiro foi reclassificado de acordo com Ross (1994).

Tabela 17. Grau de declividade, segundo Ross (1994).

Graus de declividade	Classes (%)
1 - muito fraca	< 6
2 - fraca	6 a 12
3 - média	12 a 20
4 - forte	20 a 30
5 - muito forte	>30

Fonte: Franco (2012)

3.6.9.2. Classes de fragilidade do solo

Através do mapa pedológico foram atribuídas as classes de fragilidade aos tipos de solo existentes na microbacia. As classes de fragilidades de solos foram determinado de acordo com Ross (1994) e segue os seguintes tipos de solos, conforme a Tabela 20.

Tabela 18. Classe de fragilidade e tipos de solos.

Classe de fragilidade	Tipos de solos
1 - Muito baixa	Latossolo roxo, Latossolo Vermelho Escuro e Vermelho Amarelo, textura argilosa
2 - Baixa	Latossolo Vermelho-Amarelo textura média/argilosa
3 - Média	Latossolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Vermelho, Argissolo Vermelho-amarelo textura média/argilosa
4 - Forte	Argissolo Vermelho-Amarelo textura média/arenosa e cambissolos
5 - Muito forte	Argissolo Vermelho, Neossolo litólico e Neossolo Arênico

Fonte: Franco (2012)

3.6.9.3. Grau de proteção do solo e o tipo de cobertura vegetal

Através do PI uso e ocupação do solo foi elaborado o PI grau de proteção do solo segundo a cobertura de vegetação existente. Ross (1994, 2003) determina uma

classificação de acordo com a ordem decrescente da capacidade de proteção (Tabela 21).

Tabela 19. Graus de proteção e tipos de cobertura vegetal.

Grau de proteção	Tipos de cobertura vegetal
1 - Forte	Florestas/Matas Naturais, Florestas Cultivadas com diversidade de espécies e vários estratos.
2 - Médio	Formações arbustivas originais abertas com estrato de gramíneas Formações arbustivas densas de origem secundárias (capoeira) Formações naturais cultivadas de gramíneas (pastos) Agricultura de ciclo longo de ocupação densa (cacau, banana).
3 - Fraca	Áreas desmatadas recentes Agricultura de ciclo curto (arroz, milho, feijão, soja, trigo) e agricultura de ciclo longo de baixa densidade (café, laranja, pimenta-do-reino).

Fonte: Franco (2012)

3.6.9.4. Fragilidade potencial e fragilidade ambiental

Após a classificação do mapa de solos e do mapa de declividade, os dois mapas foram cruzados para obtenção do mapa de fragilidade potencial (elementos da dinâmica natural). O mapa de fragilidade potencial foi cruzado com o mapa de uso e ocupação para a formação do mapa de fragilidade ambiental (Figura 24).

Para a cálculo dos PIs foi utilizada a função *raster calculation*, disponível em *Spatial analyst tools* no *Arctoolbox* do *ArcGIS*®10. O algoritmo criado foi construído da seguinte maneira no *raster calculation*:

$$Fragilidade = [(3 * dec) + (4 * uso) + (3 * solos) / 10] \quad (15)$$

sendo:

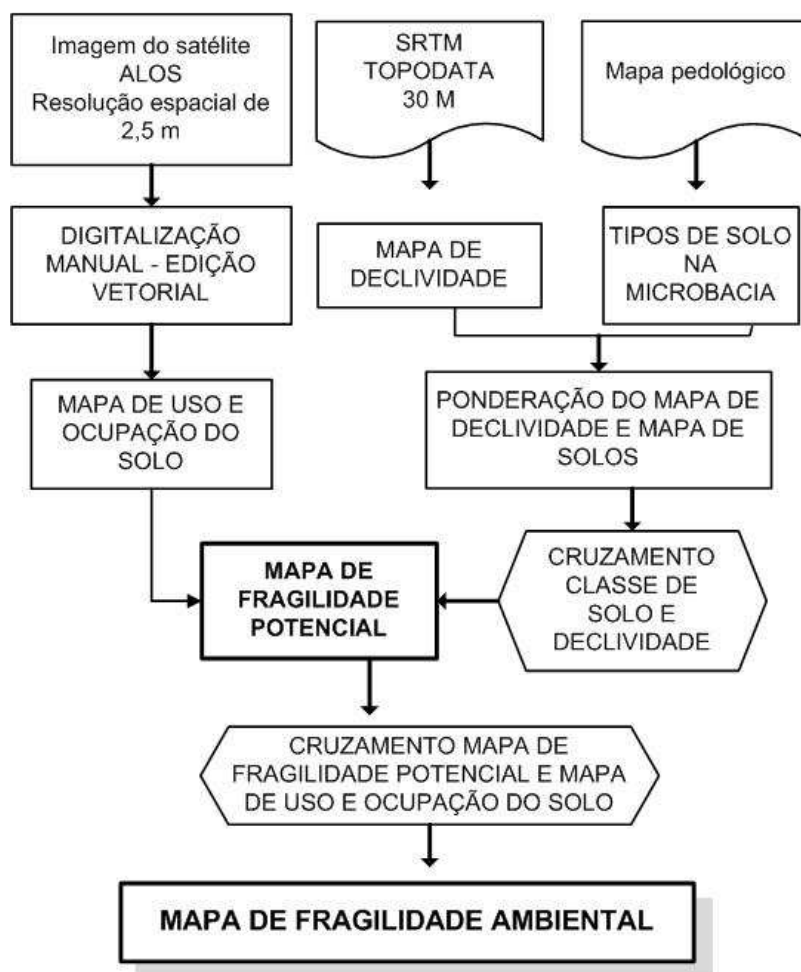
dec - mapa de declividade;

uso - mapa de uso e ocupação do solo;

solos - mapa de solos.

Foi dado peso 3 para a declividade e solos e o peso 4 para o uso e ocupação do solo, levando em consideração um maior peso para as ações antrópicas na microbacia. Em seguida o mapa obtido foi reclassificado em cinco classes, conforme a proposta de Ross (1994). Na Figura 24 o fluxograma das etapas de elaboração do mapa de fragilidade.

Figura 24 - Etapas para a obtenção do mapa de fragilidade ambiental.



Fonte: Franco (2012)

3.6.10. Mapa de perda de solos

Para a elaboração do mapa de perda de solos foi utilizado a Equação Universal de Perda de Solos (*Universal Soil Loss Equation* - USLE). Essa equação é amplamente utilizada na avaliação qualitativa de predição de perdas de solos por

erosão laminar, com o objetivo de se avaliar e identificar áreas susceptíveis à erosão. USLE foi proposta por Wischmeier e Smith (1978) e é definida por:

$$A = R * K * L * S * C * P \quad (16)$$

Sendo:

A - a perda de solos em T(ha.ano);

R - o fator de erosividade das chuvas, em t.h.Mj.mm;

K - o fator de erosividade do solo em t.h/(Mj/mm);

L - o fator comprimento da rampa;

S - a declividade

C- o fator uso e manejo e

P- o fator práticas conservacionistas.

O valor de cada parâmetro da USLE foram calculados a partir dos PIs elaborados no ambiente SIG. A seguir são descritos nos subitens os procedimentos utilizados na representação espacial e quantificação dos fatores da USLE, no formato vetorial e *raster*.

3.6.10.1. Erosividade da chuva - Fator R

A erosividade da chuva é a capacidade de uma chuva de erodir um solo desprotegido. Para a cálculo foi utilizado à equação de Bertoni e Lombardi Neto (1999):

$$E_{i\ mensal} = 89,823 * (P_m^2 / P_a)^{0,759} \quad (17)$$

Sendo:

$E_{i\ mensal}$ - média mensal da erosividade para o mês, Mj.mm/(ha.h.ano), para o mês considerado;

P_m^2 - precipitação média mensal, mm, do mês considerado;

P_a - precipitação média anual, mm.

Para a estimativa do cálculo da erosividade da chuva foram utilizados os dados mensais de precipitação do período histórico entre 1999 a 2009, obtidos da Estação Agroclimatológica, localizada no município de Marinópolis-SP e operada pela Área de Hidráulica e Irrigação da UNESP Ilha Solteira (UNESP, 2011).

Tabela 20- Precipitação média mensal, período entre 1999 a 2009 e fator erosividade (R).

Mês	Precipitação média	Erosividade da chuva (MJ. mm. ha ⁻¹ h ⁻¹)
jan	249	1901,61
fev	147	854,43
mar	136	759,28
abr	42	127,58
mai	68	265,12
jun	14	24,07
jul	20	41,37
ago	22	47,81
set	52	176,43
out	80	339,30
nov	114	580,86
dez	167	1036,99
total	1111	6154,85

Fonte: Franco (2012)

3.6.10.2. Fator topográfico (LS)

O fator topográfico é constituído pelo comprimento da rampa (L) e pela declividade (S) e tem a função de avaliar a influência topográfica na erosão do solo.

O fator topográfico (LS) foi elaborado a partir do Modelo Numérico do Terreno descrito no item 3.6.4.. Porém, antes da criação do fator topográfico houve a extração da rede de drenagem, no modo automático da ferramenta *spatial analyst tools*, no item *Hydrology- ArcGIS*®10. As duas ferramentas principais que realizam a extração da rede de drenagem são: *flow direction* (Direção de fluxo) e *flow accumulation* (Fluxo de acumulação).

A direção de fluxo é um produto derivado do modelo numérico do terreno (MNT), em formato matricial para estudos hidrológicos e tem a função de encontrar uma única direção de fluxo para cada pixel do MNT, a determinação da direção é feita

através dos oitos vizinhos de um pixel, com uma janela de 3x3, e a direção é determinada pela maior declividade. O cálculo neste caso é feito pela diferença de elevação entre os pixels vizinhos e o pixel central dividida pela distância entre eles, proporcionando o traçado do fluxo.

A ferramenta *flow direction* realiza uma relação entre a célula central e as células adjacentes determinando as áreas de maior declive através dos dados de altimetria, proporcionando o traçado da direção do fluxo do canal hídrico uma vez que a água segue o caminho de menor esforço, neste caso o de maior declividade.

Já a ferramenta *flow accumulation* determina o caminho percorrido pelo fluxo hídrico que irá acumular no pixel de menor altitude, permitindo a extração da rede de drenagem e a delimitação automática da bacia hidrográfica. Este processo compara cada célula *raster* com seus vizinhos e determina através dos dados do *flow direction* quantas células fluem para a primeira, realizando este cálculo para todas as células e determinando os canais hídricos por onde a água escoar e se concentra e delimitando a bacia hidrográfica a partir das células que não recebem fluxo de água, as quais na realidade seriam as cristas e os topos de morro, divisores de bacias hidrográficas.

Após a elaboração do fluxo acumulado o fato topográfico foi obtido pela seguinte equação proposta por Chair (2005) e utilizada também por Lopes et al. (2011):

$$LS = 1,6 * \left(\frac{(\text{fluxoacumulado} * MNT)}{22,1} \right)^{0,6} * \left(\frac{\text{sen}(\text{declividade} * 0,01745)}{0,09} \right)^{1,3} \quad (18)$$

Sendo:

fluxoacumulado - fluxo acumulado;

MNT - Modelo Numérico do Terreno (resolução espacial de 30m);

declividade - declividade do terreno.

3.6.10.3. Erodibilidade do solo (K)

A determinação do valor de erodibilidade do solo da microbacia foi elaborada a partir do mapa pedológico do Estado de São Paulo (OLIVEIRA et al., 1999) e o valor de K para o tipo de solo foi determinado através do levantamento de informação sobre a erodibilidade de classes de solos no Estado de São Paulo (SILVA; ALVARES, 2005). Os autores definiram valor médio de $0,0425 \text{ (t.ha}^{-1}.\text{MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1})$ para a classe Argissolos no Estado de São Paulo e de acordo com a classe de interpretação para a erodibilidade, os solos nesta classe enquadram-se na classificação de alta erodibilidade.

3.6.10.4. Uso e manejo dos solos (C) e práticas conservacionistas (P)

Os fatores C e P referem-se à participação antrópica no processo. Através do uso e ocupação do solo foram inseridos valores de C nas classes de uso ocupação do solo determinadas no *item* 3.4.2..

Os valores do fator C estão na Tabela 23 e foram obtidos através de consulta bibliográfica. No SIG, a estrutura vetorial *shapefile* foi convertido para *raster* e em seguida foram inseridos os valores de cada classe de uso e ocupação do solo.

Tabela 21. Valores de C em função das classes de uso e ocupação do solo.

Uso	Fator C	Fonte
Cultura herbácea	0,3066	Ribeiro e Alves (2007)
Mata ciliar	0,012	
Fragmento de mata	0,012	
Solo exposto	1,0	Farinasso et al. (2006)
Pastagem	0,100	
Misto	0,800	
Pasto sujo	0,100	Silva et al. (2003, p.75)
Várzea	0,010	
APP degradada	0,010	
Urbano	0,000	
Estradas	0,000	
Cultura arbórea	0,2	

Fonte: Franco (2012)

Para as práticas conservacionistas foram adotada as definições de Bertoni e Lombardi Neto (1999) e Righetto (1998).

Tabela 22. Valores de P em função das classes de uso e ocupação do solo.

Classe de uso ocupação do solo	Valor P
Fragmentos de mata	0,1
Várzea	0,1
Pastagem	0,4
Agricultura	0,7
Solo exposto	1,0

Fonte: Franco (2012)

3.6.10.5. Integração das variáveis da USLE no SIG

A partir do cruzamento no SIG dos PIs de erosividade das chuvas (R), erodibilidade dos solos (K) e dos fatores topográficos (LS) determinou-se o potencial natural a erosão (PNE), através da seguinte equação:

$$PNE = K * R * LS \quad (19)$$

Essa integração representa os principais fatores do meio físico e são dependentes das condições ambientais. A operação foi realizada na linha de comando do *software* ILWIS 3.4

A perda de solos por erosão laminar (A) foi obtida pela integração das variáveis físicas com as variáveis antrópicas, conforme a equação abaixo:

$$A = PNE * C * P \quad (20)$$

O mapa de perda de solo por erosão laminar foi obtido pelo cruzamento dos PIs na linha de comando do SIG, conforme a equação 10.

Após o cálculo de perda de solos por erosão laminar, o PI foi reclassificado de acordo com a recomendação de Silva et al. (2003), apresentada na Tabela 25.

Tabela 23. Classe de perda por erosão laminar.

Perdas por erosão laminar (t.ha⁻¹.ano⁻¹)	Classes de interpretação
< 10	Nula a pequena
10 a 15	Moderada
15 a 50	Média
50 a 120	Média a forte
120 a 200	Forte
>200	Muito forte

Fonte: Franco (2012)

3.6.11. Definição dos Pls para a análise multicritério

Após visitas ao campo e a construção do banco de dados da microbacia do córrego do Coqueiro, foi realizado um estudo de identificação e quantificação dos diferentes tipos de uso na área de APP na microbacia. A área de APP foi definida por Lei e a sua adequação é fundamental para manter a estabilidade dos agroecossistemas, proteção dos recursos hídricos regionais, a formação de corredores ecológicos para a fauna e flora, interligando os fragmentos florestais da região. Afim de priorizar algumas dessas áreas para a restauração florestal foi utilizado o SIG e o método multicritério. A análise multicritério é um método utilizado para a resolução de vários problemas e muitas vezes o seu resultado facilita a tomada de decisão, assim indicando as ações prioritárias aos objetivos considerados.

O SIG utilizado para a análise de multicritério foi o *software* ILWIS 3.4 (VAN WESTEN; FARIFTEH, 1997) e algumas etapas de execução da análise no ambiente SIG serão descrita nos itens abaixo.

3.6.11.1. Método de análise multicritério

O método de análise multicritério utilizado para o estudo de recuperação ambiental da microbacia do córrego do Coqueiro foi a Programação Por Compromisso. Esse método faz uma ponderação de cada critério e no conjunto analisado cada critério tem a sua importância no estudo. O método Programação por Compromisso foi utilizado por Francisco (2006), que usou esse método de análise multicritério para a definição de área prioritária para a recuperação de Área de Preservação Permanente (APP).

Para a definição de áreas prioritárias para a recuperação da Área de Preservação Permanente do córrego do Coqueiro, foram adotadas as propostas metodológicas de Francisco (2006) e Francisco et al. (2008). De acordo com Zeleny (1982) o método se baseia no conceito de distância métrica entre dois pontos cujas coordenadas são conhecidas. O método procura minimizar a distância de todos os

pontos possíveis de ocorrerem em relação a um determinado ponto identificado pelo tomador de decisão (DM), o “ponto meta” (*ideal point*) (FRANCISCO et al., 2008).

A distância métrica é dada pela seguinte equação, de acordo com Zuffo et al. (2002):

$$l_s(x) = \left(\sum_{i=1}^n \alpha_i^s \left| \frac{f_i - f(x)}{f_i^* - f_{i,w}} \right|^s \right)^{1/s} \quad (21)$$

Em que:

$l_s(x)$ = distância entre a solução obtida com o procedimento metodológico x e a solução ideal;

α_i = peso atribuído a cada critério i;

$f_{i,w}$ = pior valor obtido para o critério i;

f_i^* = melhor valor obtido o critério i;

$f_i(x)$ = resultado da implementação da decisão x considerando o critério i;

S = proporcionalidade aplicada aos desvio, sendo $1 \leq S \leq \infty$; neste trabalho escolheu o valor $S=1$, de forma a manter todos os desvios de f_i^* proporcionalidade à suas magnitudes.

3.6.11.2. Pesos dos critérios analisados

Na metodologia empregada por Francisco (2006), foram definidos pesos diferenciados para cada critério analisado. Os pesos foram obtidos através de consulta feita com vários analistas ambientais, que responderam a um questionário e atribuíram valores a cada critério considerado na análise do ribeirão das Anhumas, na região de Campinas. Foram definidos oito critérios e os pesos dos critérios foram agrupados em uma matriz multicritérios (matriz *payoff*). De acordo com Francisco (2008), os pesos correspondem à moda e à média expurgada dos pesos atribuídos

pelos especialistas a cada critério. A média expurgada relaciona-se à média dos pesos que satisfazem a condição:

$$\bar{x} - s \leq \alpha_i \leq \bar{x} + s \quad (22)$$

$$\bar{x} - s \leq \alpha_i \leq \bar{x} + s$$

Em que:

$\bar{x}$ = média de todos os pesos finais;

s = desvio-padrão;

α_i = peso sugerido pelos especialistas.

Na análise realizada por Francisco (2006) constatou-se que o critério “proximidade de vegetação nativa” recebeu a maior frequência de notas máximas.

Para a análise multicritério na microbacia do córrego do Coqueiro foram adotados os mesmos critérios adotados por Francisco (2006). Entretanto, nesta análise foram aplicou-se somente quatro critérios definidos com os maiores pesos, conforme descrito abaixo:

- proximidade da vegetação nativa: 0,168;
- vulnerabilidade: 0,154;
- uso e ocupação do solo na APP: 0,150;
- categoria das áreas de preservação permanente: 0,132.

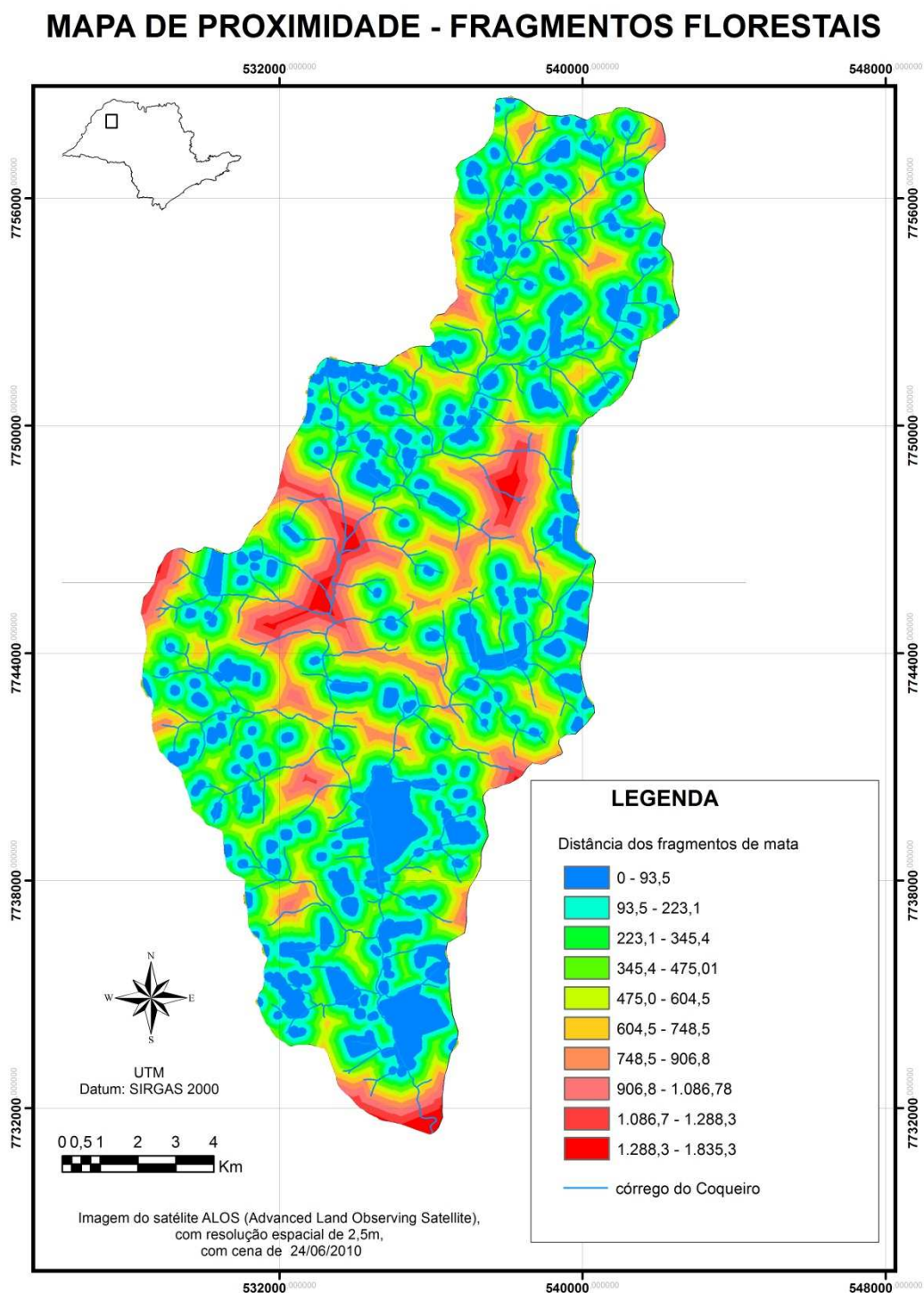
Cabe aqui salientar que na análise multicritério é fundamental a participação de analistas ambientais para a decisão dos critérios e atribuição dos pesos. Na microbacia do córrego do Coqueiro não houve a participação para a definição dos critérios. Optou-se pela consulta bibliográfica e a aplicação do método de Francisco (2006) para a APP.

3.6.11.3. Proximidade da vegetação nativa

Esse mapa foi criado a partir do mapa de fragmentos florestais oriundos do PI uso e ocupação do solo em formato *shapefile*. Em seguida o formato *shapefile*, foi

convertido para *raster* (matricial) e na opção *Raster Operations*, item *Distance Calculation* foi gerado um mapa de proximidade (distância) a partir dos fragmentos florestais identificados (Figura 25).

Figura 25 - Mapa de distância APP a partir dos fragmentos florestais nativos da microbacia do córrego do Coqueiro.



Fonte: Franco (2012)

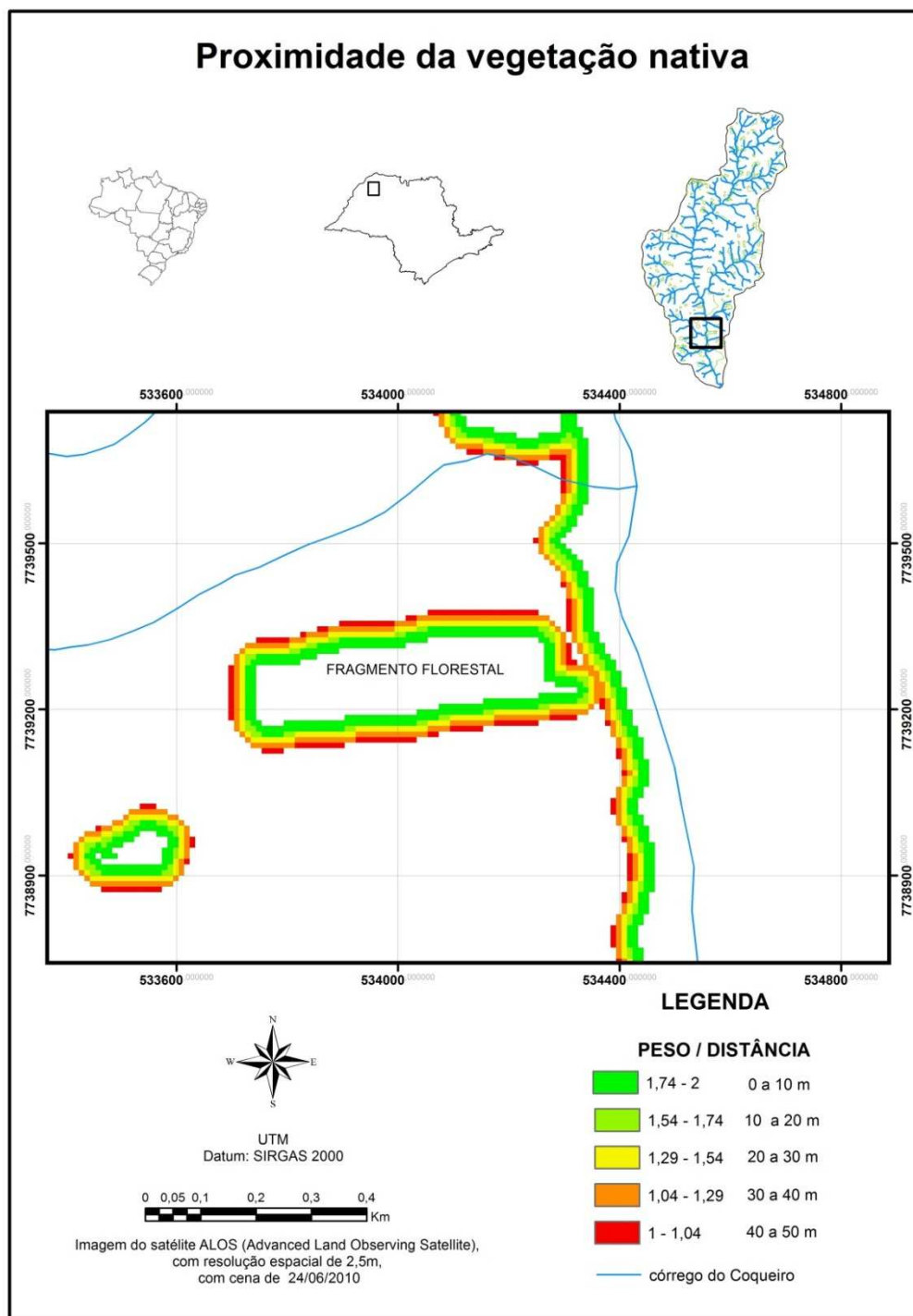
A distância mínima estabelecida foi de 50 metros, medidos na borda de cada fragmento de vegetação nativa, de modo que esse fragmento tivesse alguma influência na ocorrência de chuva de sementes em áreas próximas a APP e assim a maior prioridade para recuperação das áreas mais próximas aos fragmentos e dentro deste raio de ação.

Na análise de elaboração deste PI não se levou em consideração a área interna dos fragmentos florestais que não sofre efeito de borda, essa área é denominada de área nuclear. Todos os fragmentos florestais da microbacia foram avaliados; entretanto, quando se leva em consideração a área nuclear dos fragmentos o ideal é o fragmento ser superior a 7,0 ha, considerando o efeito de borda de 50 metros.

As distâncias dos fragmentos foram normalizadas na escala de 1 a 2 através de uma função linear decrescente, por meio da opção *Imagem Processing*, item *Stretch*.

O mapa de proximidade de vegetação nativa é apresentado na Figura 26. No mapa o detalhe de um fragmento nativo, com a representação da distância e os respectivos pesos.

Figura 26 - Mapa de proximidade da vegetação nativa no córrego do Coqueiro.



Fonte: Franco (2012)

3.6.11.4. Uso e ocupação do solo nas áreas de preservação permanente

O PI uso e ocupação do solo nas áreas de preservação foi elaborado no *item* 3.4.3. De acordo com Francisco (2006), a cobertura vegetal é um dos principais

fatores de prevenção do solo. Na análise priorizou-se a recuperação de áreas do uso e ocupação do solo que o tornam mais desprotegido da ação erosiva da água e do vento. As classes existentes no uso e ocupação do solo na microbacia do córrego do Coqueiro receberam pesos, conforme a Tabela 26 (Figura 27).

Tabela 24. Classe de uso e ocupação do solo na microbacia do córrego do Coqueiro.

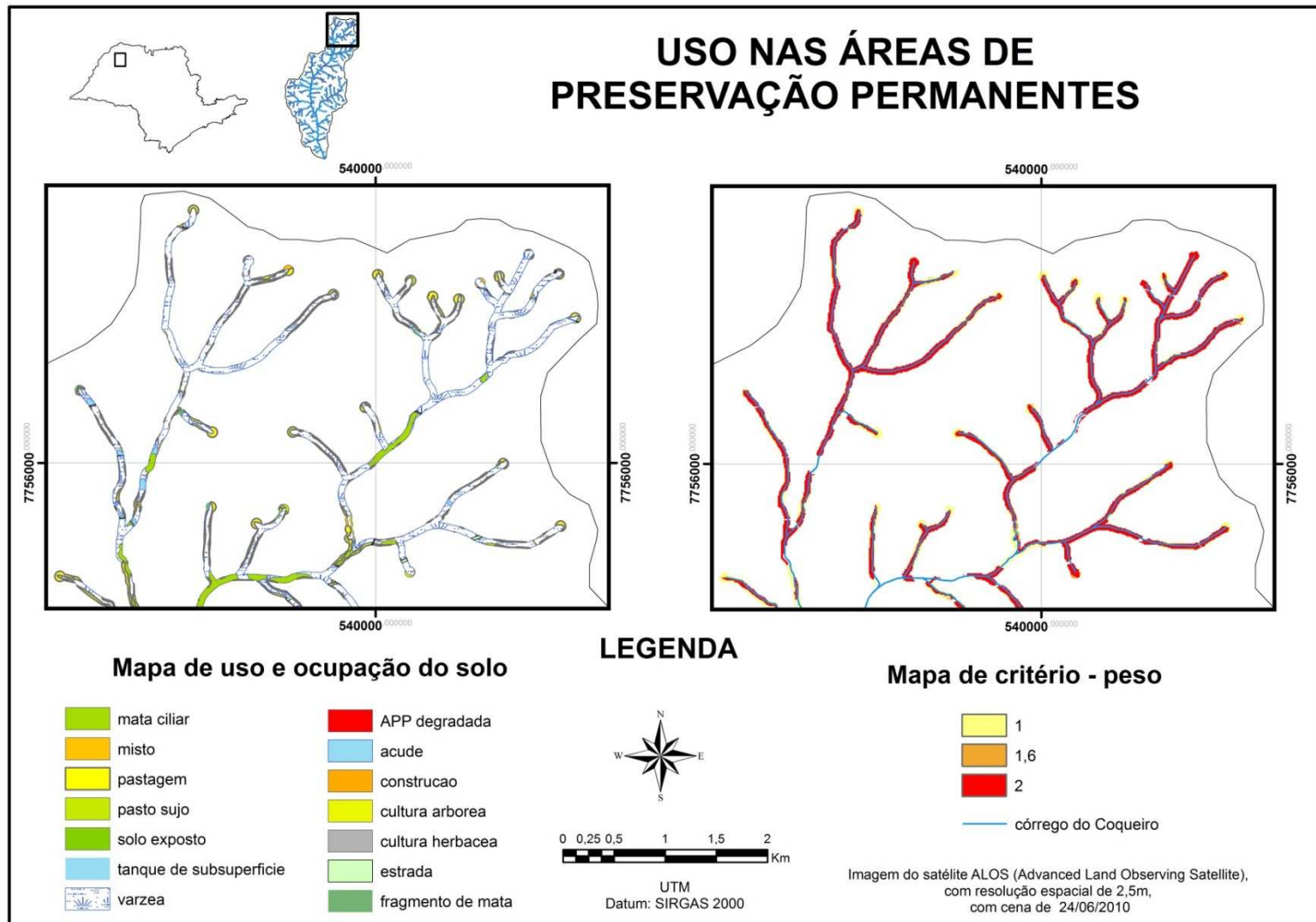
Classes de uso	Pesos
Açude	2,0
App degradada	2,0
Construção	1,8
Cultura arbórea	1,4
Cultura herbácea	1,4
Pasto sujo	1,4
Solo exposto	2,0
Tanque de subsuperfície	2,0
Várzea	2,0

Fonte: Franco (2012)

Priorizou-se a classe de várzea, atribuindo peso 2. A razão é que as várzeas identificadas são áreas que foram desmatadas em decorrência da agricultura intensiva e do uso inadequado do solo acelerou o processo erosivo na região e todos os sedimentos foram depositados nas cotas mais baixas do terreno. Nos trechos de várzea predominam macrófitas aquáticas, principalmente o gênero *Typha* que é geralmente interpretado como sinal de assoreamento, considerando que essa macrófita é enraizada e típica de região que apresenta o solo saturado de água.

Para as classes açude e tanque de subsuperfície priorizaram o peso 2, pois esses locais são importantes à cobertura vegetal para a proteção dos recursos hídricos. O tanque de subsuperfície é um reservatório escavado fora do álveo de curso d'água (SÃO PAULO, 1996) e dentro da área de preservação permanente e tem como finalidade o armazenamento de água e uso na irrigação.

Figura 27 - Mapa de uso ocupação do solo e mapa de critérios do uso nas APP.



Fonte: Franco (2012)

3.6.11.5. Categorias das áreas de preservação permanente

As categorias das áreas de preservação permanente (APP) foram definidas a partir do Código Florestal Brasileiro e enquadrada nos artigos 2º e 3º da Lei nº 4.771, alterada pela Lei 7.803/89 e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001, “Consideram-se de preservação permanentes, pelo efeito de Lei, as áreas situadas nas nascentes, ainda que intermitentes e nos chamados olhos d’água, qualquer que seja a sua situação topográfica, devendo ter raio mínimo de 50 (cinquenta) metros de largura”.

Para as nascentes foi definido um *buffer* de 50 metros e para os cursos d’água, inferior a 10 metros de largura determinou-se um *buffer* de 30 metros. O PI de entrada no SIG foi à hidrografia, onde foi elaborado o *buffer* a partir da rede de drenagem e nascentes. Em seguida o polígono categorias das áreas de preservação permanente foi transformado para *raster*, identificado de acordo à valoração das categorias e normalizado.

As áreas de cabeceira tem um papel fundamental na produção de água e a sua conservação deve ser prioritária. Na microbacia do córrego do Coqueiro foram identificadas 187 nascentes e apenas três nascentes estão de acordo com a Lei.

Segundo a metodologia de Francisco (2006) adotou-se os valores para as nascentes e rede de drenagem, conforme Tabela 27. Esse critério considerou apenas a APP referente aos cursos d’água, dando prioridade as nascentes.

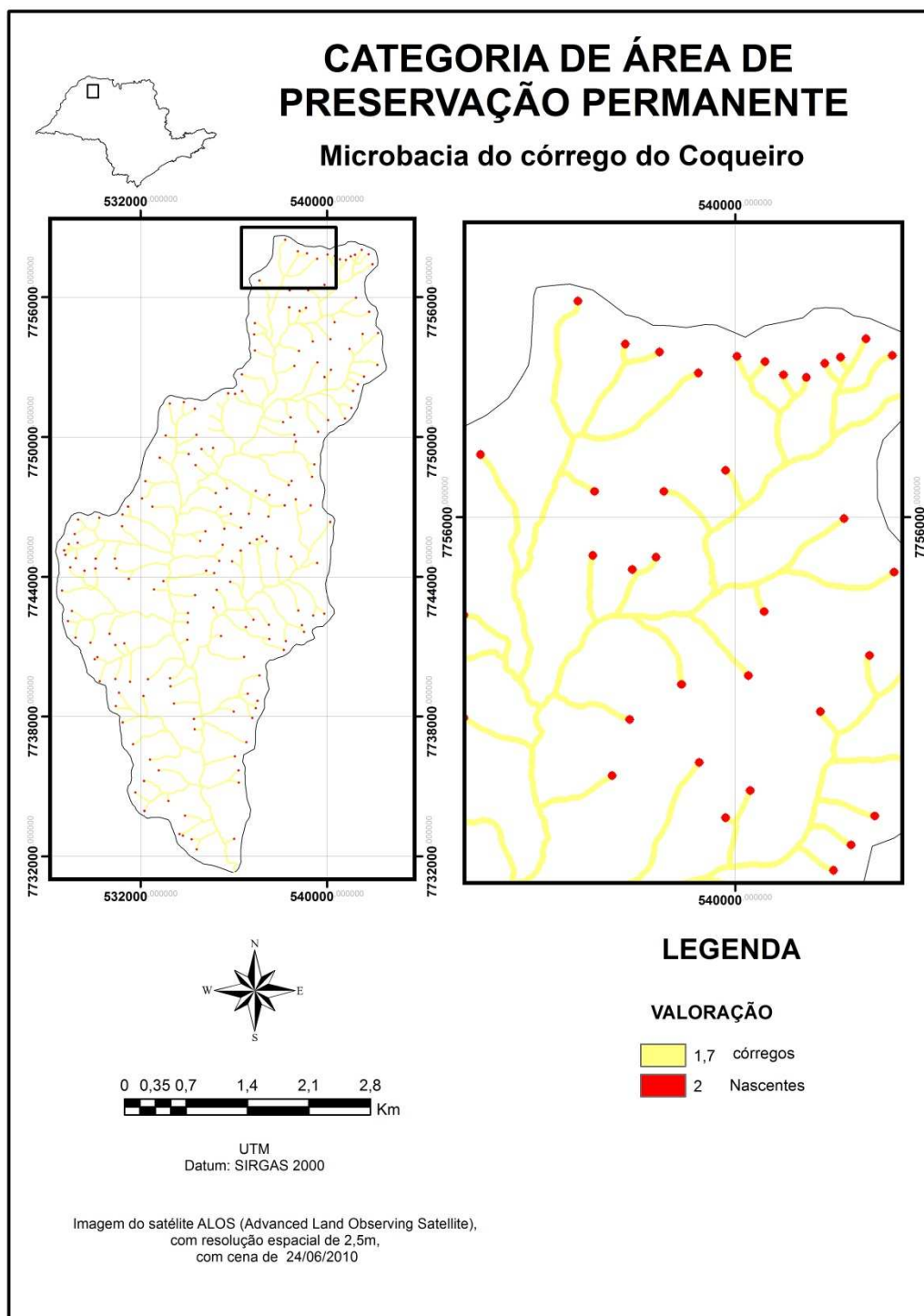
Tabela 25- Categorias de áreas de preservação permanente na microbacia do córrego do Coqueiro.

Tipos de APP	Valoração
Nascentes	2,00
Entorno dos canais de drenagem	1,75

Fonte: Franco (2012)

A Figura 28 apresenta, o mapa de critério de categoria de área de preservação permanente, definindo valor de 2 para as nascentes e os cursos d’água com valores de 1,75.

Figura 28 - Categorias de área de preservação permanente na microbacia do córrego do Coqueiro.



Fonte: Franco (2012)

3.6.11.6. Vulnerabilidade à erosão

Para a elaboração do PI vulnerabilidade à erosão é preciso duas informações: erodibilidade do solo e declividade. A erodibilidade é um índice que indica o quanto um determinado solo é suscetível à erosão, mantida as mesmas condições de clima, de declive e cobertura do solo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1999).

A determinação do valor de erodibilidade do solo da microbacia foi elaborado a partir do mapa pedológico do Estado de São Paulo (OLIVEIRA et al., 1999) e o valor de K para o tipo de solo foi determinado através do levantamento de informação sobre a erodibilidade de classes de solos no Estado de São Paulo (SILVA; ALVARES, 2005). Os autores definiram o valor médio de $0,0425 \text{ (t.ha}^{-1}.\text{MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1})$ para a classe Argissolos no Estado de São Paulo, o qual de acordo com a classe de interpretação para a erodibilidade dos solos é considerada um valor alto.

O mapa de declividade foi obtido no *item* 3.4.4. e foram determinadas as classes de declividade, segundo Lepch et al. (1991) conforme a Tabela 27. Os maiores pesos foram atribuídos às classes de declividade mais acentuadas e a prioridade foi dada para essas classes.

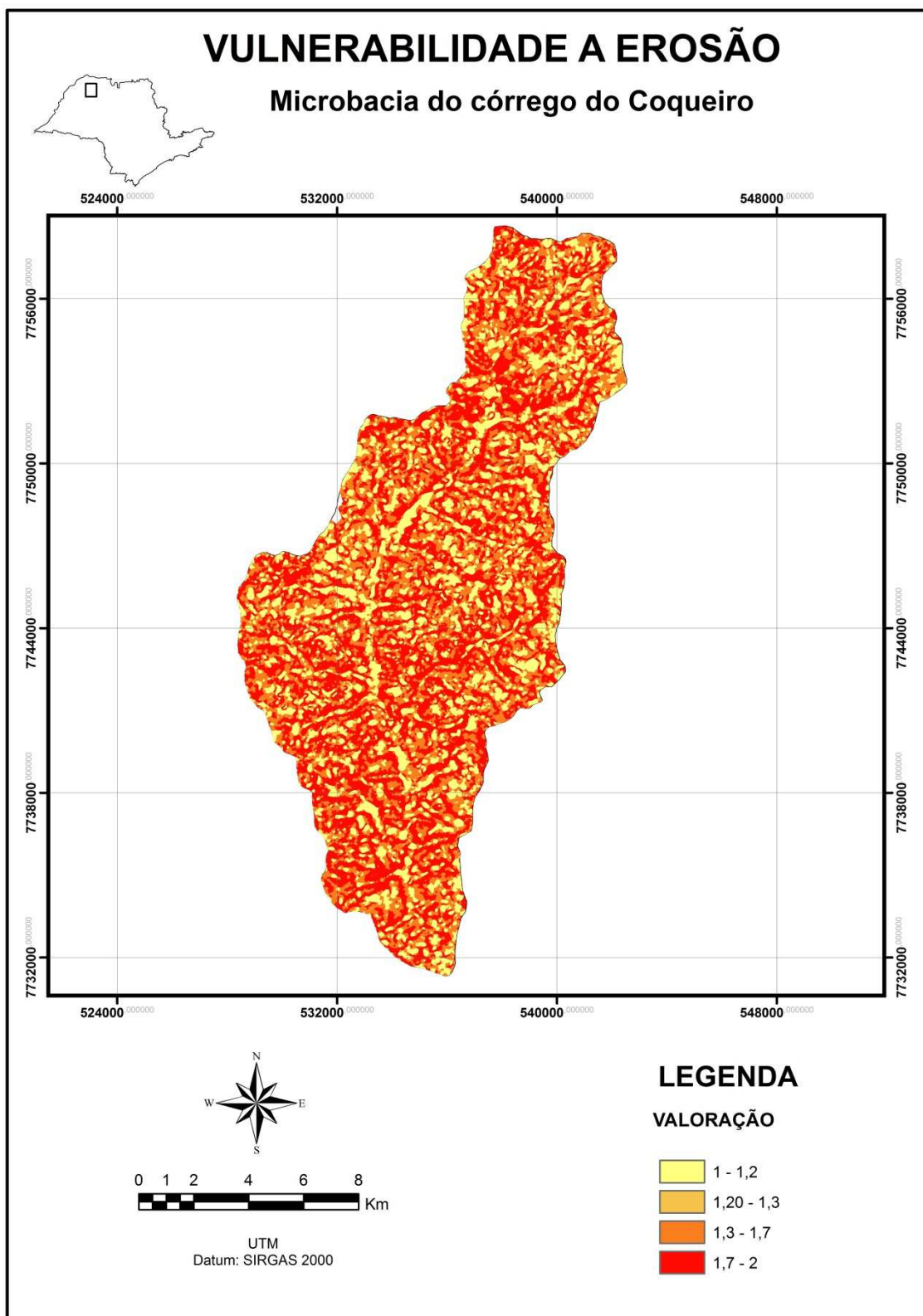
Tabela 26. Classes de Declividade e valoração dos pesos.

Classe de declividade (%)	Pesos
0 - 3	1,0
3 - 6	1,2
6 - 12	1,4
12 - 20	1,6
20 - 45	1,8
>45	2,0

Fonte: Franco (2012)

A partir da sobreposição dos mapas de erodibilidade e declividade foi obtido o mapa de erodibilidade do solo o qual em seguida foi normalizado e valorado entre 1,0 e 2,0 (Figura 29).

Figura 29 - Mapa de vulnerabilidade a erosão na microbacia do córrego do Coqueiro.

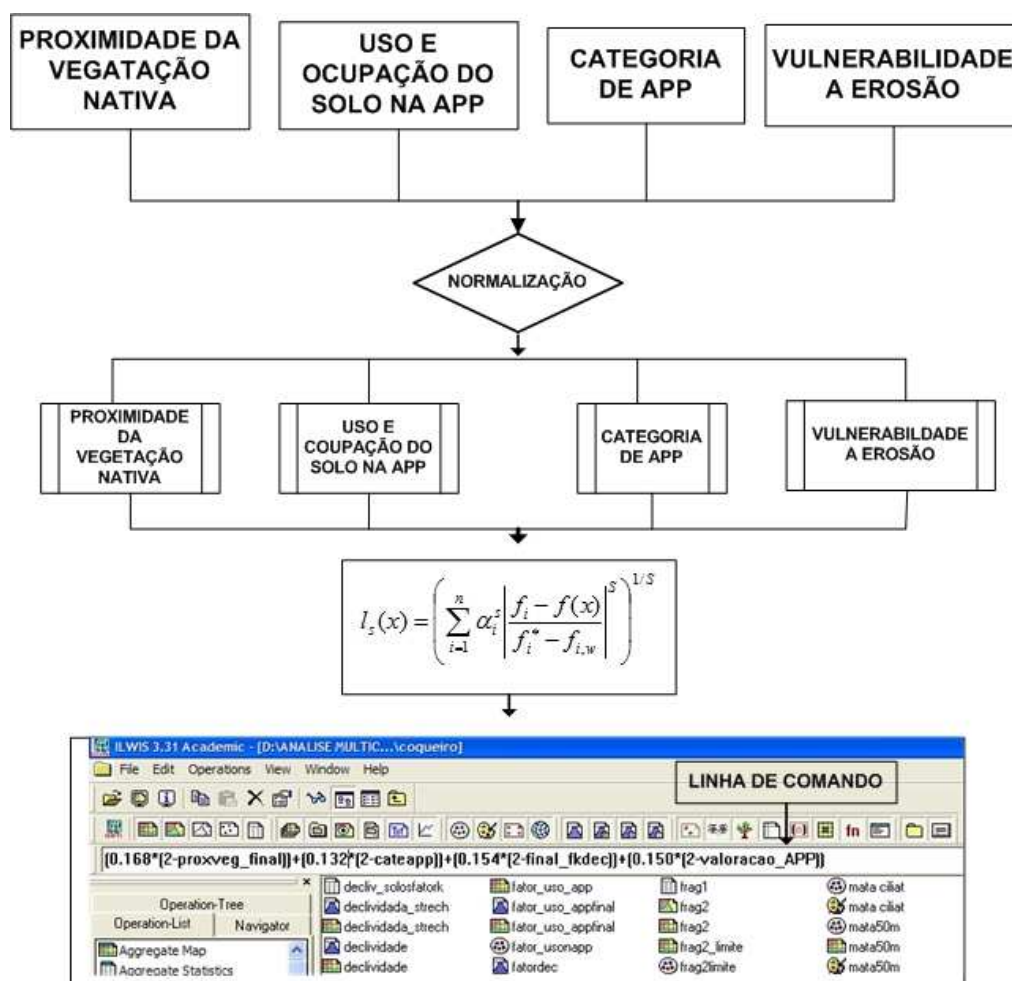


Fonte: Franco (2012)

3.6.11.7. Integração dos PIs na análise multicritério

A análise geográfica dos PIs foram integrados no ambiente SIG, no formato *raster* através de sobreposição e as etapas para a integração da análise multicritério estão representadas na Figura 30.

Figura 30 - Etapas de desenvolvimento da análise multicritério de programação por compromisso.



Fonte: Franco (2012)

Definidos os critérios para todos os PIs e os seus respectivos pesos, foi elaborado o mapa de prioridade de recuperação da APP. Na linha de comando no ambiente SIG foi inserida a equação 10; nota-se que todos os PI são multiplicados por um fator que corresponde ao peso médio atribuído pelos especialistas, conforme propôs Francisco (2006) e a equação foi montada da seguinte maneira:

$$priori = (0,168 * (2 - PVN)) + (0,132 * (2 - cateAPP)) + (0,154 * (2 - vul)) + (0,150 * (2 - usoAPP))$$

(23)

sendo:

PVN - proximidade da vegetação nativa;

cateAPP - categoria das áreas de preservação permanente;

vul - vulnerabilidade a erosão;

usoAPP - uso e ocupação do solo na APP.

Após a obtenção do resultado o PI foi reclassificado em quatro classes de prioridade para a recuperação, a saber: MUITO ALTA, ALTA, MÉDIA E BAIXA.

3.6.12. Avaliação e integração dos temas ambientais

Os temas apresentados nos itens anteriores representam as causas dos problemas ambientais e a necessidade de avaliar as transformações resultantes da ação natural e antrópica sobre os sistemas ambientais e o conhecimento necessário sobre o espaço planejado. Para a microbacia foram avaliadas as pressões sobre os agroecossistemas e a integração das informações através de análise espacial, cujo produto é apresentado por planos de informações.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Caracterização climática

Para o período analisado, que compreende entre 2006 a 2010, a temperatura mínima média foi de 18,49 °C, a máxima média de 31,23°C e a temperatura média de 24,2°C. A redução nos valores de temperatura ocorreu a partir do mês de abril e os menores valores ocorrem nos meses junho e julho. Após agosto os valores de temperatura voltam a subir. Em relação ao anos avaliados, não houve diferença significativa entre os valores médios de temperatura média, mínima e máxima (Figura 31 - A, B e C).

A umidade relativa média para o período analisado foi de 68,8%, a média da mínima umidade relativa foi de 41,14% e a média da foi de 89,79%. Os valores médios de umidade foram significativos entre os anos de 2006, 2007 e 2010 (Figura 31 - D, E e F)

Os valores médios mínimo e máximo de radiação global foram de 12,30 e 23,9 MJ/m²/dia, respectivamente. A radiação líquida mínima foi de 6,20 e a máxima de 14,0 MJ/m²/dia. Os valores médios de radiação global e líquida não foram significativos entre os anos avaliados (Figura 32 - A e B).

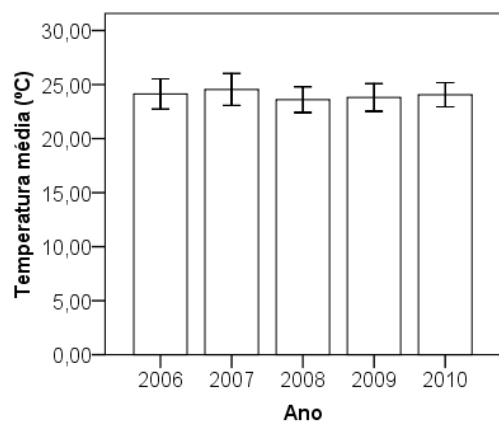
A velocidade média do vento foi de 1,41 m/s e a velocidade máxima média foi de 6,4 m/s. Para o período avaliado não houve diferença significativa na velocidade do vento (Figura 32 - C e D).

Os valores médios de evapotranspiração variaram entre 2,5 a 5,9 mm para o período de 2006 a 2010 e não houve diferença significativa nos valores médios de evapotranspiração dos anos avaliados (Figura 32 - E).

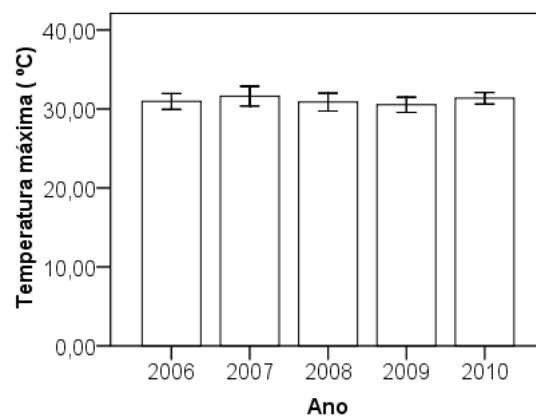
A precipitação média anual para o período foi de 2006 a 2010 foi de 1260 mm. As menores médias anuais de precipitação ocorreram nos anos de 2007, 2008 e 2010, com valores de 96 mm, 94 mm e 91 mm, respectivamente. Os valores médios anuais de precipitação para os anos avaliados não foram significativos (Figura 32 - F). Na Figura 33, os valores médios mensais de precipitação no período de 2006 a 2010, não foram significativo entre os meses analisados.

Na Figura 34 e 35 o balanço hídrico da região de Marinópolis (1999 - 2009), com deficiência hídrica nos meses de abril a novembro e o excedente hídrico nos meses de dezembro a março (SANTOS; HERNANDEZ; ROSETTI, 2010).

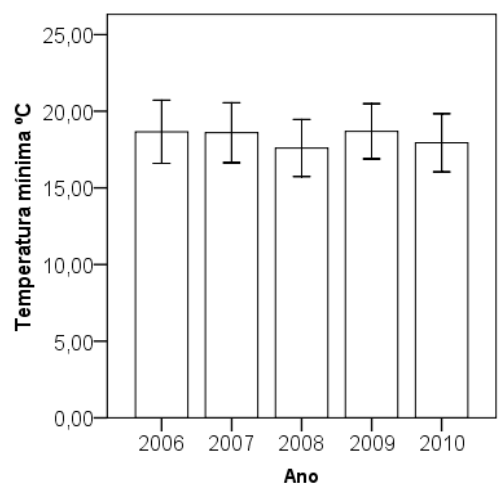
Figura 31- Comportamento médio anual das variáveis climáticas na microbacia do córrego do Coqueiro entre o período de 2006 a 2010.



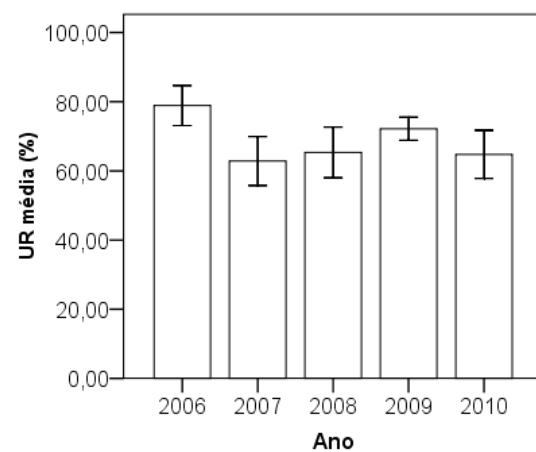
A



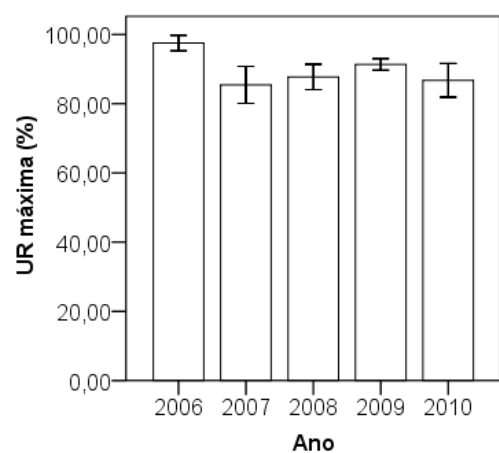
B



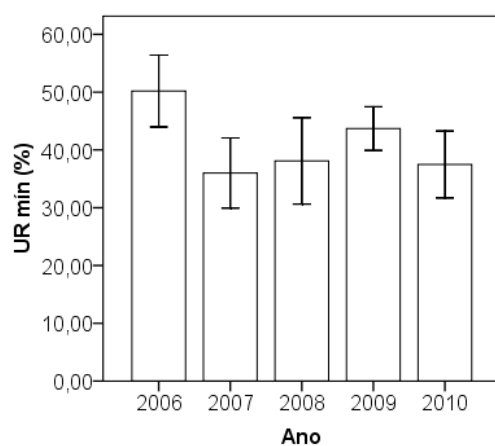
C



D

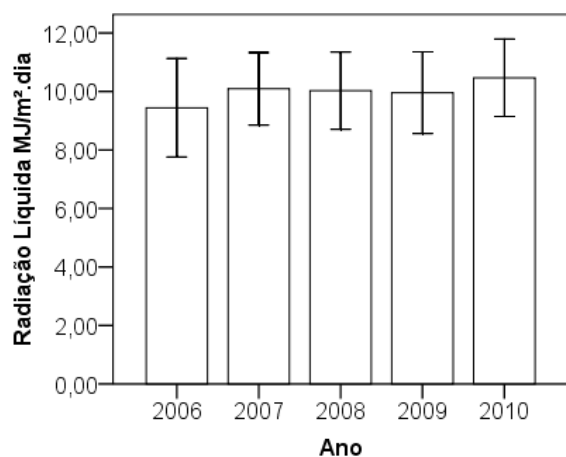


E

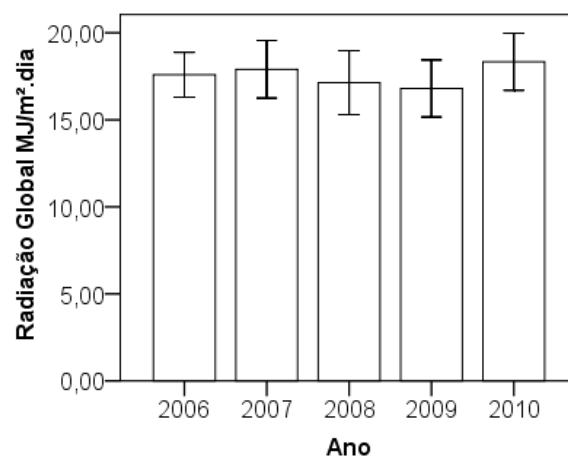


F

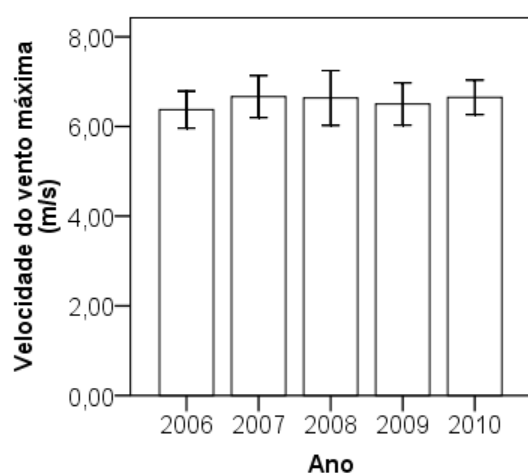
Figura 32- Comportamento médio anual das variáveis climáticas na microbacia do córrego do Coqueiro entre o período de 2006 a 2010.



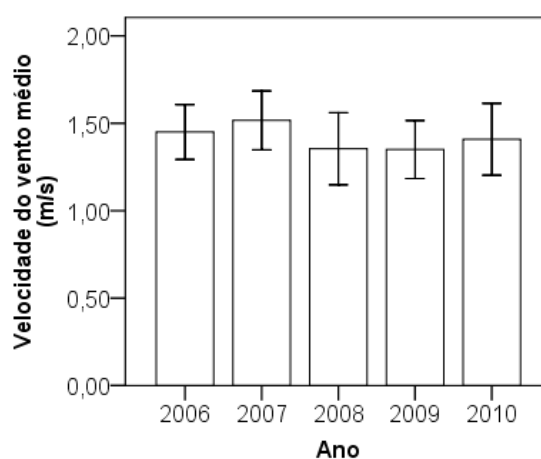
A



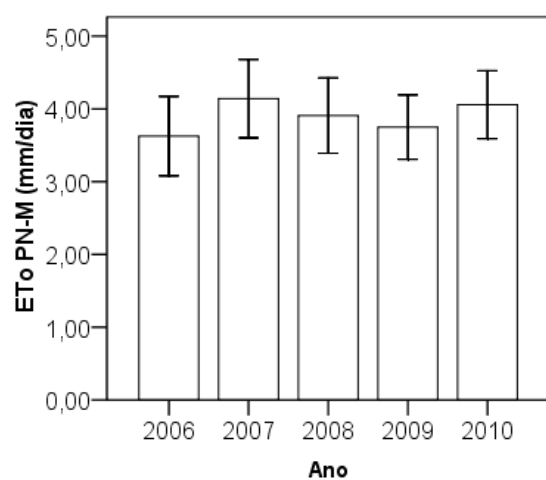
B



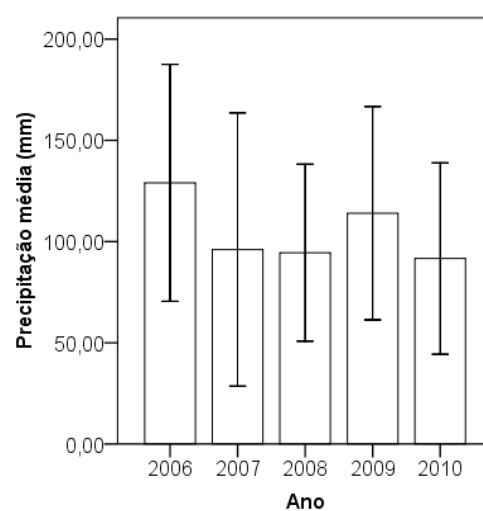
C



D



E



F

Figura 33- Valores médios mensais de precipitação no período de 2006 a 2010 na microbacia do córrego do Coqueiro.

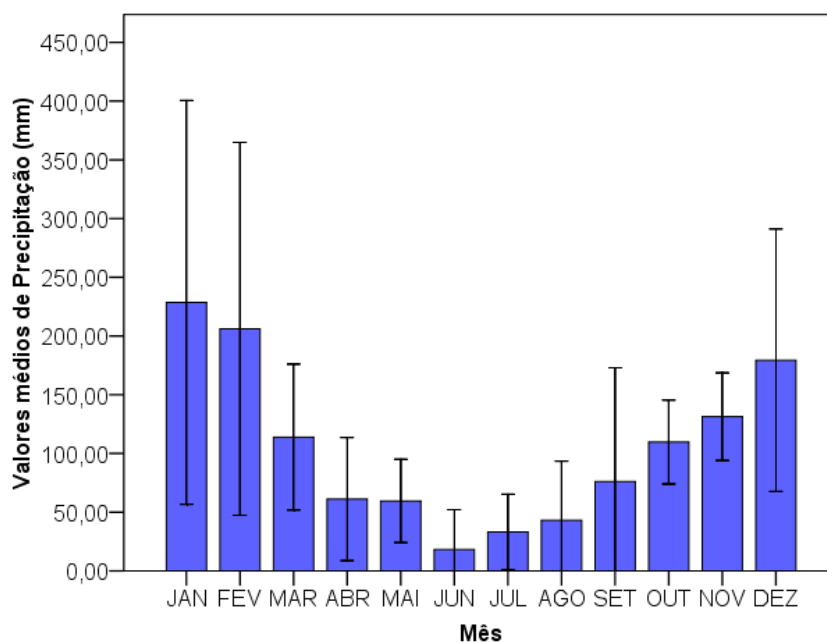


Figura 34 - Extrato do balanço hídrico mensal para o município de Marinópolis - 1999 - 2009 (SANTOS; HERNANDEZ; ROSETTI, 2010).

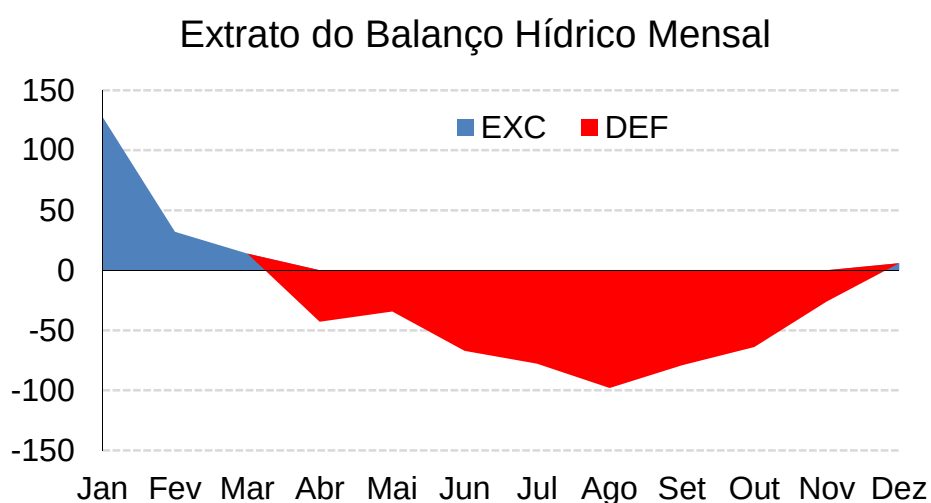
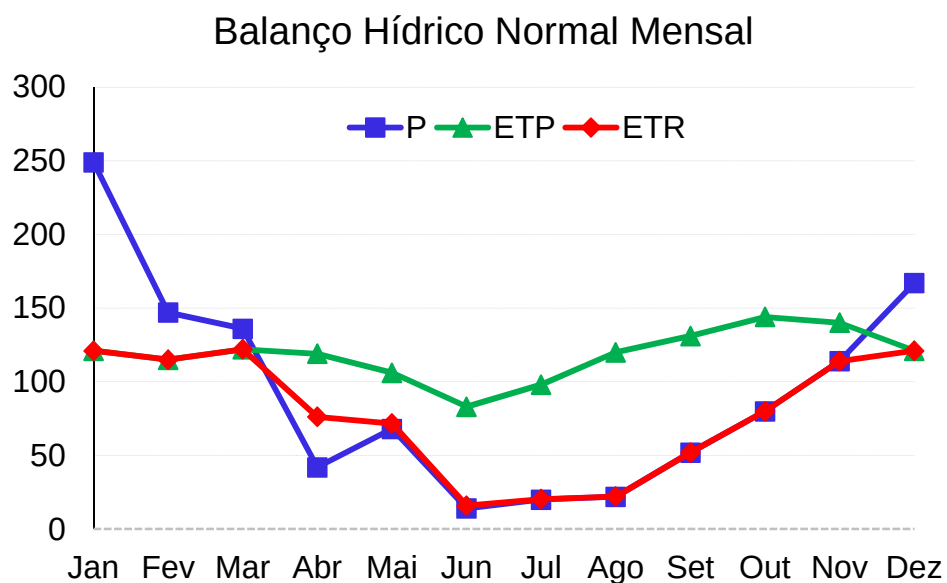
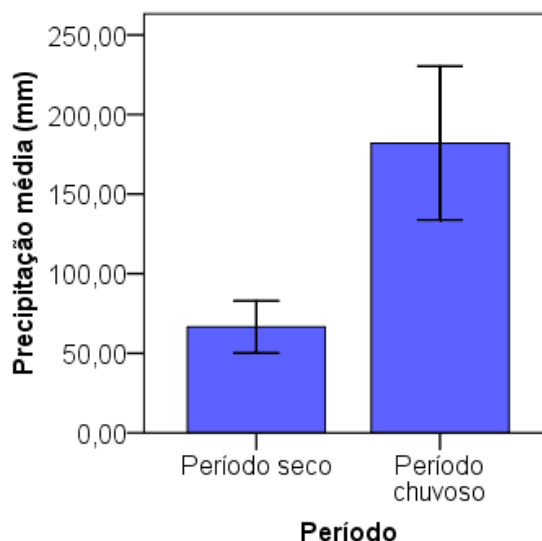


Figura 35 - Variação dos dados mensais meteorológicos de precipitação (P), evapotranspiração potencial (ETP) e evapotranspiração real (ETR) (SANTOS; HERNANDEZ; ROSETTI, 2010).



Na Figura 36 os valores médios de precipitação mensal entre o período seco (abril, maio, junho, julho, agosto, setembro, outubro e novembro) e chuvoso (dezembro, janeiro e fevereiro) no período de 2006 a 2010 foram significativos.

Figura 36 - Valores médios de precipitação entre o período seco e chuvoso na microbacia do córrego do Coqueiro.



4.2. Avaliações dos temas ambientais

4.2.1. Uso e ocupação do solo

Na Figura 37 apresenta-se mapa de uso e ocupação do solo e as classes de uso identificadas no mês de junho de 2010. As classes utilizadas para a geração do mapa temático de uso do solo atual foram avaliadas durante todo o processo de digitalização, tendo definido dezesseis classes para a legenda.

Na Tabela 29, são apresentados o uso e ocupação da microbacia, com as respectivas descrições, áreas (ha) e porcentagens.

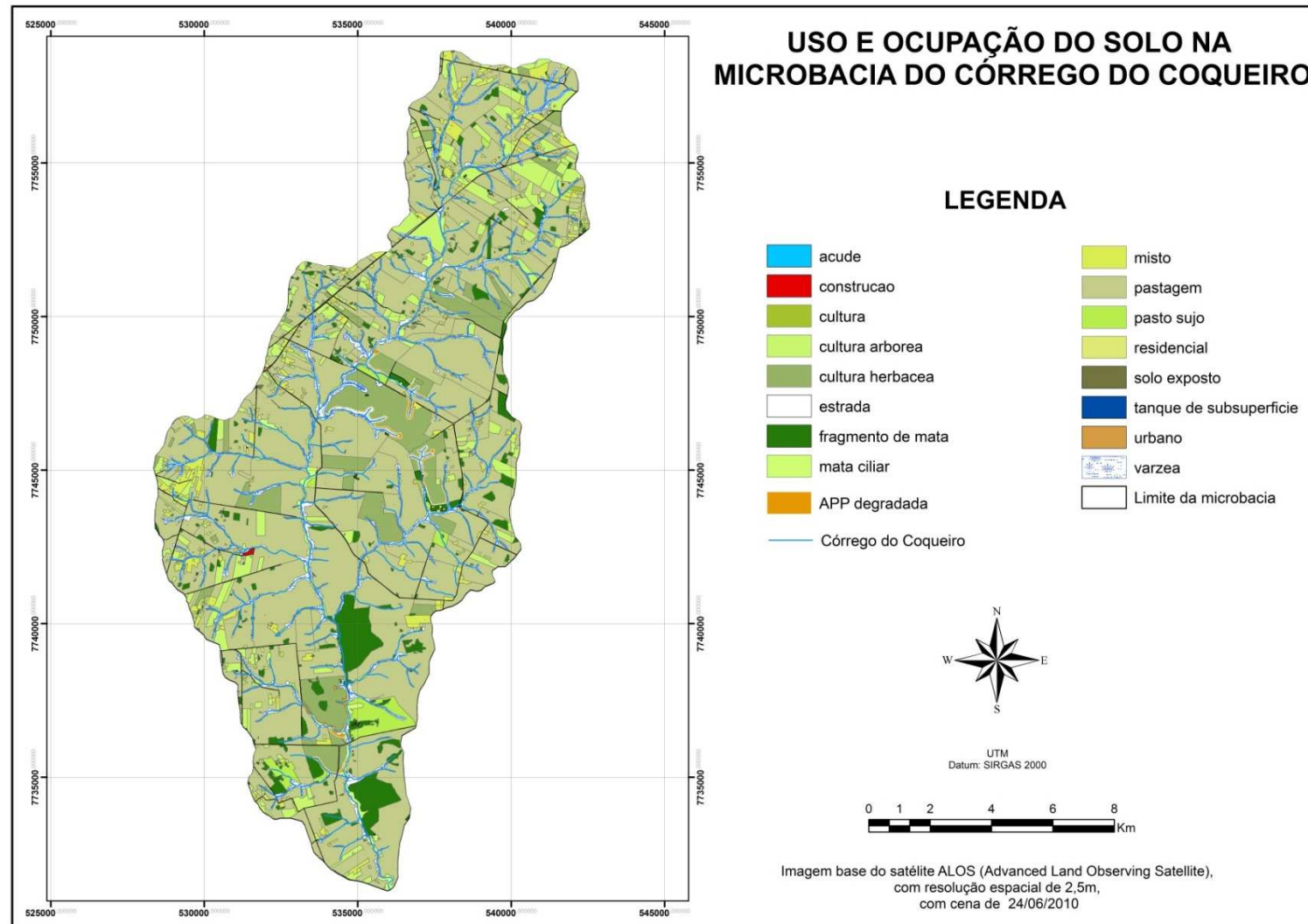
A matriz da paisagem dominante na microbacia é a pastagem, com uma área de 12154,38 hectares (121,54 km²) e com predomínio da gramínea *Brachiaria decumbens*. RODRIGUES et al. (2007) mapeando o uso e ocupação na bacia hidrográfica do baixo São José do Dourados, com área total de 105200 hectares obteve uma porcentagem de 32% de pastagem.

As culturas arbóreas representam 7,47 % da área e são representados pelas culturas de seringueira, eucaliptos, uva, laranja e limão. Os citros ocupam uma área plantada de 1162,05 ha (11,62 km²) e a uva representa uma área de 74,99 ha (0,74 km²).

As culturas anuais e semiperenes, representada por culturas herbáceas ocupam 8,14 % da microbacia e as principais cultura são a banana com uma área de 547,58 ha (5,48 km²) e a outra cultura em destaque na região é a cana-de-açúcar que apresenta uma área de 963,91 ha (9,64 km²).

A mata ciliar representa apenas 2,06 %. Os trechos do córrego que não possuem a mata ciliar estão ocupados pela classe de várzea que ocupa 6,33 %, a vegetação predominante são gramíneas aquáticas e taboa (*Typha* sp.). Os fragmentos de mata (floresta latifoliada semidecídua) ocupam 5,66 % e o principal estado de conservação destes fragmentos podem ser considerados como degradados, devido ao desenvolvimento descontrolado que promoveu a supressão de praticamente toda a vegetação nativa da região.

Figura 37 - Mapa de uso ocupação do solo na microbacia do córrego do Coqueiro.



Fonte: Franco (2012)

Tabela 27- Legenda dos mapas de uso e ocupações do solo.

Uso	Ocupação	Descrição	Área (ha)	%
Rural	Cultura arbórea	Culturas representadas por formações perenes.	1427,09	7,47
	Cultura herbácea	Culturas anuais e semiperenes	1553,36	8,14
	Pastagem	Pastagem cultivadas com gramíneas.	12154,38	63,66
	Pasto sujo	São pastos com a presença de arbustos e pequenas árvores	306,35	1,60
	Construções	Representam as casas, galpões	10,97	0,06
	Misto	As áreas em que não é possível, devido à escala final, separar as coberturas. Normalmente são pequenos pomares ao lado de hortas, construções, misturados numa matriz indizível.	688,39	3,61
	Solo exposto	Solo exposto e em situação degradada.	7,27	0,04
	App degradadas	Área de Preservação degradada	99,17	0,52
	Estradas	Estradas rurais não pavimentadas e pavimentadas	130,84	0,69
Vegetação	Fragmento de mata	Formações florestais remanescentes de mata.	1080,39	5,66
	Mata ciliar	Vegetação florestal que se desenvolve ao longo da rede hidrográfica.	394,21	2,06
	Várzea	Áreas úmidas recobertas com vegetação arbustiva e taboa próxima aos cursos d'água.	1209,11	6,33
Água	açudes	São as lâminas d'água criadas por barramentos.	24,09	0,13
	Tanque de subsuperfície	São tanques construídos próximos aos corpos d'água para o armazenamento de água.	2,84	0,01
Urbano	Residencial	Área urbana com residências.	4,24	0,03
Total da microbacia			19092,7	100,0

Fonte: Franco (2012)

Na sub-bacia 1 predomina a pastagem com 57,75% e a cultura arbórea com 17,15%, representada pela citricultura (Tabela 30). Nesta região de cabeceira restam apenas 1,5% de mata ciliar (33,73 ha) da área da subbacia e os fragmentos florestais com 2,30% (50,14 ha); neste caso funcionando como Reserva Legal das propriedades inseridas nesta região. A área de várzea é de 177,86 ha (8,16%). Cabe ressaltar, novamente que essa área foi originada com a remoção da mata ciliar. Desta maneira os cursos d'água ficaram vulneráveis à ação dos processos erosivos e todo o sedimento produzido na microbacia, poderá ser depositado na cota mais baixa do terreno, formando uma região saturada de água, que propicia o desenvolvimento de macrófitas aquáticas.

A verificação pela imagem de satélite e a checagem da verdade terrestre dos alvos evidenciou pequenas propriedades rurais, representadas pela classe misto e construção, resultando um total de 8,41% da área.

Tabela 28- Uso e ocupação da sub-bacia 1.

	Ocupação	Área (ha)	%
Sub-bacia 1	açude	2,45	0,11
	construção	1,55	0,07
	cultura arbórea	373,84	17,15
	cultura herbácea	71,46	3,28
	estrada	22,45	1,03
	fragmento de mata	50,14	2,30
	mata ciliar	33,73	1,55
	misto	181,75	8,34
	pastagem	1258,55	57,75
	pasto sujo	5,55	0,25
	várzea	177,85	8,16
	Total	2179,3097	100

Fonte: Franco (2012)

Na sub-bacia 2 com área de 50,28 km² (5028,68 ha) e a classe de uso predominante é a pastagem com 61,10% da área, seguida pela cultura herbácea que representa 11,09% (557,82 ha). A classe cultura arbórea com valor de 9,51% (478,21 ha) é representada pelas culturas de citros e uva. A mata ciliar com valor de 2,31% (116,01 ha) e 3, 32% (167,01 ha) de fragmento de mata na sub-bacia. A área de várzea é de 367,14 ha e corresponde a 7,30% da área da sub-bacia (Tabela 31).

Tabela 29- Uso e ocupação da subbacia 2.

	Ocupação	Área (ha)	%
Sub-bacia 2	APP degradada	21,48	0,43
	açude	7,85	0,16
	construção	2,36	0,05
	cultura arbórea	478,21	9,51
	cultura herbácea	557,82	11,09
	estrada	47,21	0,94
	fragmento de mata	167,01	3,32
	mata ciliar	116,35	2,31
	misto	157,95	3,14
	pastagem	3072,64	61,10
	pasto sujo	24,23	0,48
	residencial	2,87	0,06
	solo exposto	3,43	0,07
	tanque de subsuperfície	0,85	0,02
	urbano	1,30	0,03
	várzea	367,14	7,30
	Total	5028,681	100

Fonte: Franco (2012)

A sub-bacia 3 possui um área de 22,23 km² (2223,43 ha), com destaque para a pastagem com 69,35%(1541,15 ha) da área. A cultura herbácea com 12,35% (274,37ha) representada pela cultura de banana. A mata ciliar apresenta 3,23% da área, com 71,86 ha (Tabela 32).

Tabela 30- Uso e ocupação do solo na sub-bacia 3.

	Ocupação	Área (ha)	%
Sub-bacia 3	APP degradada	16,41	0,74
	açude	4,17	0,19
	construção	0,66	0,03
	cultura arbórea	48,03	2,16
	cultura herbácea	274,37	12,35
	estrada	8,32	0,37
	fragmento de mata	35,94	1,62
	mata ciliar	71,86	3,23
	misto	62,41	2,81
	pastagem	1541,15	69,35
	pasto sujo	7,27	0,33
	solo exposto	1,12	0,05
	tanque de subsuperfície	0,51	0,02
	várzea	151,23	6,80
	Total	2223,43	100

Fonte: Franco (2012)

A sub-bacia 4 é maior sub-bacia dentro da microbacia do córrego do Coqueiro e apresenta uma área de 78,46 Km². A classe de pastagem predomina e apresenta 66,12% da área. A cultura arbórea com 5,53% (434,22 ha) e a cultura herbácea com 7,22% (566,62 ha), representada pela cultura da cana-de-açúcar.

O maior fragmento de mata localiza-se nesta sub-bacia, com 7,03% (551,59 ha) da área. Por outro lado, a redução no valor de mata ciliar que representa apenas 1,41% (110,86 ha). A região de várzea representa 5,66% (443,82 ha) da área (Tabela 33).

Tabela 31- Uso e ocupação do solo da subbacia 4.

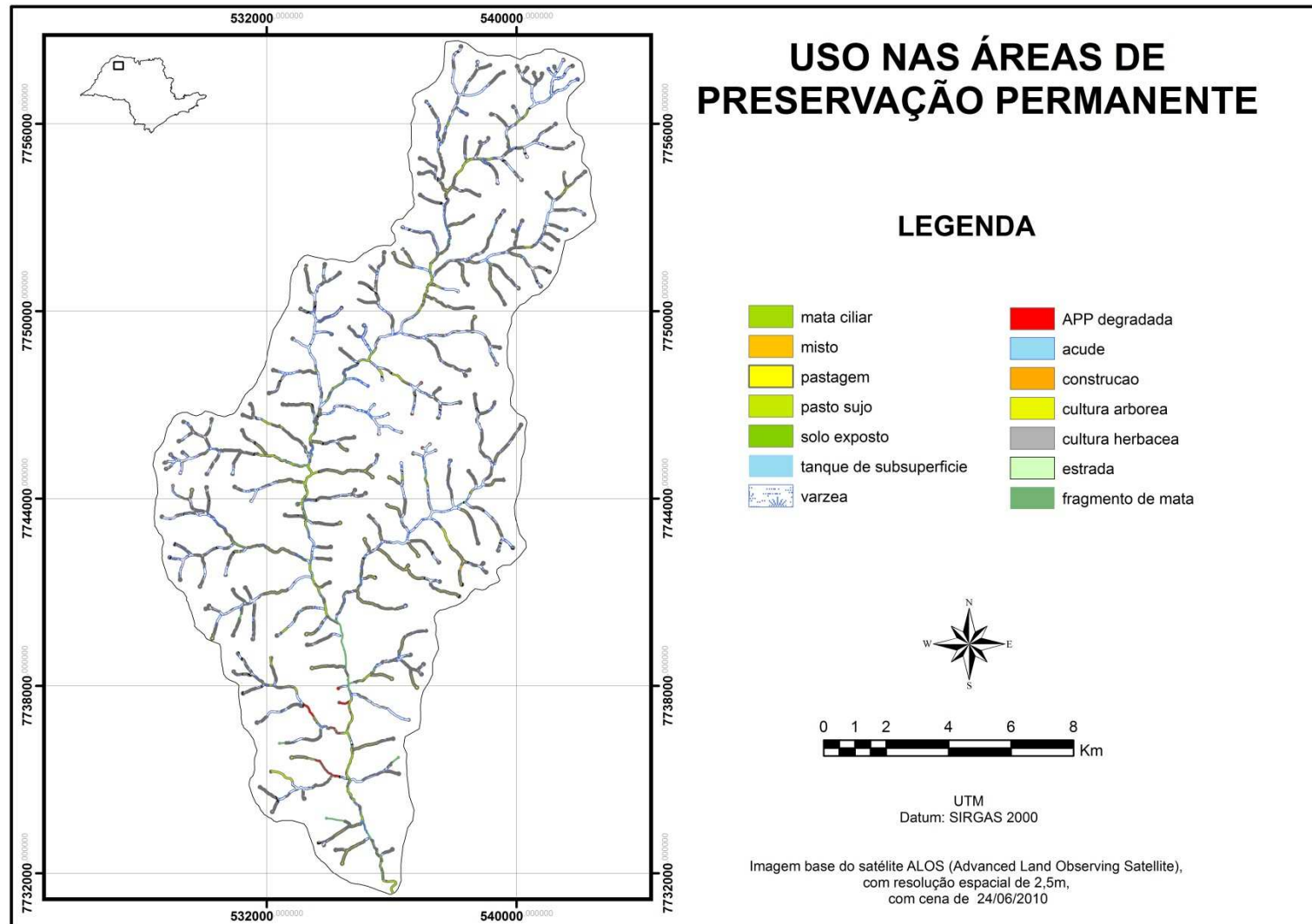
	Ocupação	Área (ha)	%
Sub-bacia 4	APP degradada	50,47	0,64
	açude	9,36	0,12
	construção	6,15	0,08
	cultura arbórea	434,22	5,53
	cultura herbácea	566,62	7,22
	estrada	41,16	0,52
	fragmento de mata	551,79	7,03
	mata ciliar	110,86	1,41
	misto	245,25	3,13
	pastagem	5188,37	66,12
	pasto sujo	195,17	2,49
	solo exposto	2,27	0,03
	tanque de subsuperfície	1,33	0,02
	várzea	443,82	5,66
	Total	7846,85	100

Fonte: Franco (2012)

4.2.2. Uso e ocupação na Área de Preservação Permanente

Por meio da avaliação da Área de Preservação Permanente foi possível diagnosticar as áreas que apresentam alguma inconformidade com a legislação ambiental vigente e/ou com as condições ambientais. Na Figura 38, apresenta o mapa de uso e ocupação na Área de Preservação Permanente e as respectivas classes de uso.

Figura 38 - Mapa de uso e ocupação nas Áreas de Preservação Permanente na microbacia do córrego do Coqueiro.



Fonte: Franco (2012)

O uso na Área de Preservação Permanente (APP) foi baseado na legislação ambiental, segundo a Lei Federal 4.771/64, alterada pela Lei 7.803/89 e a Medida Provisória nº2.166-67, de 24 de agosto de 2001. De acordo com a Lei, o córrego do Coqueiro deveria ter 1599 ha mata para compor a Área de Preservação Permanente e na realidade do campo isso não acontece. Na Tabela 34, 51,6% do uso na APP é representada por várzea e a pastagem com porcentagem de 26,31% (420,76 ha). Apenas 13,23% é representada por mata ciliar.

Estudos tem demonstrado que a ausência das matas ciliares causa desequilíbrios ecológicos de grandes dimensões, e um dos mais sérios fatores de desequilíbrio dos sistemas aquáticos é o acentuado escoamento superficial do solo para o leito do rio (BRIGANTE; ESPÍNDOLA; ELER, 2003).

Tabela 32- Uso e ocupação do solo na APP da microbacia do córrego do Coqueiro.

Ocupação	Área (ha)	%
APP degradada	21,96	1,37
açude	19,62	1,23
construção	0,05	0,00
cultura arbórea	7,16	0,45
cultura herbácea	2,36	0,15
Estrada	7,06	0,44
fragmento de mata	50,51	3,16
mata ciliar	211,62	13,23
Misto	9,73	0,61
Pastagem	420,76	26,31
pasto sujo	20,22	1,26
solo exposto	0,89	0,06
tanque de subsuperfície	2,00	0,13
Várzea	825,19	51,60
Total	1599,14	100,0

Fonte: Franco (2012)

Na sub-bacia 1, o uso na APP predominante é a várzea, com 66,2% (138,05 ha) e a área ocupada por pastagem representa 19,79% da sub-bacia. A mata ciliar é representada por 9,7%, apenas 20,2 ha de área (Tabela 34).

A sub-bacia 2 a classe de uso predominante na APP é a várzea que representa 57,2% (245,33 ha) e a pastagem com 22,54% (96,67 ha) da área. A mata ciliar existente nesta faixa é de 13,80% (59,16 ha) da área (Tabela 35)

A classe de uso na APP na sub-bacia 3 predominante é a várzea, com 48,79% (103,89 ha) da área e em seguida a pastagem com 27,87% (59,35 ha). A mata ciliar representa apenas 18,83% (40,09 ha) da área (Tabela 36).

Tabela 33- Uso na APP na sub-bacia 1.

Ocupação	Área	%
acude	2,19	1,05
cultura arbórea	0,81	0,39
cultura herbacea	0,00	0,00
estrada	1,90	0,91
fragmento de mata	2,02	0,97
mata ciliar	20,27	9,73
misto	1,65	0,79
pastagem	41,22	19,79
pasto sujo	0,23	0,11
varzea	138,05	66,27
Total	208,32	100,00

Fonte: Franco (2012)

O uso predominante na APP na sub-bacia 4 é a classe várzea, com 48,43% (299,42 ha) da área. A pastagem com porcentagem de 30,17% (186,51ha) e a mata ciliar com 10,30% (63,71 ha) da área (Tabela 37). Das sub-bacias analisadas, a sub-bacia 4 foi a que apresentou a maior área com a classe de uso mata ciliar na Área de Preservação Permanente.

Tabela 34- Uso na APP na sub-bacia 2.

Ocupação	Área (ha)	%
APP degradada	3,04	0,71
acude	6,44	1,50
cultura arborea	5,23	1,22
cultura herbacea	0,97	0,23
estrada	2,13	0,50
fragmento de mata	4,84	1,13
mata ciliar	59,16	13,80
misto	1,47	0,34
pastagem	96,67	22,54
pasto sujo	2,87	0,67
solo exposto	0,00	0,00
tanque de subsuperficie	0,64	0,15
varzea	245,33	57,22
Total	428,79	100,00

Fonte: Franco (2012)

Em campo foi observado o traçado inadequado do sistema viário (estradas rurais), ocorrido no passado e que não levou em consideração a proteção dos cursos d'água. Essa ação persiste há anos e compromete a qualidade ambiental da microbacia. Além de estradas na APP, a presença de construções rurais nesta área foi evidenciada através da imagem de satélite e visitas ao campo.

Tabela 35- Uso na APP na sub-bacia 3.

Ocupação	Área (ha)	%
APP degradada	0,90	0,42
açude	3,54	1,66
cultura arbórea	0,26	0,12
cultura herbácea	0,03	0,02
estrada	0,55	0,26
fragmento de mata	1,98	0,93
mata ciliar	40,09	18,83
misto	1,54	0,72
pastagem	59,35	27,87
pasto sujo	0,00	0,00
solo exposto	0,52	0,24
tanque de subsuperfície	0,28	0,13
várzea	103,89	48,79
Total	212,93	100,00

Fonte: Franco (2012)

Tabela 36- Uso na APP na sub-bacia 4.

Ocupação	Área (ha)	%
APP degradada	12,93	2,09
açude	7,23	1,17
construção	0,05	0,01
cultura arbórea	0,84	0,14
cultura herbácea	1,09	0,18
estrada	2,09	0,34
fragmento de mata	29,58	4,78
mata ciliar	63,71	10,30
misto	4,46	0,72
pastagem	186,51	30,17
pasto sujo	9,00	1,46
solo exposto	0,37	0,06
tanque de subsuperfície	1,00	0,16
várzea	299,42	48,43
Total	618,29	100,00

Fonte: Franco (2012)

4.2.3. Mapa de vegetação nativa

Na microbacia do córrego do Coqueiro restam apenas 7,72% (mata ciliar e fragmentos de mata). A mata ciliar existente identificada dentro da Área de Preservação Permanente é de 211,62 ha (13,23% da área de APP), um resultado abaixo do permitido conforme o Código Florestal (Lei vigente que determina uma distância de trinta metros para rios com largura inferior a 10 metros). Na Tabela 38 estão os valores de mata ciliar existentes dentro da faixa de APP, a área do *buffer* de APP identificado para a microbacia e o total da área a ser recuperada.

Tabela 37- Valores da mata ciliar atual na microbacia, APP e nascentes geradas por proximidade e área de APP a ser recuperada.

Mata ciliar atual	APP e nascentes geradas por proximidade	APP a ser recuperada
211,62ha	1599,14 ha	1387,52 ha

Fonte: Franco (2012)

Na sub-bacia 1 restam apenas 83,87 ha (mata ciliar e fragmentos florestais) de cobertura vegetal nativa. A sub-bacia 2 com área de drenagem de 5028,681 ha, possui 283,36 ha de cobertura vegetal nativa. A menor sub-bacia analisada é a 3, com área de 2223,43 ha e apresenta 107,80 ha de cobertura vegetal. A maior sub-bacia é a 4, com área de 7846,85 ha e apresenta um total de 662,65 ha de fragmento de mata e mata ciliar e esta sub-bacia possui o maior fragmento de mata com área de 238,27 ha. O segundo maior fragmento de mata é o próximo ao ponto de amostragem 5 e possui área de 159,31 ha. E próximo à foz do córrego, na proximidade com o Rio São José dos Dourados a mata ciliar existente atende a legislação, fornece abrigo à fauna e conecta com a mata ciliar do rio São José dos Dourados (Figura 39).

Figura 39 - Mata ciliar nas proximidades do ponto 5 de amostragem.



Na Figura 40 estão os fragmentos florestais identificados e na Figura 41 a representação da mata ciliar existente nas microbacia.

Os fragmentos florestais são áreas potenciais para a averbação da Reserva Legal e a mata ciliar tem a função de proteção dos recursos hídricos e a formação de corredores ecológicos para a interligação entre os fragmentos florestais. Essa duas formações presentes na paisagem da microbacia devem, por uma questão legal, ser priorizadas nas ações de recuperação florestal.

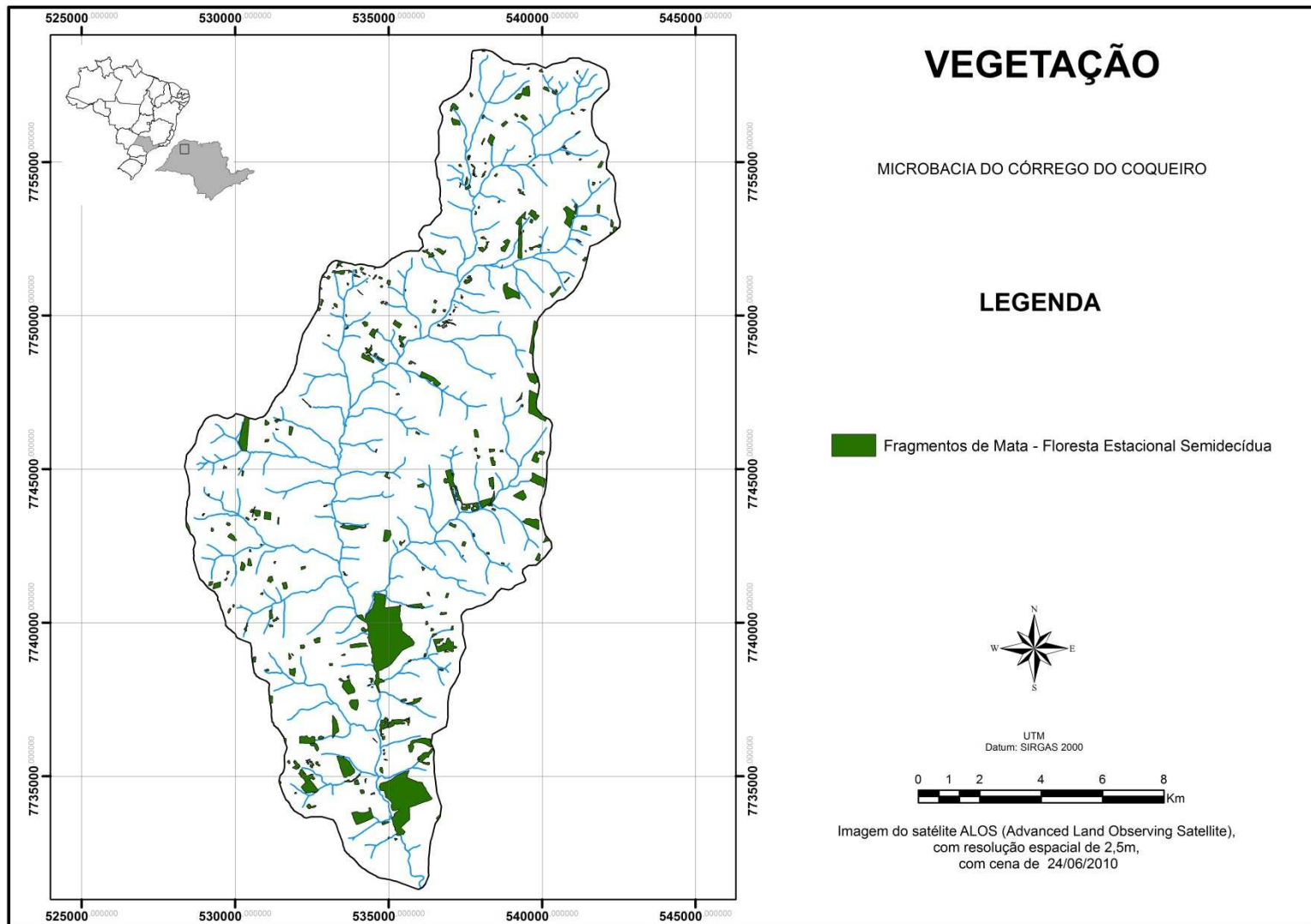
As checagens de campo dos fragmentos florestais evidenciaram que os mesmos sofrem efeito de borda, invasão de gramíneas exóticas e a dominância de populações de lianas que dificultam o estabelecimento de indivíduo arbóreo. De acordo com Durigan, Siqueira e Franco (2007), que avaliaram os fragmentos florestais de vegetação em paisagens antropizadas no Estado de São Paulo, identificaram ameaças permanentes, devido ao efeito de borda. O tipo de uso mais frequente é a pastagem (78% das áreas avaliadas) cuja ameaça mais frequente aos fragmentos é o gênero de gramínea *Urochloa* (“braquiárias”).

Através do uso da imagem de satélite e visitas ao campo foram identificadas 187 nascentes na microbacia e constatou que apenas três nascentes estão de acordo com a legislação vigente que determina valor mínimo de 50 metros para a proteção de nascentes (Figura 42 e 43).

As reduções na cobertura vegetal trazem impactos aos recursos hídricos e estudos apontam que a redução de sedimentos pode ser reduzida quando se leva as seguintes considerações: o efeito da cobertura florestal na redução da perda de solo anual é variável, em função da declividade média da microbacia; a largura da faixa de APP deve ser determinada levando-se em consideração a declividade da microbacia e a Reserva Legal deve estar localizada ao longo da APP (MINGOTI; VETTORAZZI, 2011).

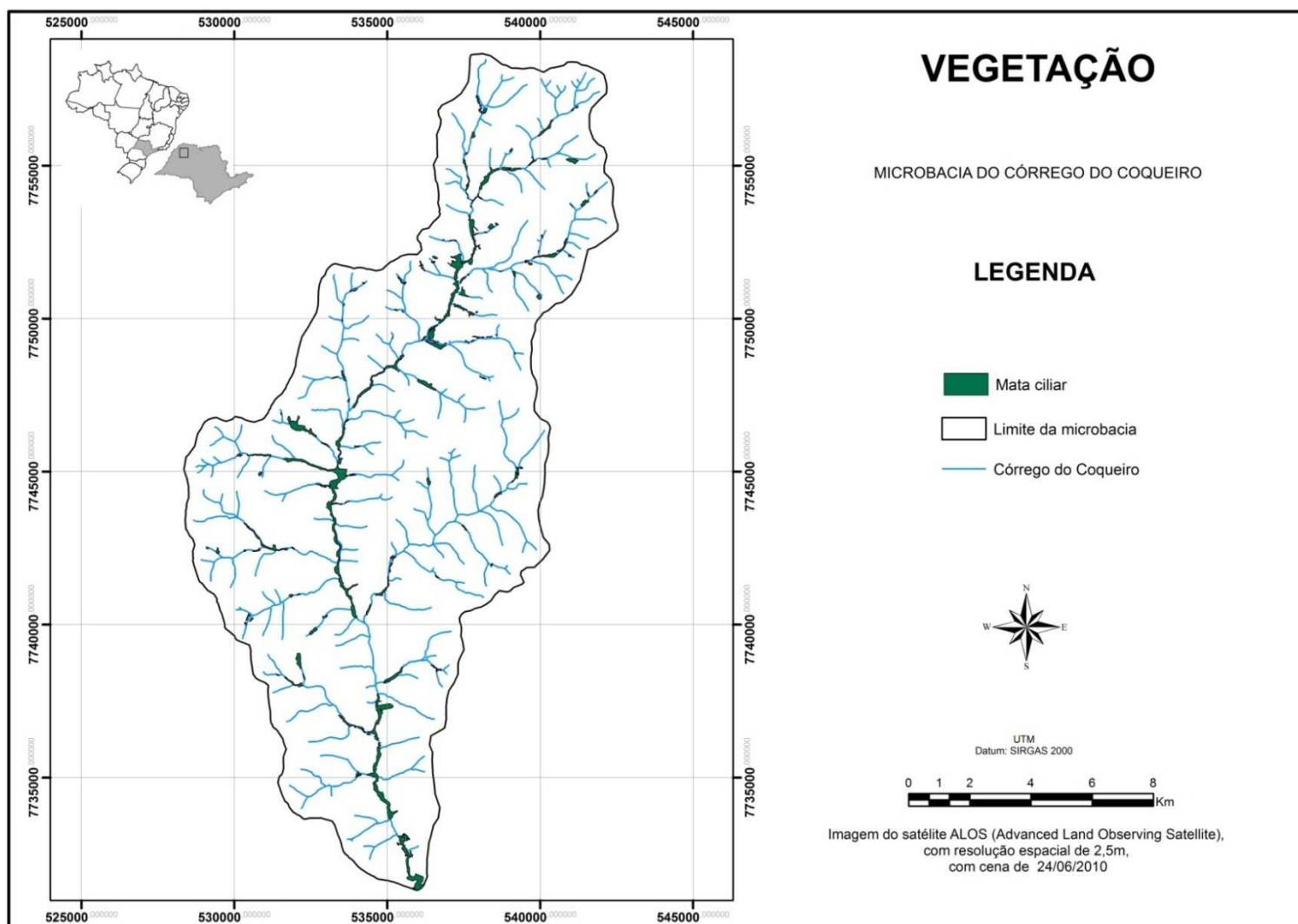
A conservação de Áreas de Preservação Permanente e de Reserva Legal pode ser cumprida conforme determina a Lei e sem inviabilizar a produção agrícola no Estado de São Paulo, principalmente no setor canavieiro (BRANCALION; RODRIGUES, 2010) já que toda a expansão da cana-de-açúcar se deu em pastagem e em áreas de cultivo anual (RUDORFF, 2010).

Figura 40 - Mapa de vegetação da microbacia do córrego do Coqueiro.



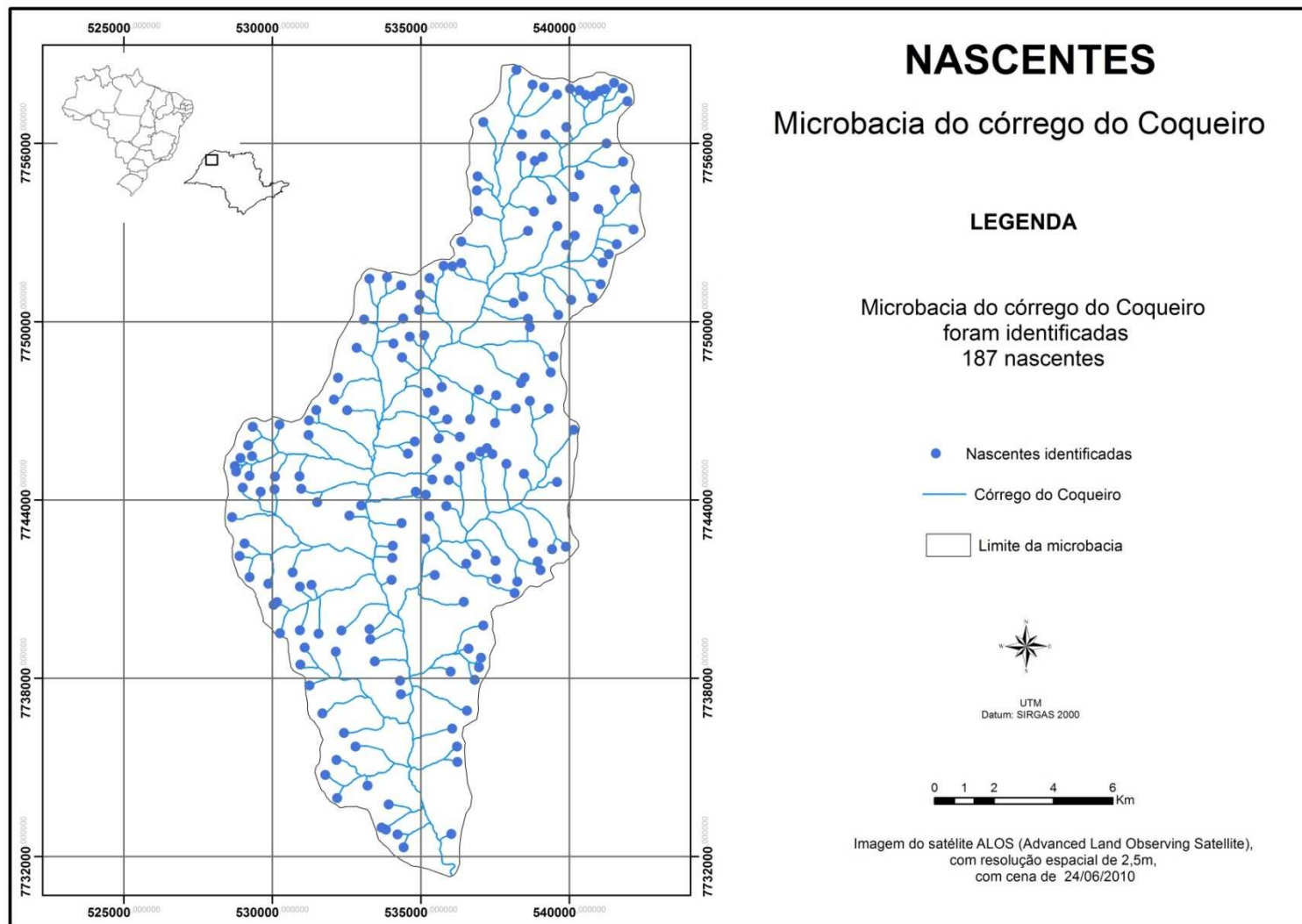
Fonte: Franco (2012)

Figura 41 - Mapa de vegetação representando a mata ciliar.



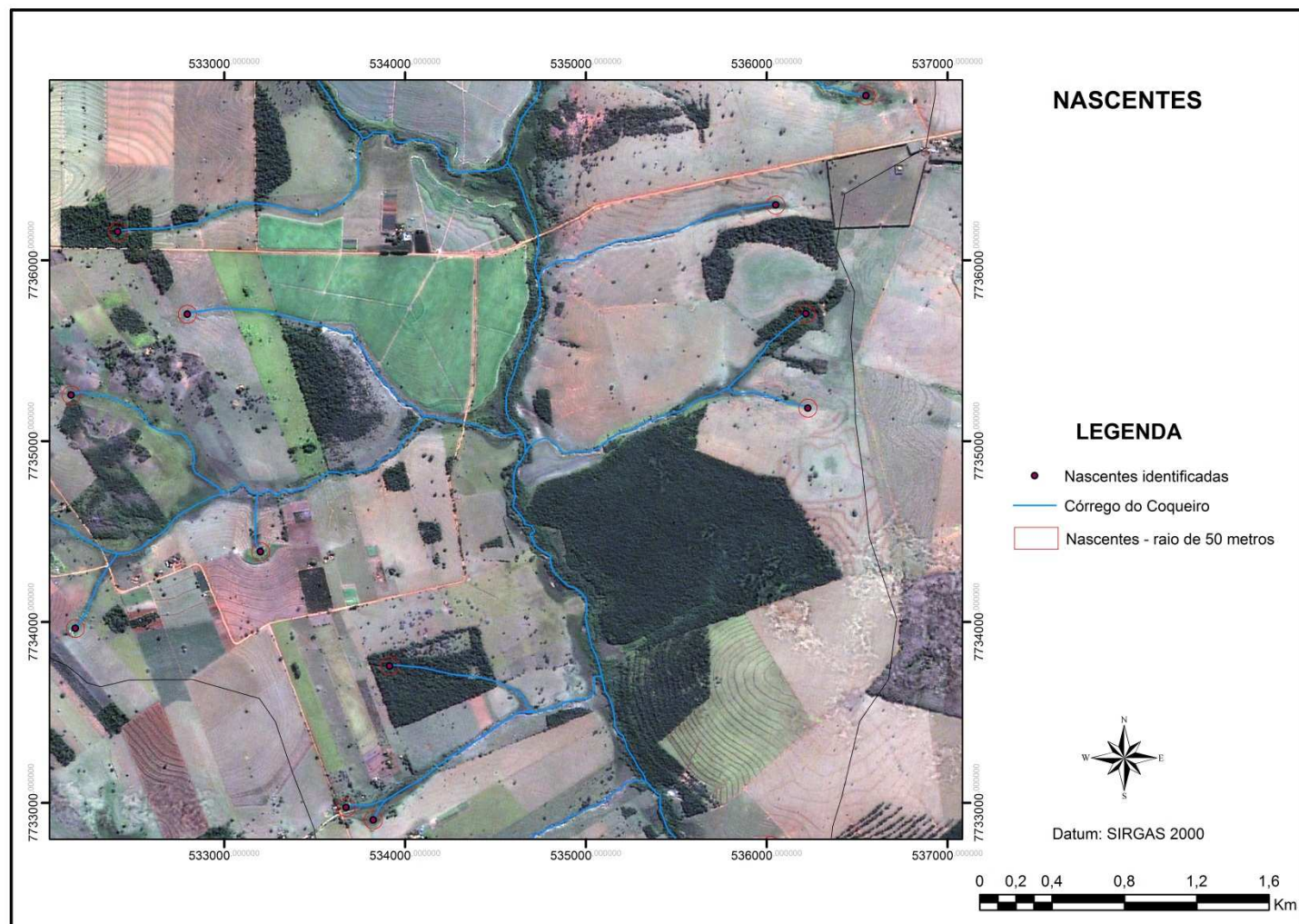
Fonte: Franco (2012)

Figura 42 - Mapa de nascentes identificadas no córrego do Coqueiro.



Fonte: Franco (2012)

Figura 43 - Identificação das nascentes na microbacia do córrego do Coqueiro.



Fonte: Franco (2012)

4.2.4. Mapa de Fragilidade

De acordo com as características ambientais da região e da ação antrópica no agroecossistema foi possível construir um mapa síntese da fragilidade ambiental (Figura 44). Através da análise e integração dos PIs solo, declividade e uso e ocupação do solo elaborou-se o mapa de fragilidade ambiental potencial e emergente.

Na Tabela 39 a classe de fragilidade “muito baixa” foi de 14,00% (2672,4 ha), essa área tem as menores cotas altimétricas, menor declividade e a presença de vegetação natural remanescente, auxiliando na proteção do solo. Essa classe sugere áreas com boa qualidade ambiental, em grande parte é área que mantiveram a sua vegetação natural.

Tabela 38- Classes de fragilidade ambiental.

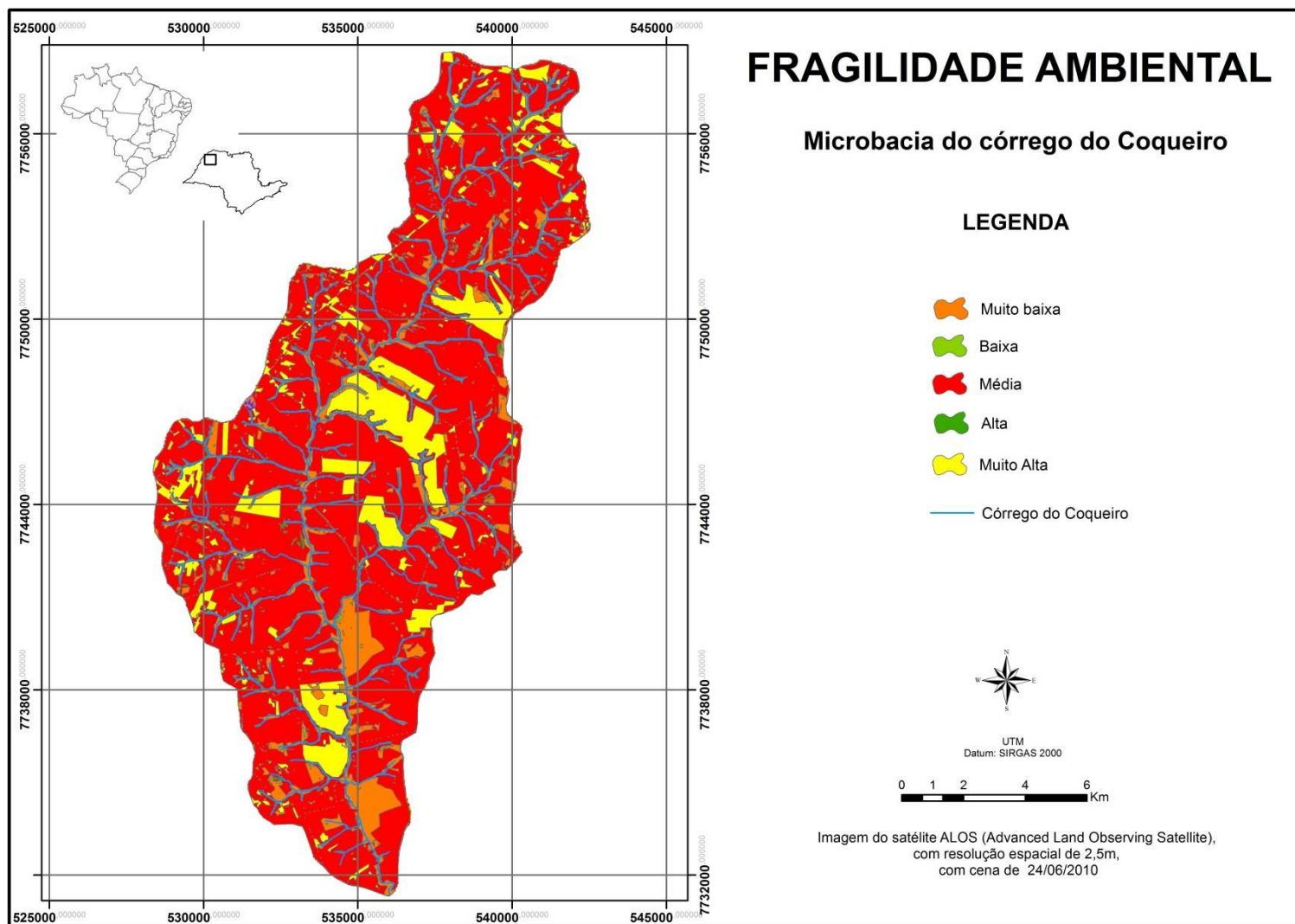
Classe de fragilidade	Área (ha)	%
Muito baixa	2672,4	14,00
Baixa	70,7	0,37
Média	13891,4	72,76
Alta	95,3	0,50
Muito Alta	2362,7	12,38
Total	19092,7	100,00

Fonte: Franco (2012)

A classe de fragilidade “muito alta” representa um total de 12,38% (2362,7 ha) da microbacia. São áreas representadas pelo uso da agricultura, cultivo de culturas anuais e perenes que dependendo das práticas agrícolas adotadas podem potencializar os processos de degradação ambiental na microbacia.

A classe de fragilidade ambiental “média” é dominante e apresentou 72,76% (13891,4 ha) da área da microbacia. A sua ocorrência relaciona-se a áreas de fragilidade potencial alta em áreas cobertas por pastagens e declividade classificada entre baixa e média fragilidade. Isso demonstra que a classe de uso pastagem e os aspectos físicos (declividade e solos) podem apresentar certo equilíbrio, pois a vegetação existente atenua a ação da erosão. Entretanto, em pastagem degradada e sem conservação do solo pode romper o equilíbrio e acelerar o processo erosivo.

Figura 44 - Mapa de fragilidade ambiental na microbacia do córrego do Coqueiro.



Fonte: Franco (2012)

4.2.5. Mapa de perda de solo

Aplicando a Equação Universal de Perda de Solos, pode-se determinar, em níveis médios anuais ($\text{ton.ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$), o volume de solo perdido por erosão hídrica, distribuída e concentrada. Sabe-se que essa equação permite estimar qualitativamente a erosão esperada em uma determinada área sob as mais variadas condições existentes de uso, manejo e práticas conservacionistas. Os valores alcançados na análise foram ordenados qualitativamente em cinco classes de suscetibilidade à erosão.

O valor de erosividade da chuva anual calculado foi de $6.154,8 \text{ MJ ha mm}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, considerada uma erosividade de “média a alta”. Silva et al. (2007) obtiveram valores de erosividade entre 5.842 a $6.742 \text{ MJ ha mm}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para toda a bacia do Rio São José dos Dourados. A erodibilidade média foi $0,0425 \text{ t.ha}^{-1}.\text{MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$, devido a presença da classe de solo Argissolos, conforme determinaram SILVA e ALVARES (2005).

Para a microbacia do córrego do Coqueiro os valores de perda de solo por erosão laminar predominou a classe de “muito baixo”, com 50% (9592,2 ha) da área da microbacia e perda entre 0 e $10 \text{ t.ha}^{-1}.\text{a}^{-1}$. Em seguida a classe “média” com 19,6% (3748,9 ha) e com 14,5% (2767,9 ha) a classe “muito alta”, com valores acima de $200 \text{ t.ha}^{-1}.\text{a}^{-1}$ (Tabela 40).

Tabela 39- Perda de solos.

Classe	Perda de solo ($\text{t.ha}^{-1}.\text{a}^{-1}$)	Área (ha)	%
Muito baixo	0 - 10	9592,2	50,2
Baixo	10 - 15	1889,8	9,9
Média	15 - 50	3748,9	19,6
Alta	50 - 120	1094,1	5,7
Muito alta	> 200	2767,9	14,5
Total		19092,7	100,0

Fonte: Franco (2012)

Silva et al. (2007) encontraram valores de 73,4% na classe “muito alta” para a perda de solos na bacia do rio São José dos Dourados e a segunda classe identificada foi a classe “muito baixo” com valor de 15,3%, de acordo com os autores a bacia hidrográfica apresenta alta suscetibilidade à erosão, devido a alta erodibilidade do solo.

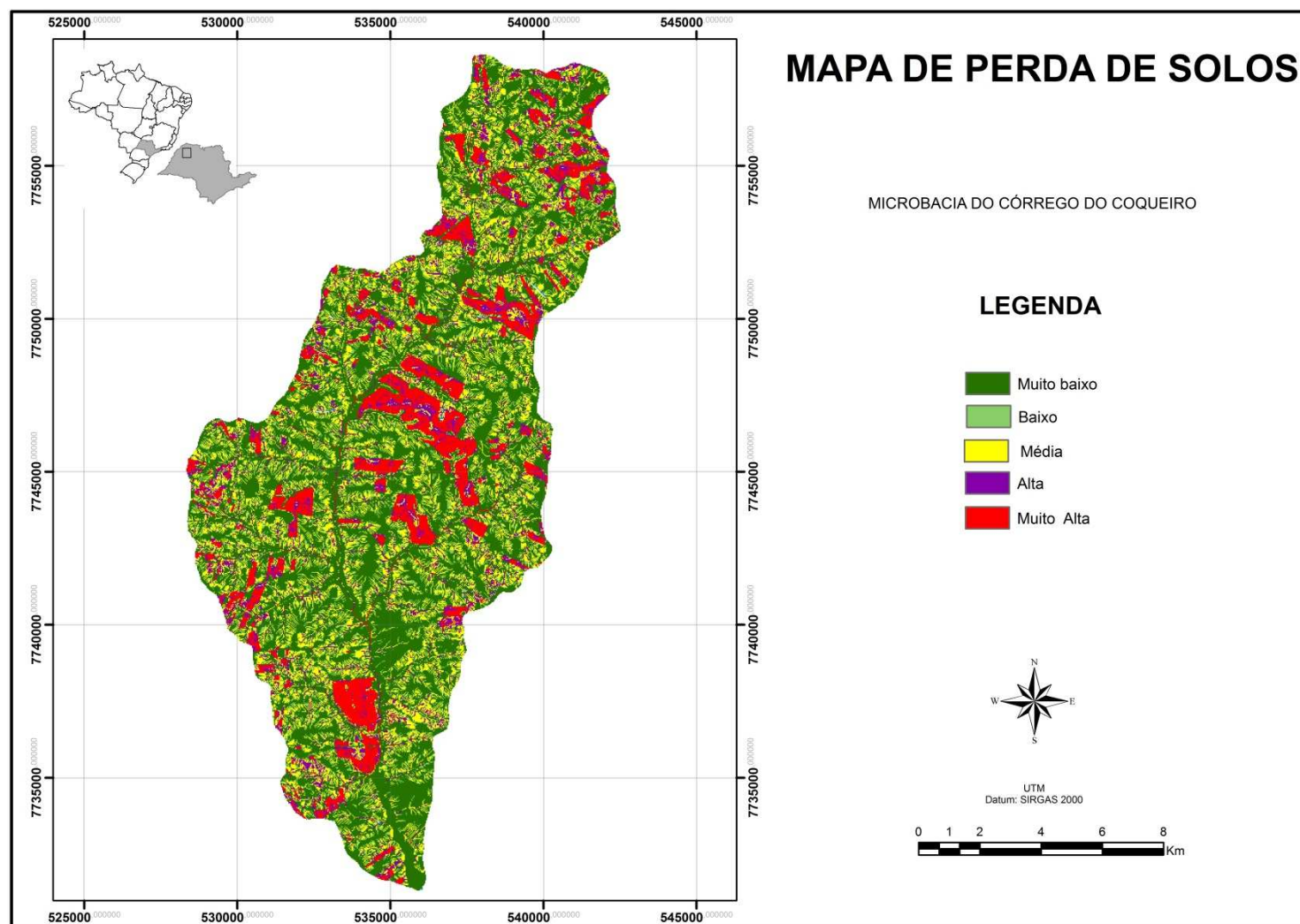
A distribuição espacial da perda de solos mostra uma configuração influenciada por fatores pontuais, onde a sua localização é influenciada por associações de fatores e/ou a maior influência de cada um deles podem gerar uma diversidade de perdas de solos distribuídas pela área da microbacia (Figura 45).

A existência de área agrícola espalhada por toda a microbacia, devido ao uso e ocupação do solo e práticas inadequadas do manejo do solo podem ser um dos fatores que contribuem para tais resultados.

De acordo com Bertoni e Lombardi (1999), recomenda-se que os resultados obtidos através da equação sejam comparados com as taxas máximas aceitáveis de perda de solo, denominada de tolerância à perda de solo, variável com o tipo de solo. Os autores comentam que uma perda de até 12 t/ha/ano está dentro dos limites toleráveis para solos tropicais. Neste caso verificou-se que a microbacia possui 39,9% de sua área com problemas com perda de solo por erosão laminar acima do recomendado.

Cabe salientar que a estimativa de perda de solo apresenta algumas incertezas. Alguns autores relatam que o modelo pode superestimar pequenos valores de perda anual e subestimar elevados valores (KINNELL, 2010; OLIVEIRA et al., 2011). Entretanto, quando se trata de planejamento ambiental, a perda anual de solos pode ser aplicada na avaliação de forma satisfatória, paralelo a outro método de estimativa.

Figura 45 - Mapa de perda de solo da microbacia do córrego do Coqueiro.



Fonte: Franco (2012)

4.2.6. Mapa de prioridade à restauração florestal das APPs

A aplicação do método de Análise Multicritério utilizando a Programação por Compromisso (*Compromise Programming-PC*) para a identificação de áreas de APPs prioritárias à restauração, recomendada por Francisco (2006), foi adequada para o estudo e mostrou-se a viabilidade de sua espacialização. Entretanto, em estudo de análise multicritério é importante efetuar um adequado julgamento dos critérios para cada PI utilizado na análise ambiental, através da abordagem participatória de especialistas de diversas áreas do conhecimento. Neste caso não houve a participação dos especialistas e as definições dos critérios e pesos foram adotadas a partir da consulta bibliográfica citada anteriormente.

A partir da integração dos PIs vulnerabilidade à erosão, categoria das Áreas de Preservação Permanente, proximidade da vegetação nativa e uso ocupação do solo na APP e os seus respectivos pesos médios, foi elaborado o mapa de prioridade para a restauração florestal na microbacia (Figura 46).

Os resultados das classes de prioridade estão na Tabela 41 e a classe de prioridade alta foi a que apresentou a maior porcentagem, com 53,20% (681,06 ha) e a classe muito alta com 16,68% (213,55 ha). A classe média com 29,01% (371,44 ha) e a menor foi a classe de prioridade baixa, com valor de 1,10% (14,12 ha).

Nas áreas priorizadas na classe “alta”, o uso e ocupação predominante é a várzea, com 44,4% (572,3 ha) da área total passível de restauração e em seguida a classe de uso pastagem com 6,3% (81,3 ha).

Para a classe “muito alta” de prioridade o uso predominante foi a pastagem, com 26,1% (336,4 ha), a APP degradada e o pasto sujo ficaram com 1,3%.

Tabela 40- Classe de prioridade para a restauração da microbacia do córrego do Coqueiro.

Classe de prioridade	Área (ha)	%
Alta	681,12	53,20
Baixa	14,12	1,10
Média	371,44	29,01
Muito Alta	213,55	16,68
Total	1280,23	100,00

Fonte: Franco (2012)

Na classe “média” de prioridade o tipo de uso predominante foi a várzea, com 15,5% (199,2 ha) e a classe “baixa” com o mesmo tipo de uso, com 1,1%. A várzea foi considerada com peso 2, priorizando essa área para a recuperação devido a transformações ocorridas no passado, com a retirada da mata ciliar e a formação de áreas ocupadas por macrófitas aquáticas.

Francisco (2006) obteve para o Ribeirão Anhumas, no município de Campinas, valores percentuais de 53,90% na classe “média” de prioridade, 30,11% na classe “baixa” e 14,64% na classe “alta”. Neste caso, a análise multicritério utilizou oito critérios na avaliação; entretanto, o mesmo autor realizou simulações com quatro critérios e obteve resultados próximos aos realizados com oito critérios. Segundo o autor isso deve-se a sobreposição conceitual de critérios.

Na sub-bacia 1 a classe média ficou com 60,33% (107,12 ha) e a classe alta com 30,33% (53,83 ha), esta sub-bacia foi a única que apresentou maior porcentagem na classe de prioridade média.

Na sub-bacia 2 a classe de prioridade alta ficou com 57,30% (200,6 ha), a classe muito alta com 21,48% (75,2 ha), a classe média com 19,94% (1969,8 ha) e a classe baixa com apenas 1,29% (4,50 ha).

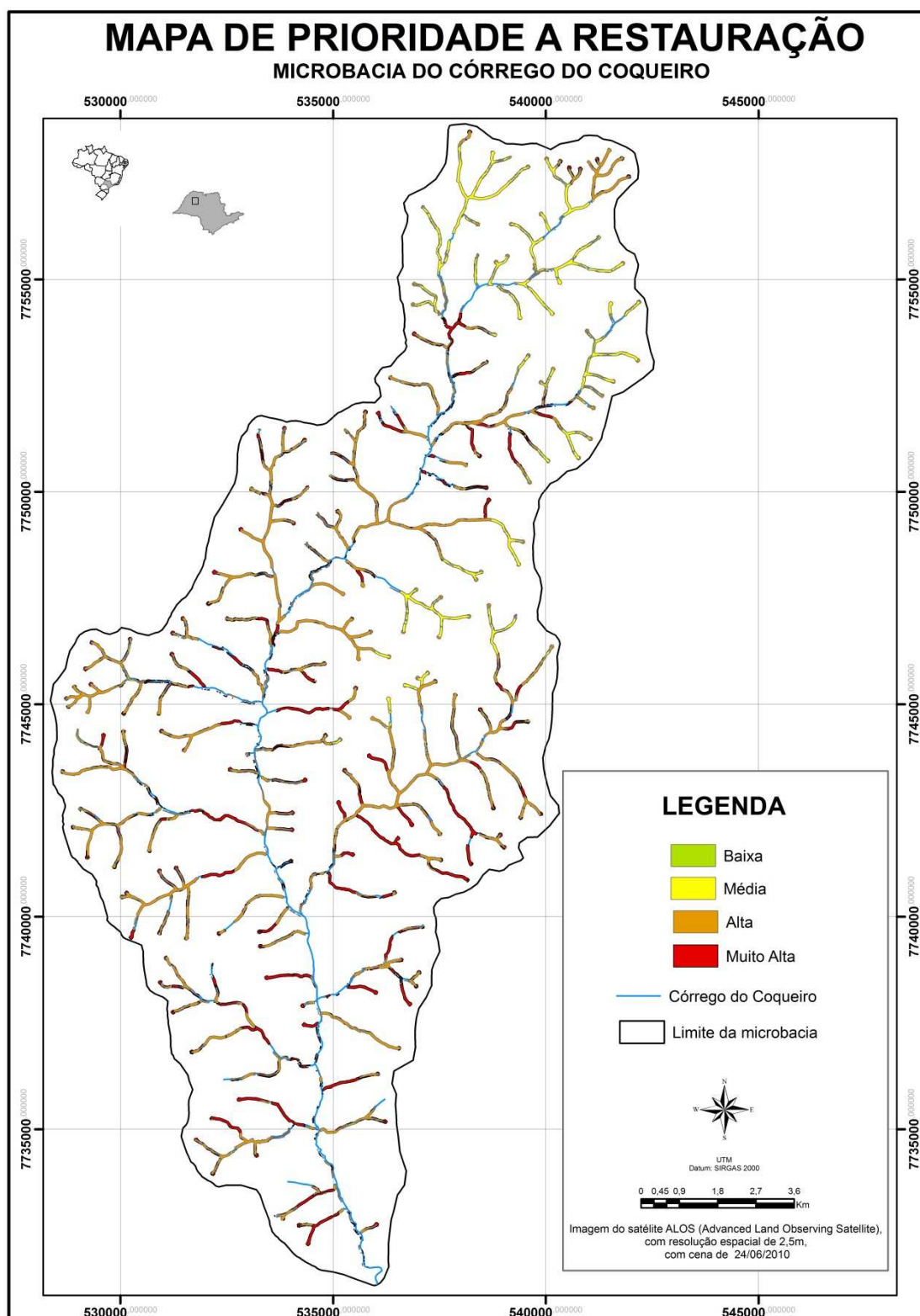
Na sub-bacia 3 com 64,53% (105,6721 ha) na classe de prioridade alta, a classe muito alta com 31,24% (51,1614 ha) e a classe média com 3,71% (6,06 ha).

Na sub-bacia 4 a classe de prioridade alta ficou com 56,32% (283,04 ha) e a classe muito alta com 37,46% (188,25 ha).

De acordo com Francisco (2006) a aplicação da Programação por Compromisso é satisfatória quando aplicada em situações em que os gestores tenham recursos e urgência para a recuperação florestal.

A checagem em campo das áreas definidas na análise multicritério permitiu comprovar as áreas na análise e o resultado mostrou-se eficiente na determinação das áreas prioritárias a restauração florestal. Em áreas degradadas a análise priorizou as classes “alta” e “muito alta” e os exemplos de campo pode ser visualizados na pág. 238.

Figura 46 - Mapa de prioridade da restauração florestal.



Fonte: Franco (2012)

4.3. Recursos hídricos

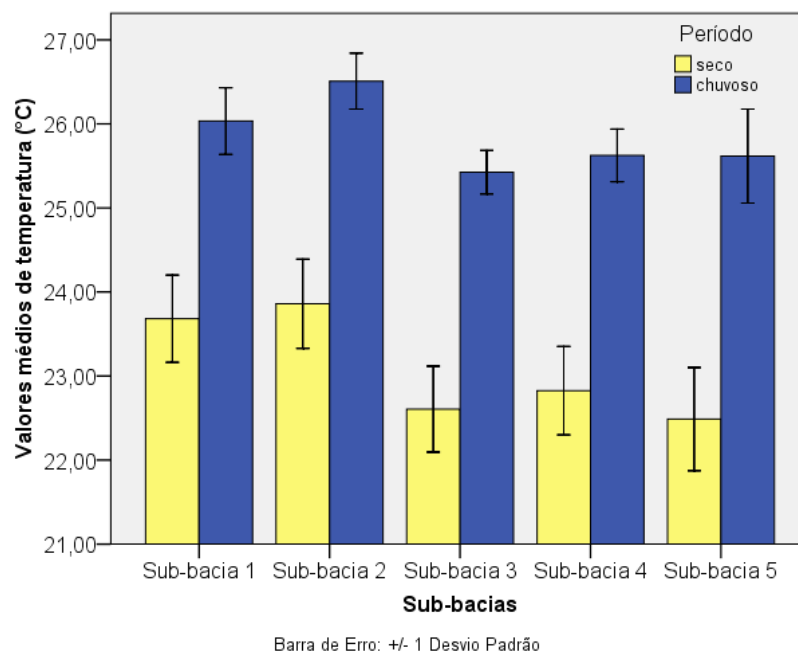
4.3.1. Qualidade de água para a irrigação

4.3.1.1. Parâmetros físicos

4.3.1.1.1. Temperatura da água

Os valores médios de temperatura da água superficial no período chuvoso foram superiores ao período seco e entre os períodos avaliados houve diferença significativa entre eles (Figura 47).

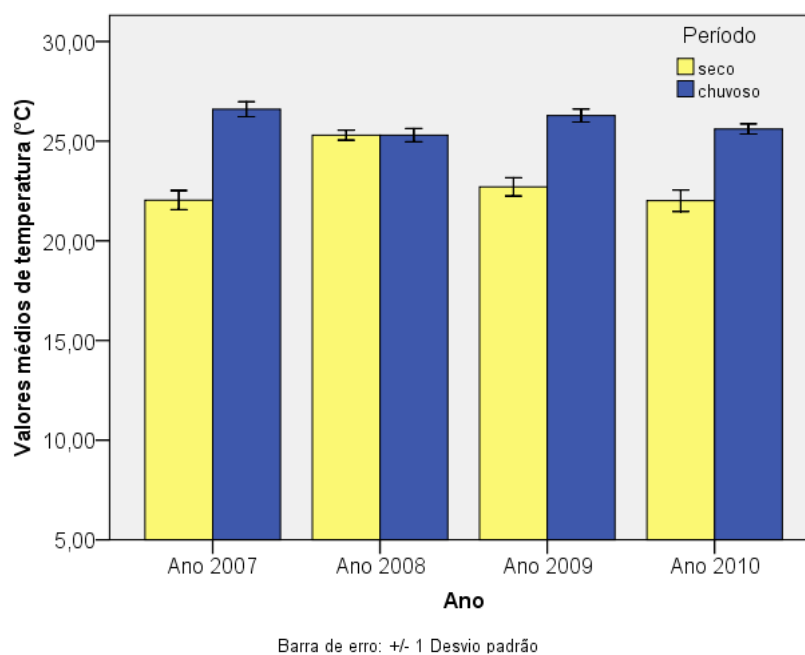
Figura 47 - Valores médios de temperatura por ponto de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.



Fonte: Franco (2012)

Os valores médios dos anos avaliados indicaram que a temperatura no período chuvoso foi superior ao período seco e que houve diferença significativa entre os dois períodos nos anos de 2007, 2009 e 2010, com exceção do ano de 2008 quando os valores entre o período seco e chuvoso se igualaram (Figura 48).

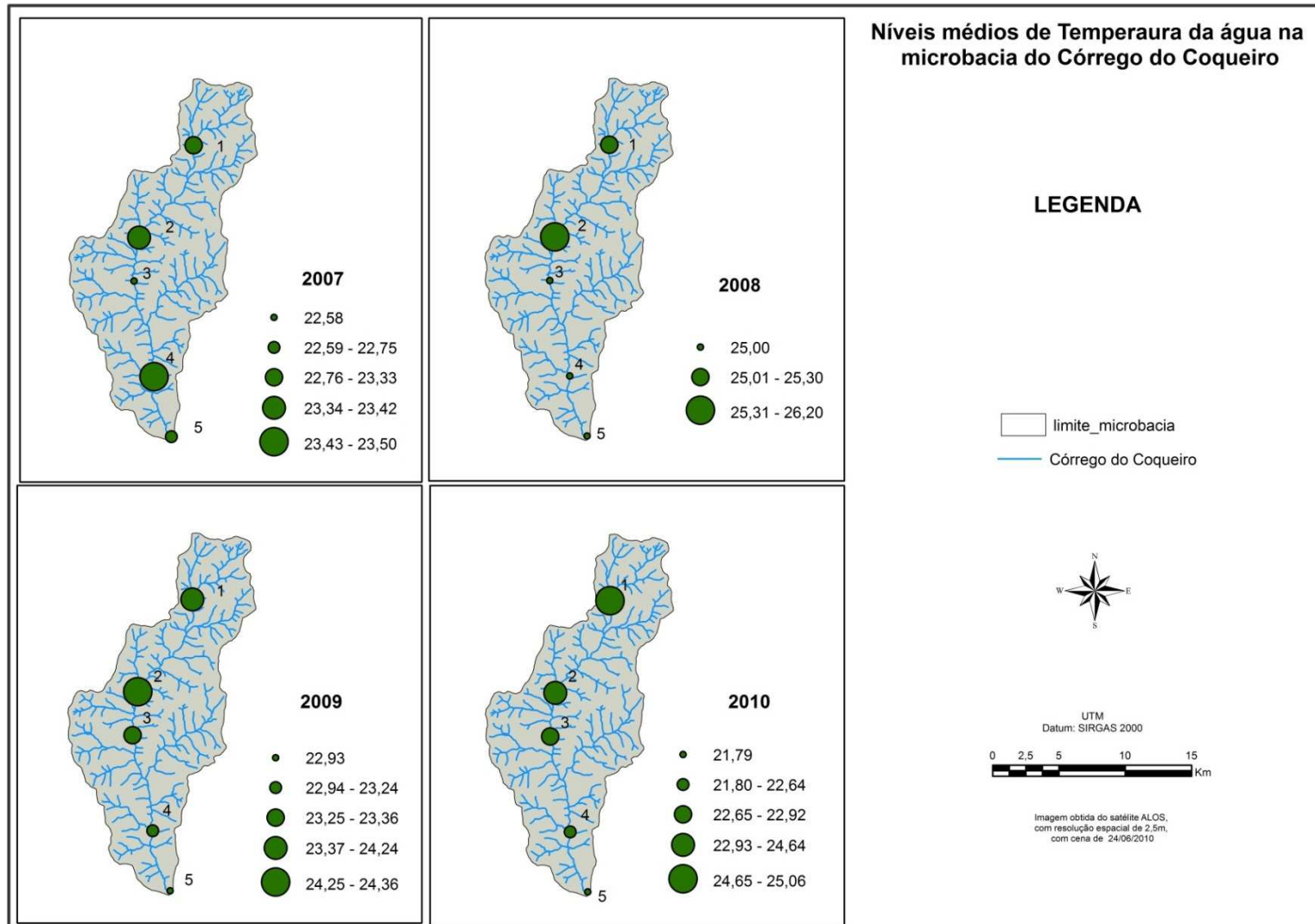
Figura 48 - Valores médios de temperatura por ano de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.



Fonte: Franco (2012)

Na Figura 49 a distribuição espacial dos valores médios de temperatura nos anos avaliados, os menores valores ocorreram no ponto 5 com tendências de aumento de temperatura em direção ao ponto 1. Essa diferença deve-se ao horário das coletas que iniciava-se no ponto 5, em torno das 6:00hs e terminava às 12:30 no ponto 1. Outro fator que pode ter influenciado nos valores de temperatura foi a presença da mata ciliar, como ocorre no ponto 5.

Figura 49 - Níveis médios de temperaturas na microbacia do córrego do Coqueiro.

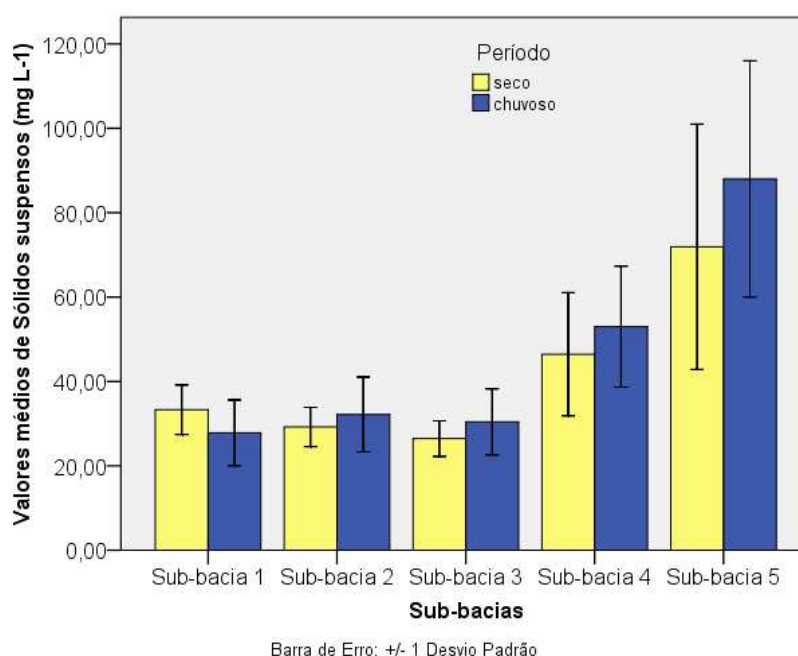


Fonte: Franco (2012)

4.3.1.1.2. Sólidos suspensos

Avaliando os valores médios de sólidos suspensos nas sub-bacias entre o período seco e chuvoso, observa-se que não houve diferença significativa. Na sub-bacia 4 e 3 houve diferença significativa entre o período seco e a na sub-bacia 5 os valores foram significativos em relação as sub-bacias 1, 2 e 3 no período seco. Na sub-bacia 5, os valores médios foram significativos no período chuvoso em relação as sub-bacias 1, 2 e 3 (Figura 50).

Figura 50 - Valores médios de sólidos suspensos por ponto de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.



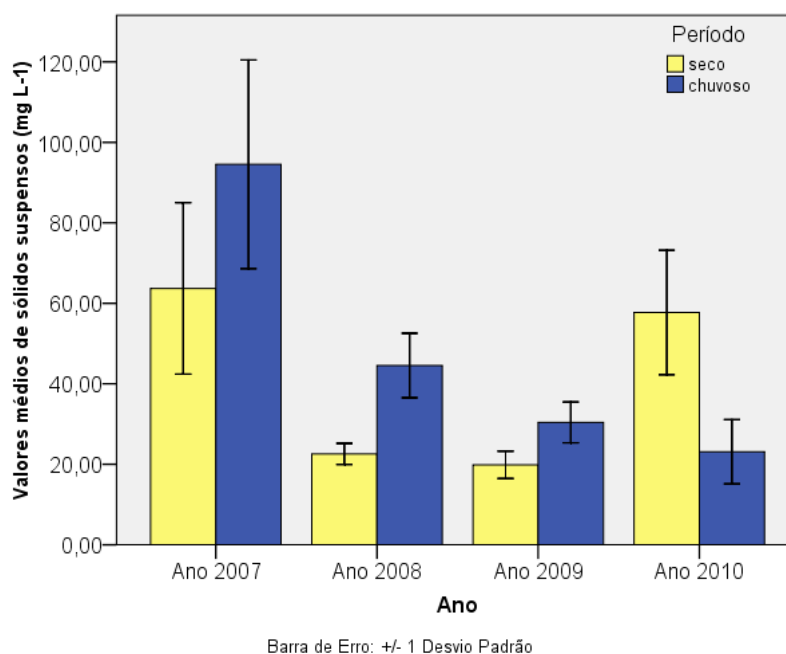
Fonte: Franco (2012)

No ano de 2007, os valores médios de sólidos suspensos avaliados para toda a microbacia não apresentaram diferença significativa entre o período seco e chuvoso. Nos anos de 2008, 2009 e 2010, houve diferença significativa entre o período seco e chuvoso (Figura 51).

No ano de 2010, os valores médios de sólidos suspensos do período seco foram superiores aos valores médios do período chuvoso, provavelmente devido às chuvas intensas ocorridas neste período e que antecederam as coletas de água, interferindo nos valores de sólidos suspensos. Cabe ressaltar que o período seco e chuvoso foram definidos conforme o balanço hídrico, que foi elaborado com a CAD

(capacidade de armazenamento do solo) de 40 mm e resultou em oito meses de deficiência hídrica no solo (abril a novembro), com total acumulado de 490 mm e o excedente ocorreu nos meses de dezembro a março com 179 mm (SANTOS; HERNANDEZ; ROSETTI, 2010). Valores elevados de sólidos suspensos no período seco podem interferir na qualidade de água para a irrigação, pois é neste período que mais se utiliza a água superficial para atender a demanda hídrica das culturas de interesse.

Figura 51 - Valores médios de sólidos suspensos por ano de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.



Fonte: Franco (2012)

As concentrações de sólidos suspensos e dissolvidos encontrados no decorrer desta pesquisa são semelhantes aos obtidos por Vanzela (2004) e Fioravanti et al. (2004), no córrego Três Barras, que verificaram altas concentrações de sólidos suspensos e com potencial de risco ao sistema de irrigação localizada. Almeida et al. (2007) no córrego do Boi, localizado na mesma região, obtiveram também concentrações elevadas de sólidos suspensos e de alto risco de dano à irrigação localizada.

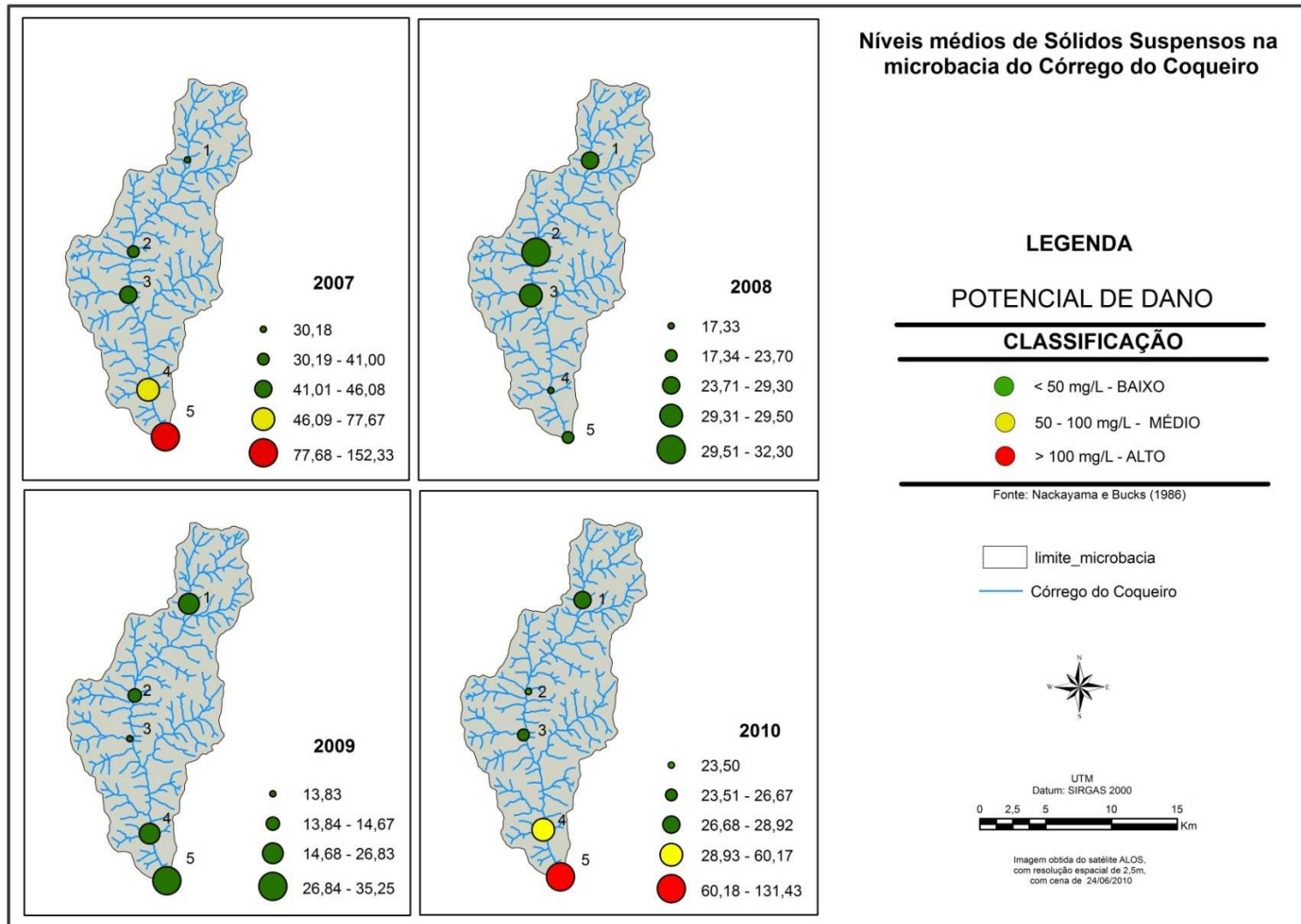
Entretanto, em estudos experimentais em sistemas de irrigação localizada que utilizaram filtros para retenção de partículas observaram que para valores de até

20,0 mg L⁻¹ de sólidos suspensos houve um aumento no número de retrolavagem dos filtros, devido a perda de carga em função do volume filtrado (RIBEIRO et al., 2005).

Os sólidos suspensos em 2007 no ponto 5 apresentaram valores superiores ao permitido, acima de 100 mg L⁻¹. Em 2010 a situação repete-se novamente no ponto 5, com valor médio de 131,41 mg L⁻¹ (Figura 52). Esse ponto de amostragem é a região mais baixa da microbacia, em torno de 0 a 2% de declividade e no período de cheia essa região sobre forte influência do rio São José dos Dourados, alagando as regiões mais baixas do terreno. A dinâmica fluvial neste trecho favorece a deposição de sedimentos, reduzindo o fluxo de água devido ao sistema ter atingido o nível de base e como consequência ocorre a decantação do sedimento que é carregado durante escoamento superficial.

Através da análise de risco causado aos sistemas de irrigação com o uso da água superficial do córrego do Coqueiro, Barboza, Hernandez e Franco (2011) concluíram que a água superficial apresenta baixo potencial de entupimento dos emissores em relação aos aspectos físicos (sólidos suspensos, dissolvidos e totais).

Figura 52 - Níveis médios de sólidos suspensos na microbacia do córrego do Coqueiro.

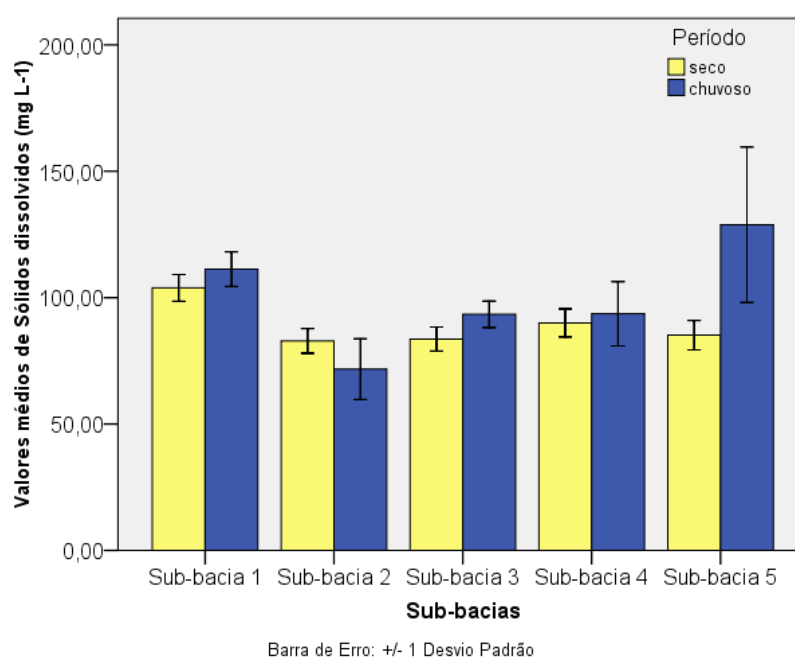


Fonte: Franco (2012)

4.3.1.1.3. Sólidos dissolvidos

A avaliação de sólidos dissolvidos nas sub-bacias, indica que houve diferença significativa entre o período seco e chuvoso apenas na sub-bacia 5. Comparando os valores médios entre as sub-bacias, observa-se que no período chuvoso houve diferença significativa entre as sub-bacias 1, 2 e 3, e entre as sub-bacias 2 e 5. No período seco houve diferença significativa na sub-bacia 1 em relação as sub-bacias 2, 3 e 4 (Figura 53).

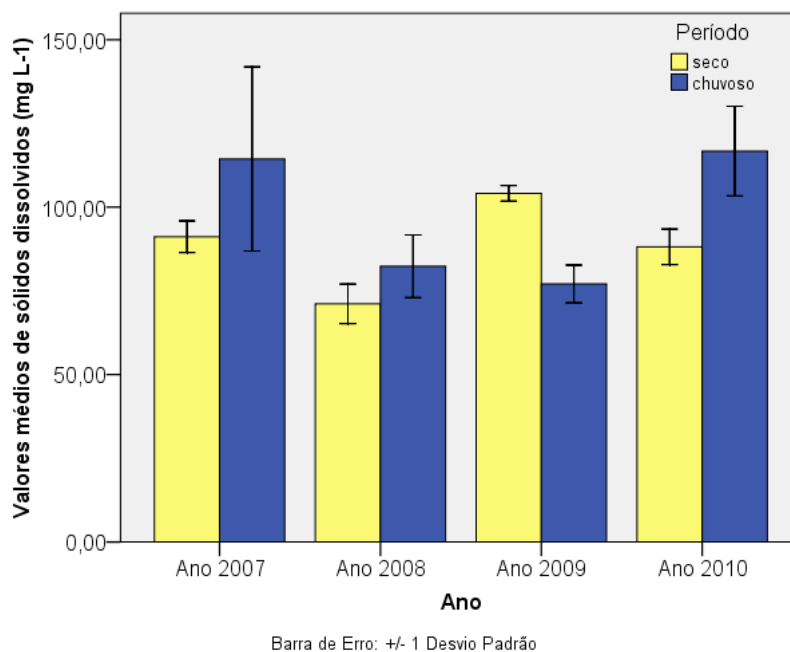
Figura 53 - Valores médios de sólidos dissolvidos por ponto de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.



Fonte: Franco (2012)

Comparando-se os valores médios de sólidos dissolvidos entre os anos de amostragem na microbacia, entre o período seco e chuvoso observou-se que no ano de 2009 houve diferença significativa entre os períodos e os valores do período seco estão superiores ao chuvoso (Figura 54). Neste ano de 2009 choveu em todos os meses do ano e os valores médios do período seco foram significativos em relação ao mesmo período para os anos de 2008 e 2010.

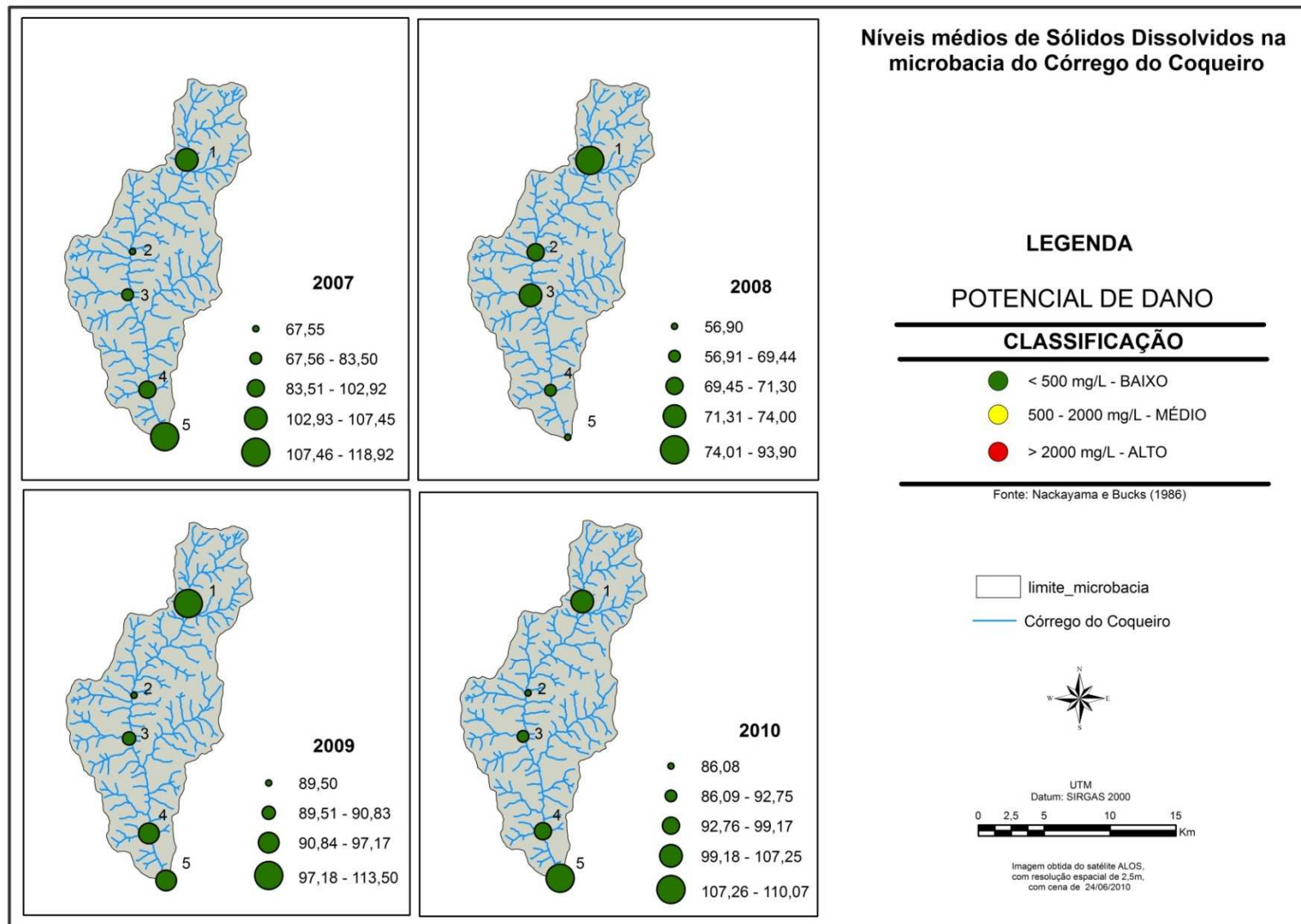
Figura 54 - Valores médios de sólidos dissolvidos por ano de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.



Fonte: Franco (2012)

Os valores de sólidos dissolvidos não apresentaram problemas em relação a esse parâmetro, conforme a classificação de Nackayama e Bucks. Observou-se que a distribuição espacial dos valores médios de sólidos dissolvidos foram elevadas no ponto 1 e 5 de amostragem de água (Figura 55).

Figura 55 - Níveis médios de sólidos dissolvidos na microbacia do córrego do Coqueiro.

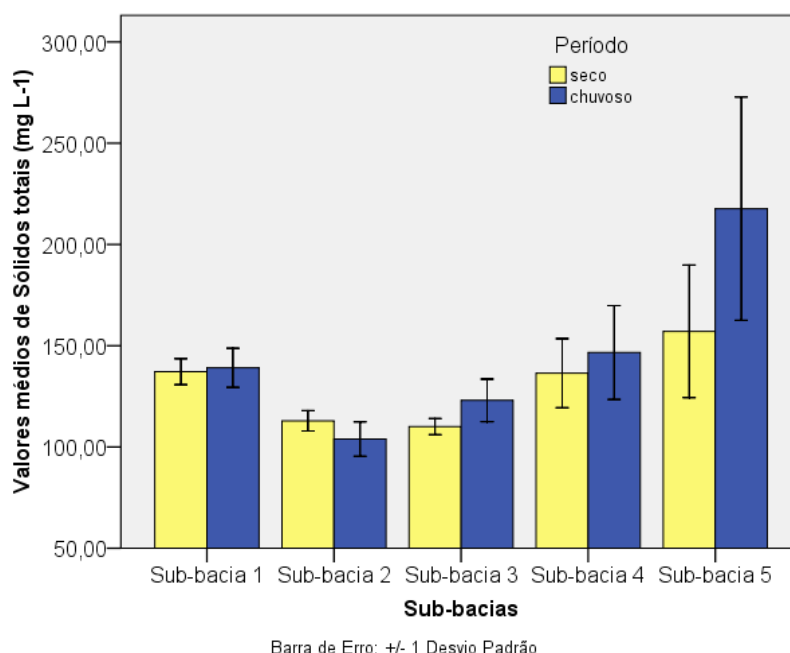


Fonte: Franco (2012)

4.3.1.1.4. Sólidos totais

Não houve diferença significativa entre o período seco e chuvoso nas sub-bacias avaliadas em relação aos sólidos totais, mas comprando-se o período seco entre as sub-bacias 1, 2 e 5 observa-se que houve diferença significativa. A sub-bacia 5 no período chuvoso apresentou valores médios significativos em relação as sub-bacias 3, 2 e 1 (Figura 56).

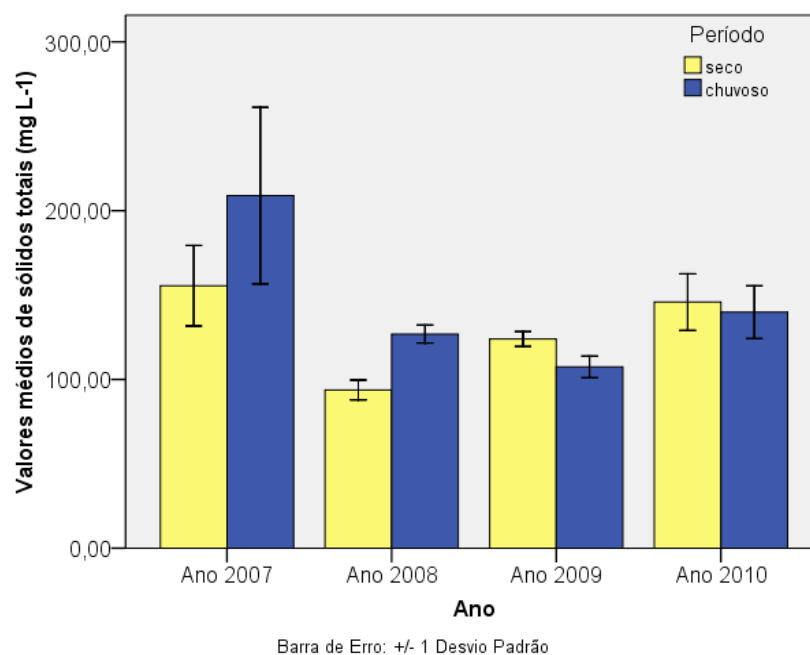
Figura 56 - Valores médios de sólidos totais por ponto de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.



Fonte: Franco (2012)

Os valores médios de sólidos totais foram superiores no ano de 2007 em relação aos anos de 2008, 2009 e 2010. Nos anos de 2007 e 2010 não houve diferença significativa entre o período seco e chuvoso, já nos anos de 2008 e 2009 houve diferença entre o período seco e chuvoso. O período chuvoso do ano de 2007 foi significativo em relação aos anos de 2008, 2009 e 2010 e nos anos de 2009 e 2010 os valores médios no período seco foram superiores ao período chuvoso (Figura 57). No ano de 2009 houve precipitação em todos os meses do ano e no de 2010 houve precipitação intensa durante o período de coleta o que influenciou nos valores de sólidos totais.

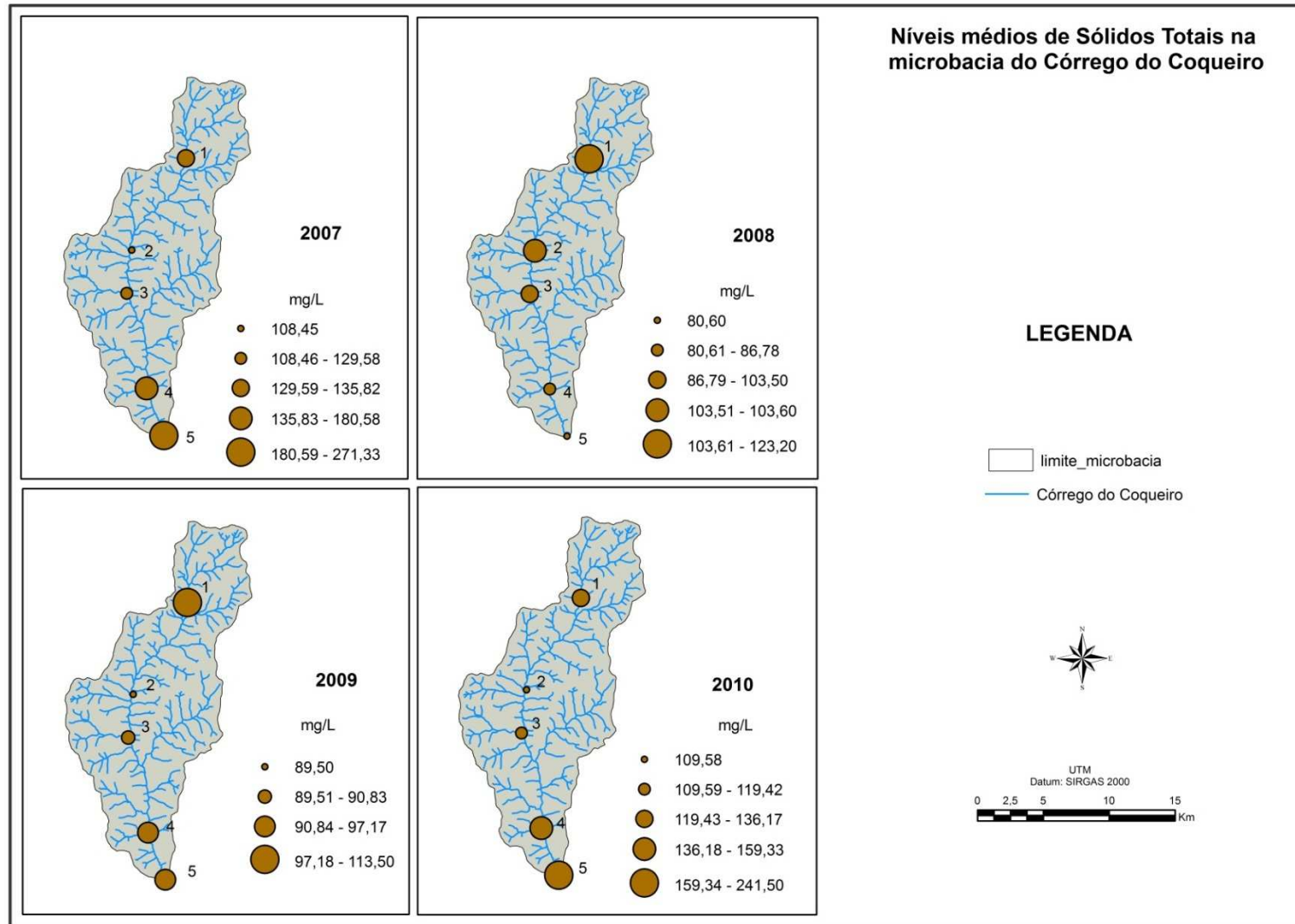
Figura 57 - Valores médios de sólidos totais por ano de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.



Fonte: Franco (2012)

Na Figura 58 a distribuição espacial dos valores médios de sólidos totais nos anos avaliados em classe de concentrações. O ponto da sub-bacia 1 apresentou valores elevados de sólidos totais, principalmente nos anos de 2008 e 2009. Os pontos 4 e 5 também apresentaram valores elevados na concentração de sólidos totais em 2007, 2009 e 2010.

Figura 58 - Distribuição dos valores médios de sólidos totais na microbacia do córrego do Coqueiro.

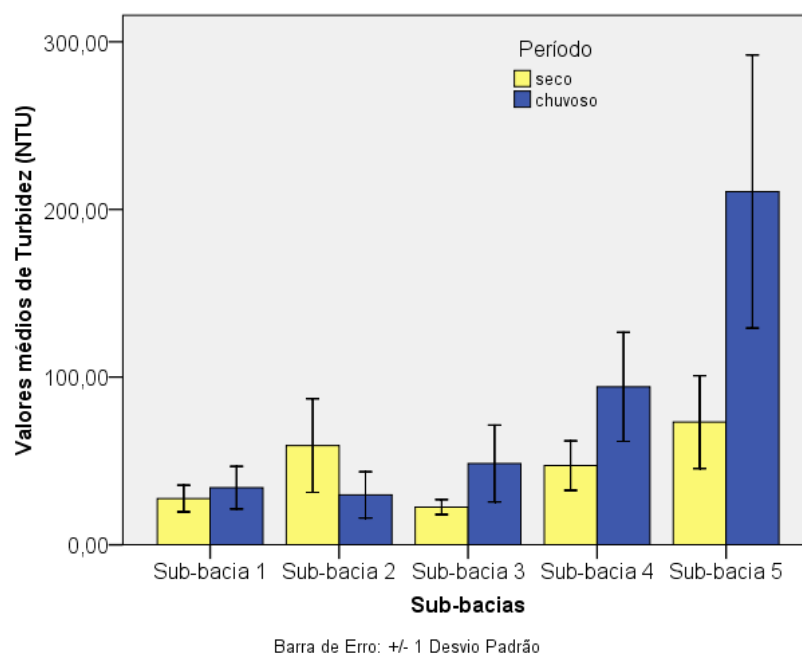


Fonte: Franco (2012)

4.3.1.1.5. Turbidez

Na avaliação dos valores médios de turbidez entre o período seco e chuvoso, apenas a sub-bacia 5 apresentou valor significativo (Figura 59). Os maiores valores médios de turbidez ocorreram no período chuvoso, apenas a sub-bacia 2 os valores de turbidez no período seco foram superiores ao período chuvoso.

Figura 59 - Valores médios de turbidez por ponto de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.

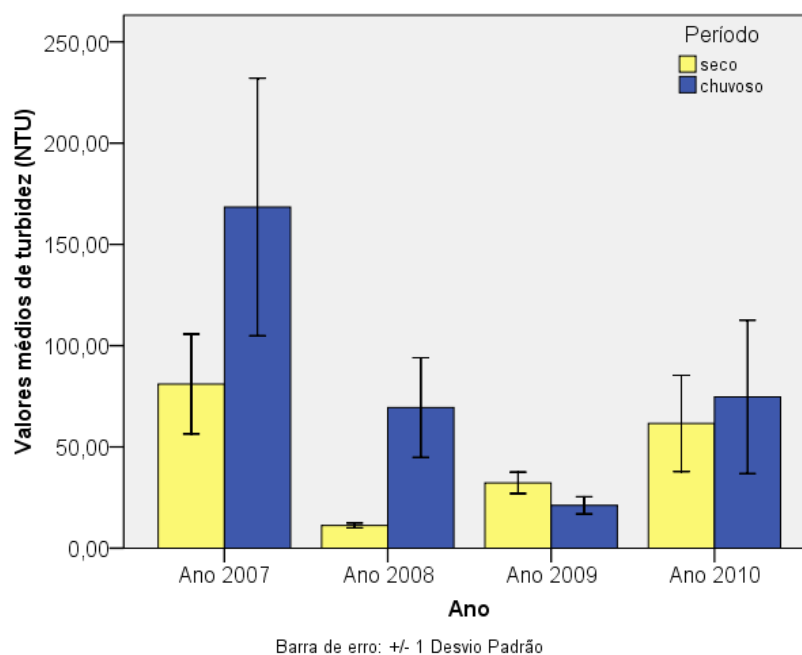


Fonte: Franco (2012)

Em relação aos anos avaliados, apenas no ano de 2008 houve diferença significativa nos valores de turbidez entre o período seco e chuvoso. Os maiores valores médios de turbidez ocorreram no período chuvoso, exceto para o ano de 2009 em que os valores médios foram superiores no período seco, neste ano observa-se que houve precipitação em todos os meses do ano.

No ano de 2007 o período chuvoso foi significativo em relação ao mesmo período para os anos de 2008 e 2009 (Figura 60).

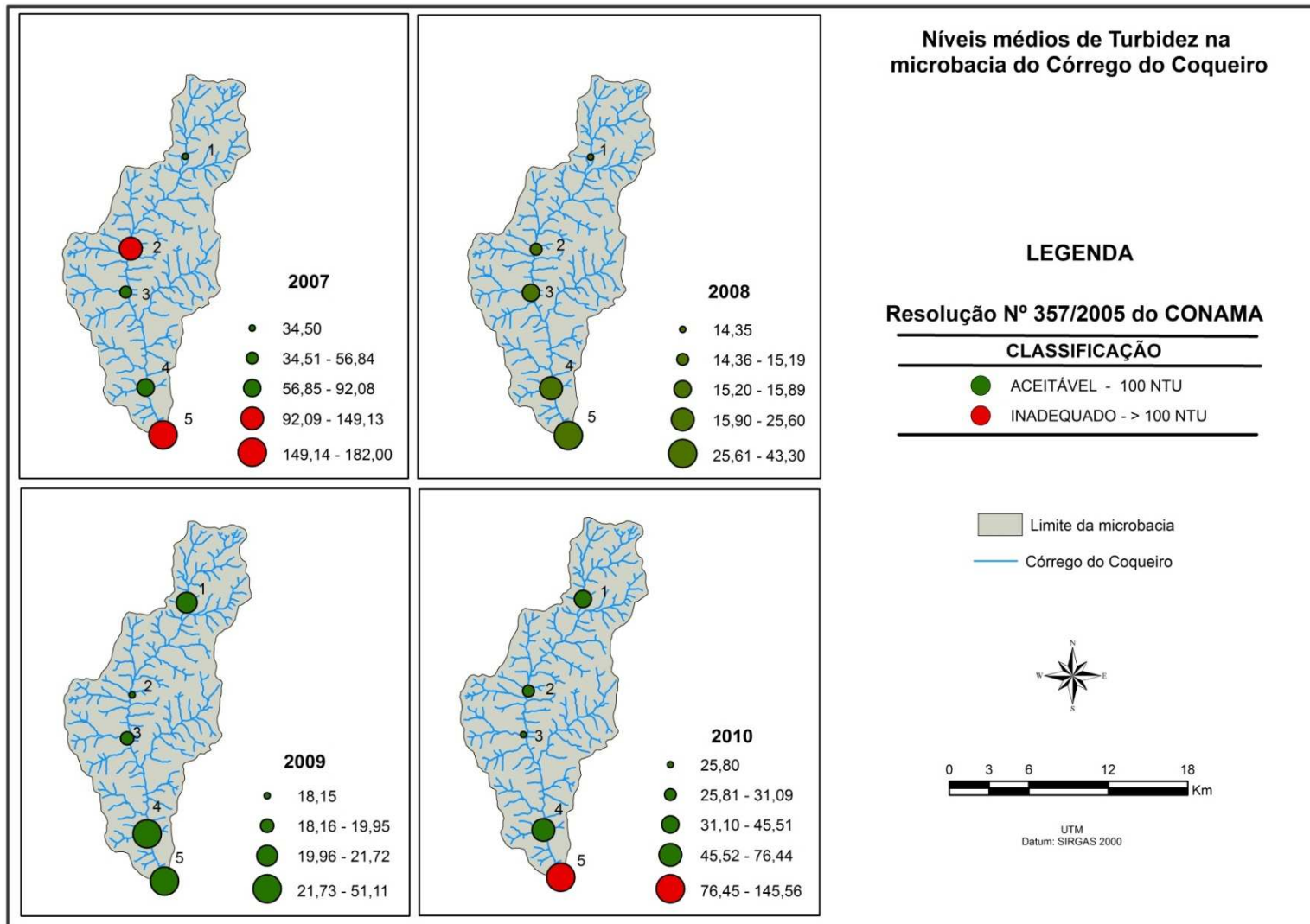
Figura 60 - Valores médios de turbidez por ano de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.



Fonte: Franco (2012)

Os valores médios de turbidez no ano de 2007 foram superiores no ponto 2 e 5, conforme Resolução CONAMA n° 357/2010, classe 2 que determina valores adequados abaixo de 100 NTU. Em 2008 e 2009 os valores permaneceram inferiores a 100 NTU; no ano de 2010, o ponto 5 apresentou valores entre 76,45 a 145,56 NTU (Figura 61).

Figura 61 - Distribuição dos valores médios de turbidez na microbacia do córrego do Coqueiro.



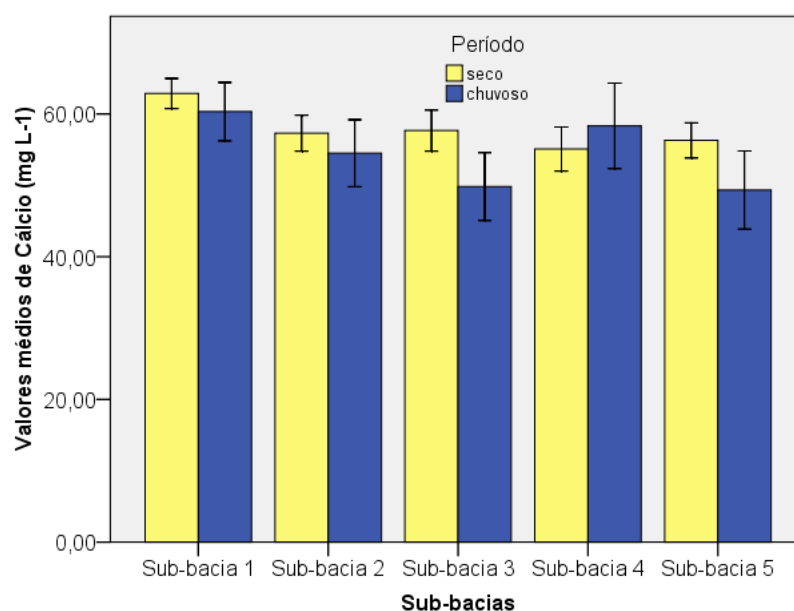
Fonte: Franco (2012)

4.3.1.2. Parâmetros químicos

4.3.1.2.1. Cálcio

Os valores médios de cálcio não foram significativos entre os períodos seco e chuvoso. Os valores médios de cálcio foram superiores no período seco nas sub-bacias 1, 2, 3 e 5 e na sub-bacia 4 os valores médios foram superiores no período chuvoso (Figura 62).

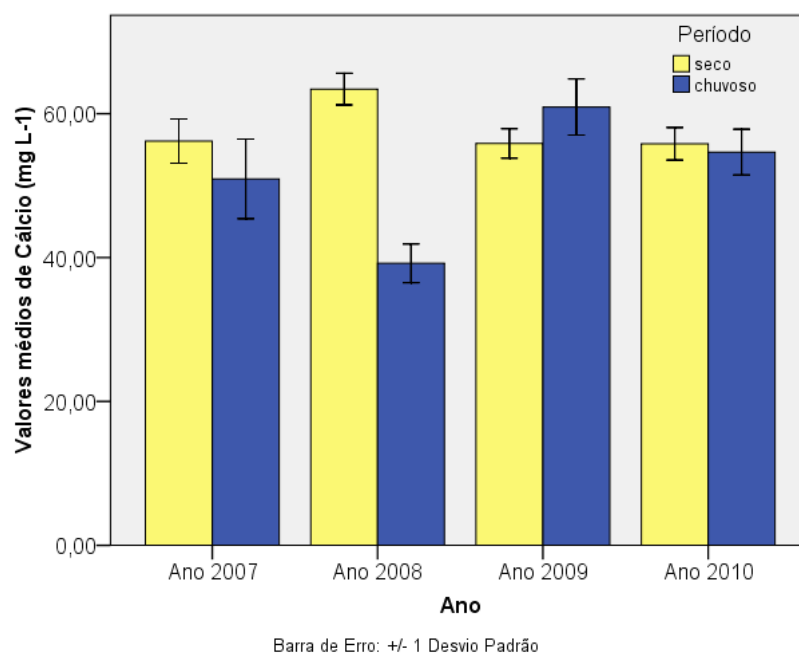
Figura 62 - Valores médios de cálcio por ponto de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.



Fonte: Franco (2012)

Comparando os valores médios de cálcio nos anos da amostragem e entre o período seco e chuvoso, notou-se diferença significativa no ano de 2008. Nos demais anos avaliados os valores não foram significativos (Figura 63). Os valores médios de cálcio no período seco foram superiores em relação ao período chuvoso nos anos de 2007, 2008 e 2010.

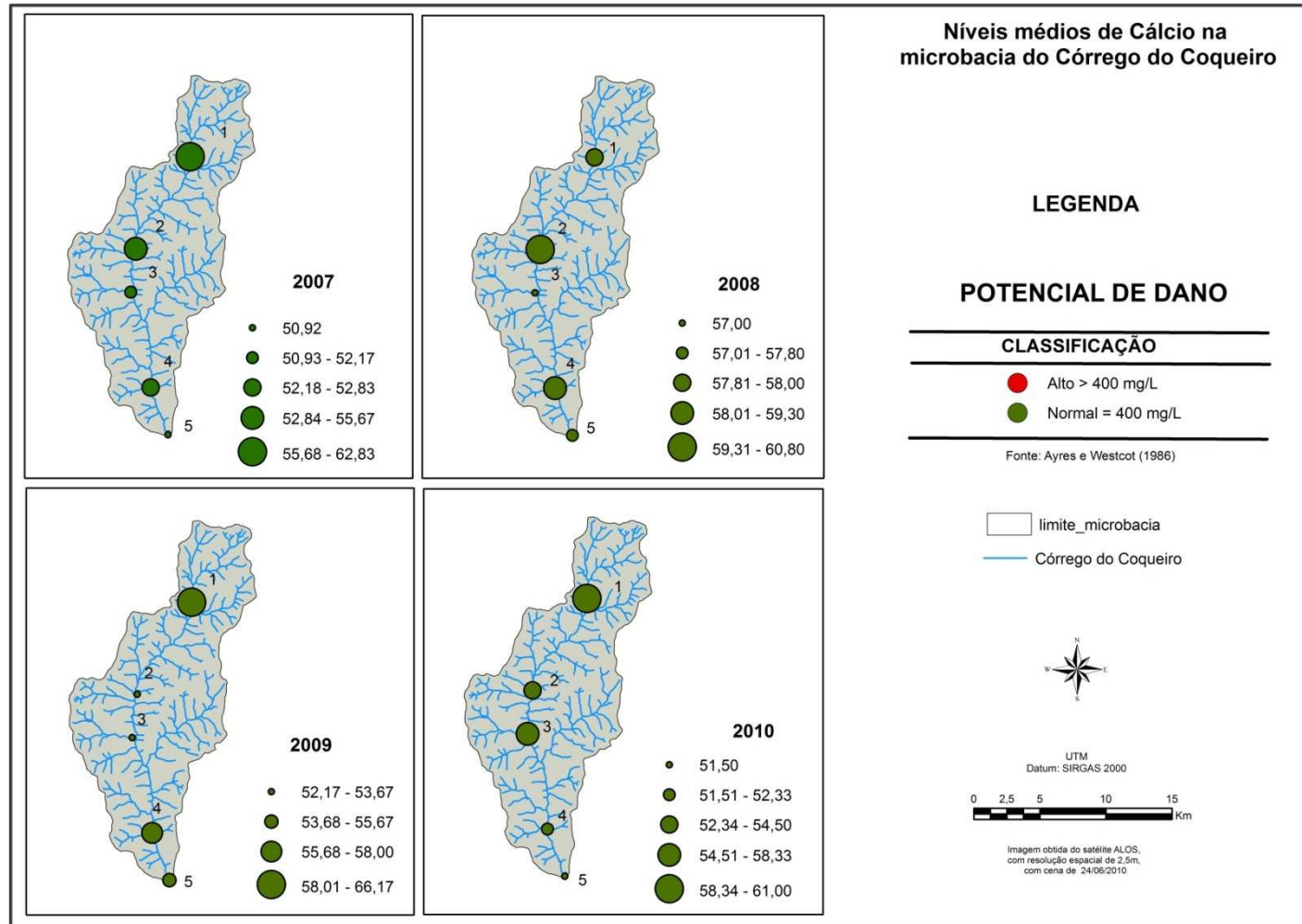
Figura 63 - Valores médios de cálcio por ano de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.



Fonte: Franco (2012)

Na Figura 64 a distribuição espacial dos valores médios de cálcio nos pontos avaliados. Os valores médios de cálcio não ultrapassaram o limite permitido no período entre outubro de 2007 a 2010, conforme Ayers e Westcot (1986).

Figura 64 - Distribuição dos valores médios de cálcio na microbacia do córrego do Coqueiro.

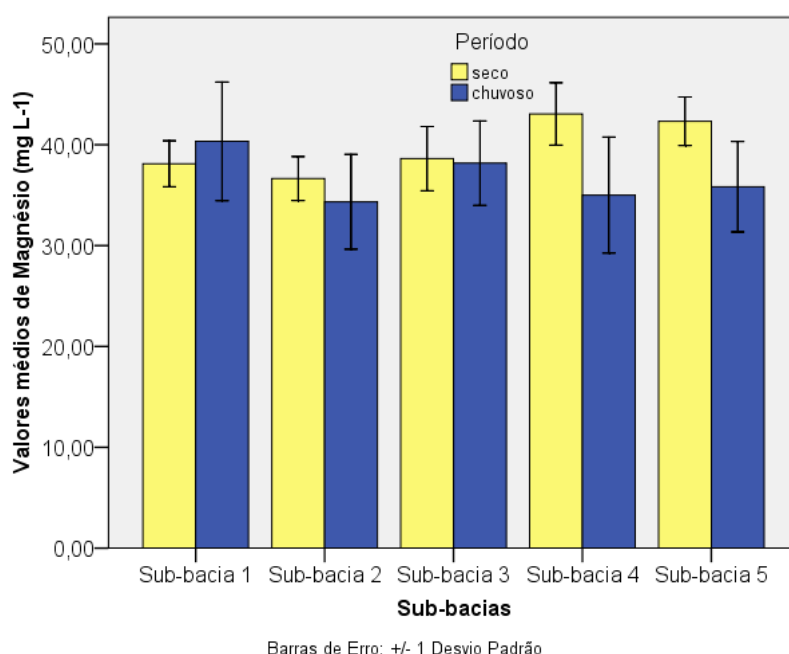


Fonte: Franco (2012)

4.3.1.2.2. Magnésio

Para os valores médios de magnésio não apresentaram houve diferença significativa entre o período seco e chuvoso nas sub-bacias avaliadas entre os anos de 2007 a 2010. No período seco houve diferença significativa entre as sub-bacias 2, 4 e 5 (Figura 65).

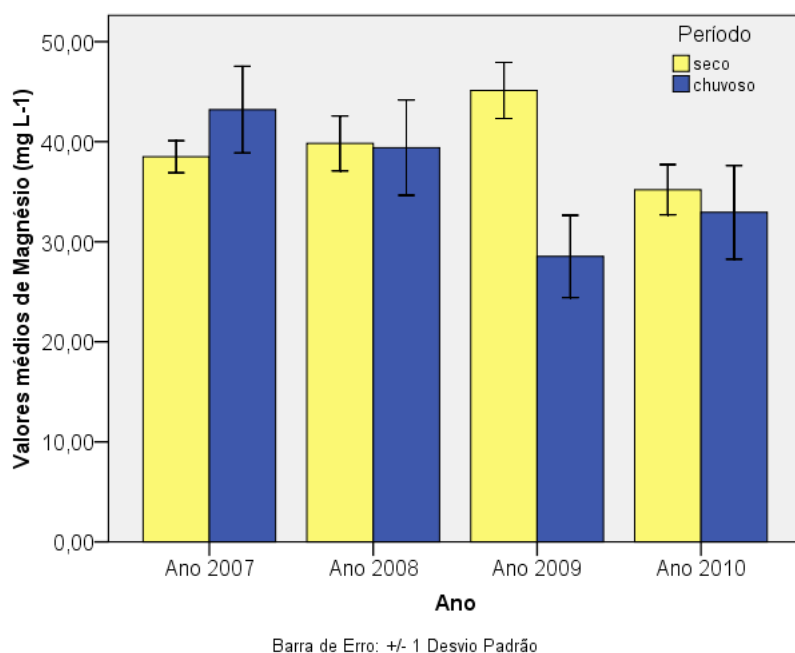
Figura 65 - Valores médios de magnésio por ponto de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.



Fonte: Franco (2012)

No ano de 2009 na microbacia houve diferença significativa entre o período seco e chuvoso nos valores de magnésio, nos outros anos avaliados não houve diferença significativa. Comparando o período seco do ano de 2007 com o período do ano de 2009 observa-se que houve diferença significativa nos valores médios de magnésio e o mesmo aconteceu entre os anos de 2009 e 2010 (Figura 66). Franco e Hernandez (2009) encontraram os maiores valores médios no período chuvoso, entretanto não houve diferença significativa entre o período seco e chuvoso avaliado e o ponto 4 (sub-bacia 4) apresentou 25% das amostras nos anos de 2006 a 2007 com valores acima do valor permitido ($> 60 \text{ mg L}^{-1}$).

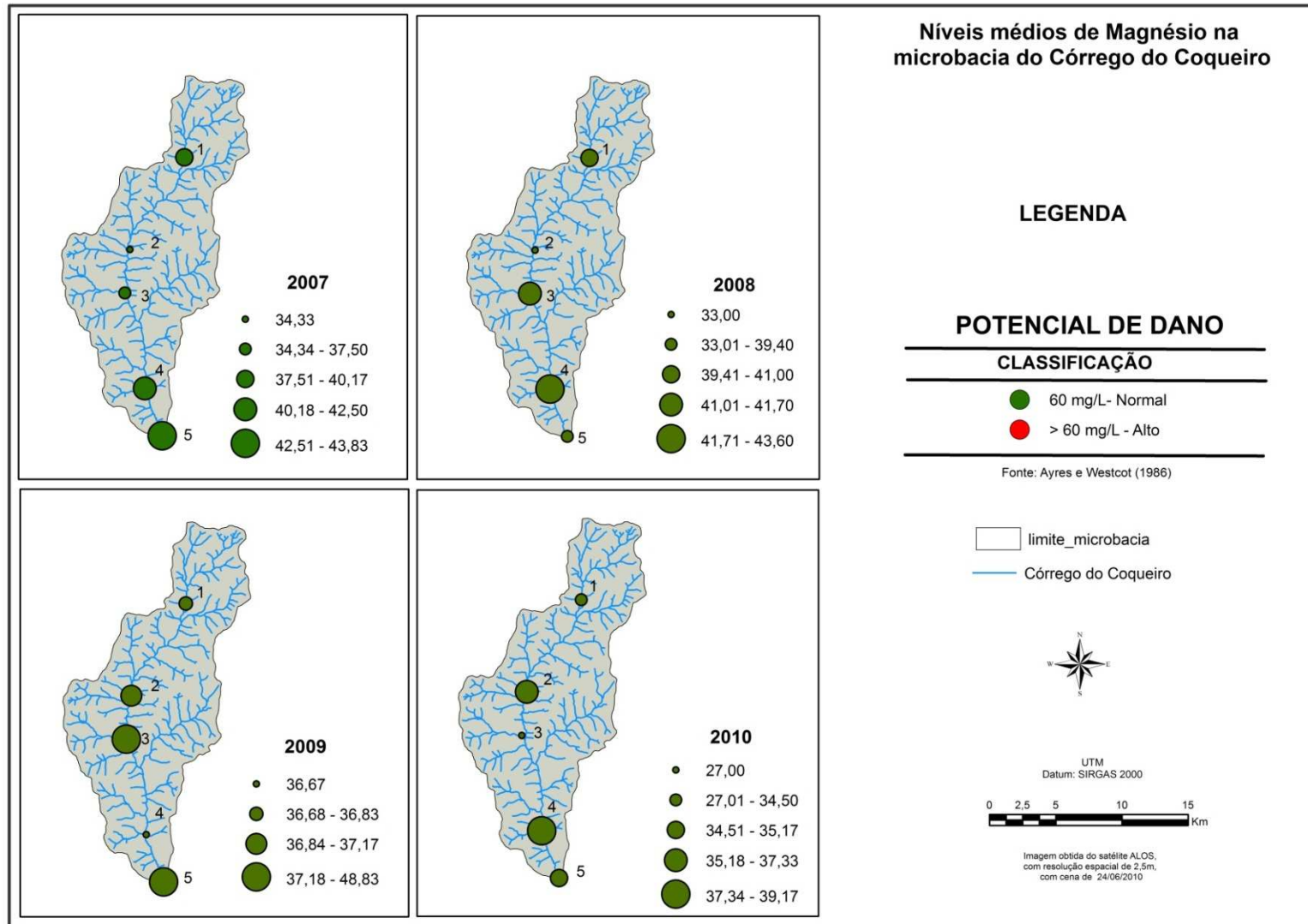
Figura 66 - Valores médios de magnésio por ano de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.



Fonte: Franco (2012)

A distribuição espacial dos valores médios de magnésio no ano de 2007 indicou que o ponto 5 apresentou o maior valor médio. No ano de 2008 os pontos 3 e 4 apresentam valores entre 41,01 a 43,60 mg L⁻¹ e superiores aos outros pontos. No ano de 2009, os maiores valores ocorreram nos pontos 3 e 5 e no ano 2010 a maior concentração ocorreu no ponto 4. Para o magnésio observou-se uma variabilidade espacial nos valores de concentração ao longo do córrego (Figura 67).

Figura 67 - Distribuição dos valores médios de magnésio na microbacia do córrego do Coqueiro.

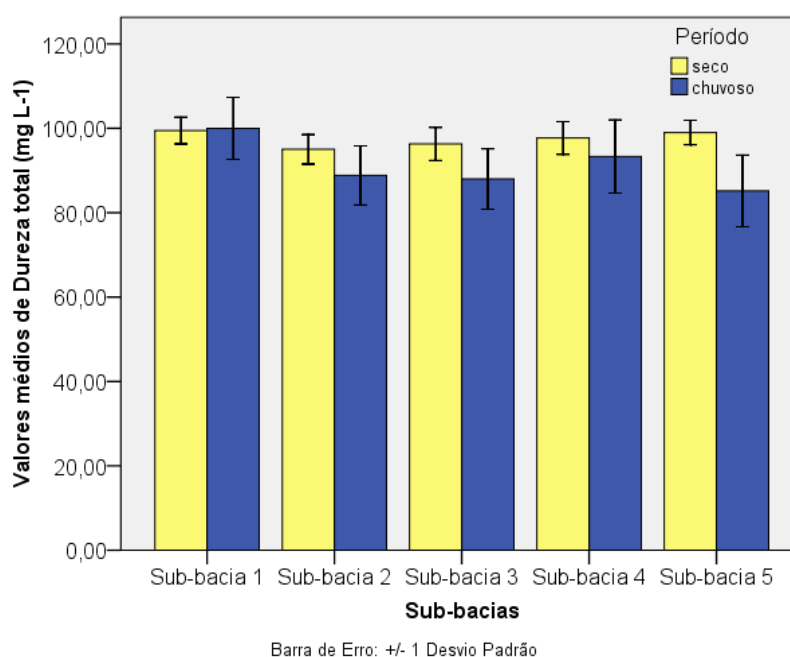


Fonte: Franco (2012)

4.3.1.2.3. Dureza total

No período avaliado a concentração de dureza total entre o período seco e chuvoso foi significativo na sub-bacia 5. Observou-se que os valores médios no período seco são superiores ao período chuvoso, exceto na sub-bacia 1 que apresenta valores médios iguais entre o período seco e chuvoso (Figura 68).

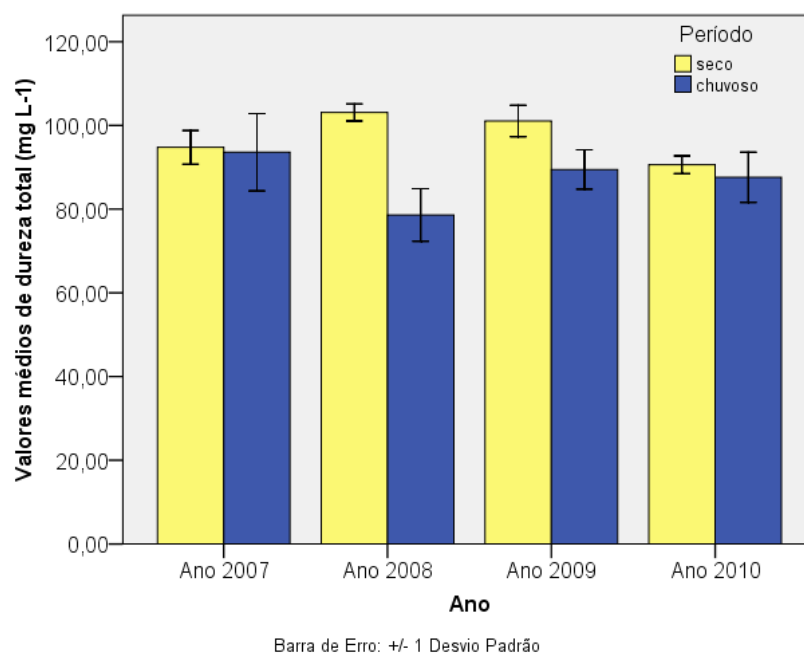
Figura 68 - Valores médios de dureza total por ponto de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.



Fonte: Franco (2012)

Nos anos de 2008 e 2009 houve diferença significativa entre o período seco e o chuvoso nos valores médios de dureza. Os valores médios de dureza no período seco foram superiores em relação ao período chuvoso nos anos avaliados. Realizando uma comparação entre os anos amostrados observou-se que a diferença entre o período seco do ano de 2007 foi significativa em relação ao mesmo período do ano 2008 e o mesmo aconteceu entre os anos de 2008 e 2010 (Figura 69).

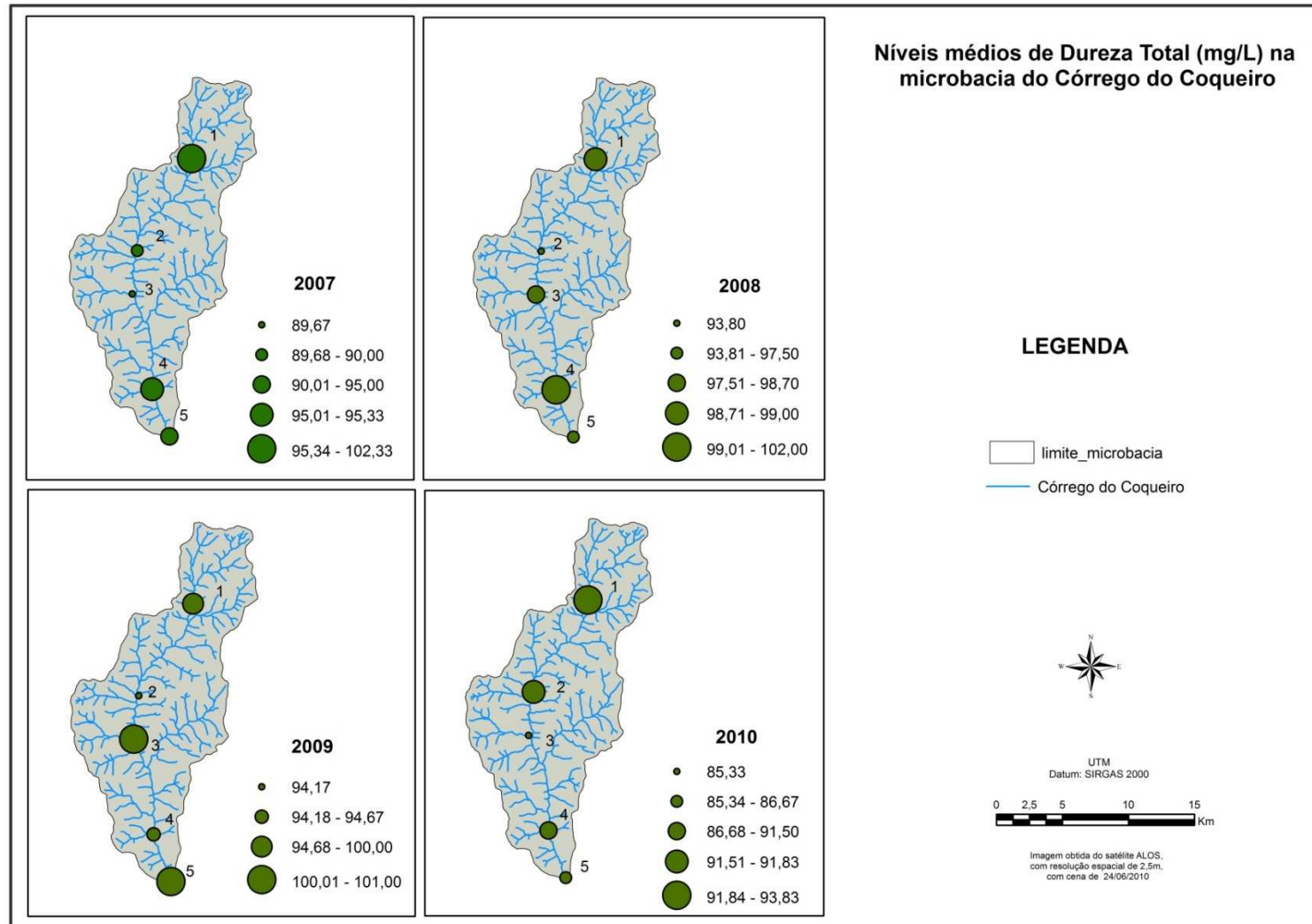
Figura 69 - Valores médios de dureza total por ano de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.



Fonte: Franco (2012)

Os valores mínimo e máximo de dureza total na microbacia foram 42,0 mg L⁻¹ e 168,0 mg L⁻¹, respectivamente. No mapa a distribuição espacial dos valores médios de cada ponto de amostragem e o ano analisado (Figura 70).

Figura 70 - Distribuição dos valores médios de dureza total na microbacia do córrego do Coqueiro.

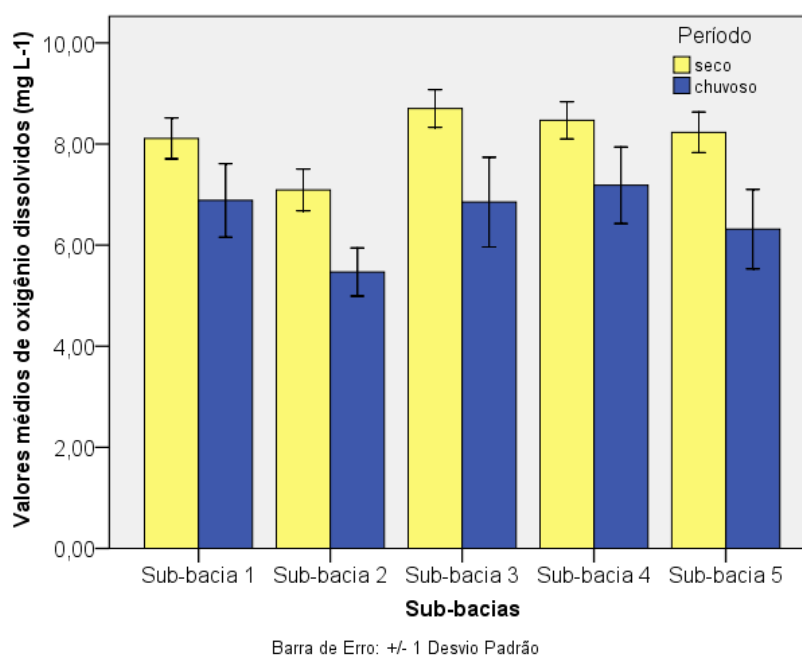


Fonte: Franco (2012)

4.3.1.2.4. Oxigênio dissolvido

Avaliando os valores médios de oxigênio dissolvido entre o período seco e chuvoso por ponto de amostragem foi possível observar que houve diferença significativa entre os períodos analisados, sendo os maiores valores de oxigênio dissolvido determinados no período seco (Figura 71). O menor valor médio de oxigênio dissolvido ocorreu na sub-bacia 2, provavelmente devido a influência urbana nesta microbacia. Vanzela, Hernandez e Franco (2010) verificaram reduções nas concentrações de oxigênio dissolvido com o aumentaram as áreas agricultáveis, matas degradadas e moradias rurais na microbacia do córrego Três Barras - SP.

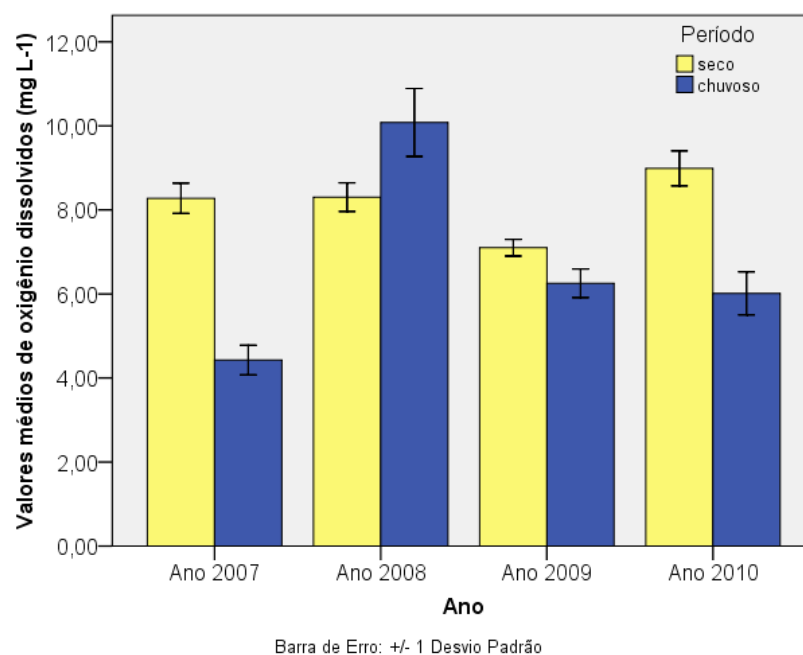
Figura 71 - Valores médios de oxigênio dissolvidos por ponto de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.



Fonte: Franco (2012)

Houve diferença significativa entre o período seco e chuvoso, em todos os anos avaliados e no ano de 2008 observa-se que os valores médios foram elevados no período chuvoso em relação ao período seco (Figura 72).

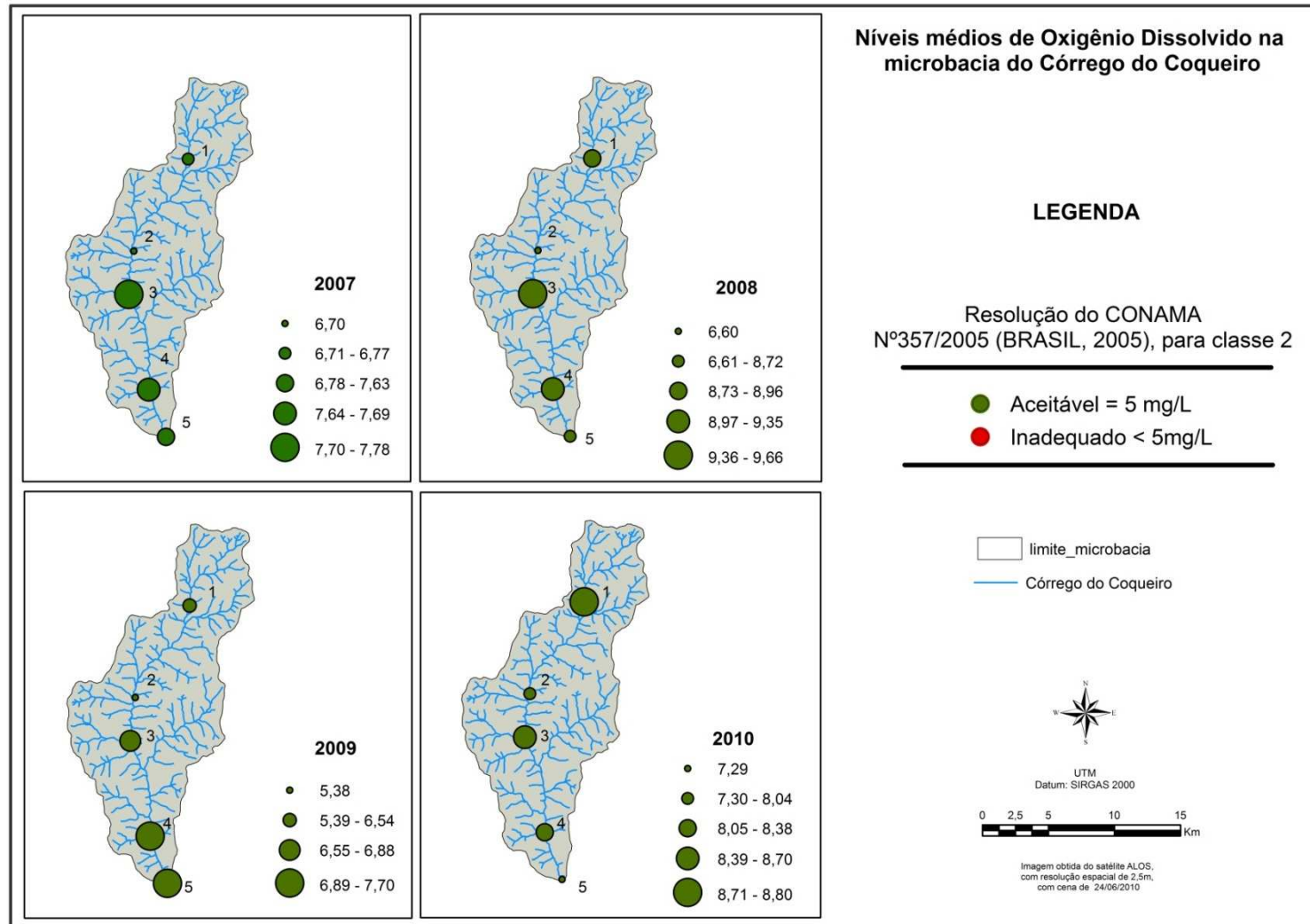
Figura 72 - Valores médios de oxigênio dissolvido por ano de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.



Fonte: Franco (2012)

Os valores médios de oxigênio dissolvidos estão acima do recomendado, de acordo com a Resolução CONAMA N° 357/2009, para classe 2 que determina valores de pelo menos 5 mg L⁻¹ de oxigênio dissolvido (Figura 73).

Figura 73 - Distribuição dos valores médios de oxigênio dissolvido na microbacia do córrego do Coqueiro.

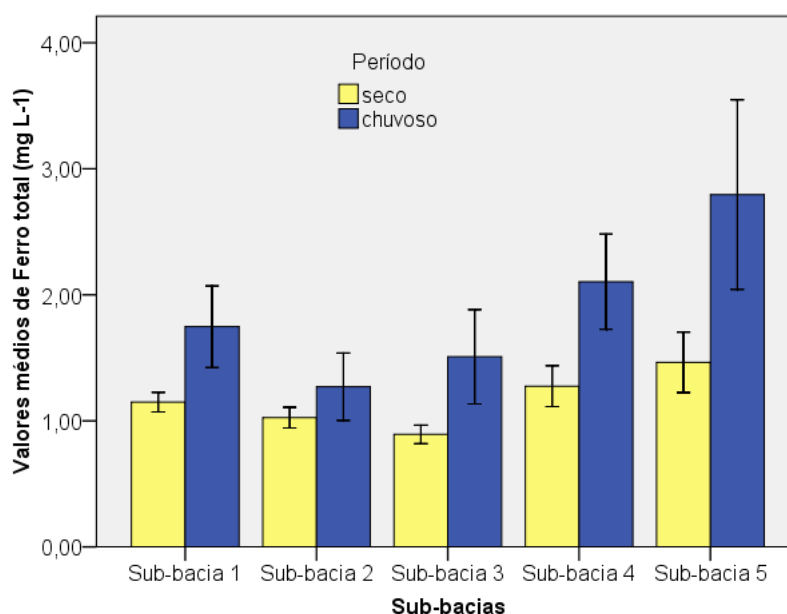


Fonte: Franco (2012)

4.3.1.2.5. Ferro total

Os valores médios de ferro total foram superiores no período chuvoso em relação ao período seco. Houve diferença significativa entre o período seco e chuvoso com todas as sub-bacias, com exceção da sub-bacia 2 (Figura 74).

Figura 74 - Valores médios de ferro total por ponto de amostragem no período seco e chuvoso, na microbacia do córrego do Coqueiro.

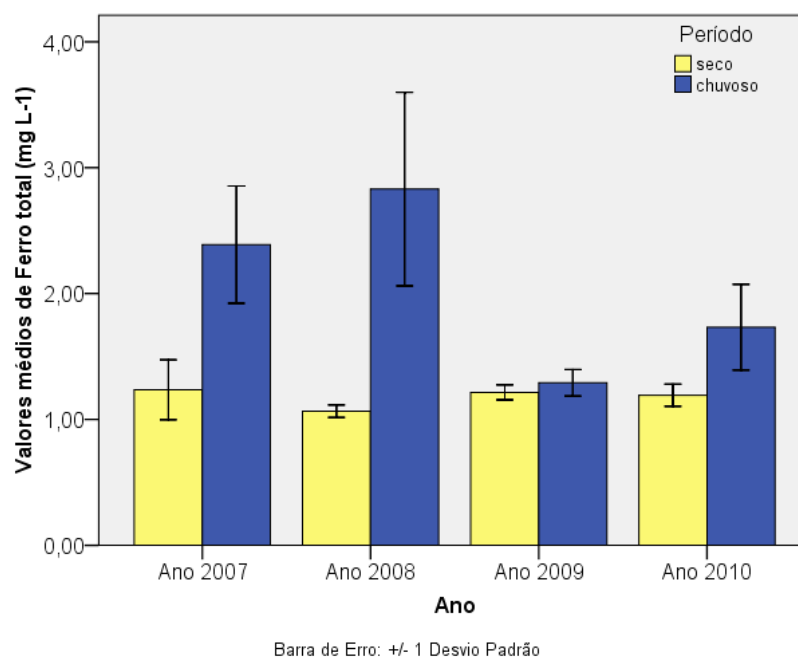


Fonte: Franco (2012)

Nos anos avaliados houve diferença significativa entre o período seco e chuvoso nos anos de 2007, 2008 e 2010. No ano de 2009 não houve diferença significativa entre o período seco e chuvoso, provavelmente devido a precipitação ter ocorrido em todos os meses do ano e influenciado nos resultados.

Os maiores valores de ferro total ocorreram nos anos de 2007 e 2008 (Figura 75). No ano de 2006, Franco e Hernandez encontraram valor de até 5 mg L⁻¹ de ferro total no mês de março, depois de uma chuva de 70 mm.

Figura 75 - Valores médios de ferro total por ano de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.

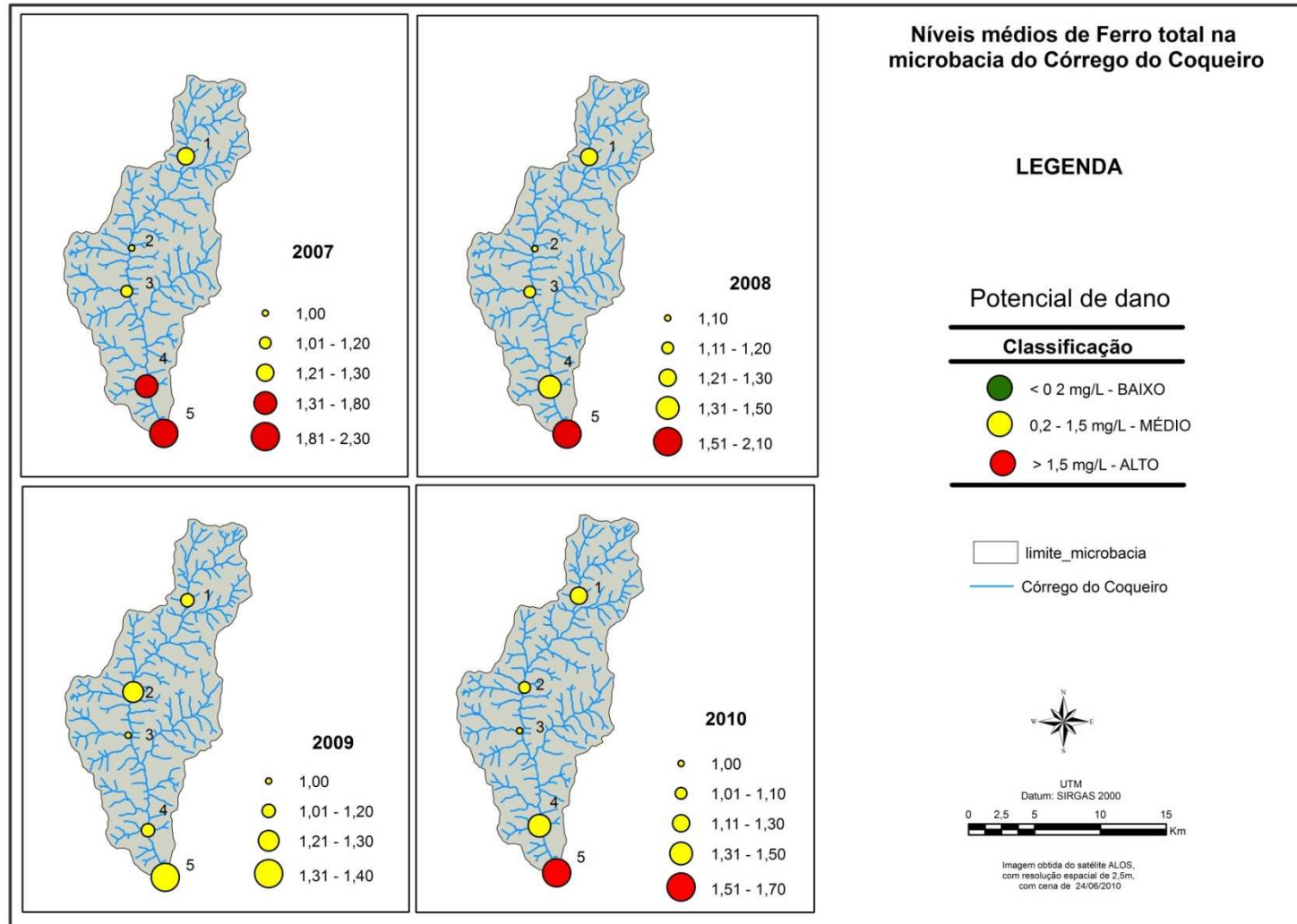


Fonte: Franco (2012)

O maior valor médio de ferro total foi no ano de 2007 na sub-bacia 5 e as menores médias foram na sub-bacia 2, no ano de 2007; nos anos de 2009 e 2010, na sub-bacia 3 atingiram os menores valores médios de 1 mg L⁻¹ de ferro total (Figura 76).

Para a irrigação localizada o ferro total afeta diretamente o sistema de irrigação, obstruindo os orifícios de saída da água. A presença de ferro total na água deve-se a presença deste mineral no solo, pois nos solos da microbacia predomina o tipo Argissolo que em sua constituição apresenta óxidos de ferro (Fe₂O₃) e em período de chuva esse mineral é lixiviado para os corpos d'água (FRANCO et al., 2010). O ferro, na forma solúvel (Fe⁺²) quando presente dentro das tubulações e em contato com o oxigênio dissolvido sobre oxidação e passa para a forma Fe⁺³, precipitando-se no interior de tubulações e obstruindo os orifícios do sistema de irrigação localizada. Para minimizar esses efeitos o uso de sistema de filtragem é obrigatório durante a instalação do sistema de irrigação localizada e quando possível à oxigenação da água, para que ocorra a precipitação do ferro total antes de entrar no sistema de irrigação (BARBOZA; HERNANDEZ; FRANCO, 2011).

Figura 76 - Distribuição espacial dos valores médios de ferro total na microbacia do córrego do Coqueiro.

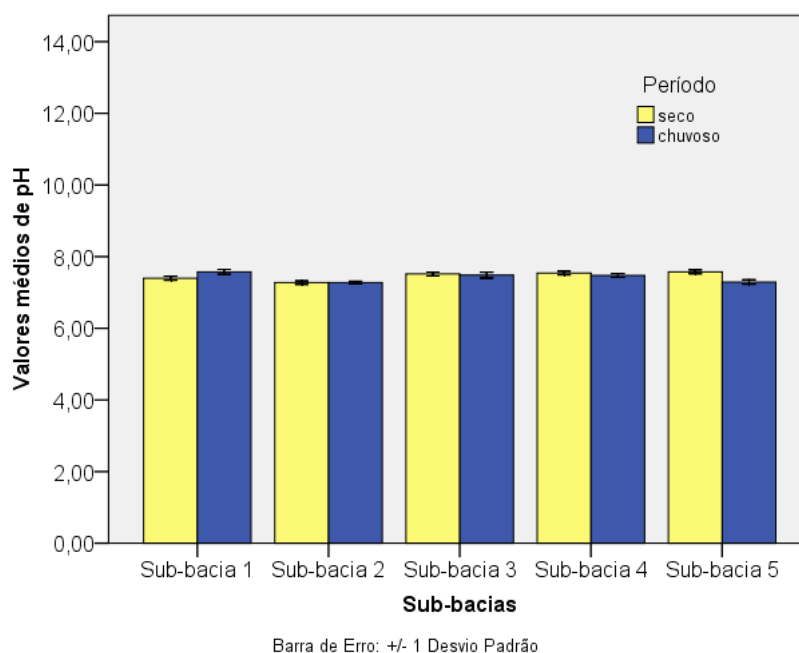


Fonte: Franco (2012)

4.3.1.2.6. Potencial hidrogeniônico

As diferenças nos valores médios de pH foram significativas em relação ao período seco e chuvoso nas sub-bacias 1 e 5 (Figura 77).

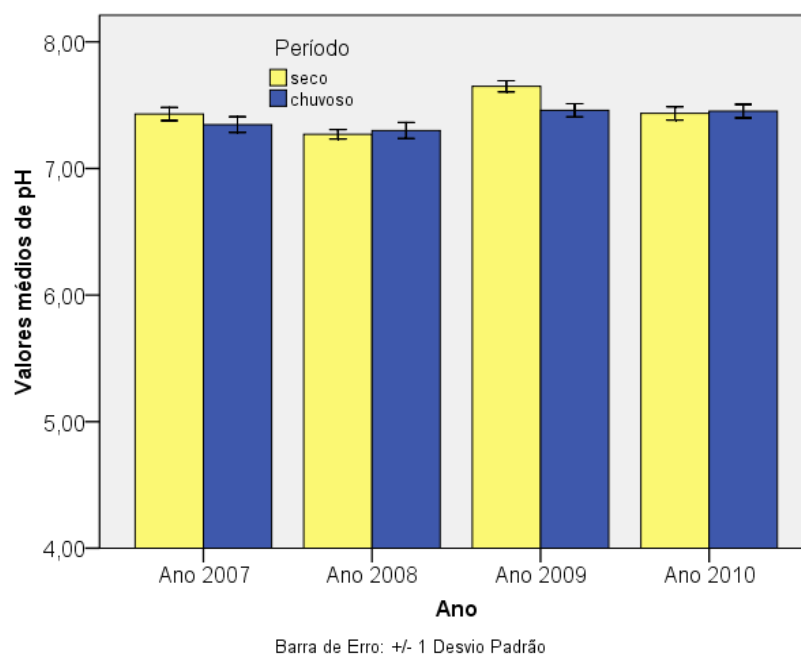
Figura 77 - Valores médios de pH por ponto de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.



Fonte: Franco (2012)

Nos anos avaliados os valores médios de pH foram significativos entre o período seco e chuvoso apenas no ano de 2009, nos outros anos avaliados não houve diferença significativa nos valores de pH (Figura 78).

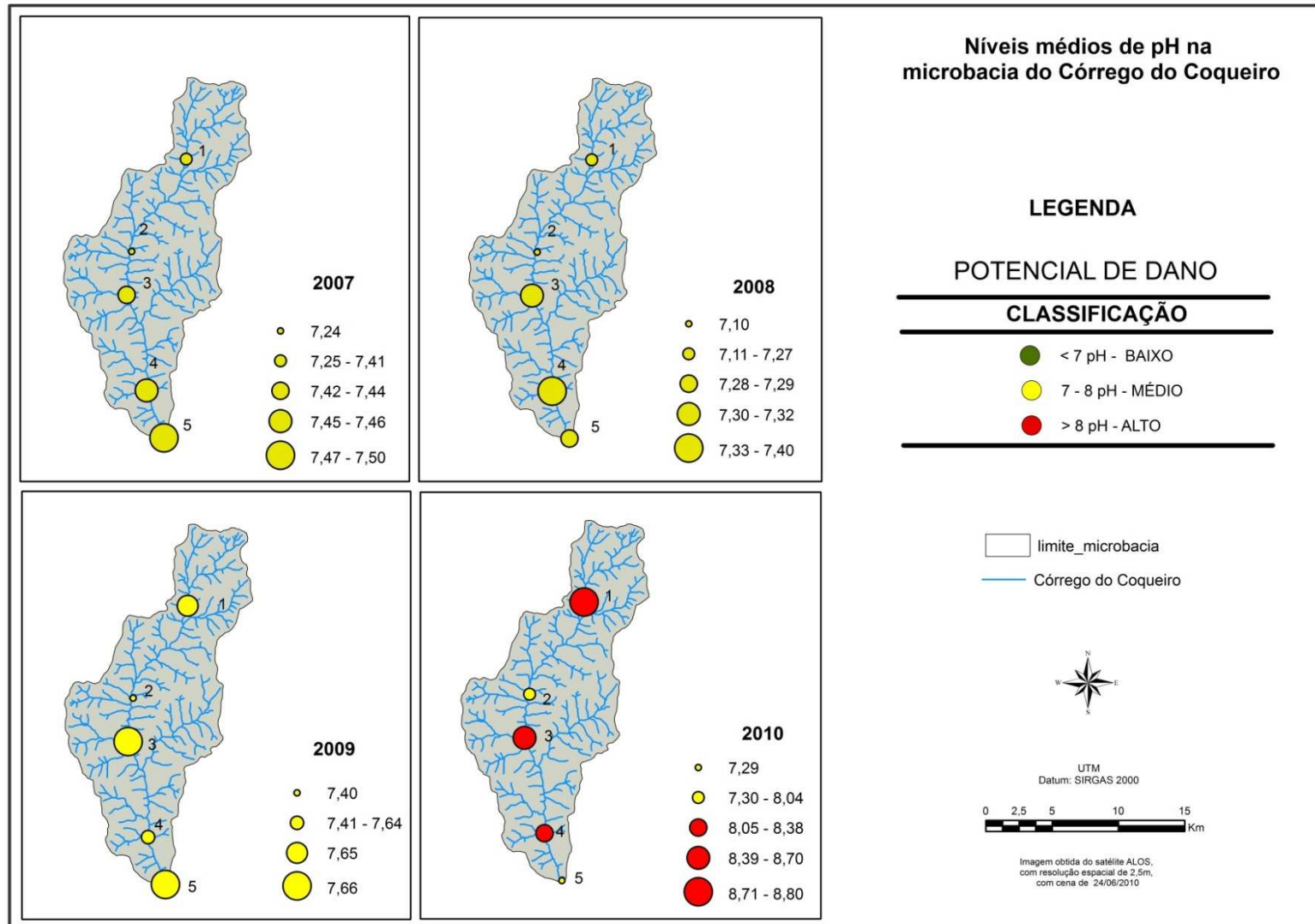
Figura 78 - Valores médios de pH por ano de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.



Fonte: Franco (2012)

Para a período amostrado de pH na microbacia observou-se valor mínimo de 6,50, máximo valor de 8,20 e média de 7,45. No mapa a distribuição espacial dos valores médios de pH, na classificação de médio (7,0 - 8,0) a alto (> 8,0) potencial de dano ao sistema de irrigação (NACKAYAMA; BUCKS, 1986) (Figura 79).

Figura 79 - Distribuição dos valores médios de pH na microbacia do córrego do Coqueiro.

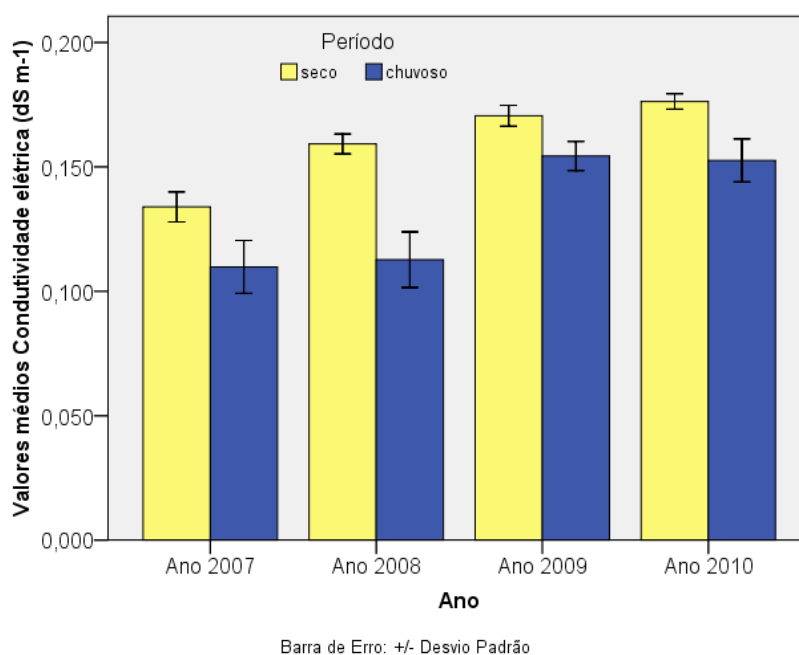


Fonte: Franco (2012)

4.3.1.2.7. Condutividade elétrica

Os maiores valores médios de condutividade elétrica ocorreram no período seco e houve diferença significativa entre o período seco e chuvoso nas sub-bacias avaliadas entre os anos de 2007 a 2010 (Figura 80).

Figura 80 - Valores médios de condutividade elétrica por ponto de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.

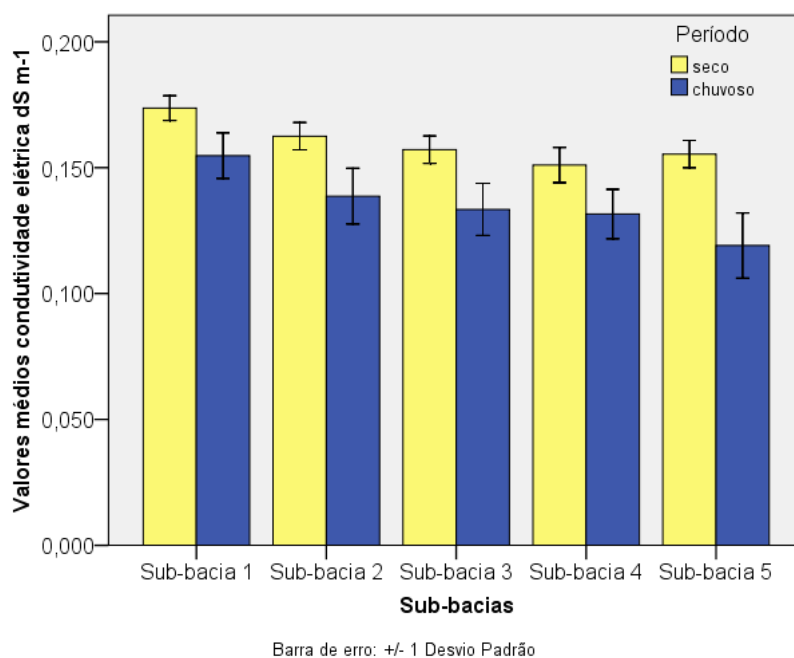


Fonte: Franco (2012)

Na comparação entre os anos avaliados observou-se que os valores médios de condutividade elétrica foram significativos entre o período seco e chuvoso (Figura 81). Apesar de não existirem padrões de qualidade de água para a condutividade elétrica, em geral níveis superiores a $100 \mu\text{S cm}^{-1}$ ($0,1 \text{ dS m}^{-1}$) em águas naturais indicam ambientes impactados.

Os valores de condutividade elétrica observados nesta microbacia devem ser, provavelmente, de origem geoquímica proveniente do solo, pois este manancial não possui lançamento de efluente de esgoto (FRANCO; HERNANDEZ, 2009).

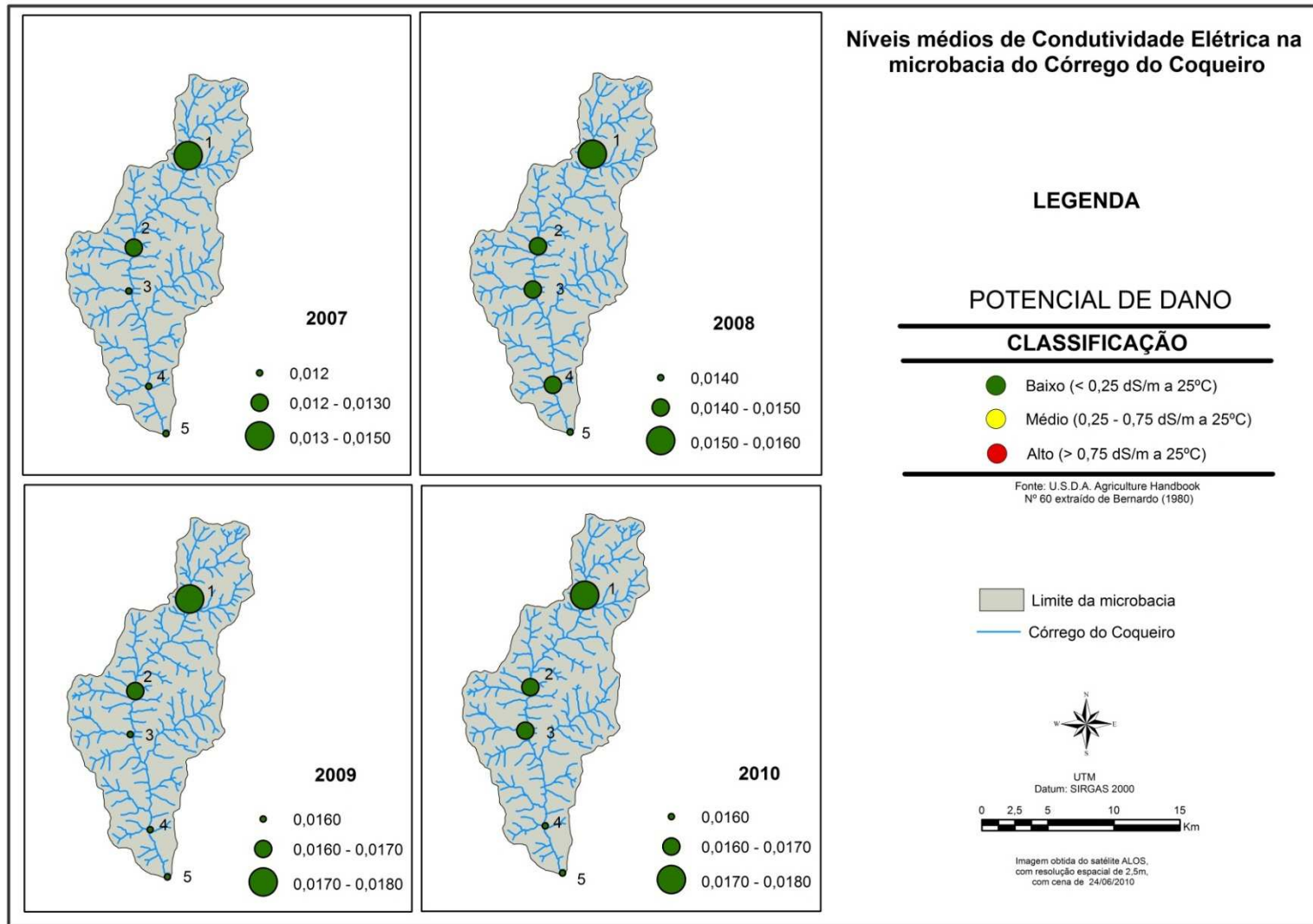
Figura 81 - Valores médios de condutividade elétrica por ano de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.



Fonte: Franco (2012)

Na Figura 82 a distribuição espacial dos valores médios de condutividade elétrica na microbacia; os valores estão abaixo do permitido em todos os anos avaliados, ou seja, inferiores a 0,25 dS m⁻¹.

Figura 82 - Distribuição dos valores médios de condutividade elétrica na microbacia do córrego do Coqueiro.



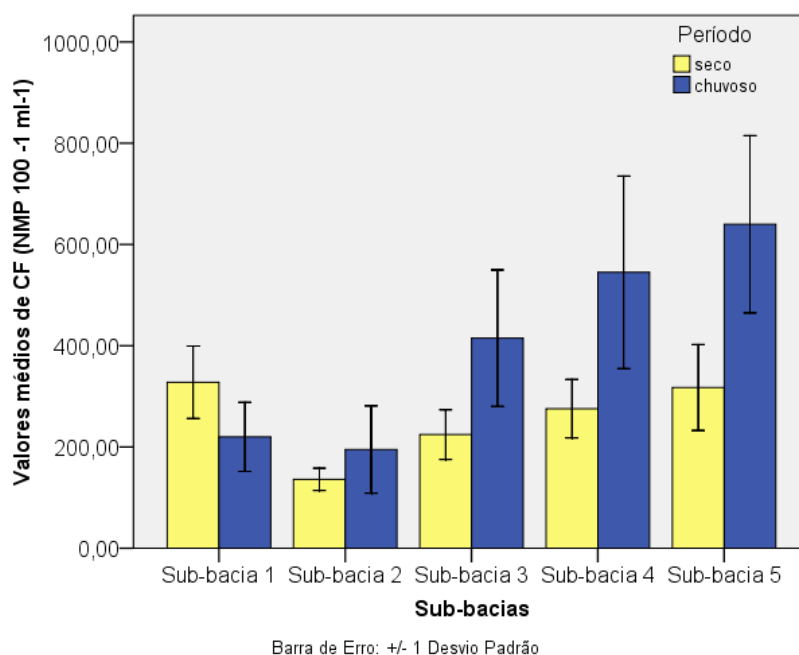
Fonte: Franco (2012)

4.3.1.3. Parâmetros biológicos

4.3.1.3.1. Coliformes fecais

Os valores médios de coliformes fecais foram significativos entre o período seco e chuvoso apenas nas sub-bacias 4 e 5. Nas demais sub-bacias não houve diferença significativa. Na sub-bacia 1 os valores médios de coliformes fecais foram superiores no período seco em relação ao período chuvoso. Avaliando-se o período seco entre as sub-bacias, observa-se que houve diferença significativa entre as sub-bacias 1e 2 e entre 2 e 3. Para a sub-bacia 2 no período seco os valores médios foram significativos em relação as sub-bacias 3, 4 e 5 para o mesmo período (Figura 83).

Figura 83 - Valores médios de coliformes fecais por ponto de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.

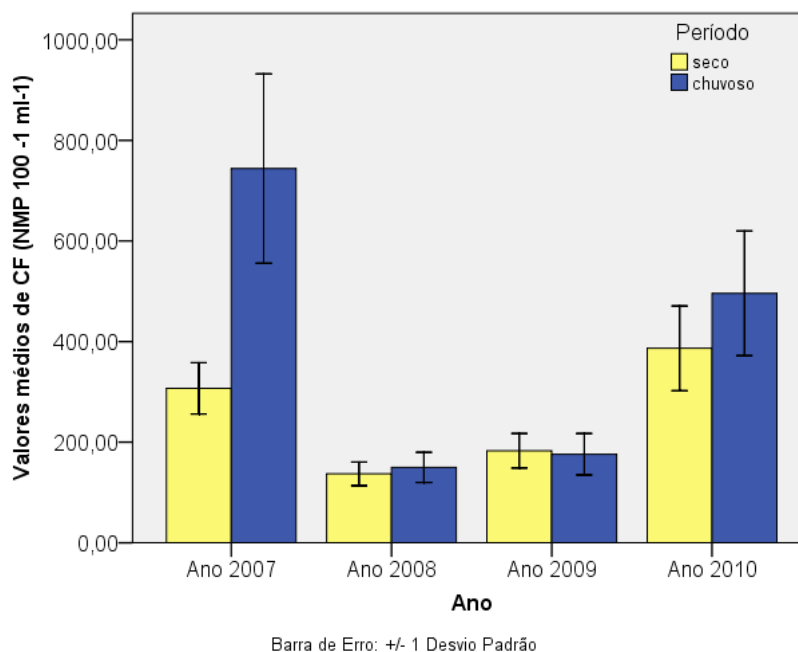


Fonte: Franco (2012)

Os valores médios de coliformes fecais por ano de amostragem foram significativos em relação ao período seco e chuvoso para o ano de 2007 e os maiores valores médios ocorreram no período chuvoso. Nos outros anos avaliados os valores médios não foram significativos entre o período seco e chuvoso. Nos

anos de 2008 e 2009 os valores médios no período seco e chuvoso foram inferiores em relação aos anos de 2007 e 2010 (Figura 84).

Figura 84 - Valores médios de coliformes fecais por ano de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.

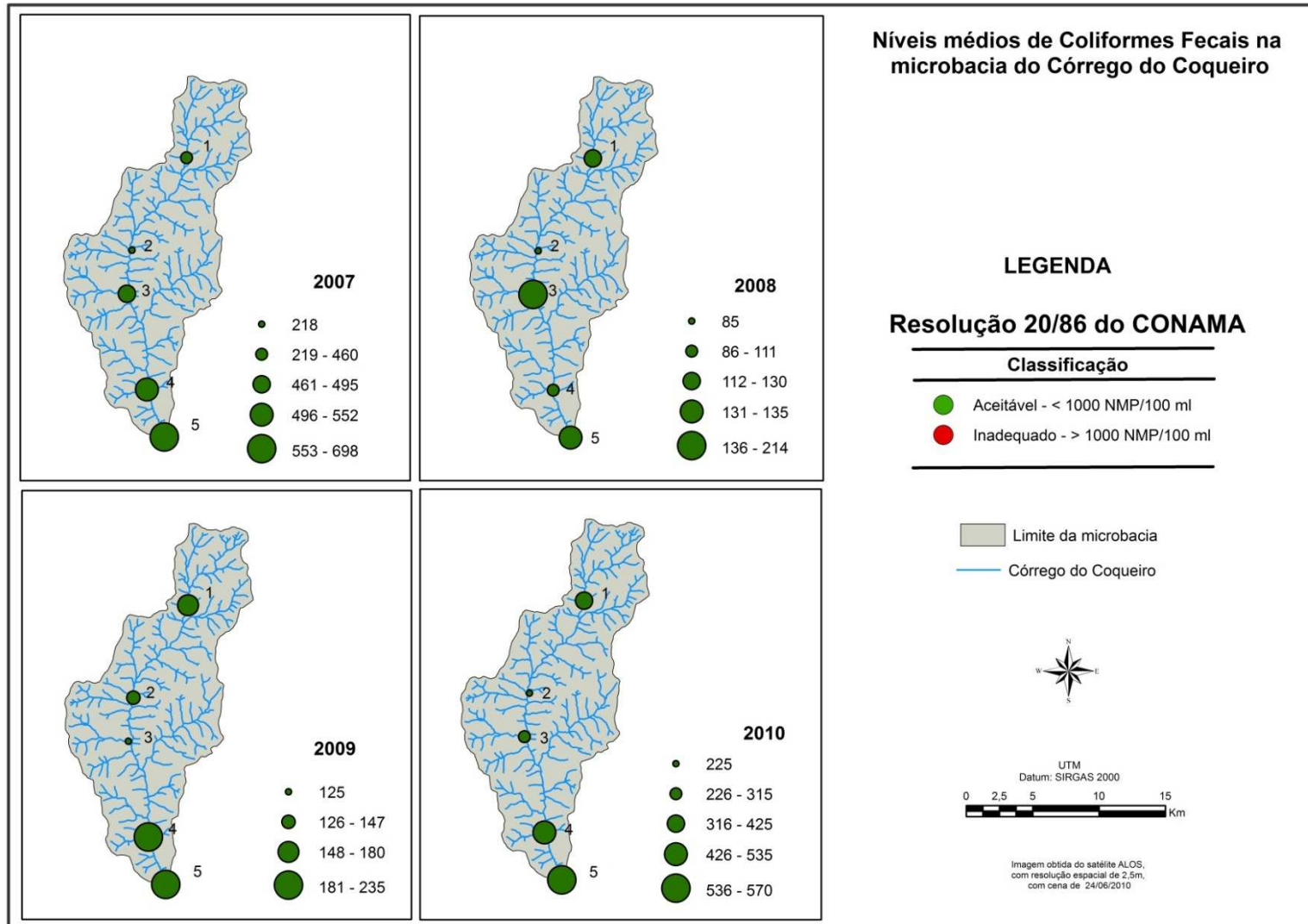


Fonte: Franco (2012)

A Figura 85 apresenta a distribuição espacial dos valores médios de coliformes fecais na microbacia e os maiores valores estão nos pontos de amostragem 4 e 5. Em 2008 os valores no ponto 3 ficaram entre 136 a 214 NMP 100⁻¹ ml⁻¹ de amostra e o menores valores ocorreram no ponto 2.

Das 239 amostras analisadas de coliformes fecais entre outubro de 2006 a 2010 observa-se que apenas 6,2% estão acima de 1000 NMP 100⁻¹ ml⁻¹, ficando abaixo de 1000 NMP 100⁻¹ ml⁻¹ representando 93,7% das amostras. A presença dos coliformes fecais está provavelmente associada às cargas difusas de poluição, pois não foram observados lançamentos de esgotos domésticos in loco.

Figura 85 - Distribuição dos valores médios de coliforme fecais na microbacia do córrego do Coqueiro.

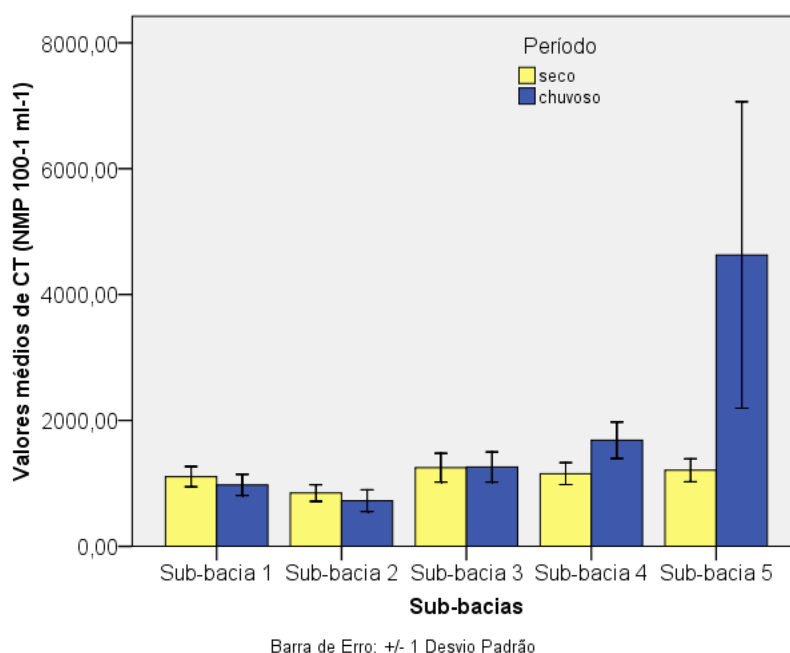


Fonte: Franco (2012)

4.3.1.3.2. Coliformes totais

Os maiores valores médios de coliformes totais ocorreram no período chuvoso na sub-bacia 4 e 5. Nas sub-bacias 1 e 2 os valores médios foram superiores no período seco, na sub-bacia 3 o período seco e chuvoso os valores igualaram (Figura 86). O mesmo fato explicado no item anterior, os coliformes totais estão associados principalmente às cargas de poluição difusa e os maiores valores ocorrem durante o período chuvoso, demonstrando a contribuição das chuvas no aumento de coliformes neste período. Hernandez et al. (2011) encontrou valores elevados de coliformes no período chuvoso em três bacias hidrográficas na região noroeste paulista.

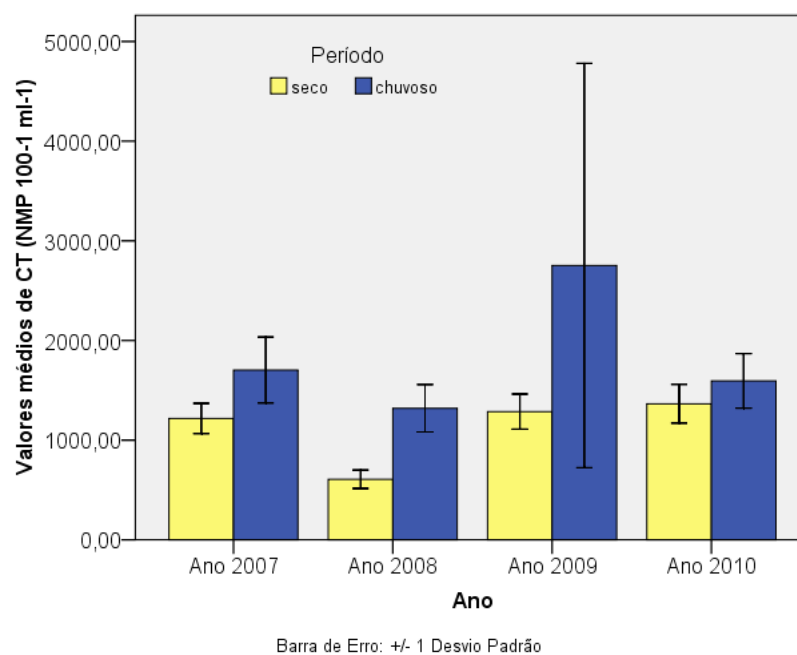
Figura 86 - Valores médios de coliforme totais por ponto de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.



Fonte: Franco (2012)

As diferenças nos valores médios de coliformes fecais por ano de amostragem foram significativas apenas nos anos de 2008 e os anos avaliados observa-se que os valores médios foram superiores no período chuvoso (Figura 87).

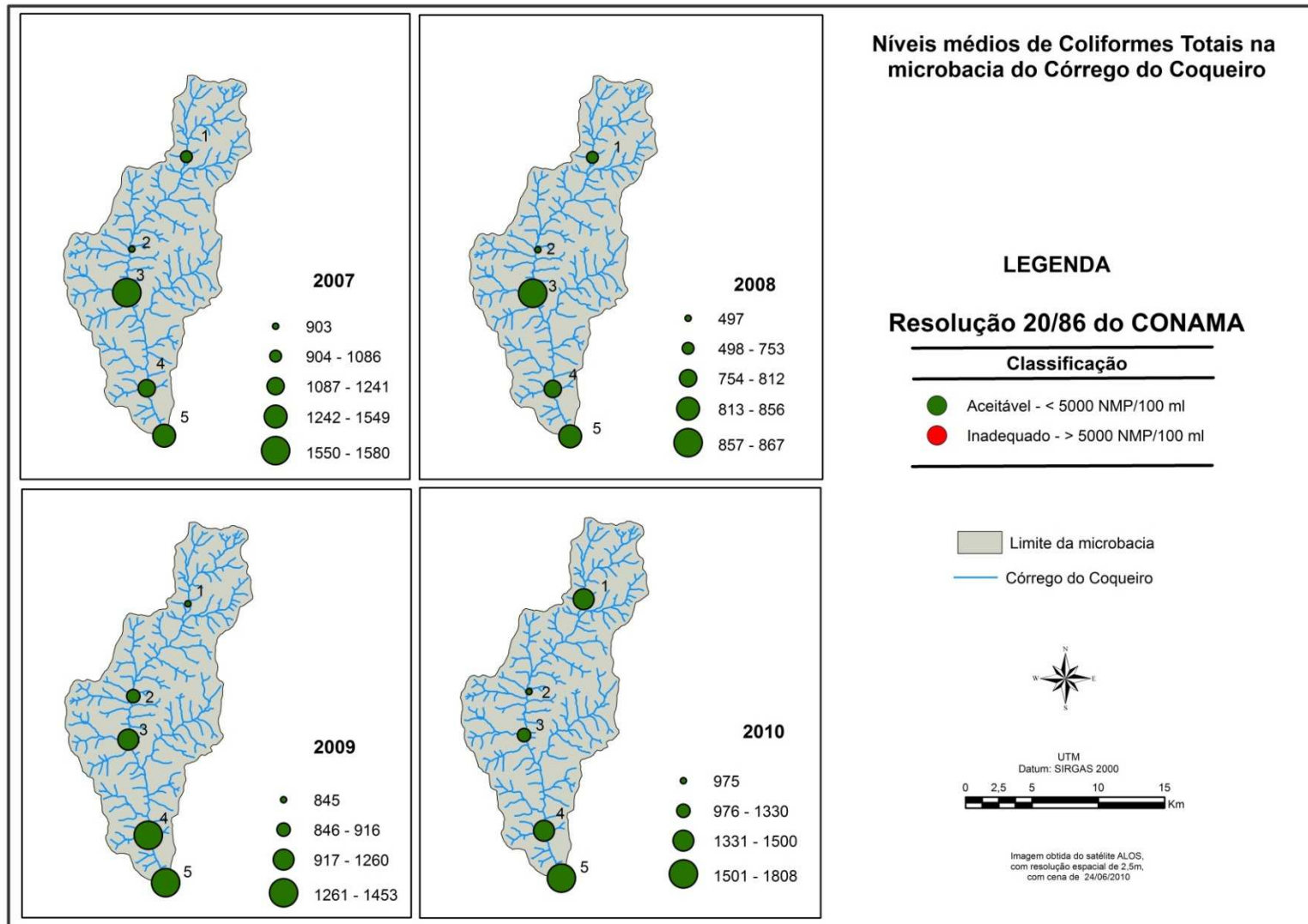
Figura 87 - Valores médios de coliformes totais por ano de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.



Fonte: Franco (2012)

A Figura 88 apresenta a distribuição espacial dos valores médios de coliformes totais nos pontos de amostragem onde os maiores valores médios ocorreram nos pontos 3, 4 e 5 nos anos de 2007, 2008, 2009 e 2010.

Figura 88 - Distribuição dos valores médios de coliformes totais na microbacia do córrego do Coqueiro



Fonte: Franco (2012)

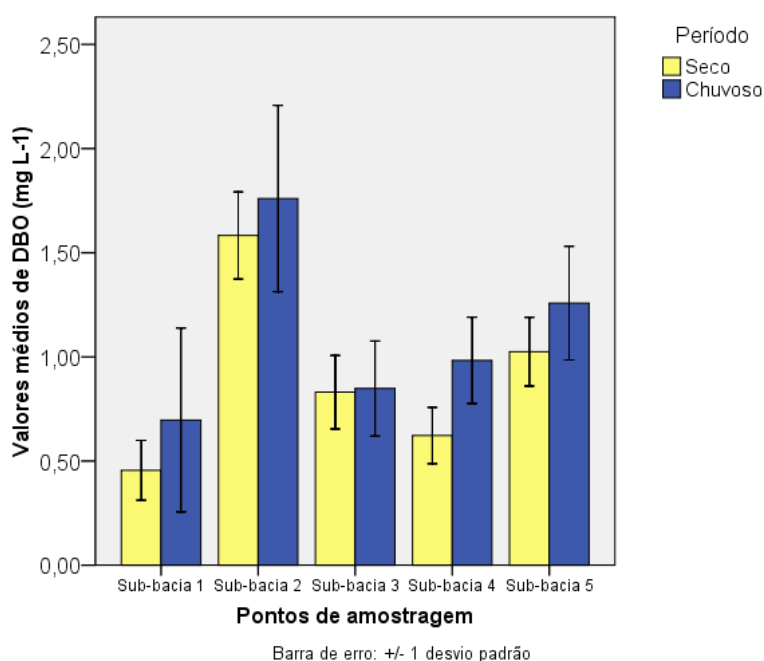
4.3.2. Índice de qualidade de água (IQA)

O cálculo de IQA foi realizado no ano de 2009 e 2010 e as variáveis nitrogênio total, fósforo total, demanda bioquímica de oxigênio e temperatura serão discutidas neste item. As outras variáveis como sólidos totais, pH, oxigênio dissolvido e coliformes totais foram apresentadas nos item anteriores e foram também utilizadas nos cálculos de IQA.

4.3.2.1. Demanda bioquímica de oxigênio

A demanda bioquímica de oxigênio apresentou diferença significativa entre o período seco e chuvoso no ponto 4 e o ponto 2 foi o que apresentou os maiores valores médios em relação aos outros pontos de amostragem (Figura 89).

Figura 89 - Valores médios de demanda bioquímica de oxigênio por ponto de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.



Fonte: Franco (2012)

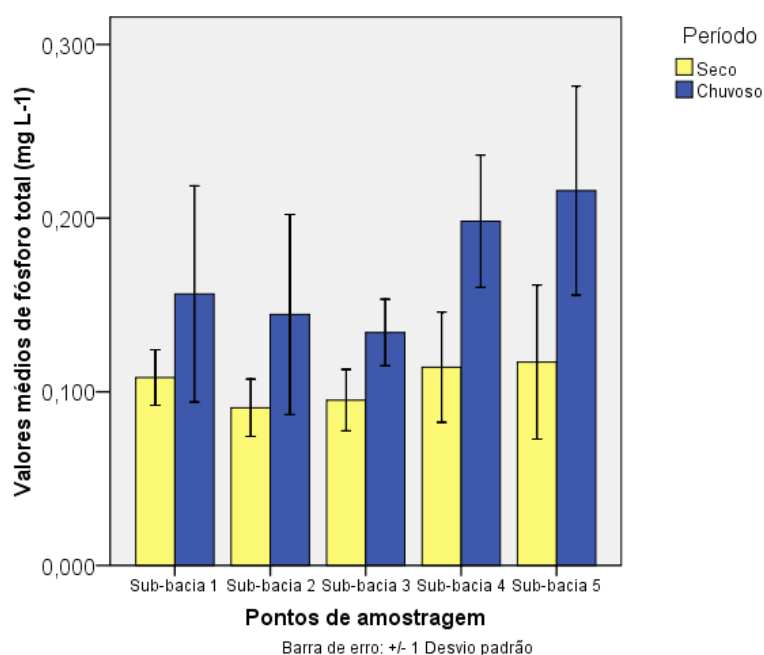
Os valores de $\text{DBO}_{5,20}$ neste período estão abaixo de $5 \text{ mg L}^{-1} \text{ DBO}_{5,20}$, conforme a Resolução CONAMA N° 357/2005, Classe 2. O ponto 2 de amostragem apresentou valores superiores em relação aos outros locais de amostragem,

provavelmente devido a influência da urbanização presente neste ponto e a presença de pequenas propriedades que possuem pomares, hortas e criações e que representam 3,14% da área próxima a esse ponto de amostragem.

4.3.2.2. Fósforo total

Os valores de fósforo total foram superiores no período chuvoso em todos os pontos analisados e nos pontos 3 e 4 houve diferença significativa entre os períodos analisados (Figura 90).

Figura 90 - Valores médios de fósforo total por ponto de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.



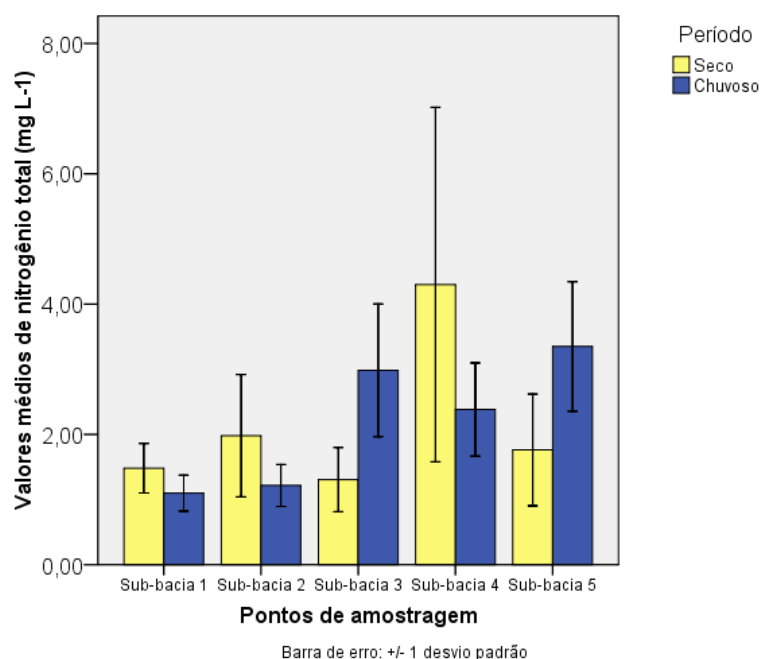
Fonte: Franco (2012)

A concentração de fósforo foi superior ao valor determinado para a Classe 2, Resolução CONAMA N° 357/2005 que especifica valores abaixo de 0,1 mg L⁻¹ para ambientes lóticos. Provavelmente a presença de fósforo total no período chuvoso é proveniente do escoamento superficial ocasionado pela chuva que arrasta determinados nutrientes presentes no solo.

4.3.2.3. Nitrogênio total

O nitrogênio total foi significativo entre o período seco e chuvoso no ponto 3, nos outros pontos analisados não houve diferença significativa. Os valores médios foram superiores no período seco, excetos nos pontos 3 e 5, em que os valores médios foram superiores no período chuvoso (Figura 91).

Figura 91 - Valores médios de nitrogênio total por ponto de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.



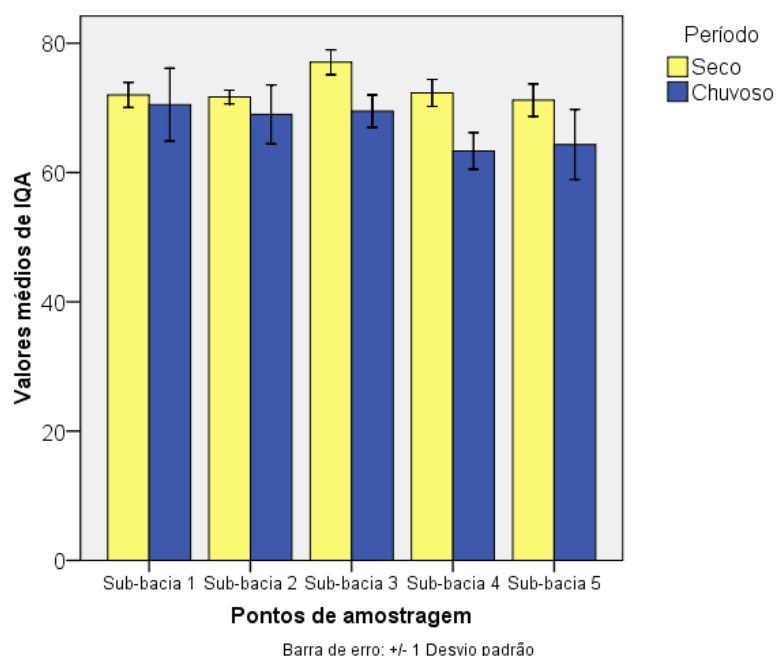
Fonte: Franco (2012)

A provável causa dos valores de nitrogênio nos pontos 2 e 4 no período seco deve-se a dispersão difusa dos fertilizantes aplicados na cultura de cana-de-açúcar que representam um total de 525,91 ha. Os valores médios estão acima do valor estabelecido pela Resolução CONAMA N° 357/2005 de nitrogênio total, que especifica valores abaixo de 2,0 mg L⁻¹.

4.3.2.4. Valores de IQA

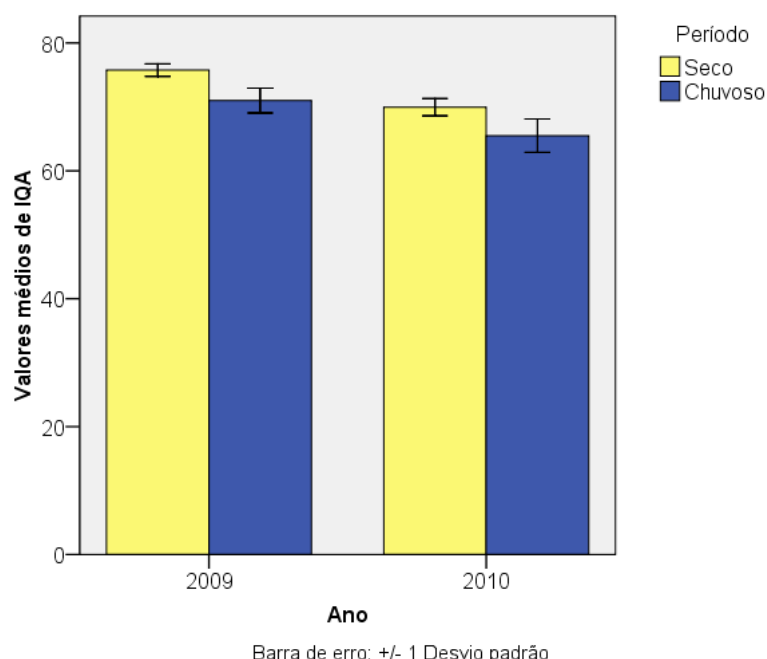
Os maiores valores médios de IQA ocorreram no período seco e os menores valores médios ocorreram no período chuvoso. Houve diferença significativa nos valores médios de IQA entre o período seco e chuvoso nas sub-bacias 3 e 4, nas outras não houve diferença significativa. No período seco houve diferença significativa entre as sub-bacias 2 e 3 e a 3 com a 1,4 e 5 (Figura 92).

Figura 92 - Valores médios de IQA por ponto de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.



Na avaliação de IQA nos anos de 2009 e 2010 observou-se que os valores médios foram superiores no período seco em relação ao período chuvoso e que houve diferença significativa entre o período seco e chuvoso nos anos avaliados (Figura 93). Além disso, houve diferença significativa no período seco entre os anos avaliados e o mesmo aconteceu com o período chuvoso.

Figura 93 - Valores médios de IQA por ano de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.



Fonte: Franco (2012)

Na Tabela 42 a distribuição dos valores máximo, mínimo e médio de IQA; o menor valor mínimo ocorreu na sub-bacia 4, com 58,56 e o maior valor máximo na sub-bacia 3, com 86,80.

As Figuras 94 e 95 apresentam os mapas da distribuição dos valores médios de IQA na microbacia nos anos de 2009 e 2010, respectivamente.

Tabela 41- Distribuição dos valores de IQA nos pontos de amostragem.

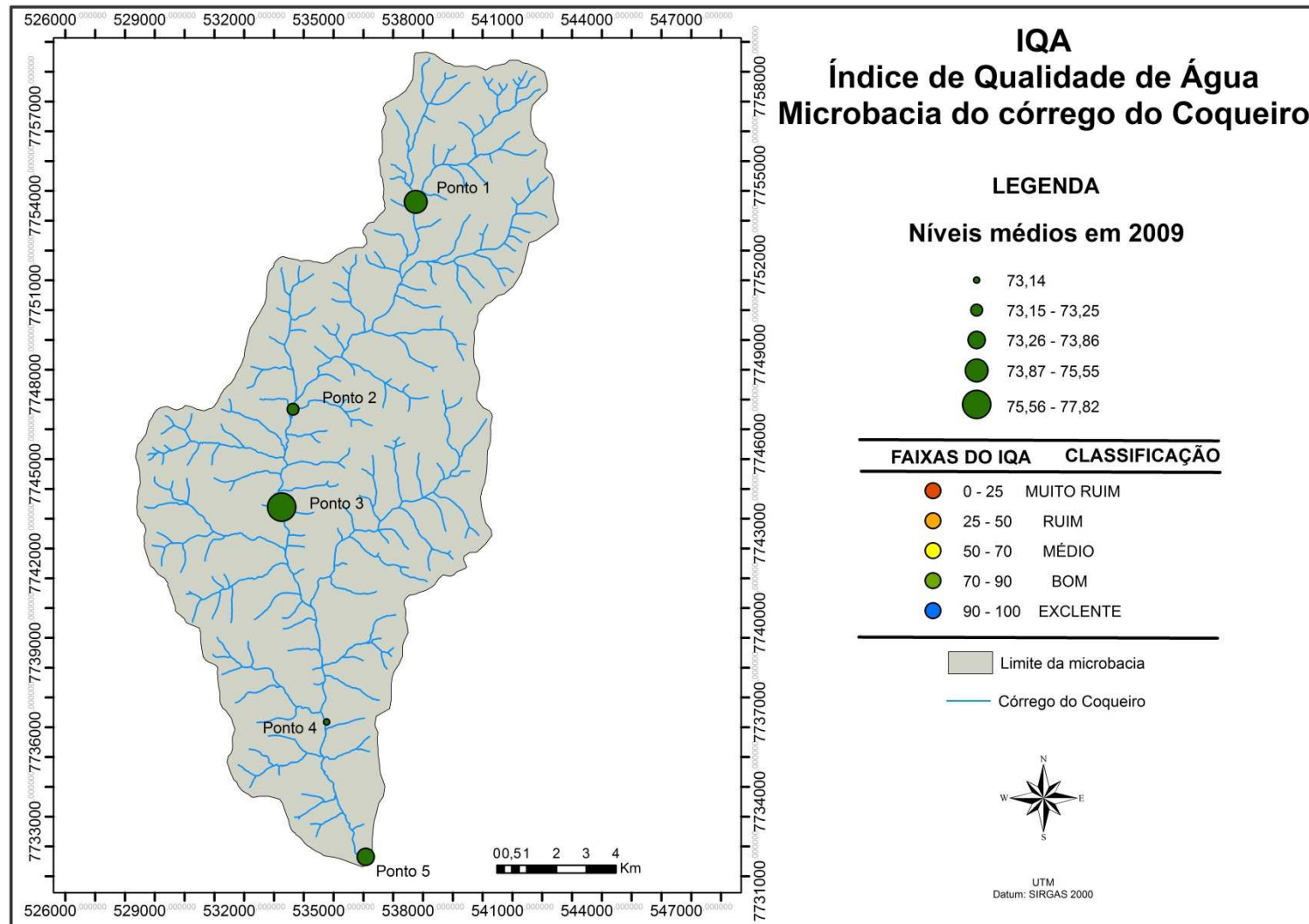
Pontos de amostragem	IQA			
	Mínimo	Máximo	Média	
			2009	2010
Sub-bacia 1	64,60	78,79	75,55	68,24
Sub-bacia 2	67,34	76,83	73,25	69,08
Sub-bacia 3	68,98	86,80	77,82	72,66
Sub-bacia 4	58,56	77,53	73,14	67,19
Sub-bacia 5	59,30	76,49	73,86	65,35

Fonte: Franco (2012)

Os valores de IQA para a bacia do rio São José dos Dourados monitorado pelo órgão ambiental paulista de 2004 a 2008 são 66, 62, 64, 70 e 69, respectivamente (SÃO PAULO, 2010). Os valores médios de IQA na microbacia no ano de 2009 e

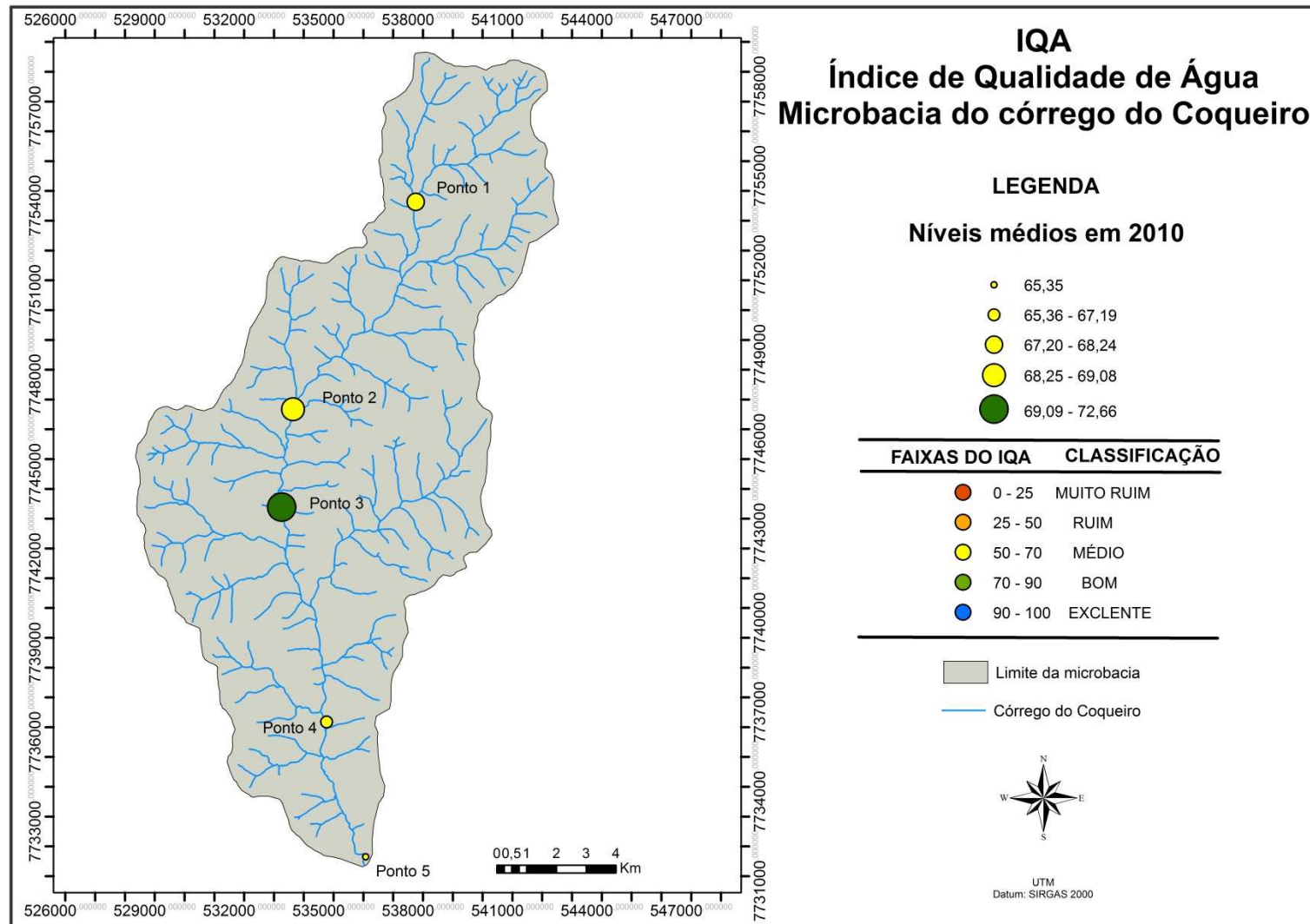
2010 foram de 74 e 68, respectivamente (SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2010). Vale ressaltar que a CETESB possui apenas um posto de monitoramento para a análise de qualidade de água para a bacia do Rio São José dos Dourados, para uma área de 6.783 km².

Figura 94 - Distribuição espacial dos valores médios do IQA na microbacia do córrego do Coqueiro, ano de 2009.



Fonte: Franco (2012)

Figura 95 - Distribuição espacial dos valores médios do IQA na microbacia do córrego do Coqueiro, ano de 2010.

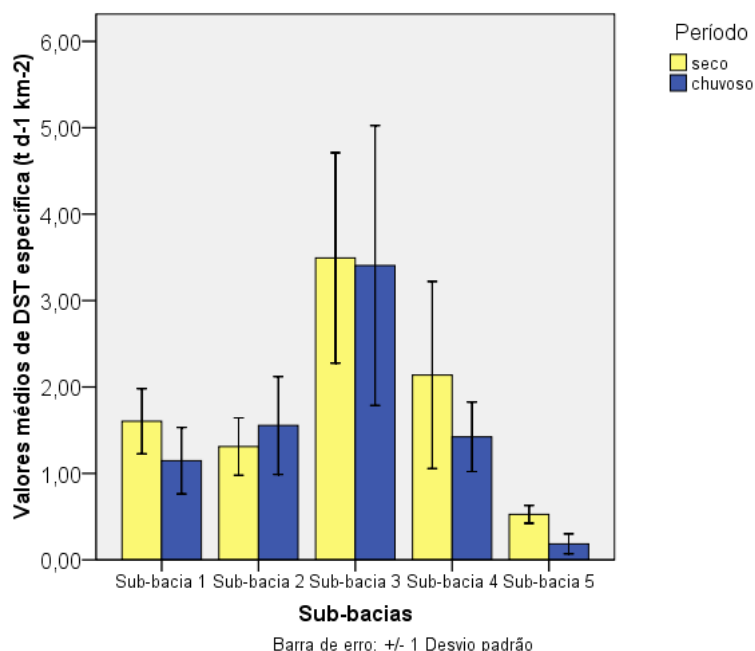


Fonte: Franco (2012)

4.3.3. Transporte de sedimento

Na Figura 96 estão os valores médios de descarga sólida total específica e observou-se que apenas o ponto 5 houve diferença significativa entre o período seco e chuvoso. Entretanto, nas sub-bacias 3, 4 e 5 houve ausência de dados de vazão devido ao volume de água do córrego ultrapassar o dique marginal, impossibilitando a medição de vazão neste período.

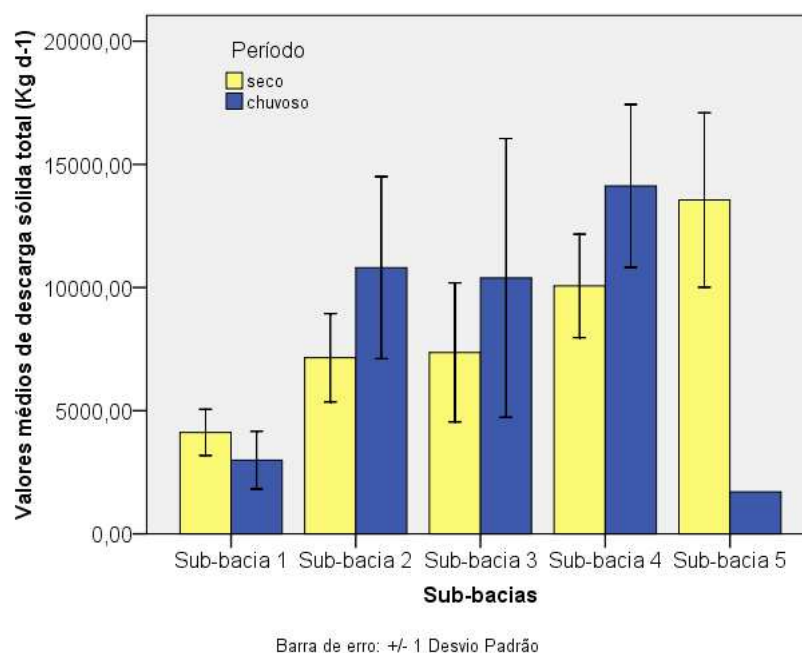
Figura 96 - Valores médios de DST específica do ponto de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.



Fonte: Franco (2012)

Os valores médios de descarga sólida total foram superiores no período chuvoso, exceto para as sub-bacias 1 e 5. No caso da sub-bacias 5 devido a falta de dados de vazão, houve comprometimento dos resultados de descarga sólida total para essa sub-bacia. Já a sub-bacia 1 os valores médios foram superiores no período seco em relação ao período chuvoso. Não houve diferença significativa nas sub-bacias avaliadas entre o período seco e chuvoso (Figura 97).

Figura 97 - Valores médios de descarga sólida total por ponto de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.

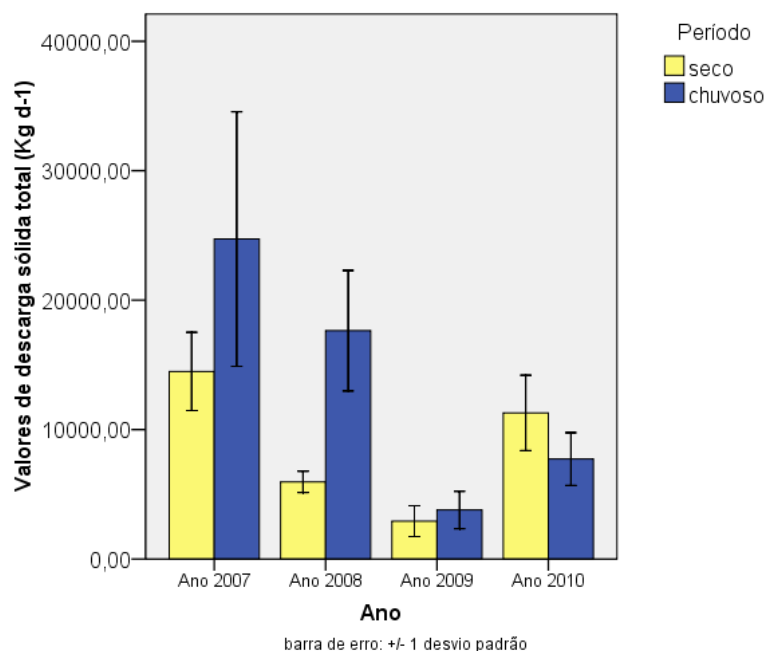


Os valores médios de descarga sólida total foram superiores no período chuvoso nos anos de 2007, 2008 e 2009 e em 2010 os valores médios foram superiores no período seco. Apenas no ano de 2008 observa-se que houve diferença significativa entre o período seco e o chuvoso. O ano de 2009 apresentou os menores valores médios de descarga sólida total em relação aos outros anos avaliados. Comparando o período chuvoso nos anos avaliados observou-se que houve diferença significativa entre os anos de 2008, 2009 e 2010 (Figura 98).

O valor médio de descarga sólida total no período seco para a microbacia nos quatro anos de avaliação foi de $8221,0 \text{ kg d}^{-1}$ e para o período chuvoso foi de $9135,39 \text{ Kg d}^{-1}$. O mínimo valor para o período do seco foi de $143,40 \text{ kg d}^{-1}$ e o máximo foi de $87380,42 \text{ Kg d}^{-1}$. O máximo valor para o período chuvoso foi de $300,17 \text{ kg d}^{-1}$ e o máximo valor foi de $42319,00 \text{ kg d}^{-1}$.

A produção sólida total de sedimentos para as sub-bacias 1, 2, 3, 4 e 5 foi de $64,38 \text{ t ano}^{-1} \text{ km}^{-2}$, $55,46 \text{ t ano}^{-1} \text{ km}^{-2}$, $130,05 \text{ t ano}^{-1} \text{ km}^{-2}$, $48,92 \text{ t ano}^{-1} \text{ km}^{-2}$ e $35,12 \text{ t ano}^{-1} \text{ km}^{-2}$, respectivamente.

Figura 98 - Valores médios de descarga sólida total por ano de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.



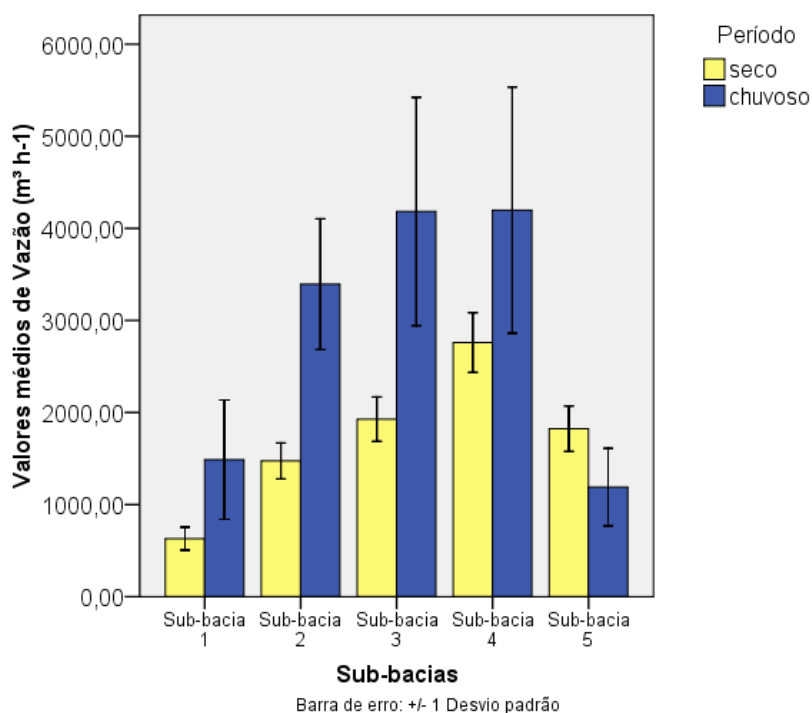
Fonte: Franco (2012)

4.3.4. Vazão

Os maiores valores médios de vazões ocorreram no período chuvoso e nas sub-bacias 1, 2 e 3 houve diferença significativa entre o período seco e chuvoso e nas sub-bacias 4 e 5 não houve diferença estatística (Figura 99). Entretanto, nas sub-bacias 4 e 5 apresentou redução no número de medições no período chuvoso em relação ao período seco, devido à ausência de medições de vazões neste período. Na estação chuvosa o volume de água ultrapassou o dique marginal da calha do córrego e a medição não foi possível de ser realizada.

Nos anos de 2007, 2008 e 2010 a sub-bacia 1 apresentou valores de vazões inferiores a $Q_{7,10}$ ($0,032 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$) ; em 11/10/2007, o valor medido foi de $0,030 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ ($99,10 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$); em 19/09/2008, com valor de $0,03$ ($100,3 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$) e em 23/09/2010 atingiu o menor valor medido, com $39,89 \text{ m}^3/\text{h}$ e inferior a $Q_{7,10}$. Nestas condições a sub-bacia 1 é considerada crítica devido a volume real medido ser inferior ao valor mínimo estimado pela $Q_{7,10}$.

Figura 99 - Valores médios de vazão por ponto de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.

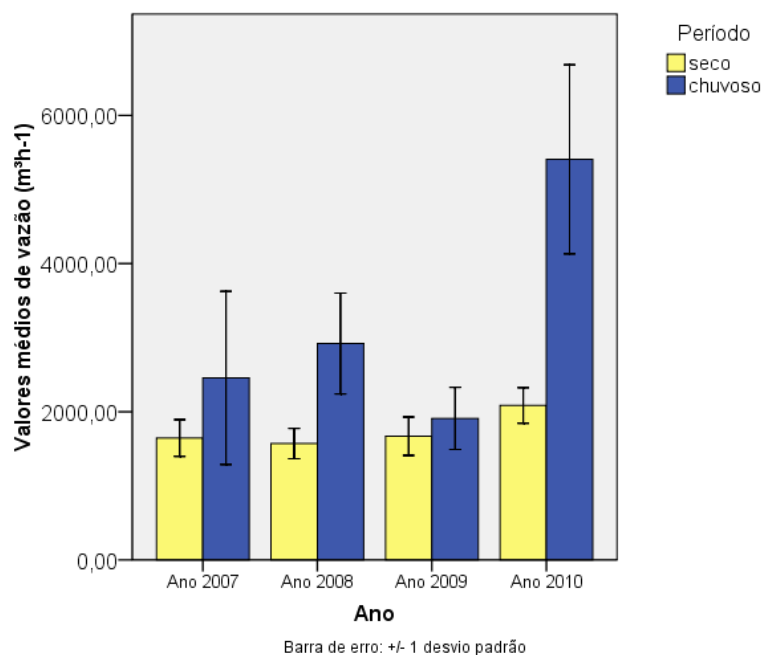


Fonte: Franco (2012)

Em relação aos anos avaliados para a microbacia observa-se que as vazões apresentaram diferenças significativas entre o período seco e chuvoso nos anos de 2008 e 2010, os maiores valores médios de vazão ocorreram no período chuvoso (Figura 100) e quanto maior a quantidade de chuva, maiores os valores de vazão do manancial (CARVALHO et al., 2000, 372p.)

Os maiores valores médios no período chuvoso ocorreram no ano de 2010 e houve diferença significativa neste período em relação aos outros anos avaliados, mostrando que o período chuvoso tem forte influência na vazão do córrego.

Figura 100 - Valores médios de vazão por ano de amostragem, na microbacia do córrego do Coqueiro.



Fonte: Franco (2012)

4.3.5. Uso da água na microbacia

4.3.5.1. Irrigação

O principal uso da água na bacia do rio São José dos Dourados é a irrigação, com $2,51 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (SÃO PAULO, 2009).

Na microbacia, a finalidade de uso da água em destaque é a irrigação, com 54% dos pedidos de outorga para essa finalidade. Na Figura 101, estão os sistemas de irrigação avaliados na microbacia e as áreas identificadas com uva irrigada.

Na Tabela 43 estão os valores de área irrigada avaliada e área irrigada identificada através do plano de informação uso e ocupação e a vazão estimada do consumo de água em áreas de videiras.

Tabela 42- . Área irrigada avaliadas com uva, volume consumido e $Q_{7,10}$.

áreas irrigadas avaliadas (ha)	vazão total da área avaliada ($m^3 h^{-1}$)	área irrigada com uva ¹ (ha)	vazão total - uva irrigada ($m^3 h^{-1}$)	$Q_{7,10}$ ($m^3 h^{-1}$)
29,72	843,86	74,99	2129,24	1004,4

¹ área irrigada obtida através do uso e ocupação do solo. Fonte: Franco (2012)

Na microbacia foram avaliados 30 sistemas de irrigação que correspondem a irrigação localizada com o sistema de microaspersão e apenas 13,3% de sistemas de irrigação que correspondem a irrigação por aspersão (FEITOSA et al., 2010). De acordo com Feitosa et al. (2011) foram avaliados na sub-bacia 1,16 sistemas de irrigação, distribuídos em oito propriedades, sendo que 87,5% dos sistemas de irrigação correspondem a irrigação localizada com o sistema de microaspersão e apenas 12,5% dos sistemas de irrigação correspondem a irrigação por aspersão.

Observa-se que o maior número de irrigantes foram identificados na sub-bacia 1 e o tipo de captação da água foi a subterrânea, com 50% das propriedades identificadas, seguindo 25% do uso de reservação e 25% da captação superficial (FEITOSA et al., 2011). Este resultado diverge dos dados do Departamento de Águas e Energia Elétrica (2010) que apresenta a captação superficial como o principal tipo de uso da água na microbacia do Coqueiro. Essa diferença pode ser comprovada em 2008, na sub-bacia 1 quando a vazão do córrego medida no período seco foi inferior à vazão estimada ($Q_{7,10}$) no mês de outubro de 2006, com valor de $0,030 m^3 s^{-1}$ ($99,10 m^3 h^{-1}$) (FRANCO, 2008) e no mês de setembro de 2008 e 2010 o valor da vazão medida foi inferior a $Q_{7,10}$, por isso a necessidade de captação de água subterrânea para atender a demanda de água no período seco.

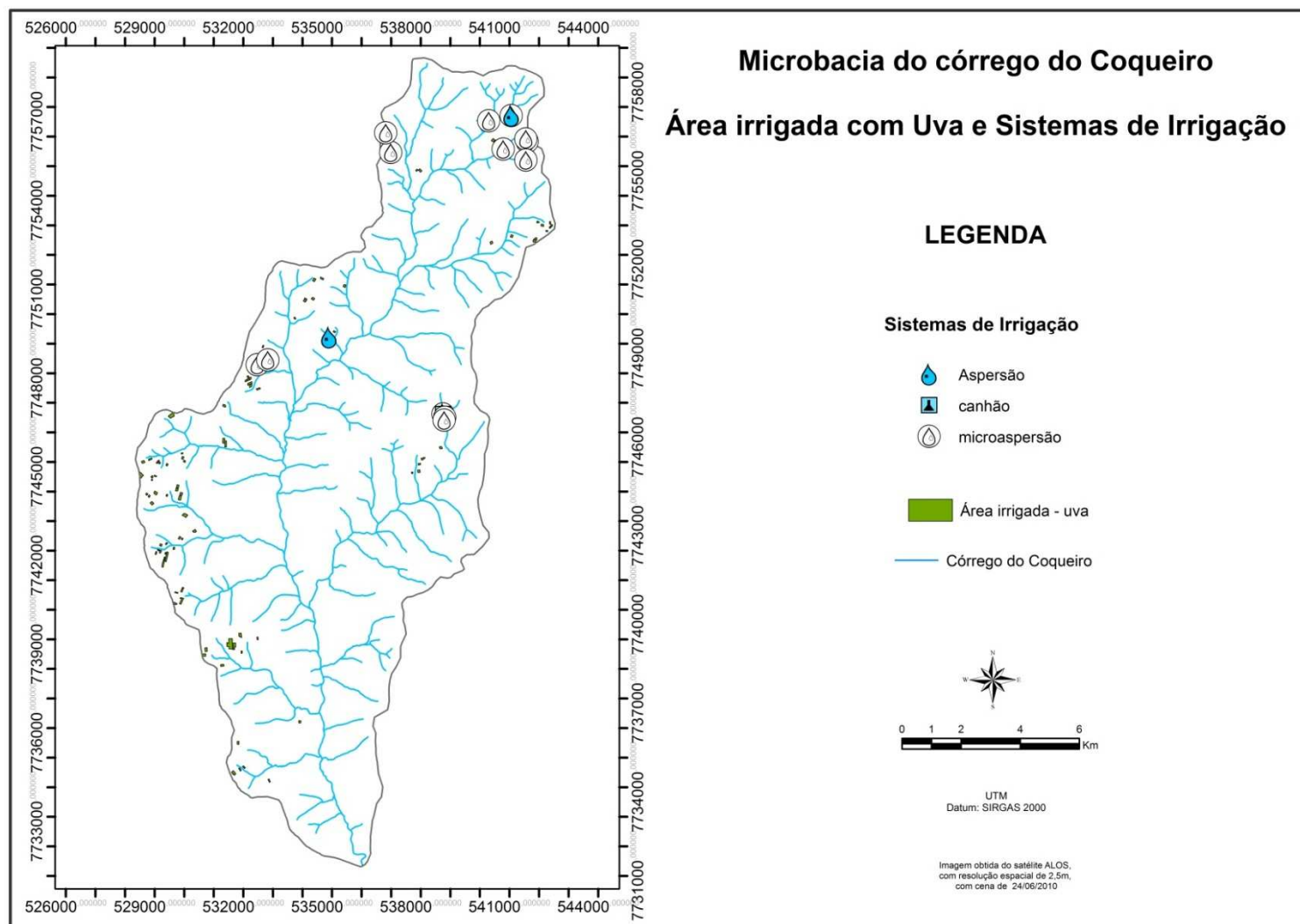
Através dos dados de vazão dos sistemas de irrigação avaliados e das áreas cultivadas de uva foi possível a estimativa do consumo de água utilizada neste tipo de cultura e o resultado foi o valor de $2129,24 m^3 h^{-1}$, considerando que todos os sistemas de irrigação fossem ligados ao mesmo tempo o que na realidade não acontece. Levando isso em consideração e dividindo o valor de consumo de $2129,24 m^3 h^{-1}$ pela área identificada de uva (74,99 ha) obteve-se o valor de $28,39 m^3 h^{-1}ha^{-1}$. Considerando o uso de 50% da $Q_{7,10}$ ($502,2 m^3 h^{-1}$) e dividindo esse valor pelo resultado encontrado para o consumo de água para a irrigação de uva, obteve-se o

valor de 17,68 ha. Essa é a área máxima possível de irrigar respeitando os 50% da $Q_{7,10}$ com a vazão de consumo estimada dos sistemas de irrigação avaliados.

A área real encontrada é maior (74,99 ha) que a área estimada de 17,68 ha, essa demanda de água é provavelmente suprida por outros tipos de captação como o uso de água subterrânea e tanques de subsuperfície para a reservação de água. Observou-se, então, através da estimativa que a demanda de água utilizada pelos sistemas de irrigação supera os 50% da $Q_{7,10}$.

Avaliações do sistema de irrigação na sub-bacia 1 realizada por Feitosa et al. (2011) indicaram vazão média dos microaspersores de $73,1 \text{ litros h}^{-1}$ e a precipitação média dos aspersores de $8,4 \text{ mm h}^{-1}$, evidenciando a preferência por bocais de maior vazão no caso da microaspersão. Os mesmos autores ressaltam o alerta sobre o desperdício da água nos sistemas de irrigação avaliados. Sendo ss mesmos manejados de forma inadequada e sem controle de aplicação da água. Além disso existe uma diversificação de marcas, modelos e tipos de vazões diferentes dentro de um mesmo sistema, o que se torna um dos principais fatores que estão diminuindo a eficiência da irrigação.

Figura 101 - Sistemas de irrigação avaliados e áreas irrigadas com uva.



Fonte: Franco (2012)

4.3.5.2. Tanque de subsuperfície

Através do mapa uso e ocupação obteve-se a área de tanque superfície existentes na microbacia. Foram identificados 106 tanques distribuídos pela microbacia e o volume total dos tanques foi determinado como segue na Tabela 45.

Tabela 43- Disponibilidade de água em tanque de subsuperfície.

Disponibilidade de água - reservação	
Tanque de subsuperfície - área (m ²)	Volume do tanque (m ³)
28381,5	42572,35

Fonte: Franco (2012)

Os tanques constituem importante reserva de água, esse suprimento é fundamental para os usos e fonte de renda para os produtores rurais, principalmente durante o período seco.

4.3.6. Planejamento proposto para a microbacia

4.3.6.1. Projetos e programas

A área de drenagem do córrego do Coqueiro, ao longo do tempo teve a sua vegetação natural substituída por diversos tipos de culturas, as quais se alteraram durante a história de uso e ocupação da microbacia.

Atualmente, na região a atividade agrícola predominante é a pecuária, com extensas áreas de pastagem e, em meio a esta paisagem, pequenas cidades que se destacam pela atividade agropecuária, principalmente a fruticultura realizada por pequenos a médios produtores rurais e dependentes dos recursos naturais.

Devido a essas transformações é importante o envolvimento de produtores rurais e órgãos municipais e estaduais, a universidade e a sociedade para integrar o manejo e gestão das microbacias. Uma das soluções é adotar programas disponíveis por órgão de gestão ambiental para a melhoria das condições hídricas de uma determinada região.

A mobilização dos produtores rurais e da população urbana sobre as condições ambientais de uma determinada região é importante para ampliar a percepção das populações sobre os impactos ocasionados no meio ambiente e propor soluções locais e enfatizar a necessidade de conservar os recursos ambientais, principalmente os recursos hídricos.

Como dos planos para essa finalidade foi desenvolvido pela a ANA (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA), implantado em algumas bacias hidrográficas e denominado de “Produtor de Água”, o qual tem como objetivo a revitalização ambiental da bacia hidrográfica (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA, 2009). O resultado desta ação ambiental é a melhoria na disponibilidade e qualidade de água de uma determinada bacia hidrográfica.

As ações incluem o reflorestamento com espécies nativas nas Áreas de Preservação Permanente e Reserva Legal, conservação do solo e da água, e adequação de estradas rurais. Essas ações visam a favorecer a infiltração de água no solo e recarga do lençol freático, através de práticas conservacionistas, diminuindo o escoamento superficial e os processos erosivos.

Os serviços ambientais gerados pelos produtores de água são remunerados, denominados de Pagamento por Serviços Ambientais - PSA - política de gestão ambiental que tem como objetivo a complementação de regras de comando e controle com incentivos, financeiros ou não.

Adotar esse programa é uma das soluções para a melhoria das condições ambientais do córrego do Coqueiro, pois o mesmo atende os requisitos para a elaboração do projeto.

Algumas das ações que podem ser realizadas:

- recuperação das matas ciliares e nascentes;
- conservação dos fragmentos florestais;
- averbação da Reserva Legal;
- execução de obras de conservação do solo;
- incentivo os produtores sobre as atividades agrícolas menos impactantes ao meio ambiente;
- uso racional da água;
- conservação das estradas rurais;

As ações anteriormente descritas visam a manter a água por mais tempo nas microbacias, mas impõem custos e investimentos que devem ter origem

determinada e como recursos públicos a serem utilizados, estes dependem de execução orçamentária e financeira, além de avaliações prévias; portanto, impondo morosidade, antes da execução da intervenção e outro tempo necessário para a execução propriamente dita e depois mais tempo para produzir os resultados esperados, enquanto que a oferta de água e de qualidade vai se comprometendo dia a dia.

Dessa maneira, procedimentos que levem à maior oferta de água pelo seu uso eficiente tem custos menores, podem ser executados pelos próprios usuários da água e sua execução depende muito mais de convencimento da sua importância do que de recursos financeiros. Neste contexto campanhas e eventos que promovam o uso racional da água e o combate ao desperdício devem ser ações continuadas.

Do ponto de vista dos irrigantes, a avaliação dos sistemas de irrigação quanto à sua uniformidade e capacidade de aplicação de água deve ser incentivada. Esta ação, além de permitir o redimensionamento dos sistemas de irrigação para, caso necessário, promover a melhor distribuição de água, permitirá a implantação segura de um programa de manejo da irrigação, pois sabendo-se qual a necessidade de água das culturas (a evapotranspiração) e a capacidade do sistema de irrigação, o irrigante terá em mãos o tempo de irrigação necessário para a máxima produção.

A avaliação dos sistemas de irrigação pode identificar os fatores que interferem nos baixos resultados de uniformidade, tais como falta de manutenção, ou manutenção inadequada, vazamentos em tubulações e emissores de diversas marcas, modelos e vazões dentro de um mesmo sistema, o que agrava ainda mais a desuniformidade do sistema. Desgaste de emissores também influenciam na eficiência entre sistemas de irrigação, sendo o tempo de operação, outro fator importante, com sistemas mais recentes tendendo a se mostrar mais eficientes, pois este deve refletir as técnicas de projeto mais aprimorado pelos fabricantes, bem como a disponibilidade de melhores emissores, filtros e técnicas de injeção de produtos químicos. A simples avaliação dos sistemas permite mostrar ao irrigante a diferença entre um bom e um mal projeto de irrigação e os reflexos da sua escolha na produção, lucratividade e uso da água.

4.3.6.2. Reflorestamento

A partir do levantamento das áreas prioritárias para a revegetação ciliar na microbacia permitiu uma estimativa do número de árvores necessárias ao processo de revegetação, de acordo com o espaçamento entre as mudas de 3 metros por 2 metros. Considerando o total definido pelas áreas prioritárias de 1280,23 ha, e que cada árvore ocupa 6 m², o total de mudas necessárias para revegetar a área de APP é igual a 2.204.752 mudas, levando-se em conta os 30% de replantio das mudas. Numa primeira etapa, considerando-se apenas a classe de prioridade “alta”, que apresenta área de 681,12 ha, necessita-se de 1.135.154 árvores para ocupar essa área e seguindo as recomendações da distribuição das espécies em estágios de sucessionais, de acordo com a seguinte proporção: 50% de espécies pioneiras (567.577 mudas); 30% de secundárias iniciais (340.546 mudas); 10% de secundárias tardias (113.515 mudas) e 10% de clímax (113.515 mudas).

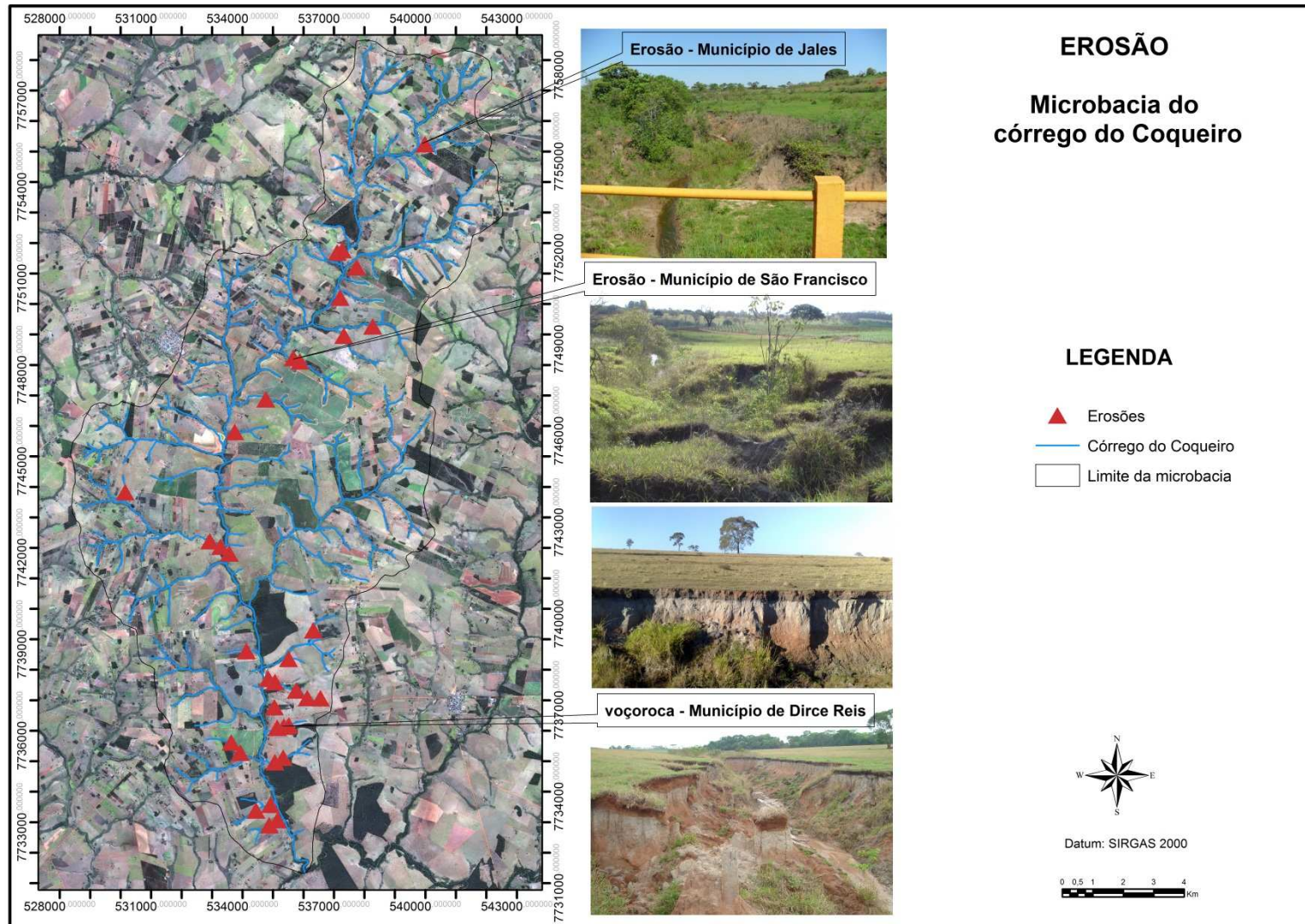
As informações técnicas são importantes para o manejo correto das Áreas de Preservação Permanente (APP), além das informações de custos da implantação e manutenção do reflorestamento florestal. O custo de implantação de espécies nativas em uma área degradada é de R\$ 4.658,35 por hectare e em áreas ocupadas por atividades agropecuárias em torno de R\$ 2.359,63, conforme informações da CESP- Companhia Energética de São Paulo (GALLI; GONÇALVES, 2000). Atualmente o custo por muda pode chegar a R\$ 2,50 a R\$ 3,50, não levando em consideração ainda os outros custos, como instalação de cerca, insumos e mão de obra.

4.3.6.3. Impactos do processo erosivo

A bacia hidrográfica do São José dos Dourados enquadra-se na categoria de alta criticidade em relação ao processo erosivo e o impacto da erosão nos recursos hídricos é considerado muito crítica, por apresentar predomínio de áreas com alta suscetibilidade e onde se concentra o maior número de feições erosivas lineares. Os municípios de São Francisco e Dirce Reis apresentam-se com criticidade média e os municípios de Jales e Palmeira d'Oeste na categoria de criticidade alta em relação ao processo erosivo (SÃO PAULO, 2006).

Na microbacia do córrego do Coqueiro foram identificadas áreas degradadas quanto à erosão linear, ocasionadas por concentração das linhas de fluxo das águas de escoamento superficial, resultando em incisões na superfície do terreno, como pode ser visualizado na Figura 98. Nessas áreas degradadas é importante a recomposição florestal para reduzir o processo erosivo, facilitando a infiltração da água no solo.

Figura 102 - Erosões identificadas na microbacia do córrego do Coqueiro.



Fonte: Franco (2012)

4.3.6.4. Disponibilização dos dados geográficos

É importante divulgar aos planejadores, gerentes, tomadores de decisão e administradores sobre as ferramentas e os métodos de estudos do ambiente, promovendo a integração do conhecimento e formando pessoas com uma visão sistêmica e integrada sobre o meio ambiente.

O uso da Internet é útil para a difusão das informações ambientais e a disponibilização dos dados geográficos de forma estática, com representação de mapas temáticos da microbacia para subsidiar as futuras ações e disponibilizar aos usuários e tomadores de decisões as informações produzidas pelo planejamento.

As informações referentes a esse trabalho podem ser acessadas no seguinte endereço eletrônico: http://www.agr.feis.unesp.br/rel_fehidro09.php

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com as informações obtidas neste trabalho verifica-se que o planejamento deve envolver o maior número de informações possíveis sobre o meio ambiente, servindo de base para a tomada de decisão.

Em determinados períodos do ano, principalmente no mês de outubro observa-se a redução no volume de água do manancial e a possibilidade de conflito no seu uso, pois nessa época os sistemas de irrigação são utilizados em plena capacidade para repor as necessidades hídricas das culturas de interesse.

A qualidade de água superficial analisada está quimicamente não impactante, mas fisicamente degradada, possivelmente devido à baixa taxa de urbanização dos municípios e pelo córrego não ser um corpo receptor dos lançamentos de esgoto oriundo das lagoas de tratamento de esgoto de cada município. As possíveis alterações nos parâmetros físicos devem-se às altas taxas de sedimentos transportados aos corpos d'água, ausência de mata ciliar e manejo inadequado do solo.

6. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos neste trabalho e condições ambientais da área de estudo foi possível concluir que:

- As condições climáticas, principalmente a precipitação pluviométrica influenciou na variação espacial e temporal dos fatores físicos, químicos e biológicos da água;
- O uso de geotecnologia na análise espacial mostrou-se eficiente no diagnóstico ambiental;
- O tema ambiental uso e ocupação do solo caracterizaram o estado atual do ambiente e as pressões resultantes do uso das terras e das ações das atividades econômicas;
- Os temas ambientais Vegetação Nativa, Fragilidade Ambiental, Perda de Solos e Prioridade à Restauração Florestal foram considerados indicadores ambientais potencialmente úteis ao planejamento integrado dos recursos hídricos.
- A utilização integrada de SIG e a aplicação da Equação Universal de Perda de Solos permitiu a realização de uma análise rápida e dinâmica da área em estudo, além de apontar as áreas de maior vulnerabilidade ao processo de perda de solo dentro da microbacia.
- O método de análise multicritério em SIG, Programação por Compromisso foi adequada na priorização de áreas para a recuperação florestal, mostrando a sua espacialização geográfica viável dentro da área analisada e a classe de prioridade alta predominou, seguido pelas classes média e muito alta;
- Redução dos valores médios do Índice de Qualidade de Água na microbacia entre o período de 2009 e 2010, indicando perda na qualidade de água.
- A qualidade de água para a irrigação apresentou variabilidade nos fatores físicos, químicos e biológicos da água em relação ao período seco e chuvoso. Os sólidos suspenso apresentou potencial de dano baixo ao sistema de irrigação e o ferro total apresentou potencial de dano de médio a alto dano ao sistema de irrigação localizada.
- Os valores de vazão foram superiores no período chuvoso e as menores vazões ocorreram no período seco, a sub-bacia 1 apresentou valor de vazão real inferior a $Q_{7,10}$.
- A demanda de água utilizada pela irrigação de videiras supera a vazão outorgável $Q_{7,10}$, principalmente no período seco.

- A microbacia apresenta situação crítica em relação à disponibilidade hídrica superficial no período seco, a qualidade da água para irrigação oferece risco ao sistema de irrigação localizada, torna-se necessária a implantação do planejamento integrado dos recursos hídricos para a microbacia do córrego do Coqueiro.

7. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA-ANA. **Produtor de água**: manual operativo. Brasília: SUM, 2009. 64 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **GEO Brasil recursos hídricos**: componentes da série de relatórios sobre o estado e perspectiva do meio ambiente no Brasil. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2007. 264 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS-ANA. **Panorama da qualidade das águas superficiais no Brasil**: superintendência de planejamento de recursos hídricos. Brasília: SPR, 2005. 176 p.

ALLAN, D. J. **Streams ecology**: structure and function of running waters. Dordrecht: Springer, 1995. 388 p.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration**: guidelines for computing crop water requirements. Roma: FAO, 1998. 328 p. (Irrigation and Drainage Papers, 56).

ALMEIDA, L. F.; HERNANDEZ, F. B. T.; FRANCO, R. A. M. Qualidade física e biológica da água do córrego do boi para a irrigação, em Aparecida d'Oeste, região noroeste do estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 36., 2007, Bonito. **Anais...** Bonito: Jaboticabal, 2007. 1CD-ROM.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION- APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20. ed. New York: United Book, 1998. 1298 p.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **Qualidade de água na agricultura**. Campinas Grande: UFPB, 1991. Estudos FAO: Irrigação e Drenagem.

BAIRD, C. **Química ambiental**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002. p. 621.

BAITELLO, J. B. **Savana e três tipos de floresta**. São Paulo. FAPESP, 2003. p. 52-53. (Pesquisa, 91).

BARBOZA, G. C.; HERNANDEZ, F. B. T. Análise dos riscos à sistemas de irrigação causados pela qualidade da água do córrego do coqueiro - SP. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 5, n. 1, p. 24-36, 2011. Disponível em: <http://www.agr.feis.unesp.br/pdf/V.5-n.1-p.24-36_Barboza.pdf>. Acesso em: 12 out. 2011.

BERNARDO, S. **Manual de Irrigação**. 6. ed. Viçosa: Imprensa Universitária, 1995. 657 p.

BERTOLO, R. A.; MARCOLAN, L. N. O.; BOUROTTE, C. L. M. Relações água-rocha e a hidrogeoquímica do cromo na água subterrânea de poços de monitoramento multiníveis de Urânia, SP, Brasil. **Revista do Instituto de Geociências - USP**, São Paulo, v. 9, n. 2, p. 47-62, junho 2009.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação dos solos**. 4. ed. São Paulo: Ícone, 1999. 335 p.

BRANCALION, P. H. S.; RODRIGUES, R. R. Implicações do cumprimento do Código Florestal vigente na redução de áreas agrícolas: um estudo de caso da produção canavieira no Estado de São Paulo. **Biota Neotrop.**, São Paulo, v. 10, n. 4, 2010. Disponível em: <<http://www.biotaneotropica.org.br/v10n4/pt/abstract?article+bn01010042010>>. Acesso em: 10 dez. 2011.

BRANCO, S. M.; AZEVEDO, S. M. F. O.; TUNDISI, J. G. Água e saúde humana. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Org.) **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 3. ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2006. 748 p.

BRASIL. Decreto-Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a política nacional de recursos hídricos. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 8 jan1997. Seção IV, p. 45 Disponível em: <http://www.ana.gov.br/Legsilacao/Especificas/BR_Lei_9433_08011997.htm>. Acesso em: 21 out. 2010.

BRASIL. Resolução de nº303, 20 de março de 2002. Dispõe e sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. **Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30302.html>>. Acesso em: 10 set. 2011.

BRASIL. **Resolução Nº 357 de 17 de março de 2005**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). 2005. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/conama/>> . Acesso em: 28 abr. 2007.

BRIGANTE, J.; ESPÍNDOLA, E. L. G.; ELER, M. N. Análise dos principais impactos ambientais no rio Mogi-Guaçu: recomendações para orientar políticas públicas. In: BRIGANTE, J.; ESPÍNDOLA, E. L. G (Org.). **Limnologia Fluvial: um estudo no rio Mogi-Guaçu**. São Carlos: Rima, 2003. p. 205-230.

CALIJURI, M. C.; BUBEL, A. P. M. Conceituação de microbacia. In: LIMA, W. P.; ZAKIA, M. J. B. (org.) **As florestas plantadas e a água - implementando o conceito da microabacia hidrográfica como unidade de planejamento**. São Carlos: Rima editora, 2006.226 p.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. Mapas e suas representações computacionais. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. (Org.) **Sistema de Informações geográficas: aplicações na agricultura**. Brasília: Embrapa-SPI/Embrapa-CPAC, 1998. cap. 2, p.13-29.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. Princípios básicos em geoprocessamento. In: ASSAD, E. D. **Sistemas de informação geográficas: aplicações na agricultura**. Brasília: Embrapa - SPI / Embrapa - CPAC, 1998. cap.1, p. 3-11.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. de. Geoprocessamento para projetos ambientais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., 1996, Salvador. **Anais...** Salvador: INPE, 1996. p.138.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. Conceito básicos da ciência da geoinformação. In: CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à ciências da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2004. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>>. Acesso em: 10 jan. 2010.

CARDOSO, T. Homenagem a Jean Tricart (1920-2003). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Uberlândia, v. 4, n. 2, p. 101-102 set. 2003. Disponível em: <http://www.ig.ufu.br/ugb/Revista/Revista4-2_2003/Revista4-2_JeanTricart_2003.pdf>. Acesso em: 2 ago. 2007.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. Rio de Janeiro: CPRM, 1994. 372 p.

CARVALHO, N. O.; FILIZOLA JUNIOR, N. P.; SANTOS, P. M. C.; LIMA, J. E. F. W. **Guia de avaliação de assoreamento de reservatórios**. Brasília: ANEEL / Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas, 2000. 132 p.

CHAIR, L. Z. **Soil erosion modeling using the revised universal soil loss equation (rusle) in a drainage basin in eastern Mexico**. Texas: University Texas, 2005. Disponível em: <http://www.utexas.edu/depts/grg/hudson/grg360g/EGIS/labs_04/Lab9/lab9_soil_erosion_05.htm>. Acesso em: 7 jan. 2011.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Blucher, 1999.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL- CETESB. Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo. São Paulo: CETESB, 2004. Disponível em: <www.cetesb.sp.gov.br>. Acesso em: 17 nov. 2010.

COMPANHIA TECNOLÓGICA DE SANEAMENTO AMBIENTAL- CETESB. **Relatório de qualidades das águas interiores do estado de São Paulo 2004 / CETESB**. São Paulo: CETESB, 2005. p. 498.

CRESTANA, M. S. M. et al. **Florestas**: sistemas de recuperação com essências nativas, produção de mudas e legislação. 2. ed atual. Campinas: CATI, 2006. 216 p.

D'ALMEIDA JUNIOR, A. J. C.; HERNANDEZ, F. B. T.; FRANCO, R. A. M.; ZOCOLER, J. L. Medição de velocidade e vazão em cursos d'água: molinete hidrométrico versus método do flutuador. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 16., 2006, Goiânia. **Anais...** Uberaba: Uberaba, 2010. Disponível em: <http://www.agr.feis.unesp.br/pdf/conird2010_junior.pdf>. Acesso em: 10 out. 2011.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - DAEE. **Outorga**. Disponível em: <<http://www.aplicacoes.daee.sp.gov.br/usuarios/fchweb.html>>. Acesso em: 30 mar. 2010.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - DAEE. **Outorga**. Disponível em: <<http://www.aplicacoes.daee.sp.gov.br/usuarios/fchweb.html>>. Acesso em: 30 de out. 2011.

DIAS, M. A. F. S.; SILVA, M. G. A. J. Para entender tempo e clima. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J.; DIAS, A. F. S. (Org.) **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Texto, 2009. p. 15-21.

DURIGAN, G.; SIQUEIRA, M. F.; FRANCO, G. A. D. C. Threats to the Cerrado remnants of the state of São Paulo, Brazil. **Sci. agric**, Piracicaba, v. 64, n. 4, p. 355-363, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/sa/v64n4/05.pdf>>. Acesso em: set. 2011.

EASTMAN, J. R. **Idrisi for Windows**: introdução e exercícios. Porto Alegre: UFRGS Centro de Recursos Idrisi, 1998. 224 p.

ESTEVES, F.A. **Fundamentos de limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência/FINEP, 1998. 575 p.

FARINASSO, M.; JUNIOR, O. A. C.; GUIMARAES, R. F.; GOMES, R. A. T.; RAMOS, V. M. Avaliação qualitativa do potencial de erosão laminar em grandes áreas por meio da Eups utilizando novas metodologias em sig para os cálculos dos seus fatores na região do Alto Parnaíba-Pi-MA. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 7, n. 2, p. 73-85, 2006.

FEITOSA, D. G.; HERNANDEZ, F. B. T.; FRANCO, R. A. M.; SANTOS, G.O.; ZOCOLER, J.L. desempenho dos sistemas de irrigação na microbacia do córrego do Coqueiro. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 21., 2010, Uberaba. **Anais...** Viçosa: ABIRD, 2010. p.1-4. Disponível em: <http://www.agr.feis.unesp.br/pdf/conird2010_feitosa.pdf>. Acesso em: 21 out. 2011

FEITOSA, D. G.; HERNANDEZ, F. B. T.; FRANCO, R. A. M.; SANTOS, G. O. Caracterização dos sistemas de irrigação no córrego do Coqueiro no noroeste

paulista. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO- SBSR, 15., 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. p. 161-168. Disponível em: <<http://urlib.net/3ERPFQRTW/3A22L38>>. Acesso em: 16 jan. 2012.

FERNANDES, L. A.; COIMBRA, A. M. Revisão estratigráfica da parte oriental da Bacia Bauru (Neocretáceo). **Revista Brasileira de Geociências**, Curitiba, v. 30, n. 4, p. 723-734, 2000.

FERRAZ, F. F. B. Sedimentos finos em microbacia hidrográfica. In: LIMA, W. P.; ZÁKIA, M. J. B. (Org.). **As florestas plantadas e a água**: implementando o conceito de microbacia hidrográfica como unidade de planejamento. São Carlos: RiMa, 2006. p.157-170.

FERRAZ, S.F.B.; VETTORAZZI, C. A. Identificação de áreas para a recomposição florestal com base em princípio de Ecologia de Paisagem. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 575-583, 2003.

FIDALGO, E. C. C. **Critérios para a análise de métodos e indicadores ambientais usados na etapa de diagnóstico de planejamentos ambientais**. 2003. 276 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade de Campinas, Campinas, 2003.

FILDALGO, E. C. C. **Critérios para a análise de métodos e indicadores ambientais usados na etapa de diagnóstico de planejamento ambientais**. 2003. 276 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de texto, 2008.

FRANCISCO, C. E. S. **Áreas de preservação permanente na bacia do ribeirão das anhumas: estabelecimento de prioridades para recuperação por meio de análise multicriterial**. 2006. 108 f. Dissertação (Mestre em Agricultura Tropical e Subtropical) - Instituto Agrônômico de Campinas, Campinas, 2006.

FRANCISCO, C. E. S.; COELHO, R. M.; TORRES, R. B.; ADAMI, S. F. Análise multicriterial na seleção de bacia hidrográfica para recuperação ambiental. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n. 1, p.1-13, jan.-mar., 2008.

FRANCO, R. A. M. **Qualidade da água para irrigação na microbacia do córrego do coqueiro no noroeste paulista**. 2008. 84 f. Dissertação. (Mestrado em Sistemas de Produção) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2008.

FRANCO, R. A. M.; HERNANDEZ, F. B. T. Qualidade da água para irrigação na microbacia do Coqueiro, Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande - PB, v. 13, n. 6, p. 772–780, 2009.

FRANCO, R. A. M.; HERNANDEZ, F. B. T.; BARBOZA, G. C.; VANZELA, L. S. Diagnóstico da concentração de ferro nas águas superficiais e seus impactos para a irrigação localizada na região noroeste paulista. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM- CONIRD, 20., 2010, Uberaba. **Anais...** Uberaba: ABID, 2010. Disponível em: <http://www.agr.feis.unesp.br/pdf/conird2010_franco.pdf>. Acesso em: 10 set. 2011.

FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS - SEADE. **Informações dos Municípios Paulistas**. São Paulo: São Paulo, 2010. Disponível em: <<http://www.seade.sp.gov.br>>. Acesso em: 14 dez. 2011.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA. **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica período de 2005 a 2008**. São Paulo: INPE/IBAMA, 2009.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA. **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica período de 2008 a 2010**. São Paulo: INPE/IBAMA, 2011.

GALETTI, M.; PARDINI, R.; BARBANTI, J. M. D.; SILVA, V. M. F.; ROSSI, A.; PERES, C. A. Mudanças no Código Florestal e seu impacto na ecologia e diversidade dos mamíferos no Brasil. **Biota Neotrop.**, Campinas, v.10, n. 4, Dec. 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1676-06032010000400006&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 1 set. 2011.

GALLI, F. L.; GONÇALVES, J. C. Reflorestamento de áreas degradadas. In: NOFFS, P. S.; GALLI, L. F.; GONÇALVES, J. C. (Org.). **Recuperação de áreas degradadas da Mata Atlântica: uma experiência da CESP Companhia Energética de São Paulo**. 2. ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2000. p. 22-41. Disponível em: <http://www.rbma.org.br/rbma/pdf/Caderno_03.pdf>. Acesso em: 2 set. 2011.

GASTALDINI, M. C. C.; MENDONÇA, A. S. F. Conceito para a avaliação da qualidade da água. In: PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. (Org.) **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Porto Alegre: ABRH, 2003. cap.1, p. 3-13.

GASTALDINI, M. C. C.; MENDONÇA, A. S. F. Conceito para a avaliação da qualidade da água. In: PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. (Org.) **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Porto Alegre: ABRH, 2003. cap.1, p. 3-13.

GOLDENFUM, J. A. Pequenas bacias hidrológicas: conceito básico. In: PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. (Org.) **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Porto Alegre: ABRH, 2003. cap.1, p. 3-13.

GRAVETTER, F. J.; WALLNAU, L. B. **Statistics for the behavioral sciences**. 2. ed. St. Paul: West Publishing, 1995. 429 p.

HERNANDEZ, F. B. T.; BARBOZA, G. C. ; FRANCO, R. A. M. ; VANZELA, L. S. ; Biological variables of the waterheds in the northwest of Sao Paulo State for irrigation purposes. In: IWA_ASPIRE CONFERENCE & EXHIBITION, 2011, Tokyo. **Conference...** Tokyo : ASPIRE Organizing Committee, 2011. p. 467.

HERNANDEZ, F. B. T.; LEMOS FILHO, M. A. F.; BUZETTI, S. **Software HIDRISA e o balanço hídrico de Ilha Solteira**. Ilha Solteira: UNESP.1995. 45 p. (Série Irrigação,1).

HERNANDEZ, F. B. T.; SOUZA, S. A. V. de; ZOCOLER, J. L.; FRIZZONE, J. A. Simulação e efeito de veranicos em culturas desenvolvidas na região de Palmeira d'Oeste, Estado de São Paulo. **Engenharia Agrícola, Jaboticabal**, v. 23, n. 1, p. 21-30, 2003.

KINNELL, P. I. A. Event soil loss, runoff and the Universal Soil Loss Equation family of models: a review. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 385, n.1, p. 384-397, 2010.

KRONKA, F. J. N.; NALON, M. A.; MATSUKUMA, C. K.; KANASHIRO, M. M.; YWANE, M. S. S.; PAVÃO, M.; DURIGAN, G.; LIMA, L. M. P. R.; GUILLAUMON, J. R.; BAITELLO, J. B.; BORGIO, S. C.; MANETTI, L. A.; BARRADAS, A. M. F.; FUKUDA, J. C.; SHIDA, C. N.; MONTEIRO, C. H. B.; PONTINHA, A. A. S.; ANDRADE, G. G.; BARBOSA, O.; SOARES, A. P. **Inventário florestal da vegetação natural do Estado de São Paulo**. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, 2005. 200 p.

LEPSCH, I. F.; BELINAZZI JUNIOR, R.; BERTOLINI, D.; ESPINDOLA, C. R. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso: 4.a. aproximação**. Campinas: SBCC, 1991. 175 p.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. Campinas: Átomo, 2005. p. 444.

LIMA, W. P.; ZAKIA, M. J. B. Hidrologia florestal In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H.F. (Ed.). **Matas ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo: Universidade de São Paulo / FAPESP, 2000. cap.3, p. 33-44.

LONGLEY, P. A.; GOODCHILD, M. F.; MAGUIRE, J.; RHIND, D. W. **Geographic information systems and science**. New York: John Wiley and Sons. 2005. 514 p.

LOPES, F. B.; ANDRADE, E. M.; TEXEIRA, A. S.; CAITANO, R. F.; GUERREIRO, L. C. C. Uso de geoprocessamento na estimativa da perda de solo em microbacia hidrográfica do semiárido brasileiro. **Revista Agroambiental On-line**, Boa Vista, v. 5, n. 2, 2011. Disponível em:

<<http://ufrr.br/revista/index.php/agroambiente/article/viewFile/503/581>>. Acesso em: 7 abr. 2012.

MAGALHÃES JUNIOR, A. P. **Indicadores ambientais e recursos hídricos: realidade e perspectivas para o Brasil a partir da experiência francesa**. 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. 688 p.

MALCZEWSKI, J. **Gis and multicriteria decision analysis**. New York: John Wiley, 1999. 362 p.

MARTINELLI, L. A.; JOLY, C. A.; NOBRE, C. A.; SPAROVEK, G. A falsa dicotomia entre a preservação da vegetação natural e a produção agropecuária. **Biota Neotrop.**, Campinas, v. 10, n. 4, Dec. 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1676-06032010000400036&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 10 Dez. 2011.

MARTINS, E. S. P. R.; PAIVA, J. B. D. Quantidade dos recursos hídricos. In: PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. (Org.) **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Porto Alegre: ABRH, 2003. cap.19, p. 531-566.

MEIRELLES, M. S. P.; MOREIRA, F. R.; CAMARA, G. Técnica de inferência espacial. In: MEIRELLES, M. S. P.; CAMARA, G.; ALMEIDA, C. M. **Geomática: modelos e aplicações ambientais**. Brasília: Embrapa Informação tecnológica, 2007. p. 107-189.

MINGOTI, R.; VETTORAZZI, C. A. Relative reduction in annual soil loss in micro watersheds due to the relief and forest cover. **Eng. Agríc.** Jaboticabal, v. 31, n. 6, 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/eagri/v31n6/v31n6a17.pdf>>. Acesso em: 10 dez. 2011.

MIRANDA, J. I. **Fundamentos de sistemas de informação geográfica**. Brasília: Embrapa informação tecnológica, 2010. 425 p.

NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. **Trickle irrigation for crop production**. St. Joseph: ASAE, 1986. 383 p.

NALON, M. A.; MATTOS, I. F. A.; FRANCO, G. A. D. C. Meio físico e aspectos da fragmentação da vegetação. In: SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE, INSTITUTO DE BOTÂNICA, FAPESP-FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA NO ESTADO DE SÃO PAULO, PROGRAMA BIOTA/FAPESP (Org.). **Diretrizes para a conservação da biodiversidade no Estado de São Paulo**. São Paulo: Governo Estado de São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente, Fapesp, 2008. p.16-21

NETO, R. T. L.; MENDONÇA, L. A. R.; PEREIRA, J. A.; SOUSA, C. A. V.; GONÇALVES, J. Y. B.; FRISCHKORN, H. Análise morfométrica e ambiental da microbacia hidrográfica do rio Granjeiro, Crato/CE. **Revista da Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 61, n. 3, p. 365-369, 2008.

NUNES, L. H.; VICENTE, A. K.; CANDIDO, D. H. Clima da região Sudeste do Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J.; DIAS, A. F. S. (Org.) **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Texto, 2009. p. 15-21.

ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1988. 434 p.

OLIVEIRA, J. B.; CAMARGO, M. N.; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo**: legenda expandida. Campinas: Instituto Agrônomo/ EMBRAPA Solos, 1999. 64 p.

OLIVEIRA, P.T.S.; ALVES SOBRINHO, T.; RODRIGUES, D. B. B.; PANACHUKI, E. Erosion risk mapping applied to environmental zoning. **Water Res. Manag.**, Porto, v. 25, n.1, p. 1021-1036, 2011.

PAIVA, J. B. D. Métodos de cálculos do transporte de sedimentos em rios. In: PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. (Org.) **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias Hidrográficas**. Porto Alegre: ABRH, 2003. cap.1, p. 3-13.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Meteorologia Agrícola** 306. Piracicaba: Copiadora Luiz de Queiroz, 2007. 192 p.

RAMIREZ, M. R.; SOUZA, J. M. Sistema gerenciador de banco de dados em sistema de informações geográficas. In: MEIRELLES, M. S. P.; CAMARA, G.; ALMEIDA, C. M. **Geomática: modelos e aplicações ambientais**. Brasília: Embrapa Informação tecnológica, 2007. p. 57-103.

RIBEIRO, L. S.; ALVES, M. da G. Quantificação de perda de solo por erosão no município de Campos de Goytacazes/ RJ através de técnicas de Geoprocessamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: São José dos Campos, 2007. p.3039-3046. Disponível em: <<http://martem.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.19.16.01/doc/3039-3046.pdf>>. Acesso em: 8 ago. 2011.

RIBEIRO, T. A. P.; AIROLDI, R. P. DA SILVA; PATERNIANI, J. E. S.; SILVA, M. J. M. Efeito da qualidade da água na perda de carga em filtros utilizados na irrigação localizada. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 1, p.1-6, 2005.

RIGHETTO, A. M. **Hidrologia e recursos hídricos**. São Paulo: EESC/USP, 1998. p. 731 - 813.

RODRIGUES, R. R. Florestas ciliares? Uma discussão nomenclatural das formações ciliares. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H. F. (Ed.) **Matas Ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo: Universidade de São Paulo / FAPESP, 2000. cap.6, p. 91-99.

RODRIGUES, T. R. I.; ROCHA, A. M.; PEREZ FILHO, A. Mapeamento de uso e ocupação das terras na Bacia do Baixo Curso do Rio São José do Dourados - SP por sistemas de informações geográficas e imagem de satélite. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 6091-6097. Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.21.45.01>>. Acesso em: 21 nov. 2010.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 1, n. 8, p. 63-74. 1994.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia**: ambiente e planejamento. São Paulo: Contexto, 2003.

ROSS, J. L. S. Aplicabilidade do conhecimento geomorfológico nos projetos de planejamento. In: GUERRA, A. J.T.; CUNHA, S. B. da. **Geomorfologia** : uma atualização de bases e conceitos. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. p. 365-391

RUDORFF, B. F. T.; AGUIAR, D. A.; SILVA, W. F.; SUGAWARA, L. M.; ADAMI, M.; MOREIRA, M. A. Studies on the rapid expansion of sugarcane for ethanol production in São Paulo State (Brazil) using landsat data. **Remote Sens**, Switzerland, v. 2, n. 3, p. 1057-1076, 2010. Disponível em: < <http://www.mdpi.com/2072-4292/2/4/1057/>>. Acesso em: 12 out. 2011.

SAATY, T.L. T. L. **Fundamentals of decision making and priority theory with the analytic hierarchy process**. Pittsburgh: RWS, 1994.v.6.

SANTOS, G. O.; HERNANDEZ, F. B. T.; ROSSETI, J. C. Balanço hídrico como ferramenta ao planejamento agropecuário para a região de Maringá, noroeste do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 4, n. 3, p.142–149, 2010. Disponível em:< http://www.agr.feis.unesp.br/pdf/rbai_v4_n3_p142_149_bh.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2010.

SANTOS, R. F. **Planejamento ambiental**. São Paulo: Oficina de Texto, 2004.

SÃO PAULO (Estado). Ministério Público. **Legislação ambiental**. 2. ed. São Paulo: IMESP, 2000. 884 p.

SÃO PAULO (Estado). **Plano estadual de recursos hídricos**: 2004/2007. São Paulo: DAEE, 2006. 96 p. Resumo

SÃO PAULO (Estado). Portaria DAEE de nº 717, de 12 de dezembro de 1996. Aprova a Norma e os Anexos de I a XVIII que disciplinam o uso dos recursos hídricos. **Superintendente do Departamento de Águas e Energia Elétrica** -

DAEE. Disponível em:

<http://www.daee.sp.gov.br/legislacao/arquivos/850/portariadaee_717.pdf>. Acesso em: 23 set. 2011.

SÃO PAULO (Estado). **Relatório de situação dos recursos hídricos do Estado de São Paulo.** São Paulo: SMA/CRH, 2009.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO / COORDENADORIA DE PLANEJAMENTO AMBIENTAL. **Meio ambiente paulista: relatório de qualidade ambiental 2010.** São Paulo: SMA/CPLA, 2010. 224 p.

SILVA, A. M.; SHULTZ, H. E.; CAMARGO, P. B. **Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas.** São Carlos: Rima, 2003. 140 p.

SILVA, A. M.; ALVARES, C. A. Levantamento de informação e estruturação de um banco de dados sobre a erodibilidade de classes de solos no Estado de São Paulo. **Geociência**, São Paulo, v. 24, n. 1, p. 33-41, 2005.

SILVA, A. M.; CASATTI, L.; ALVARES, C. A.; LEITE, A. M.; MARTINELLI, L. A.; DURRANT, S. F. Soil loss risk and habitat quality in streams of a meso-scale river basin. **Sci. Agric.**, Piracicaba, v. 64, n. 4, p. 336-343, 2007.

SIMÕES, J. S. J. C.; COIADO, E. M. Processos erosivos. In: PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. (Org.) **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas.** Porto Alegre: ABRH, 2003. cap.1, p. 3-13.

SISTEMA DE INFORMAÇÃO PARA O GERENCIAMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS - SIGRHI. **Regionalização hidrológica do Estado de São Paulo.** São Paulo: DAEE, 2011. Disponível em: <<http://www.sigrh.sp.gov.br/cgi-bin/regnet.exe?lig=podfp>>. Acesso em: 10 jan.2010.

SPAROVEK, G.; RANIERI, S. B. L.; GASSNER, A.; MARIA, I. C. de; SCHNUG, E.; dos S., R. F.; OUBERT, A. A conceptual framework for the definition of the optimal width of riparian forests. **Agr. Ecosyst. & Environ**, Switzerland, v. 90, n. 1, p. 169-175, 2002.

TAMANINI, M. S. A. **Diagnóstico físico-ambiental para determinação da fragilidade potencial e emergente da Bacia do Baixo Curso do Rio Passaúna em Araucária - PR.** 2008. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

TELLES, D. D.; DOMINGUES, A. F. Água na agricultura e pecuária. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Org.). **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação.** 3. ed. São Paulo: Escrituras Editoras, 2006. cap.10, p. 325-364.

TEODORO, V. L. I. ; TEXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o

entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Uniara**, Araraquara, v. 1 n. 20, p.41 – 50, 2007.

TOMLIN, D. **Geographic information systems and cartographic modeling**. New York: Prentice Hall, 1990.

TONELLO, K. C.; DIAS, H. C. T.; SOUZA, A. L.; RIBEIRO, C. A. A. S.; LEITE, F. P. Morfometria da bacia hidrográfica da cachoeira das pombas, Guanhães - MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 5, p. 859-857, 2006.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1977.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, M. T. **Recursos hídricos no século XXI**. São Paulo: oficina de texto, 2011.

UNITED NATIONS CONFERENCE ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT-UNCED. **Agenda 21**. Rio de Janeiro: Rio de Janeiro, 1992.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA- UNESP/ FE. **Acesso à base diária:** Marinópolis. Ilha Solteira: UNESP-FE/ Departamento de Fitossanidade e Engenharia Rural e Solos – DEFERS- Área de Hidráulica e Irrigação - AHI, 2011. Disponível em: <<http://clima.feis.unesp.br>>. Acesso em: 15 jun. 2011.

VALENTE, R. O. A. **Definição de áreas prioritárias para a conservação e preservação florestal por meio da abordagem multicritério em ambiente SIG**. 2005.121 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

VALERIANO, M. M. **Topodata:** guia para utilização de dados geomorfológicos locais. São José dos Campos: INPE, 2008. Disponível em: <<http://mtc-m18.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2008/07.11.19.24/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 20 jan. 2009.

VALERIANO, M. M. **Topodata:** guia para utilização de dados geomorfométricos locais. São José dos Campos: INPE, 2008. 44 p.

VAN WESTEN, C.; FARIFTEH, J. **ILWIS:** user's guide. Enschede: ITC, [200-]. 510 p.

VANZELA, L. S. **Qualidade de água para a irrigação na microbacia do córrego Três Barras no município de Marinópolis, SP**. 2004. 91 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2004.

VANZELA, L. S.; HERNANDEZ, F. B. T.; FRANCO, R. A. M. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14,

n. 1, p. 55-64, 2010. Disponível em: <
http://www.agr.feis.unesp.br/pdf/agriambi_jan2010.pdf>. Acesso em: 10 out. 2011.

VELOSO, H. P.; RANGEL-FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, 1991. 123 p. Disponível em: <
<http://www.dpi.inpe.br/Ambdata/download.php>>. Acesso em: 6 fev. 2010.

VETTORAZZI, C. A. **Avaliação multicritério, em ambiente SIG, na definição de área prioritárias a restauração florestal visando à conservação dos recursos hídricos**. 2006. 151 f. Tese (Livre Docência em Topografia) - Escola Superior de “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

VICTORIA, D. C. **Estimativa da evapotranspiração da bacia do Ji-Paraná (RO) através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento**. 2004. 88 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agrossistemas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

VITTAE, A. C.; MELLO, J. P. Determinação da fragilidade ambiental na bacia do Rio Verde, região Nordeste do Estado de São Paulo, Brasil. **Territorium**, Portugal, v. 2, n. 16, 2009. Disponível em:
 <http://www1.ci.uc.pt/nicif/riscos/downloads/t16/fragilidade_ambiental.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2011.

WISCHMEIER, W. H., SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington: USDA/ARS, 1978. 58 p. (Agricultural Handbook, 573).

SILVA, J. S. X. da. Geoprocessamento em estudos ambientais: uma perspectiva sistêmica. In: MEIRELLES, M. S. P.; CAMARA, G.; ALMEIDA, C. M. **Geomática: modelos e aplicações ambientais**. Brasília: Embrapa Informação tecnológica, 2007. p. 23-53.

ZELENY, M. **Multiple criteria decision making**. New York: McGraw-Hill, 1982. 563 p.

ZUFFO, A. C.; REIS, L. F. R.; SANTOS, R. F.; CHAUDHRY, F. H. Aplicação de métodos multicritérios ao planejamento dos recursos hídricos. **Rev. Bras. Rec. Hídricos**, v. 7, n. 1, p. 81-102, 2002.

ZUFFO, A. C. **Seleção e aplicação de métodos multicriteriais ao planejamento ambiental de recursos hídricos**. 1998. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.