

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ CAMPUS CASCAVEL

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

**APLICAÇÃO CONJUNTA DE TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO ORBITAL E
SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS NA GESTÃO DOS RECURSOS
HÍDRICOS**

SUZANA COSTA WRUBLACK

CASCAVEL – PARANÁ
FEVEREIRO – 2016

SUZANA COSTA WRUBLACK

**APLICAÇÃO CONJUNTA DE TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO ORBITAL E
SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS NA GESTÃO DOS RECURSOS
HÍDRICOS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola, área de concentração: Engenharia de Sistemas Biológicos e Agroindustriais.

Orientador: Dr. Erivelto Mercante

Coorientador: Dr. Marcio Antônio Vilas Boas

CASCADEL – PARANÁ
FEVEREIRO – 2016

SUZANA COSTA WRUBLACK

"APLICAÇÃO CONJUNTA DE TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO ORBITAL E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS NA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS"

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação "*Stricto Sensu*" em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de doutora em Engenharia Agrícola, área de concentração Sistemas Biológicos e Agroindustriais, **aprovada** pela seguinte banca examinadora:

Orientador: 
Prof. Dr. Erivelto Mercante
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – *Campus* de Cascavel


Prof. Dr. Cristiano Poletto
Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS


Prof. Dr. Marcelo Bortoli
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus de Francisco Beltrão


Prof.^a Dra. Sílvia Renata Machado Coelho
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – *Campus* de Cascavel


Prof.^a Dra. Maritane Prior
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – *Campus* de Cascavel

Cascavel, 12 de fevereiro de 2016.

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

W958a

Wrublack, Suzana Costa

Aplicação conjunta de técnicas de sensoriamento remoto orbital e sistemas de informações geográficas na gestão dos recursos hídricos./Suzana Costa Wrublack. Cascavel, 2016.

120 p.

Orientador: Prof. Dr. Erivelto Mercante

Coorientador: Prof. Dr. Márcio Antonio Vilas Boas

Revisão português, inglês e normas: Ana Maria Vasconcelos

Tese (Doutorado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel, 2016

Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia Agrícola

1. Espaço geográfico. 2. Informações georreferenciadas. 3. Solo – Uso sustentável. I. Mercante, Erivelto. II. Vilas Boas, Márcio Antonio. III. Vasconcelos, Ana Maria, rev. IV. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. V. Título.

CDD 21.ed. 631.587

CIP-NBR 12899

Ficha catalográfica elaborada por Helena Soterio Beijo – CRB 9ª/965

BIOGRAFIA

Suzana Costa Wrublack, graduada em Ciências Biológicas/Biotecnologia pela Universidade Paranaense (2004). Mestre em Engenharia Agrícola na área de concentração de Sistemas Agroindustriais pelo Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (2012). Ingressou no mesmo ano no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, na área de concentração da Engenharia de Sistemas Biológicos e Agroindustriais, nível Doutorado, sob a orientação do Prof. Dr. Erivelto Mercante, estudando o tema: Aplicação conjunta das técnicas de Sensoriamento Remoto Orbital e Sistemas de Informações Geográficas na gestão dos recursos hídricos.

Planeta Água

Água que nasce na fonte serena do mundo
E que abre um profundo grotão

Água que faz inocente riacho e deságua
Na corrente do ribeirão...

Águas escuras dos rios
Que levam a fertilidade ao sertão

Águas que banham aldeias
E matam a sede da população...

Águas que caem das pedras
No véu das cascatas ronco de trovão

E depois dormem tranqüilas
No leito dos lagos, no leito dos lagos...

Água dos igarapés onde lara, a mãe
d'água
É misteriosa canção

Água que o sol evapora
Pro céu vai embora
Virar nuvens de algodão...

Gotas de água da chuva
Alegre arco-íris sobre a plantação
Gotas de água da chuva
Tão tristes, são lágrimas na inundação...

Águas que movem moinhos
São as mesmas águas
Que encharcam o chão

E sempre voltam humildes
Pro fundo da terra, pro fundo da terra...

Terra! Planeta Água... Terra! Planeta Água
Terra! Planeta Água.

Autor: Guilherme Arantes



Registro fotográfico no município de Salto do Lontra / PR

DEDICATÓRIA

Aos meus filhos, **Suellen** e **Anderson**, razão maior do meu viver. Dedico, com todo amor e carinho.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo privilégio da vida e por estar ao meu lado, me mostrando novos caminhos e oportunidades a cada dia e também provendo forças para enfrentar todos os obstáculos que encontro nos caminhos que escolho.

Ao Prof. Dr. Erivelto Mercante, meu Orientador, por todo aprendizado, incentivo, dedicação, pela valiosa orientação no Mestrado e no Doutorado e por todas as oportunidades que pude vivenciar na pesquisa. Meus sinceros agradecimentos.

Ao Prof. Dr. Márcio Antônio Vilas Boas, pela Coorientação, amizade, apoio e notadamente pela importante oportunidade de ingressar nas pesquisas desenvolvidas no município de Salto do Lontra/PR.

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, pela oportunidade de cursar o Mestrado e o Doutorado em Engenharia Agrícola e a todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola-PGEAGRI que me acompanharam e proporcionaram inúmeros conhecimentos, essenciais à minha formação.

À CAPES, pela concessão da bolsa de pesquisa no doutorado e ao CNPq, FUNDAÇÃO ARAUCÁRIA e SETI pelo apoio financeiro concedido às pesquisas.

A todos os colegas do GeoLab, pela amizade e companheirismo. Sempre dispostos à auxiliar nas dúvidas e nos momentos de dificuldades. O clima de coleguismo fazia com que o laboratório fosse sempre um local muito bom de se estar. Como não poderia deixar de ser, já sinto saudades desse período tão especial da minha vida, no qual pude conviver com vocês.

Aos meus filhos, Suellen e Anderson por estarem presentes na minha vida. A caminhada em busca do conhecimento se tornou muito mais fácil com o apoio de vocês.

Aos meus pais, Ary e Inês, que são meus maiores exemplos de força e de determinação. A coragem, honestidade e perseverança de vocês, me motiva todos os dias.

Ao meu afilhado e sobrinho, Gabriel, pela audácia e superação diante da segunda chance de vida que Deus lhe concedeu. O seu acidente nos prova que a nossa força interior vai muito além do que podemos imaginar e de longe supera a força física.

Aos meus irmãos, Gersom, Andréa e Marinês. Inevitavelmente, nossas atividades do dia-a-dia, por vezes nos impedem de compartilharmos mais momentos juntos, mas é sempre muito bom estar com vocês e me orgulho muito de tê-los como irmãos.

Por fim, agradeço a todos os meus familiares e amigos, que mesmo sem entender que os estudos não se findavam nos finais de semanas, me apoiaram nesta importante fase da minha vida. Mais esta etapa foi alcançada e novos horizontes e possibilidades surgem no meu caminho. Seguirei em frente, com o sentimento de gratidão à Unioeste e a todos que contribuíram para o meu crescimento profissional. Muito obrigada a todos que fizeram parte desta minha importante conquista.

APLICAÇÃO CONJUNTA DAS TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO ORBITAL E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS NA GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

RESUMO

Este trabalho teve por objetivo contribuir a partir de técnicas ligadas ao Sensoriamento Remoto Orbital e SIG, no monitoramento da qualidade da água, mapeamento do uso e ocupação do solo na microbacia do rio Lontra, com foco na contribuição de informações para aplicação dos instrumentos de gestão dos recursos hídricos. Em uma primeira análise, realizaram-se o mapeamento do Uso e Ocupação do Solo (UCS) e a avaliação da qualidade da água utilizada para irrigação no município de Salto do Lontra, Estado do Paraná. Imagens do satélite SPOT-5 foram utilizadas para realizar a classificação supervisionada pelo algoritmo de Máxima Verossimilhança – MAXVER. Os dados de qualidade da água foram submetidos às análises estatísticas pelas técnicas de Análise de Componentes Principais (ACP) e Análise Fatorial (AF), para a identificação das variáveis mais relevantes na avaliação da qualidade da água de irrigação. A caracterização do UCS pelo classificador MAXVER permitiu a identificação das classes: culturas agrícolas, solo exposto/resteva, mata e área urbana. A aplicação da ACP dos parâmetros de qualidade da água de irrigação explicou 53,27% da variação da qualidade da água entre os pontos monitorados, representados pelas propriedades rurais de base familiar. Em um segundo momento, a variação da qualidade da água foi estudada ao longo do rio Lontra, com o apoio dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) integradas às técnicas estatísticas multivariadas para a averiguação das relações de dependência entre as variáveis respostas associadas ao UCS. Foram utilizadas imagens mosaicadas datadas do ano 2014, provenientes do *Google Earth* para o mapeamento de uso e ocupação do solo. O Modelo Digital de Elevação (MDE) e os mapas de tipos de solos serviram para compor o banco de dados, juntamente com as categorias de UCS, definidos como variáveis explicativas. A definição das áreas de influência pela técnica de polígonos de Thiessen e as técnicas estatísticas multivariadas, em especial à Análise de Redundância (RDA) foram utilizadas para investigação da correlação entre as variáveis explicativas (UCS, declividade, tipos de solos e pontos de monitoramento) nos parâmetros de qualidade da água, definidas como variáveis exploratórias. O mapeamento do UCS e a Análise de Redundância Linear – RDA possibilitaram a identificação das pressões antrópicas sobre os parâmetros de qualidade da água, especialmente quando comparado aos pontos situados a montante e a jusante da microbacia do rio Lontra. Finalmente, foi conduzida uma abordagem acerca da utilização das Geotecnologias no estudo do espaço ambiental, com foco na contribuição de informações para aplicação dos instrumentos de gestão dos recursos hídricos. A caracterização do UCS, mediante a Classificação Supervisionada SAM da imagem Landsat-8, possibilitou a definição de cinco categorias de UCS, que junto às distintas estações do ano e pontos de monitoramento (a montante e a jusante da microbacia) buscaram investigar a correlação destas variáveis com os parâmetros de qualidade da água. Pela RDA, identificou-se a correlação positiva para as variáveis dependentes (condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos) relacionadas com as estações mais quentes (outono, primavera e verão). Valores mais elevados de temperatura e pH estiveram positivamente relacionados aos usos do solo especialmente nas categorias de mata, água e pastagens. As culturas temporárias e área urbana demonstraram estar negativamente correlacionadas às demais categorias de UCS. A correlação dos parâmetros de turbidez e potencial redutor de oxidação, principalmente na estação do inverno. As geotecnologias utilizadas neste trabalho, especialmente representadas pelas técnicas de geoprocessamento e dos SIG's, possibilitaram o estudo da estrutura do espaço geográfico e dos aspectos ambientais. Os métodos estatísticos multivariados possibilitaram a sintetização da estrutura de variabilidade dos dados e a identificação das variáveis mais significativas, com destaque às estações do ano e aos distintos pontos de monitoramento ao longo da microbacia do rio Lontra. A

aplicação conjunta de técnicas de sensoriamento remoto orbital e SIG contribuiu para condução de estudos voltados a gestão dos territórios e em especial à gestão dos recursos hídricos. A pesquisa teve como foco principal a agricultura familiar irrigada, em que foram levantados subsídios que pudessem auxiliar nas decisões gerenciais sobre o uso da água e no desenvolvimento de ações para a aplicação de tecnologias racionais disponíveis, visando à melhoria dos diferentes sistemas de uso da água.

PALAVRAS-CHAVE: Espaço geográfico, Informações georreferenciadas, Uso sustentável do solo.

COMBINED APPLICATION OF ORBITAL REMOTE SENSING AND GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM TECHNIQUES ON WATER RESOURCES MANAGEMENT

ABSTRACT

This research aimed to contribute to the monitoring of water quality using orbital remote sensing and GIS techniques, use and occupation of mapping land in Lontra river watershed, focusing on information to apply water resources management instruments. The first phase consisted on mapping the use and soil occupation and on evaluating quality of irrigation water used in Salto do Lontra municipality, in Paraná state, Brazil. SPOT-5 satellite images were used to carry out the supervised classification of the Maximum Likelihood algorithm – ML. Water quality data were submitted to statistical analyses by the PCA and FA techniques, in order to identify the most relevant variables during the evaluation of irrigation water quality. The UCS characterization by maximum likelihood estimation allowed identifying the classes: agricultural crops, bare soil, forest and urban area. The PCA use concerning parameters of irrigation water quality explained 53.27% of variation in water quality according to the monitored points, represented by family-based farming. In a second phase, a variation of water quality was studied along Lontra river, with the support of Geographic Information Systems (GIS) integrated with multivariate statistical techniques to investigate the dependency relationships among variables responses associated with UCS. Mosaic images of 2014 from Google Earth were used to map such land use and occupation. Digital Elevation Model (DEM) and soil maps made up database, along with UCS categories, defined as explanatory variables. The definition of areas of influence by Thiessen polygon method and multivariate statistics techniques, especially the Redundancy Analysis (RDA), were used to investigate correlation among explanatory variables (land use and occupation, slope, soil types and monitoring points) in parameters such as water quality, defined as exploratory variables. Land use mapping and Linear Redundancy Analysis allowed the identification of anthropogenic pressures on water quality parameters, especially when compared to points located by upstream and downstream of Lontras's river watershed. Finally, an approach concerning the use of Geotechnologies on the study of environmental issues was carried out focusing the contribution of information to apply water resources management instruments. The UCS characterization, using SAM supervised classification and Landsat-8 image, defined five UCS categories that with different seasons and monitoring points (upstream and downstream watershed) investigated the correlation among these variables and water quality parameters. RDA identified positive correlation among dependent variables (electrical conductivity and total dissolved solids) and warmer seasons (fall, spring and summer). The highest answers of temperature and pH were positively related to land use especially in the categories of forest, water and pasture. Temporary crops and urban areas showed negative correlation to other UCS categories. The correlation of turbidity and reducing oxidation potential parameters, especially during the winter season. Geotechnologies used in this trial, especially represented by geoprocessing and GIS, have allowed the study of geographical space structure and environmental aspects. Multivariate statistical methods enabled the synthesis of data variability structure and identification of the most significant variables, especially to the seasons and different monitoring points along the Lontra river watershed. This research mainly focused on irrigated family farming, where subsidies have been raised to assist with management decision-making on water use and the development of actions in the application of available rational technologies, aiming at improving different water use systems. Remote sensing techniques combined with GIS have contributed to carry out studies concerning management of territories and, in particular, water resources management.

KEYWORDS: Geographic area, Management georeferenced, Sustainable land use.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	JUSTIFICATIVA	17
2	OBJETIVOS	18
2.1	OBJETIVO GERAL	18
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
2.3	ESTRUTURAÇÃO DA TESE	19
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
3.1	GESTÃO DOS RECURSOS NATURAIS	20
3.1.1	<i>Gestão dos recursos hídricos</i>	21
3.1.2	<i>Gestão das bacias hidrográficas</i>	22
3.1.3	<i>Qualidade da água: disponibilidade quantitativa e qualitativa</i>	24
3.1.4	<i>Qualidade da água para irrigação agrícola</i>	26
3.1.5	<i>As atividades agropecuárias e as influências na qualidade da água</i>	27
3.2	GEOTECNOLOGIAS	29
3.2.1	<i>Geoprocessamento</i>	30
3.2.2	<i>Sensoriamento Remoto Orbital</i>	31
3.2.3	<i>SISTEMA GLOBAL DE NAVEGAÇÃO POR SATÉLITE</i>	32
3.2.4	<i>Sistemas de Informações Geográficas</i>	32
3.2.5	<i>Geoprocessamento aplicado aos recursos naturais</i>	33
3.2.6	<i>Evapotranspiração e estimativa da produção de água</i>	35
3.2.7	<i>Estimativas de produtividade da água em Bacias Hidrográficas</i>	37
3.3	MONITORAMENTO AMBIENTAL DE ÁREAS IRRIGADAS	38
3.4	ANÁLISE ESTATÍSTICA MULTIVARIADA NO ESTUDO DE VARIÁVEIS AMBIENTAIS	40
3.4.1	<i>Análise de Componentes Principais</i>	40
3.4.2	<i>Análise Fatorial</i>	41
3.4.3	<i>Análise de Correlações Canônicas</i>	41
3.4.4	<i>Análise de Agrupamentos</i>	42
3.4.5	<i>Análise Discriminante</i>	43
3.4.6	<i>Análise de Correspondência</i>	43
3.4.7	<i>Análise de Redundância</i>	44
3.5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
4	ARTIGO 1 - MAPEAMENTO DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E QUALIDADE DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO NO MUNICÍPIO DE SALTO DO LONTRA – PARANÁ	52

4.1	INTRODUÇÃO	52
4.2	MATERIAL E MÉTODOS	53
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
4.3.1	<i>Mapeamento temático</i>	<i>57</i>
4.3.2	<i>Caracterização do uso e ocupação do solo por meio da classificação supervisionada.....</i>	<i>57</i>
4.3.3	<i>Qualidade da água de irrigação</i>	<i>59</i>
4.3.4	<i>Parâmetros químicos de qualidade da água de irrigação.....</i>	<i>60</i>
4.3.5	<i>Parâmetros físicos de qualidade da água de irrigação.....</i>	<i>62</i>
4.3.6	<i>Parâmetro biológico de qualidade da água de irrigação.....</i>	<i>63</i>
4.3.7	<i>Características de uso e ocupação do solo e os parâmetros de qualidade da água de irrigação</i>	<i>64</i>
4.4	CONCLUSÕES	67
4.5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68
5	ARTIGO 2 - VARIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA AO LONGO DE UM RIO EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA AGRÍCOLA COM O APOIO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA E ANÁLISE MULTIVARIADA	71
5.1	INTRODUÇÃO	72
5.2	MATERIAL E MÉTODOS	74
5.2.1	<i>Caracterização da microbacia do rio Lontra.....</i>	<i>74</i>
5.2.2	<i>Monitoramento da qualidade da água na microbacia do rio Lontra</i>	<i>74</i>
5.2.3	<i>Tratamento e análises dos dados</i>	<i>76</i>
5.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	78
5.4	CONCLUSÕES	89
5.5	AGRADECIMENTOS	90
5.6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90
6	ARTIGO 3 - GEOTECNOLOGIAS E ESTATÍSTICA MULTIVARIADA APLICADA À GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS NO ÂMBITO DE MICROBACIA AGRÍCOLA.....	92
6.1	INTRODUÇÃO	93
6.2	MATERIAL E MÉTODOS	93
6.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	98
6.4	CONCLUSÕES	112
6.5	AGRADECIMENTOS	113
6.6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	113
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	115

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO I

FIGURA 1 MAPA DE LOCALIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE SALTO DO LONTRA, NO ESTADO DO PARANÁ. DATUM WGS 84, COORDENADAS UTM, ZONA 22 S.	54
FIGURA 2 ESPACIALIZAÇÃO DOS PONTOS DE CAPTAÇÃO DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO NAS PROPRIEDADES RURAIS NO MUNICÍPIO DE SALTO DO LONTRA – PR. IMAGEM DE SATÉLITE SPOT-5 EM COMPOSIÇÃO RGB (BANDAS B3, B2, B1). DATUM WGS 84, COORDENADAS UTM, ZONA 22 S.	54
FIGURA 3 IMAGEM CLASSIFICADA PELO ALGORÍTMO MAXVER. DATUM WGS 84, COORDENADAS UTM, ZONA 22 S.	58
FIGURA 4 DISTRIBUIÇÃO DAS FREQUÊNCIAS DOS PARÂMETROS QUÍMICOS DE PH, CE, BICARBONATO, CLORO, FOSFATO E NITRATO, NOS 57 PONTOS DE CAPTAÇÃO DA ÁGUA UTILIZADA PARA IRRIGAÇÃO, NOS PERÍODOS DE MAIOR (P1) E MENOR PRECIPITAÇÃO (P2)..	60
FIGURA 5 DISTRIBUIÇÃO DAS FREQUÊNCIAS DOS PARÂMETROS FÍSICOS DE TURBIDEZ E TEMPERATURA NOS 57 PONTOS DE CAPTAÇÃO DA ÁGUA UTILIZADA PARA IRRIGAÇÃO, NOS PERÍODOS DE MAIOR (P1) E MENOR PRECIPITAÇÃO (P2).....	62
FIGURA 6 DISTRIBUIÇÃO DAS FREQUÊNCIAS DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES NOS 57 PONTOS DE CAPTAÇÃO DA ÁGUA UTILIZADA PARA IRRIGAÇÃO, NOS PERÍODOS DE ALTA (P1) E BAIXA PRECIPITAÇÃO (P2).....	63
FIGURA 7 COMPORTAMENTO DAS VARIÁVEIS NOS DOIS PERÍODOS ANUAIS DISTINTOS DE PRECIPITAÇÃO.	67

ARTIGO II

FIGURA 1 ESPACIALIZAÇÃO DOS 10 PONTOS DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA NA MICROBACIA DO RIO LONTRA. DATUM WGS-84, COORDENADAS UTM, ZONA 22 S.	75
FIGURA 2 CARACTERIZAÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA MICROBACIA DO RIO LONTRA/PR, COM DESTAQUE AOS PONTOS DE MONITORAMENTO DE QUALIDADE DA ÁGUA E DELIMITAÇÃO DAS ÁREAS DE INFLUÊNCIA, OBTIDAS PELA TÉCNICA DE POLÍGONOS DE THIESSEN. DATUM WGS-84, COORDENADAS UTM.	79
FIGURA 3 CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS NA MICROBACIA DO RIO LONTRA / PR.	82
FIGURA 4 CLASSES DE DECLIVIDADE NA MICROBACIA DO RIO LONTRA/PR	83
FIGURA 5 DIAGRAMA DE ORDENAÇÃO DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA NA MICROBACIA DO RIO LONTRA/PR.....	86
FIGURA 6 DIAGRAMA DE ORDENAÇÃO DAS CATEGORIAS DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA MICROBACIA DO RIO LONTRA/PR	86

FIGURA 7 DIAGRAMA DE ORDENAÇÃO DAS CLASSES DE DECLIVIDADE NA MICROBACIA DO RIO LONTRA/PR.....	87
FIGURA 8 DIAGRAMA DE ORDENAÇÃO DOS TIPOS DE SOLOS NA MICROBACIA DO RIO LONTRA/PR	87
FIGURA 9 DIAGRAMA DE ORDENAÇÃO DOS PONTOS DE MONITORAMENTO NA MICROBACIA DO RIO LONTRA/PR.....	88

ARTIGO III

FIGURA 1 MAPA TEMÁTICO DA MICROBACIA DO RIO LONTRA, LOCALIZADA NOS LIMITES DOS MUNICÍPIOS DE SALTO DO LONTRA/PR E NOVA ESPERANÇA DO SUDOESTE/PR. IMAGEM LANDSAT-8, <i>DATUM</i> WGS-84, ZONA 22 S.....	94
FIGURA 2 ESPACIALIZAÇÃO DOS 10 PONTOS DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA NA MICROBACIA DO RIO LONTRA. <i>DATUM</i> WGS-84, COORDENADAS UTM, ZONA 22 S.	97
FIGURA 3 CARACTERIZAÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA MICROBACIA DO RIO LONTRA/PR, COM DESTAQUE AOS PONTOS DE MONITORAMENTO DE QUALIDADE DA ÁGUA E DELIMITAÇÃO DAS ÁREAS DE INFLUÊNCIA, OBTIDAS PELA TÉCNICA DE POLÍGONOS DE THIESSEN. IMAGEM LANDSAT-8, <i>DATUM</i> WGS-84, COORDENADAS LAT/LONG.	99
FIGURA 4 COMPORTAMENTO DAS VARIÁVEIS DE QUALIDADE DA ÁGUA NO FATOR 1, RELACIONADO ÀS ESTAÇÕES DO ANO.	103
FIGURA 5 COMPORTAMENTO DAS VARIÁVEIS DE QUALIDADE DA ÁGUA NO FATOR 1, RELACIONADO AOS PONTOS DE MONITORAMENTO NA MICROBACIA.	104
FIGURA 6 COMPORTAMENTO DA VARIÁVEL CONDUTIVIDADE ELÉTRICA NO FATOR 2, RELACIONADA ÀS ESTAÇÕES DO ANO.	105
FIGURA 7 COMPORTAMENTO DA VARIÁVEL CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DA ÁGUA NO FATOR 2, RELACIONADO AOS PONTOS DE MONITORAMENTO NA MICROBACIA.	106
FIGURA 8 COMPORTAMENTO DA VARIÁVEL TURBIDEZ NO FATOR 3, RELACIONADA ÀS ESTAÇÕES DO ANO.	107
FIGURA 9 ORDENAÇÃO RESULTANTE DA ANÁLISE DE REDUNDÂNCIA APLICADA ÀS VARIÁVEIS EXPLICATIVAS (X) PARA OS DOIS PRIMEIROS EIXOS (F1 E F2).....	110
FIGURA 10 ORDENAÇÃO RESULTANTE DA ANÁLISE DE REDUNDÂNCIA APLICADA ÀS VARIÁVEIS DEPENDENTES OU DE INTERESSE (Y) PARA OS DOIS PRIMEIROS EIXOS (F1 E F2).	110
FIGURA 11 DIAGRAMA DE ORDENAÇÃO (RDA) PARA OS DOIS PRIMEIROS EIXOS (F1 E F2) MOSTRANDO AS RELAÇÕES ENTRE AS CATEGORIAS DE USO E OCUPAÇÃO SOLO, PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA E OBSERVAÇÕES REALIZADAS NAS QUATRO ESTAÇÕES DO ANO. .	111

LISTA DE TABELAS

ARTIGO I

TABELA 1 CARACTERIZAÇÃO DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DE ACORDO COM A CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA.....	57
TABELA 2 VALORES DOS ÍNDICES EXATIDÃO GLOBAL E KAPPA OBTIDOS ATRAVÉS DO CLASSIFICADOR MAXVER.	58
TABELA 3 NÍVEIS DE EXATIDÃO DE UMA CLASSIFICAÇÃO, DE ACORDO COM O VALOR DE ÍNDICE KAPPA.....	59
TABELA 4 DISTRIBUIÇÃO DOS RESULTADOS PERCENTUAIS DE RESTRIÇÃO AO USO DA ÁGUA NA IRRIGAÇÃO, NO PERÍODO I (SET./OUT. – 2009) E PERÍODO II (MAIO/JUN. – 2010).	59
TABELA 5 AUTOVALORES E A VARIÂNCIA EXPLICADA POR CADA VALOR NUMÉRICO	65
TABELA 6 MATRIZ DE CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS ORIGINAIS E AS COMPONENTES PRINCIPAIS	66

ARTIGO II

TABELA 1 IDENTIFICAÇÃO DOS PONTOS DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA NA MICROBACIA DO RIO LONTRA E DOS PRINCIPAIS IMPACTOS NA ÁREA	75
TABELA 2 CONDIÇÕES DE PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA NA MICROBACIA DO RIO LONTRAS	78
TABELA 3 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO (HA) NA MICROBACIA DO RIO LONTRA.....	80
TABELA 4 TIPOS DE SOLOS NA MICROBACIA DO RIO LONTRA/PR COM DESTAQUE ÀS ÁREAS DE INFLUÊNCIA E PONTOS DE MONITORAMENTO	82
TABELA 5 CLASSE DE DECLIVIDADE E SUAS RESPECTIVAS ÁREAS, COM DESTAQUE AOS PONTOS DE MONITORAMENTO DA MICROBACIA DO RIO LONTRA/PR	84
TABELA 6 AUTOVALORES E PERCENTUAL DE INÉRCIA (RDA)	85

ARTIGO III

TABELA 1 IDENTIFICAÇÃO DOS PONTOS DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA NA MICROBACIA DO RIO LONTRA	95
TABELA 2 CATEGORIAS DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA MICROBACIA DO RIO LONTRA/PR	98

TABELA 3 CONDIÇÕES DE PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA NA MICROBACIA DO RIO LONTRAS (PARANÁ / BRASIL).....	100
TABELA 4 AUTOVALORES E VARIÂNCIA EXPLICADA EM CADA VALOR NUMÉRICO	101
TABELA 5 MATRIZ DE CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS ORIGINAIS E AS COMPONENTES PRINCIPAIS	101
TABELA 6 ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS DADOS DE QUALIDADE DA ÁGUA SEGUNDO AS ESTAÇÕES DO ANO E OS PONTOS DE MONITORAMENTO NA MICROBACIA NO FATOR 1.....	102
TABELA 7 ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS DADOS DE QUALIDADE DA ÁGUA SEGUNDO AS ESTAÇÕES DO ANO E OS PONTOS DE MONITORAMENTO NA MICROBACIA NO FATOR 2.....	105
TABELA 8 ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS DADOS DE QUALIDADE DA ÁGUA SEGUNDO AS ESTAÇÕES DO ANO E OS PONTOS DE MONITORAMENTO NA MICROBACIA NO FATOR 3.....	107
TABELA 9 RESULTADO DO TESTE DE PERMUTAÇÃO	108
TABELA 10 AUTOVALORES E PERCENTUAIS DE INÉRCIA (RDA)	108
TABELA 11 SCORES OU PONTUAÇÕES OBTIDAS PARA AS VARIÁVEIS RESPOSTAS OU DE INTERESSE, REPRESENTADAS PARA OS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA	109
TABELA 12 SCORES/PONTUAÇÕES OBTIDAS PARA AS VARIÁVEIS EXPLANATÓRIAS OU INDEPENDENTES, REPRESENTADAS PARA AS CATEGORIAS DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	109

LISTA DE ABREVIATURAS

AA	<i>Análise de Agrupamento</i>
ACP	<i>Análise de Componentes Principais</i>
AD	<i>Análise Discriminante</i>
AD	<i>Análise Discriminante</i>
AF	<i>Análise Fatorial</i>
CA	<i>Análise de Correspondência</i>
CCA	<i>Análise de Correspondência Canônica</i>
CONAMA	<i>Conselho Nacional do Meio Ambiente</i>
CP	<i>Componente Principal</i>
ET	<i>Evapotranspiração</i>
ET ₀	<i>Evapotranspiração de referência (ou potencial)</i>
ET _r	<i>Evapotranspiração real</i>
EVI	<i>Enhanced Vegetation Index</i>
GDEM	<i>Modelo Global de Elevação Digital (Global Digital Elevation Model)</i>
GLONASS	<i>Sistema de Navegação Global por Satélite (Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema)</i>
GNSS	<i>Sistema Global de Navegação por Satélite (Global Navigation Satellite System)</i>
GPS	<i>Sistema de Posicionamento Global (Global Positioning System)</i>
ITCG	<i>Instituto de Terras, Cartografia e Geociências</i>
MAXVER	<i>Máxima Verossimilhança</i>
MDE	<i>Modelo Digital de Elevação</i>
METRIC	<i>Mapping Evapotranspiration with Internalized Calibration</i>
NDVI	<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>
RDA	<i>Análise de Redundância (Redundancy Analysis)</i>
SAM	<i>Spectral Angle Mapper</i>
SEBAL	<i>Surface Energy Balance Algorithm for Land</i>
SIG	<i>Sistemas de Informação Geográfica</i>
TDS	<i>Sólidos Totais Dissolvidos</i>
UCS	<i>Uso e Ocupação do Solo</i>

1 INTRODUÇÃO

A busca pelo reconhecimento das realidades ambientais, definidas em um espaço geográfico, requer o acompanhamento constante e a utilização de ferramentas que possam servir aos estudos ambientais e suporte à gestão. Face à ocupação desordenada e ao uso intensivo das áreas, e diante da necessidade de se intervir nesse espaço, ressalta-se o potencial das geotecnologias como importante instrumento de trabalho por permitirem a representação do espaço real e a condução de estudos ambientais.

Em meio ao desenvolvimento das sociedades, é necessário que se busque o equilíbrio entre a utilização dos recursos naturais e a preservação do meio ambiente. O reconhecimento das características e realidades ambientais de áreas urbanas, rurais e industriais é importante e necessário para a elaboração de planos e ações para o uso sustentável, a fim de que se apliquem os instrumentos corretos para gestão territorial. Este conceito de gestão envolve os processos de planejamento e tomada de decisão sob os aspectos social, econômico e institucional em determinado espaço geográfico sobre apropriação e utilização dos territórios, com vistas à qualidade de vida.

Na condução de estudos e diagnósticos ambientais, as geotecnologias constituíram-se, e estão cada vez mais atuantes como um instrumento capaz de atender e fornecer subsídios, que possam ser utilizados na gestão dos recursos naturais. As geotecnologias contemplam a sistematização, análise e representação de dados georreferenciados apoiados nas tecnologias do sensoriamento remoto orbital e dos SIG, e têm permitido a geração e manipulação de diversos produtos. Além de possibilitarem o conhecimento e o diagnóstico das condições ambientais das bacias hidrográficas e a aplicação dos instrumentos de gestão dos recursos hídricos.

A interpretação das informações sobre a distribuição geográfica dos recursos naturais entre outras variáveis sob estudo pode ser fortalecida mediante a utilização de análises descritivas e exploratórias. A adoção de tais técnicas permite a análise de amplos conjuntos de dados e podem, inclusive, ser provenientes de variáveis distintas e em diferentes escalas, pois permitem o estudo das relações entre essas variáveis, ao subsidiarem a compreensão e o significado de suas interações.

Em um momento em que a temática dos recursos hídricos tem sido motivo de grandes preocupações, a definição de metodologias que possam ser utilizadas de modo integrado surge como estratégia promissora no cenário da gestão dos recursos hídricos. Na aplicação conjunta das técnicas de sensoriamento remoto orbital e SIG para gestão dos recursos hídricos, buscou-se o levantamento de subsídios à gestão da microbacia do Rio Lontra, na região Sudoeste do estado do Paraná. Para cumprir esse propósito, um

acompanhamento espaço-temporal foi conduzido por meio da execução de projetos de pesquisa, conduzidos desde o ano de 2008 até o presente momento.

No ano de 2008, o projeto intitulado: Controle da Qualidade da Irrigação em Cinquenta e Sete Unidades Rurais de Base Familiar visando à Conservação de Recursos Hídricos no Município de Salto do Lontra – PR (Edital MCT/CNPq/CT Agronegócio/CT-HIDRO – nº 27/2008) deu-se início a uma importante parceria celebrada entre a Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE e o Instituto Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural – EMATER do município de Salto do Lontra. Cinquenta e sete propriedades rurais de base familiar foram selecionadas, com base na aptidão para a prática de irrigação e contaram com a avaliação da eficiência da irrigação e acompanhamento temporal da qualidade da água.

Em 2010, ao ingressar no programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola - PGEAGRI, surgia o desafio de integrar à equipe deste projeto e de que se conduzissem estudos que resultaram na dissertação de mestrado intitulada: Caracterização do uso e ocupação do solo e qualidade da água com utilização das técnicas de Geoprocessamento.

A participação no projeto intitulado: Apoio técnico no desenvolvimento de pesquisas no Laboratório de Topografia e Geoprocessamento (GeoLab) da UNIOESTE - Cascavel/PR (Fundação Araucária - Projeto 09/2011) trouxe avanços significativos para a condução das pesquisas laboratoriais e maior aproximação com os equipamentos de campo.

Sequencialmente, dois projetos foram conduzidos com aporte da Secretaria de Estado da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior – SETI, intitulados: Aplicação conjunta das técnicas de Geoprocessamento e Sistemas de Informações Geográficas - SIG na Agricultura Familiar (Edital nº 01/2013 USF/SETI) e do projeto: uso de Geotecnologias para melhorias da Agricultura Familiar com vistas à produção agroecológica sustentável (Edital 07/2014 USF/SETI).

Os resultados das pesquisas no nível da microbacia do Rio Lontra possibilitaram a defesa desta Tese de Doutorado, que teve como premissa maior o estudo da qualidade da água e do uso e ocupação do solo a partir das geotecnologias e técnicas estatísticas multivariadas.

1.1 JUSTIFICATIVA

A água é um importante elemento que pode contribuir e, de modo contrário, até restringir a qualidade de vida de uma população, seja sob aspectos quantitativos e/ou qualitativos. Logo, o aumento da demanda da mesma associado à deterioração de sua qualidade conduz a um cenário de conflito deste recurso. Tal problemática tem motivado crescente preocupação no cenário mundial, sobretudo pela necessidade da utilização

racional dos recursos hídricos e também pelo fato de caracterizar-se como importante fator de veiculação de doenças.

Considerando-se ainda que as geotecnologias têm como principal função contribuir para o melhor acompanhamento espaço-temporal dos eventos adversos/intervenções na superfície terrestre, a condução de estudos em escala espacial e temporal tem contribuído para a estruturação de séries históricas. Dessa maneira, pode possibilitar maior entendimento no âmbito de microbacias e no nível de bacias hidrográficas. De maneira especial, a gestão de bacias hidrográficas, conforme estabelecida pela Lei nº. 9.433/97, conhecida como Lei das Águas, está embasada no princípio da descentralização, participação e integração, tendo a bacia hidrográfica como unidade de referência, pois favorece à gestão integrada de todos os recursos naturais presentes nas áreas delimitadas por essas bacias.

O monitoramento de variáveis ambientais denota a necessidade de estruturação de consistentes bancos de dados e, desta maneira, no contexto de variáveis multidimensionais, ressalta-se a importância da utilização de técnicas estatísticas multivariadas como instrumento para análise das informações contidas neste espaço. O uso e a aplicação dessas técnicas subsidiam a orientação na tomada de decisões e viabilizam atividades mais eficientes na gestão dos recursos hídricos. Por isso, o presente trabalho almejou aplicar as técnicas de sensoriamento remoto orbital e SIG para os estudos na gestão dos recursos hídricos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Contribuir por meio das técnicas ligadas ao Sensoriamento Remoto Orbital e SIG no planejamento do uso racional dos recursos hídricos nos municípios de Salto do Lontra e Nova Esperança do Sudoeste, região Sudoeste do Paraná, com ênfase na agricultura familiar irrigada para subsidiar as decisões gerenciais sobre o uso de água e desenvolvimento de ações para o uso das tecnologias racionais disponíveis, visando à melhoria dos diferentes sistemas de uso da água e do uso e ocupação do solo.

2.2 Objetivos específicos

Caracterizar, a partir da interpretação de imagens de satélite, o uso e ocupação do solo nos municípios de Salto do Lontra e Nova Esperança do Sudoeste/PR, pertencentes à microbacia do Rio das Lontras, inseridos na bacia hidrográfica do baixo Iguaçu.

Acompanhar, segundo os parâmetros físicos, químicos e biológicos, o monitoramento da qualidade da água ao longo da microbacia do Rio Lontra, compreendida nos municípios de Salto do Lontra e Nova Esperança do Sudoeste/PR.

Avaliar, nas 57 propriedades rurais de base familiar no município de Salto do Lontra/PR, os parâmetros de qualidade da água utilizada para fins de irrigação, quantificando-as em distintas estações do ano.

Regionalizar as categorias de uso e ocupação do solo em função dos pontos de monitoramento da qualidade da água em áreas a montante e a jusante da microbacia do rio Lontra, gerando uma base de dados e realizando cruzamento destes dados em Sistemas de Informações Geográficas.

Realizar análise estatística multivariada dos dados, para os parâmetros de qualidade da água e categorias de uso e ocupação do solo, para assim subsidiar ações de gestão dos recursos hídricos.

2.3 Estruturação da Tese

A Tese está organizada na forma de artigos científicos, apresentados após uma abrangente revisão bibliográfica sobre o tema da pesquisa. Sequencialmente, em busca de apresentar estudos de caso que envolvem o uso de imagens de satélite, monitoramentos *in situ* e o emprego das análises estatísticas multivariadas para dar subsídio à interpretação das variáveis ambientais.

O primeiro artigo apresenta o mapeamento do uso e ocupação do solo e qualidade da água de irrigação no município de Salto do Lontra – Paraná. O segundo artigo científico aborda a variação da qualidade da água ao longo de um rio em uma bacia hidrográfica com o apoio de sistemas de informações geográficas e análise multivariada. Por fim, o terceiro artigo científico apresenta o uso das geotecnologias e estatística multivariada aplicada à gestão dos recursos hídricos no âmbito de microbacia agrícola.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Gestão dos recursos naturais

O reconhecimento da área em estudo e da distribuição espacial das diferentes feições da superfície terrestre dos componentes da paisagem em escala adequada e compatível com as necessidades de comunidades rurais, especialmente na agricultura familiar, torna-se uma ferramenta útil para o planejamento de uso e manejo dos recursos naturais, principalmente do solo e da água. E pode contribuir para elaboração de um plano de manejo conservacionista da área com base na realidade local (CALDERANO FILHO et al., 2010).

A capacidade de medir padrões de uso e ocupação do solo e de examinar os efeitos da escala aumentou significativamente com o avanço dos métodos de sensoriamento remoto e o desenvolvimento de novas técnicas de análise com o uso dos Sistemas de Informações Geográficas e a Estatística Espacial. A adoção destas ferramentas na gestão dos recursos naturais vem sendo promovida no Brasil com o intuito de incorporar uma estratégia que inclua as etapas de planejamento, monitoramento e controle, além de auxiliar na tomada de decisão.

A gestão dos recursos naturais vem sendo um dos principais componentes do processo de regulação das inter-relações entre os sistemas socioculturais e o meio ambiente biofísico (ABREU et al., 2012). Visa à utilização sustentável dos recursos naturais e torna-se essencial o conhecimento prévio dos mesmos, ou seja, suas características quantitativas e qualitativas (FLAUZINO et al., 2010).

O uso desses procedimentos, além de oferecer facilidades e rapidez na análise ambiental por integrarem dados em uma mesma projeção e Datum, armazenados em Sistema de Informações Geográficas, facilita a análise integrada e possibilita maior precisão nas práticas de uso, manejo e conservação do solo, em busca de ações sustentáveis (CALDERANO FILHO et al., 2010).

Flauzino et al. (2010) destacam a utilização dos Sistemas de Informações Geográficas como instrumento de grande potencial para o estabelecimento de planos integrados de conservação do solo e da água. Com o uso correto, é possível mapear e obter respostas às várias questões de planejamento e levantamento do meio físico, a fim de descrever os mecanismos das mudanças que operam no meio ambiente, além de auxiliar o planejamento e manejo dos recursos naturais existentes.

Um instrumento de gestão que tem regulamentado o uso e ocupação do solo no Brasil tem se dado por promulgação de leis, decretos e resoluções, desde a década de 1930. Entretanto, foi a partir da promulgação da Lei nº. 4.771 de 15 de setembro de 1965,

que se instituiu o Código Florestal Brasileiro. Esta lei foi parcialmente alterada pela Lei nº. 7.803 de 18 de julho de 1989 e recentemente pelo Novo código Florestal Federal Lei nº. 12.651/2012. Neste novo código, as Áreas de Proteção Ambiental foram definidas em zonas rurais ou urbanas (BRASIL, 2012). Assim, a implicação destas leis visa contribuir para minimização da degradação ambiental bem como evitar possíveis situações de conflito entre o sistema produtivo e a preservação ambiental, por meio da ordenação do uso e ocupação do solo brasileiro.

3.1.1 Gestão dos recursos hídricos

A gestão dos recursos hídricos envolve um complexo equilíbrio entre a disponibilidade de água potável suficiente, ao pronto atendimento das necessidades humanas e os usos múltiplos da água, muitas vezes concorrentes deste recurso natural, para atendimento dos objetivos comuns da sociedade. Somando-se a isto, a distribuição da água em escala global ocorre de maneira desigual, portanto, constitui-se como importante elemento que pode definir a qualidade de vida da população, inclusive pela possibilidade de tornar-se um vetor de doenças, que tem impacto sobre as comunidades pobres nos países em desenvolvimento, cujos jovens e idosos são particularmente vulneráveis (KAY, 2009).

A este fato se acrescenta ainda que a água é um fator importante e pode restringir a produção agrícola, conseqüentemente, a renda, principalmente em pequenas propriedades rurais. Em algumas regiões geográficas do País, muitas pessoas não têm acesso à água em quantidade suficiente para utilização no consumo, assim como nos meios produtivos porque o recurso está fisicamente escasso. Em outros casos, a água está disponível, mas não produz ganhos potenciais. Ainda, existem dificuldades na obtenção da água, pois muitos locais não dispõem prontamente deste recurso e, por falta de investimento na infraestrutura, torna-se impraticável (NAMARA et al., 2010).

No contexto social, econômico e ambiental do século XXI, os principais problemas e processos envolvidos na denominada “crise da água” incluem a intensa urbanização, alterações na disponibilidade e aumento de demanda, problemas de estresse e escassez em razão de mudanças globais com eventos hidrológicos extremos e problemas na falta de articulação e falta de ações consistentes na governabilidade de recursos hídricos e na sustentabilidade ambiental (TUNDISI, 2008).

Melhorias nos mecanismos de gestão da água na agricultura podem contribuir para a redução da pobreza a partir de vários caminhos, dentre eles, três podem ser apontados:

(a) o acesso à água confiável melhora a produção e a produtividade, aumenta o emprego, oportunidades e estabiliza a renda e o consumo;

- (b) incentiva a diversificação em produtos de alto valor, aumenta as saídas não agrícolas e o emprego, cumprindo ainda as múltiplas necessidades das famílias; e
- (c) pode contribuir negativa ou positivamente para o estado nutricional, saúde, equidade social e meio ambiente (NAMARA et al., 2010).

3.1.2 Gestão das bacias hidrográficas

A adoção da bacia hidrográfica como unidade de gestão territorial, de forma descentralizada, foi instituída pela Lei 9.433/97 (BRASIL, 1997). Este modelo de gestão de recursos hídricos está embasado em uma perspectiva descentralizada e conta com a participação do poder público, usuários e da comunidade. Neste cenário, a gestão territorial dos recursos hídricos tem sido promovida no Brasil com o objetivo de agrupar estratégias de planejamento, monitoramento e suporte à tomada de decisão, com a integração de vários aspectos que se relacionam direta e indiretamente com o uso dos recursos hídricos, assim como com a sua proteção ambiental.

Assim, os mecanismos para regulação da água têm passado por mudança de paradigma. Desde a instituição da Lei 9.433/97 (BRASIL, 1997), também conhecida por Lei das Águas, o foco está se movendo para a gestão integrada de grandes bacias de drenagem e longe da regulação das descargas de poluição individuais. Tal desenvolvimento emprega essencialmente conceitos geográficos e abordagens ambientais para facilitar a gestão sustentável em locais de uso de recursos ao longo da bacia hidrográfica (KAY, 2009).

Dentro de propostas de racionalização e planejamento do uso eficiente da água, a gestão sustentável dos recursos hídricos ao nível de bacias hidrográficas é de grande valia (MANZIONE et al., 2012). E, de acordo com Leite et al. (2010), para melhor gestão da bacia hidrográfica, é necessária a obtenção de informações rápidas, eficientes e repetitivas sobre suas características socioambientais. Para isso, uma ferramenta importante para prover subsídios à gestão de bacias e originar intervenções no sentido de se conservarem os recursos naturais existentes é o diagnóstico das características físicas de uma bacia hidrográfica (FLAUZINO, 2010).

Conceitualmente, a bacia hidrográfica é uma área de captação natural de precipitação, que converge o escoamento para um único ponto de saída. É composta por um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos d'água que confluem até resultar em um leito único no seu exutório (TUCCI, 2007). A bacia hidrográfica transforma uma entrada de água concentrada no tempo, oriunda dos efeitos de precipitação, em uma saída relativamente distribuída no tempo, por escoamento. Neste

sentido, Porto & Porto (2008) sugerem que a bacia hidrográfica pode ser então considerada um ente sistêmico, onde se realizam os balanços de entrada proveniente da chuva e saída de água através do exutório, permitindo que sejam delineadas bacias e sub-bacias, cuja interconexão se dá pelos sistemas hídricos.

Desse modo, a bacia hidrográfica constitui a unidade básica para aplicação dos instrumentos de gestão dos recursos hídricos e de gestão ambiental. Neste contexto de gestão, o conjunto dos componentes físicos, químicos e biológicos, interdependentes entre si constituem o ecossistema, e as relações funcionais entre os organismos vivos e o ambiente em que vivem estão diretamente interligados (TUCCI, 2007).

Em relação aos limites da bacia, eles são definidos pelo relevo, onde as áreas mais elevadas são consideradas como divisores de águas. O corpo de água principal, que dá o nome a bacia, recebe contribuição de seus afluentes, de modo que cada um deles pode apresentar vários contribuintes menores, sendo alimentados direta ou indiretamente por nascentes. Deste modo, existem várias sub-bacias ou áreas de drenagem de afluentes e contribuintes menores em uma bacia (TUCCI, 2007).

As sub-bacias são unidades fundamentais para a conservação e o manejo, uma vez que a característica ambiental de uma bacia reflete o somatório ou as relações de causa e efeito da dinâmica natural e ação humana ocorridas no conjunto das sub-bacias nela contidas (SEMA-RS, 2010).

A Lei n. 9.433/97 instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e regulamentou legalmente a água como um bem de domínio público, dotado de valor econômico, cujos usos prioritários são o abastecimento humano e a dessedentação de animais, e a gestão deve tomar como unidade territorial a bacia hidrográfica.

No que se refere aos instrumentos de gestão aplicados no contexto da bacia hidrográfica, Porto & Porto (2008) evidenciam que para uma gestão sustentável dos recursos hídricos, tornam-se necessárias: a adoção de um conjunto mínimo de instrumentos que contemplem uma base de dados e informações socialmente acessíveis, a definição clara dos direitos de uso, o controle dos impactos sobre os sistemas hídricos e o processo de tomada de decisão.

Logo, os sistemas de gestão dos recursos hídricos dependem de instrumentos que possam ser desenvolvidos e aplicados no âmbito da bacia hidrográfica, de modo a atender às necessidades e expectativas da comunidade, com observância da aptidão natural da bacia hidrográfica.

Dentre estes instrumentos de gestão que devem ser utilizados para viabilizar a implantação da Política Nacional de Recursos Hídricos, citam-se: os Planos de Recursos Hídricos; o enquadramento dos corpos de águas em classes de usos preponderantes; a

outorga de direitos de uso dos recursos hídricos; a cobrança pelo uso dos recursos hídricos; a compensação aos municípios e o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos.

Ressalta-se ainda que a referida Lei n. 9.433/97 não obriga a aplicação de todos os instrumentos de gestão a todas as bacias hidrográficas e pode, inclusive, utilizar outros instrumentos além desses citados. Desta maneira, permite-se adaptar a gestão dos recursos hídricos de acordo com as particularidades e necessidades de cada bacia hidrográfica.

A utilização de geotecnologias é uma maneira de sistematização, análise e representação de dados que contenham informações georreferenciadas e sirvam para aplicação dos instrumentos de gestão dos recursos hídricos. Por cruzamento e superposição de dados georreferenciados, integrados em uma base de dados digitais, tais ferramentas têm sido utilizadas no processamento e simulações computacionais, a fim de auxiliarem as tomadas de decisões por parte dos gestores ambientais.

3.1.3 Qualidade da água: disponibilidade quantitativa e qualitativa

O Brasil, como maior depositário natural de águas doces do planeta, assume também uma responsabilidade que é maior do que sua própria fronteira. Acrescenta-se ainda o fato de onde quer que estejamos, no território nacional, nos deparamos com graves problemas sociais relacionados à água, que incluem desde situações de carência absoluta até o desperdício franco; incluindo problemas de baixa qualidade por contaminação orgânica e química (AUGUSTO et al., 2012).

A questão referente à qualidade da água tomou maior evidência quando a Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997 foi criada, a qual teve como fundamento a gerência de recursos para assegurar "à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequada aos respectivos usos" (OLIVEIRA et al., 2010).

A degradação quantitativa e qualitativa das águas superficiais tem sido atribuída às diversas atividades poluidoras e tem motivado crescentes pesquisas, especialmente no que se refere ao desenvolvimento sustentável. Admite-se ainda que o desenvolvimento social e econômico de qualquer país está fundamentado na disponibilidade de água de boa qualidade e na capacidade de conservação e proteção dos mananciais (SILVA et al., 2009).

A averiguação da qualidade das águas é medida de segurança e bem-estar, imprescindível não somente por garantir a qualidade das águas que serão utilizadas para as mais diversas atividades (AYERS e WESTCOT, 1994), mas também para a reutilização de usos considerados menos nobres. Na agricultura, a utilização de águas residuárias constitui-se uma alternativa para controle da poluição de corpos d'água, disponibilização de água

para as culturas, reciclagem de nutrientes e aumento da produção agrícola. Entretanto, o lançamento de efluentes, contendo esgotos domésticos ou industriais, resíduos sólidos e atividades intensivas de pecuária, limita o uso da água nas atividades agrícolas e principalmente para o consumo humano (EMBRAPA, 2009).

A qualidade da água de um rio é fundamental para a saúde das pessoas, dos animais e gera condições de renda e sustento para muitas famílias (SILVA et al., 2009). Águas superficiais de boa e má qualidade estão diretamente relacionadas com a crescente degradação rios, reservatórios, lagos e demais meios de captação ((AYERS e WESTCOT, 1994).

A degradação da qualidade da água, as alterações no regime hídrico e na sua quantidade interferem na disponibilidade natural de água. SILVA et al. (2009) citam que tais alterações são decorrentes do crescimento demográfico, da falta de infraestrutura de saneamento e da progressiva demanda originada por atividades econômicas, nem sempre compatíveis com o desenvolvimento ambiental sustentável.

Assegurar a qualidade da água para consumo humano é medida de grande impacto na prevenção de doenças, cuja avaliação laboratorial é imprescindível no suporte às ações executadas e requerer resultados confiáveis para maior eficácia (SARTORI, 2007). Considerando-se a relação causal entre água para consumo humano e as doenças veiculadas pela ingestão da água de má qualidade da água, pode-se afirmar que as mesmas figuram como importantes elementos vinculados à saúde pública (PONTES & SCHRAMM, 2004).

A fim de que se estabeleça a qualidade dos cursos d'água e que sejam direcionados para seus melhores usos, diversos parâmetros são considerados para representar as características físicas, químicas e biológicas, dentre elas, o potencial hidrogeniônico (pH); nitrogênio amoniacal; nitrato; nitrito; cloreto; cloro; demanda química de oxigênio; dureza; ferro; fósforo total; oxigênio dissolvido e turbidez (NETTO et al., 2011).

Para determinar as condições satisfatórias de corpos d'água, é necessário avaliar a qualidade da água (OLIVEIRA et al., 2010), através de parâmetros microbiológicos (coliformes totais e termotolerantes), parâmetros físicos (condutividade elétrica, cor, temperatura e turbidez) e parâmetros químicos (DBO, DQO, OD, cloreto, fluoreto, nitrato, nitrito, nitrogênio amoniacal, fósforo, pH, sólidos dissolvidos, sulfato, surfactantes, e os metais: alumínio, arsênio, bário, berílio, cádmio, cálcio, chumbo, cobalto, cobre, cromo, estanho, ferro, magnésio, manganês, níquel, sódio e zinco), conforme previsto na Resolução CONAMA 357/05 (BRASIL, 2005). De acordo com a referida resolução, o conjunto de parâmetros de qualidade de água de um corpo hídrico deve ser monitorado periodicamente, considerando também os parâmetros para os quais haja suspeita de presença ou mudança de determinados componentes, os quais indicam alterações prejudiciais ao meio ambiente

(PIMENTA et al.; 2009). Admite-se ainda que, em certas regiões do Brasil, as variáveis que indicam a qualidade da água podem oscilar de acordo com o período sazonal, especialmente representadas por ocorrências de seca, enchente e cheias (RÍOS-VILLAMIZAR et al.; 2011). Assim, fica evidente a necessidade do acompanhamento espaço-temporal no contexto da gestão dos recursos hídricos. No âmbito regional, o ideal de manutenção da qualidade das águas pode ser traduzido no gerenciamento dos mananciais hídricos, que passa pelo ordenamento dos recursos hídricos, ou seja, na questão da água, o conhecimento das atividades humanas e potencialidades dos mesmos recursos, permite sua classificação e visa à melhoria da qualidade ambiental (HOFF et al., 2008).

3.1.4 Qualidade da água para irrigação agrícola

Conceitualmente, a qualidade da água refere-se às características de uma fonte de água que irão influenciar a sua adequação para uso específico, ou seja, quão bem a qualidade atende às necessidades do usuário, definida por certas características físicas, químicas e biológica (AYERS e WESTCOT, 1994). Na avaliação da água de irrigação, a ênfase é colocada sobre as características químicas e físicas da água e só raramente são considerados outros fatores importantes, como as características microbiológicas e até mesmo radioativas.

As atividades agropecuárias, quando promovem a retirada da vegetação natural, expõem o solo a processos erosivos. Favorecem a ação do escoamento superficial e transporte de sedimentos, detritos orgânicos e inorgânicos para os cursos de drenagem, interferem na qualidade e promovem o assoreamento dos cursos d'água (NETTO et al., 2011).

A utilização de defensivos agrícolas e fertilizantes, quando em excesso, pode constituir o principal fator prejudicial de contaminação das águas, por meio do fenômeno de lixiviação (ANDRADE et al., 2011). Essa refere-se ao movimento descendente dos compostos químicos na matriz do solo ou com a água do solo, e que, como consequência, podem ser carregados até corpos hídricos, afetar as características físico-químicas do ambiente e ameaçar o ecossistema local e a potabilidade da água para o consumo do homem ou utilização na manutenção de culturas. Luiz et al. (2012) ressaltam a relação existente entre a manipulação de solos nas encostas e tais influências sobre composições hídricas. A erosão pode prejudicar ecossistemas aquáticos e áreas de produção e de captação de água que circundem o local, dentro de uma bacia.

Oliveira-Filho et al. (2011) informam que o uso de indicadores biológicos se tornou uma ferramenta importante para avaliação da qualidade hídrica, não apenas em relação à

proteção da saúde humana, mas também a preservação e manutenção da vida no ambiente.

Para Coletti et al., (2010), o conceito de qualidade não se restringe excepcionalmente à pureza, contudo, há vários parâmetros para tais análises, cujo monitoramento determina as características e o grau da qualidade em análise. De modo geral, um sistema de monitoramento consiste em amostragem, análise laboratorial, manuseio de dados, preparação de relatórios e utilização dos dados obtidos para efeito de tomada de decisão (MALUTTA, 2013).

A agricultura irrigada caracteriza-se pelo uso consuntivo e assim intensivo de exploração dos recursos naturais, na qual a água retirada de um ponto de captação será disponibilizada para outro. O fornecimento de água deve ser tal que permita a obtenção de um nível de produção adequado sob o ponto de vista econômico para que seja viável. Assim, a prática da irrigação na agricultura é dependente de um suprimento adequado de água, em quantidade suficiente ao bom desenvolvimento da planta, pois assegura a produtividade (AYERS e WESTCOT, 1994). Porém, consideram-se necessárias a averiguação da quantidade de água disponível e a qualidade da mesma ao fim que se destina.

Neste quesito, incluem-se os parâmetros físico-químicos e microbiológicos presentes na água que a caracterizam como água de boa qualidade ou não. A priori, as questões de qualidade de água têm sido muitas vezes tratadas com certa subjetividade, ou até mesmo desconsideradas nas práticas agrícolas, até mesmo por desconhecimento, a quantidade de água disponível passa a ser considerada como fator principal e os parâmetros de qualidade passam a ser abordados em segundo plano ou nem chegam a ser reconhecidos. Almeida Neto (2009) cita que a qualidade da água de irrigação refere-se aos efeitos ocorridos, em longo prazo, na produtividade das culturas, nas condições de solo e no manejo agrícola.

3.1.5 As atividades agropecuárias e as influências na qualidade da água

Ao se admitir que a qualidade da água está sujeita às diversas fontes de alterações, nas atividades agrícolas, destacam-se os usos excessivos de fertilizantes na agricultura, os quais, combinados com alterações de drenagem, podem aumentar consideravelmente e com rapidez os índices de estado trófico, incluindo as águas subterrâneas (TUNDISI, 2008). Nas atividades pecuárias, os dejetos, quando não devidamente tratados, podem constituir importante fonte de microrganismos patógenos.

O fósforo é um recurso essencial não renovável cuja liberação no meio ambiente causa sérios impactos negativos (MOLINOS-SENANTE et al., 2010) e assim como o nitrogênio, é também um dos fatores determinantes de eutrofização. De acordo com Jyothi

et al. (2012), a poluição por fosfato é um dos maiores problemas responsáveis por tal fenômeno e demais danos ambientais, cujas causas devem-se principalmente ao depósito de fertilizantes, detergentes, resíduos alimentares e excretas humanas e de demais animais. Enfatiza-se ainda a preocupação com o aumento das cargas de fósforo, particularmente fósforo reativo dissolvido de bacias hidrográficas altamente agrícolas (DALOĞLU et al., 2012). Ademais, é possível levar à proliferação de algas nocivas e consequente hipóxia em lagos.

O descarte dos compostos de fósforo em corpos d'água pode também estar relacionado ao uso de detergentes em pó, tendo como fonte o tripolifosfato de sódio (STPP, $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$). Esses fosfatos inorgânicos são importantes na composição dos detergentes, mas as consequências desses compostos nos corpos hídricos refletem na diminuição da dureza da água (SILVA et al. 2010).

Na atualidade, a recuperação do fósforo contido nas águas residuais por meio de processos de tratamento avançados tornou-se uma necessidade (MOLINOS-SENANTE et al., 2010) bem como da necessidade de reduzir os impactos antrópicos que levam à acumulação de quaisquer nutrientes em ecossistemas aquáticos (CONLEY et al., 2009). Contudo, a implementação de sistemas de otimização desses processos denota certa problemática em relação aos custos e investimentos financeiros. Jyothi et al. (2012) destacam importantes contribuições científicas para a remoção do poluente fosfato nas águas, seja por métodos tradicionais de remoção de fosfato que atuam no modo de precipitação química, seja por métodos inovadores utilizando bio-resíduos como adsorventes, já que os usos dos materiais, originários da flora e da fauna em sua forma nativa ou ativada por tratamento químico ou térmico, estão sendo estudados para controlar os poluentes nas águas residuárias.

O nitrato (NO_3^-) é um parâmetro de determinação importante, especialmente por ser um dos íons mais encontrados em águas naturais. Geralmente, encontra-se em baixos teores nas águas superficiais e pode atingir altas concentrações em águas profundas. A presença de nitrogênio inorgânico em água pode torná-la inadequada para o consumo e prejudicial para o meio ambiente (GAJARAJ et al., 2013). Em sua forma solúvel, constituída em parte pelo nitrato, apresenta-se prontamente disponível à vida aquática. O principal processo envolvido no transporte desse íon do solo para a água é a lixiviação, devido à baixa capacidade de retenção, na maioria dos solos. No entanto, perdas elevadas de NO_3^- em superfície podem ocorrer especialmente em eventos de precipitação, logo após a aplicação de fertilizantes orgânicos ou mineral.

As atividades pecuárias podem também contribuir para a poluição da água por meio dos dejetos que, quando não devidamente tratados, podem ser importantes fontes de microrganismos ao atingir os cursos d'água.

As análises qualitativa e quantitativa de coliformes totais e *Escherichia Colli* são de fundamental importância no que se referem às características microbiológicas da água. Em especial, a água doce é anfitriã de inúmeros microrganismos que podem afetar diretamente a saúde humana (ABABIAKA et al., 2012). Em países menos desenvolvidos, estima-se que 80% dos problemas de saúde decorrem da falta de água potável e saneamento adequado. E a contaminação microbiológica é apontada como a principal razão para a água ser considerada insegura. Batabyal et al. (2013) alertam para o fato de que os coliformes são importantes microrganismos vinculados à ocorrência de enfermidades diarreicas, figurando-se ainda como a principal causa de morbidade e mortalidade nos países em desenvolvimento.

Dentre os patógenos bacterianos, identificam-se os coliformes totais e termotolerantes que acometem casos de epidemia e endemia em escala mundial. Os Coliformes totais incluem espécies do gênero *Klebsiella*, *Enterobacter* e *Citrobacter*, e *Escherichia Colli*, encontrando-se como a principal representante do subgrupo termotolerante. Os coliformes totais são encontrados no solo e nos vegetais, com notável capacidade de se multiplicarem na água. No entanto, os coliformes termotolerantes não se multiplicam facilmente no ambiente externo e ocorrem na flora intestinal do homem e de animais de sangue quente. São capazes de sobreviver de modo semelhante às bactérias patogênicas, e assim, agem como potenciais indicadores de contaminação fecal e de patógenos entéricos em água fresca (PORTO et al., 2011).

Devido então à determinada importância, faz-se essencial a verificação da qualidade da água, a qual é identificada através de ensaios microbiológicos (método presuntivo), tais quais seguem como padrão a exigência de coleta de amostra e processamento em laboratórios. Os níveis de concentração dos coliformes são medidos a partir do parâmetro bacteriológico que prevê uma estimativa do grau de contaminação por fezes humanas, de animais e de outras bactérias presentes na vegetação e no solo (OLIVEIRA FILHO, 2012).

3.2 Geotecnologias

As Geotecnologias compreendem o estudo do espaço geográfico e dos aspectos ambientais nele inseridos, que podem ser trabalhadas de maneira mais ágil, fácil e rápida com as novas tecnologias. Assim, o desenvolvimento de pesquisas, as ações de planejamento, processos de gestão e o manejo entre outros aspectos relacionados à estrutura do espaço geográfico tornam-se essenciais à interdisciplinaridade, com um objetivo comum: atuarem diretamente com questões espaciais em diferentes áreas do conhecimento (FITZ, 2008).

O avanço das geotecnologias tem facilitado o planejamento e gerenciamento das informações geográficas, por conferirem certa facilidade, rapidez e razoável precisão na comparação de cenários (PARANHOS FILHO et al., 2008; GARCIA et al., 2014). A aplicação de geotecnologias tem servido para mapear, analisar e auxiliar a gestão dos recursos naturais presentes na área de estudo (FLAUZINO et al., 2010).

A estreita ligação entre as geotecnologias e as concepções científicas relacionadas à ciência geográfica visam direcionar o entendimento dos processos, procedimentos, análises, entre outros, vinculados aos Sistemas de Informações Geográficas e às Técnicas de Geoprocessamento (FITZ, 2008). As metodologias que utilizam a geotecnologia como ferramenta principal vêm se destacando e são a alternativa mais viável para se reduzir significativamente o tempo gasto com mapeamentos de áreas (LUPPI et al., 2015).

3.2.1 Geoprocessamento

O Geoprocessamento compreende um conjunto de tecnologias voltadas à coleta e ao tratamento de informações espaciais para um objetivo específico. Estas tecnologias permitem à manipulação, à análise, à simulação de modelagens e à visualização de dados georreferenciados. O geoprocessamento representa qualquer tipo de processamento de dados georreferenciados e inclui técnicas e conceitos de cartografia, sensoriamento remoto, e Sistema de Informações Geográficas (SILVA, 2003).

Dentre as importantes ferramentas utilizadas na atualidade, destacam-se as técnicas de geoprocessamento na análise de dados físicos espaciais, dentre eles os dados ambientais. As ferramentas de geoprocessamento têm sido usadas com êxito no controle e monitoramento ambiental (SANCHES DE OLIVEIRA et al., 2008). O uso destas ferramentas possibilita uma avaliação integrada dos sistemas naturais, com ágil aquisição de dados e, conseqüentemente, otimização nos estudos dos recursos naturais (REIS et al., 2008). O geoprocessamento tem possibilitado a sobreposição dos diversos planos de informação, auxilia no mapeamento e apoia a edição de mapas finais (HOFF et al., 2008).

A partir da utilização de ferramentas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica, as tecnologias de geoprocessamento vêm sendo cada vez mais aplicadas nas diversas áreas, tanto econômicas, quanto governamentais, pois fornecem bases adequadas para o planejamento e gestão de projetos (FARIAS et al., 2010). Assim, o Geoprocessamento é resultante de uma forte interação de tecnologias utilizada para interpretar, analisar e compreender o espaço em diferentes perspectivas.

Destaca-se a relevância da utilização do conhecimento da área do geoprocessamento, especificamente o SIG, especialmente, considerando a grande carência

de informações adequadas para a tomada de decisões sobre os problemas sociais, urbanos, rurais e ambientais. Assim, o geoprocessamento apresenta um enorme potencial para este auxílio, principalmente se baseado em tecnologias de custo relativamente baixo, em que o conhecimento seja adquirido localmente (LUCENA et al., 2012).

As ferramentas operacionais de Geoprocessamento são denominadas Sistemas de Informações Geográficas (SIG) que permitem realizar trabalhos complexos, por cruzamentos dos dados de diferentes fontes, criando bancos de dados georreferenciados. Além disso, geram novas informações, as quais, interpretadas convenientemente, servirão de fontes para as ações de planejamento e gestão.

3.2.2 Sensoriamento Remoto Orbital

O Sensoriamento Remoto Orbital tem se tornado uma ferramenta importante no monitoramento de fenômenos meteorológicos e ambientais, pois proporciona melhor avaliação, manejo, gerenciamento e gestão dos recursos naturais, como água, solo e vegetação (BEZERRA et al., 2011).

O Sensoriamento Remoto possibilita a aquisição e a análise das informações sobre o ambiente terrestre baseado no uso sistemático de sensores remotos, que se utiliza de fontes de radiação eletromagnética para captação da informação. A aquisição ou coleta de dados envolve uma fonte de radiação eletromagnética, normalmente o sol, e um sensor, que consiste em um dispositivo eletro-óptico-mecânico. A integração conjunta desses sensores com sistemas para processamento de dados e sistemas de análise interage em conjunto com o objetivo de estudar o ambiente terrestre pelo registro e a análise das interações entre a radiação eletromagnética e as propriedades físico-químicas de objetos de interesse da superfície terrestre ou de fenômenos dinâmicos, com base nas interações da radiação eletromagnética com os alvos e o meio ambiente (MENESES e ALMEIDA, 2012).

O Sensoriamento remoto é um instrumento de grande utilidade para o monitoramento de grandes áreas (MASCARENHAS et al., 2009). Destaca-se ainda a capacidade de aquisição repetitiva e rápida de uma grande quantidade de informações, com custo relativamente baixo, a alta resolução proveniente de diferentes tipos de sensores, com possibilidade de recobrimento de grandes áreas e a integração das técnicas de Sensoriamento Remoto Orbital com os Sistemas de Informações Geográficas (MENESES e ALMEIDA, 2012).

Dentre as principais contribuições do Sensoriamento Remoto Orbital, ressalta-se o uso potencial destas tecnologias para fornecer uma visão breve sobre o uso e cobertura da Terra no espaço geográfico considerado (MIURA et al., 2011). Ademais, atualmente, os dados de sensoriamento remoto se constituem em uma das principais fontes geradoras de

informações e alimentam banco de dados geográficos integrados em um sistema de informação geográfica para análises da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados (BACANI et al., 2015).

3.2.3 SISTEMA GLOBAL DE NAVEGAÇÃO POR SATÉLITE

Esse Sistema Global de Navegação por Satélite – GNSS (*Global Navigation Satellite System*) engloba o Sistema de Posicionamento Global – GPS (*Global Positioning System*) dos Estados Unidos; o Sistema de Navegação Global por Satélite – GLONASS (*Global'naya Navigatsionnay Sputnikovaya Sistema*) da Rússia; o Sistema de Posicionamento Global Galileo - GALILEO (*Galileo Positioning System*) da União Europeia e o BeiDou-2 – BDS (*Navigation Satellite System*) ou *Compass* – CNSS (*Compass Navigation Satellite System*) da China (MACHADO E MOLIN, 2011; WOLFGANG & BAUMANN, 2000; MONICO, 2007).

Desenvolvidos, inicialmente, para fins bélicos, os Sistemas de Navegação Global por Satélites - SNGS, ou *Global Navigation Satellite Systems* - GNSS resultaram em métodos de localização que influenciam e revolucionam inúmeras atividades e setores da economia, dentre eles a agricultura (MACHADO E MOLIN, 2011). Por isso, possibilitam simular aplicações agrícolas cinemáticas como mapeamento de colheitas, aplicação de insumos em taxa variável e navegações em campo (MACHADO et al., 2010).

3.2.4 Sistemas de Informações Geográficas

Imagens orbitais adquiridas por diversos tipos de satélite podem ser ferramentas úteis para avaliação da distribuição espacial e do status de componentes ambientais (MARTINI et al., 2006). Os dados obtidos por meio do sensoriamento remoto podem ser manipulados em Sistemas de Informações Geográficas – SIG que possibilitam a confecção de planilhas de dados, do uso de Sistemas de Posicionamento por satélite e dos processos de digitalização e vetorização de imagens (MATTOS et al., 2006).

As informações coletadas a partir das tecnologias de Geoprocessamento são processadas por Sistemas de Informações Geográficas computacionais destinados ao processamento de dados georreferenciados. Dessa maneira, o SIG compreende um conjunto de componentes que gerem os dados e a informação geográfica em um circuito que permite, dentre outras funções fundamentais, analisar, interpretar, decidir, agir, monitorar e disponibilizar informações georreferenciadas (COSME, 2012). A utilização de um SIG pressupõe a existência de um banco de dados georreferenciados e a manipulação

desses dados ocorre por meio de um Sistema Gerenciador de Banco de Dados de modo que os dados possam relacionar-se entre si. Assim, a estrutura de dados compreende dados espaciais e dados alfanuméricos que podem ser apresentados na forma de mapas, relatórios e arquivos digitais, com possibilidade de armazenamento, manipulação, análise e atualização a qualquer momento.

Ressalta-se ainda que os dados espaciais podem ser representados espacialmente, em estrutura vetorial ou matricial. A estrutura vetorial é composta por pontos, linhas e polígonos que utilizam um sistema de coordenadas para a sua representação. Os pontos são representados por apenas um par de coordenadas e as linhas e polígonos são representados por um conjunto de pares de coordenadas. Na estrutura matricial, a estrutura de dados é representada por uma matriz de linhas e colunas, na qual cada célula, denominada de *pixel* apresenta um valor que pode indicar, por exemplo, uma cor ou tom de cinza a ele atribuído (FITZ, 2008).

A utilização de um SIG torna-se uma ferramenta importante a ser usada no controle e monitoramento ambiental, visto que pode proporcionar, além do armazenamento de imagens e informações, o cruzamento desses, assim, ele permite uma visão mais ampla e precisa do local em estudo (SANCHES DE OLIVEIRA, 2008).

3.2.5 Geoprocessamento aplicado aos recursos naturais

A quantificação de parâmetros biofísicos de uma bacia hidrográfica pode ajudar a estabelecer condições de uso e ocupação sustentáveis. De maneira especial, a cobertura vegetal desempenha um papel significativo na redistribuição de umidade e calor na camada limite superficial e no balanço de energia da superfície terrestre. O equilíbrio térmico na superfície terrestre é mantido através de uma combinação de processos termodinâmicos e fisiológicos (HILKERA et al., 2013).

No contexto das bacias hidrográficas, o conhecimento das condições dessa unidade territorial pode contribuir com informações visando a uma maior eficiência das intervenções que venham a ser realizadas. Nessa perspectiva, os mecanismos de gestão dos recursos naturais devem considerar elementos importantes tais como a caracterização do ambiente em questão.

A partir de monitoramentos ambientais, é possível diagnosticar alterações antrópicas e naturais na paisagem e contribuir para o estabelecimento de políticas ambientais. Assim, a avaliação quantitativa de parâmetros como: Albedo; Temperatura da superfície e alguns índices de vegetação, obtidos por meio de instrumentos convencionais de medição, quando aplicados em escalas regionais, sem dúvida representariam grande dispêndio de recursos materiais e humanos (MACIEL DE OLIVEIRA et al., 2012).

Diante da escassez de dados meteorológicos de algumas regiões e da dificuldade de obtenção, de forma representativa, de alguns parâmetros biofísicos de superfície em escala regional, tem sido imprescindível a utilização das técnicas de Sensoriamento Remoto Orbital para a obtenção de informações de áreas extensas de forma rápida e efetiva, que permitam explorar as informações da superfície terrestre sob diferentes abordagens e performances, em nível de suporte, e contribuir para o planejamento e manejo ambiental sustentável (GARCÍA et al., 2013).

Neste sentido, a utilização das técnicas de Geoprocessamento e o Sensoriamento Remoto Orbital representam grande avanço para o monitoramento ambiental; permitem a gestão territorial com maior rapidez e os diagnósticos georreferenciados e precisos, com possibilidade de atualização frequente, inserção de novas variáveis a qualquer momento e cruzamento de informações.

A avaliação do albedo por imagens de satélite permitiria detectar variações espaço-temporais do albedo da superfície. Aumentos gradativos do albedo, numa sequência de imagens, principalmente nas áreas urbanas de uma área de estudo estariam relacionados à expansão territorial urbana dos municípios, que integram os limites de uma bacia hidrográfica.

Assim como a ocorrência de precipitações também pode afetar os valores do albedo, já que aquelas promovem redução da radiação refletida pelo solo e alteração no índice da área foliar da vegetação após um evento chuvoso. As alterações no albedo poderiam estar associadas às mudanças no uso e ocupação do solo, que inclusive podem trazer contribuições para alterar o microclima local. Áreas com maior incidência de ações antrópicas e solos expostos apresentam valores mais elevados do albedo da superfície (MACIEL DE OLIVEIRA et al., 2012).

Resultantes das técnicas de Sensoriamento Remoto Orbital, os índices de vegetação servem de parâmetro para o monitoramento da vegetação. Dentre os diversos índices destacam-se o EVI (*Enhanced Vegetation Index*) e o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*). O índice de vegetação EVI foi desenvolvido para aperfeiçoar o sinal da vegetação que está intimamente relacionado à umidade disponível no solo. A relação entre o índice de vegetação EVI e o NDVI com a precipitação tem demonstrado menores valores de EVI em períodos com menor precipitação (BECERRA et al., 2009; MACIEL DE OLIVEIRA et al., 2012). Deste modo, a condução de estudos envolvendo índices de vegetação, albedo e temperatura da superfície, observados por meio das tecnologias de Sensoriamento Remoto Orbital, permite identificar mais claramente tanto a variabilidade do uso e ocupação do solo na Bacia Hidrográfica como as variações temporais no uso e ocupação do solo em áreas urbanas e rurais.

3.2.6 Evapotranspiração e estimativa da produção de água

A condução de estudos relacionados à demanda hídrica em escala regional, que visem identificar variabilidades em escala espacial e temporal, é fundamental no diagnóstico e gerenciamento de bacias hidrográficas (ANDRADE et al., 2012). A redução da oferta de água doce é um problema mundial e a quantificação espacial detalhada da evapotranspiração está crescendo, assim como as demandas sobre os recursos hídricos estão sob crescente concorrência (ANDERSON et al., 2012). Além da competição pelo uso da água que deve atender a outros setores da sociedade (SILVA et al., 2012).

A melhoria do acesso à água é essencial. Acrescentam-se a isto os investimentos em ciência e tecnologia agrícola que, embasados em instrumentos legais, têm contribuído para a gestão das águas e consequentemente para atendimento das necessidades socioeconômicas nos diversos contextos agroecológicos. Assim, a gestão da água na agricultura pode contribuir para a melhoria das condições de vida (NAMARA et al., 2010).

Ainda que a produção mundial de alimentos ocorra majoritariamente no sistema de sequeiro, tem sido cada vez mais necessária a produção de alimentos a partir do uso das práticas de irrigação que chega a representar 70% da água doce consumida no planeta (ANA, 2012). O desafio principal é produzir mais alimentos com uso de menor quantidade de água (SILVA et al., 2012).

Não obstante às dificuldades de mensuração da quantidade de água destinada às práticas de irrigação, evidencia-se o aumento nas pressões econômicas sobre o uso dos recursos hídricos, nos sistemas de gestão das águas, sobretudo nas atividades agrícolas, que se caracterizam como maior usuário de água doce (FOLHES et al., 2009). A quantidade de água destinada a uma área agrícola irrigada pode ser estimada por mapeamentos de evapotranspiração apoiados no uso de produtos de Sensoriamento Remoto Orbital.

Conceitualmente, a evapotranspiração (ET) é a soma dos componentes de transpiração e evaporação. O seu reconhecimento é essencial por estabelecer o consumo de água pelas plantas e, por consequência, a lâmina de irrigação a ser requerida pelo sistema (MANTOVANI et al., 2009).

A ET_0 representa a evapotranspiração de referência (ou potencial) para uma cultura hipotética, mantida sob condições ideais de crescimento. A ET_0 representa a quantidade de água necessária, incluindo o processo de perda de água para a atmosfera, por uma superfície natural com cobertura vegetal, padrão, sem restrição hídrica para atender às necessidades da evaporação do solo e da transpiração da planta.

O método de Penman-Monteith (MONTEITH, 1965) tem sido referenciado como a equação padrão para estimativa da ET_0 , por apresentar melhores desempenhos quando comparado às mensurações pela Equação de Hargreaves (1985), Método do Tanque

Classe A ou em lisímetros. Porém, a indisponibilidade de dados meteorológicos restringe o uso do método de Penman-Monteith e, por conseguinte, a adoção de métodos que envolvam a análise de um número menor de variáveis.

A evapotranspiração real (ET_r) constitui a perda de água de uma superfície natural, em qualquer condição de umidade e de cobertura vegetal. Em geral, o conhecimento da ET_r ao nível das culturas e da vegetação é de fundamental importância em atividades ligadas à gestão de bacias hidrográficas, em modelagens meteorológica e hidrológica e, sobretudo, no manejo hídrico da agricultura irrigada (BEZERRA et al., 2008).

A utilização de índices derivados de imagens de satélite que refletem a diferença entre evapotranspiração real e de referência ocorre globalmente para identificar os déficits hídricos e as causas da baixa produção de alimentos (ANDERSON et al., 2012). Os métodos que calculam ET_r a partir de imagens de satélites se mostram muito úteis, pois são capazes de propiciar sua determinação em áreas com grande heterogeneidade e dimensão (BEZERRA et al., 2008).

A obtenção de diagnósticos georreferenciados podem subsidiar estimativas de ET que possam ser usadas para inferir as condições de umidade do solo. Estas estimativas podem trazer valiosas contribuições, haja vista a importância com que essas possam ser utilizadas em modelos de previsão de cheias para muitas aplicações de políticas governamentais (ANDERSON et al., 2012).

Para que seja possível uma adequada gestão desses recursos, é fundamental o conhecimento sobre a oferta e a demanda hídrica (SANO et al., 2005). Informações precisas sobre o consumo de água para fins de irrigação têm sido uma necessidade crítica na gestão de recursos hídricos. A quantificação do consumo de irrigação é cada vez mais necessária quando os recursos hídricos estão sob mais e mais competição por vários usuários e como o comércio de água em todos os setores, como as necessidades da área urbana, industriais e agrícolas (FOLHES et al., 2009).

Estimativas de Evapotranspiração potencial, remotamente detectadas, podem ser utilizadas como instrumento de gestão, pois subsidiam o desenvolvimento de estimativas para cobrança do uso dos recursos hídricos. Neste contexto de gestão, o reconhecimento da disponibilidade dos recursos hídricos serviria para o monitoramento e prevenção da exaustão dos aquíferos. Tais ações visariam garantir o cumprimento de direitos de uso da água nos seus usos múltiplos (ANDERSON et al., 2012).

No intuito de contribuir com informações sobre a eficiência do sistema de irrigação, o uso do Sensoriamento Remoto Orbital tem sido proposto para levantamento da evapotranspiração real (ET_r) das culturas e da eficiência do sistema de irrigação empregado. Assim, nas duas últimas décadas, foram desenvolvidas diferentes técnicas de Sensoriamento Remoto Orbital com vistas à determinação da ET_r (SILVA et al., 2012).

Dentre estas técnicas destacam-se o SEBAL – *surface energy balance algorithm for land* (BASTIAANSEN et al., 1998) e o METRIC – *mapping evapotranspiration with internalized calibration* (ALLEN et al., 2007).

Devido à grande heterogeneidade das características da superfície da terra, tais como vegetação, topografia e solo (NETELER, 2010), a temperatura da superfície da terra muda rapidamente em escala espacial e temporal. Para uma caracterização adequada da distribuição da temperatura da superfície da terra, assim como a determinação dos processos físicos de energia de superfície e balanço de água no local, requer medidas com informações detalhadas numa amostragem espacial e temporal (LI et al., 2013).

Na condução de estudos que visem determinar a evapotranspiração (ET) com base na equação do balanço de energia da superfície e em técnicas de Sensoriamento Remoto Orbital, a partir de imagens orbitais, são utilizados algoritmos e modelos.

A quantificação da ET em áreas sob cultivo irrigado é vital para gestão dos recursos hídricos. O reconhecimento detalhado através de mapas e diagnósticos georreferenciados permite aos gestores alocar mais criteriosamente a água disponível entre os usos agrícolas, urbanos e industriais. Dessa maneira, a análise espacial sobre a distribuição do uso da água, quantificada na escala de influência humana, tem sido uma necessidade crítica de longa data para ampla gama de aplicações (ANDERSON et al., 2012). Essas ferramentas computacionais do Geoprocessamento têm sido essenciais para auxiliar a gestão dos recursos hídricos, pois subsidiam o monitoramento operacional no planejamento, controle e até mecanismos para a cobrança pelo uso da água (FOLHES et al., 2009).

3.2.7 Estimativas de produtividade da água em Bacias Hidrográficas

A água é um recurso natural que apresenta os mais variados usos e é indispensável ao desenvolvimento humano (OLIVEIRA e FIOREZE, 2011). Na atualidade, uma das maiores demandas ambientais consiste no desenvolvimento de estudos que envolvem o processo de formação do escoamento e fornecem subsídios para a tomada de decisões por parte dos responsáveis pela gestão dos recursos hídricos (PEREIRA et al., 2007).

Diversas têm sido as pressões para a aplicação de ferramentas que possam servir a gestão de recursos hídricos. Assim, o uso potencial de um modelo, obtido com auxílio das ferramentas de Geoprocessamento tem se destacado como método alternativo para estimar o consumo de água, principalmente em perímetros irrigados (FOLHES et al., 2009), especialmente pelo fato de que as atividades agrícolas possam requerer volumes significativos deste recurso.

A quantificação da evapotranspiração (ET) ao nível de microbacias é importante para a condução de estudos sobre a gestão de direitos de uso da água, desenvolvimento das ações de planejamento de recursos hídricos e mecanismos de regulação da água.

As combinações de parâmetros obtidos por Sensoriamento Remoto Orbital e variáveis agrometeorológicas podem subsidiar decisões gerenciais, pois incluem a identificação dos desempenhos no manejo de irrigação sobre o uso da água. Assim como o uso das tecnologias racionais disponíveis que visam à produtividade da água e dos impactos nos recursos hídricos, consideram-se a intensificação da agricultura irrigada e as rápidas mudanças no uso da terra. Portanto, a condução de estudos que visem à modelagem da evapotranspiração é essencial, por contribuir com informações que possam abranger escalas regionais.

O reconhecimento da disponibilidade de recursos hídricos de determinada microbacia e das necessidades requeridas no âmbito desta microbacia seja para atendimento das atividades no uso urbano ou rural, em especial quando destinada à prática de irrigação, haja vista que sua elevação ao nível de bacias hidrográficas significa que uma menor quantidade de água ficará disponível para o uso humano, animal e no equilíbrio ambiental desta microbacia.

3.3 Monitoramento ambiental de áreas irrigadas

A prática de irrigação consiste em uma forma de aplicação artificial de água ao solo, em volumes adequados, que proporcionam umidade necessária para o desenvolvimento das plantas. Tal prática é adequada para suprir a falta de água e também a má distribuição das chuvas.

Os solos, quando submetidos à prática da irrigação, estão sujeitos a se tornarem salinos, de maneira especial quando não são adotados procedimentos de manejo correto da irrigação e drenagem funcional adequada para os fins aos quais se destina o uso do solo (SANTOS et al., 2013).

A salinidade dos solos pode afetar o crescimento, o desenvolvimento e o rendimento das culturas, especialmente por íons de Cloro e Sódio. A recuperação destes solos, em grau avançado de salinidade pode demandar onerosos e demorados processos com tecnologias sofisticadas (DIAS e BLANCO, 2010). Dessa forma, a adoção de tecnologias adequadas e compatíveis com o solo, as culturas e as condições do ambiente é considerada como a melhor alternativa para assegurar o uso do solo pela agricultura de forma ambientalmente sustentável.

Em muitas áreas de produção, o uso de água de baixa qualidade para irrigação e a aplicação de quantidades excessivas de fertilizantes são as principais razões para o problema do aumento da salinidade do solo (PORTO FILHO et al., 2011). Nas plantas, os efeitos da salinização resultam em dificuldades de absorção de água, pela toxicidade de íons específicos e pela interferência dos sais nos processos fisiológicos, os quais implicam em redução de crescimento e desenvolvimento das plantas. No solo, os efeitos negativos da salinização incluem a alteração da densidade aparente do solo e da retenção de água do solo, com possibilidade de redução da taxa de infiltração de água pelo excesso de íons e diminuição da fertilidade físico-química (DIAS e BLANCO, 2010).

Basicamente, os efeitos tóxicos ocorrem pelos íons cloreto, Sódio e Boro, quando as plantas absorvem os sais do solo, juntamente com a água. O íon cloreto não é armazenado nem fixado pelas partículas do solo. Por isso, é facilmente deslocado com a água do solo, absorvido pelas raízes e translocado para as folhas, onde se acumula pela transpiração. A toxidez por esse íon resulta na queima do ápice das folhas e queda prematura. A toxicidade ao sódio ocasiona queimaduras ou necrose ao longo das bordas das folhas, que se espalham progressivamente na área internervural até o centro das folhas. A toxidez ao íon sódio tem sido identificada como resultado de elevada proporção de sódio na água, a partir da determinação do parâmetro RAS – Razão de Absorção de Sódio.

E, por fim, o íon Boro embora seja essencial ao desenvolvimento das plantas, as quantidades requeridas são relativamente pequenas. De modo geral, a toxicidade a esse íon tem sido referenciada à presença na água do que no solo e os sintomas incluem manchas amarelas ou secas, principalmente nas bordas e no ápice das folhas velhas. Também pode se estender pelas áreas internervurais até o centro das folhas.

A concentração salina de águas utilizadas para a prática de irrigação pode ser reconhecida em termos quantitativos pela avaliação da condutividade elétrica. Sobre tudo a presença dos íons Sódio, Cloro, Boro, Potássio, Cálcio e Magnésio deve ser averiguada durante o monitoramento da qualidade da água utilizada para fins de irrigação. Contudo, a gestão da salinidade do solo e da água necessita de abordagem integrada, além de considerar diferentes técnicas, aspectos socioeconômicos e ambientais, em vários níveis geográficos (BELTRAN, 2010).

Comumente, formas alternativas para recuperação de áreas salinizadas têm sido aplicadas, tais como o uso de vegetação halófitas, aplicação de corretivos químicos e orgânicos e remediação mecânica, utilizando escavação e remoção do solo afetado por sais (SOUZA et al., 2011). Essas, dentre outras medidas de recuperação, contribuem para a melhoria da produtividade e sustentabilidade dos sistemas de manejo do solo.

3.4 Análise estatística multivariada no estudo de variáveis ambientais

As técnicas de estatística multivariada têm sido utilizadas em análises de dados de pesquisas que envolvem a medição de um grande número de variáveis-resposta. Com o propósito de sintetizar/simplificar esses conjuntos de dados, as técnicas de estatística multivariada além de melhorarem a interpretação as análises de componentes principais (ACP), Análise Fatorial (AF), Análise de Correlações Canônicas (CCA), Análise de Agrupamento (AA), Análise Discriminante (AD) e Análise de Correspondência (CA) têm sido comumente utilizadas em análises de dados ambientais (MINGOTI, 2007).

Essas técnicas possibilitam sintetizar a informação original; com a possibilidade de construir-se grupos de elementos amostrais que apresentem similaridade entre si. E permitam a segmentação do conjunto de dados originais e investigar as relações de dependência entre as variáveis respostas associadas ao fenômeno e a outras variáveis explicativas, com base nos objetivos e em resposta a possíveis hipóteses da pesquisa.

3.4.1 Análise de Componentes Principais

A ACP tem como principal objetivo explicar a estrutura de variância e covariância de um vetor aleatório, composto aleatório com p -variáveis, a partir da construção de combinações lineares das variáveis originais, denominadas componentes principais e que não são correlacionadas entre si. O intuito é reduzir o número de variáveis a serem avaliadas e assim melhorar a interpretação pelas combinações lineares construídas, de modo que a informação contida nas p -variáveis originais é substituída pela informação contida nas componentes principais não correlacionadas e que explicam praticamente a mesma quantidade de informação das dimensões anteriores (MINGOTI, 2007). A análise de componentes principais pode ser utilizada mesmo se a suposição de normalidade dos dados não seja atendida (FRANÇA, 2009).

Embora a ACP seja amplamente utilizada, algumas críticas têm sido levantadas quanto ao seu uso quando o objetivo é apenas a ordenação dos dados amostrais. De modo geral, pela ACP, nenhuma medida de variabilidade é calculada, para que possa expressar a confiabilidade da classificação final. Desde modo, duas variáveis podem ter escores muito similares, mas poderão estar em componentes diferentes. Outra dificuldade refere-se ao fato de que as componentes principais se alteram quando transformações são efetuadas nos dados originais e que, conseqüentemente, resultariam na alteração da classificação final dos elementos amostrais (MINGOTI, 2007). Assim, o emprego da Análise de Componentes Principais é uma importante ferramenta para análise exploratória dos dados multivariados,

podendo ser utilizada em conjunto com outras técnicas como a Análise Fatorial, Análise de Agrupamento e Análise Discriminante para corroborar com as interpretações.

3.4.2 Análise Fatorial

O objetivo principal da Análise Fatorial (AF) é descrever a variabilidade original de um vetor aleatório, em termos de um número menor de variáveis aleatórias, que são denominadas de fatores comuns e estão relacionadas com o vetor original a partir de um modelo linear. Assim, parte da variabilidade é atribuída aos fatores comuns e o restante da variabilidade é atribuído às variáveis que não foram incluídas no modelo ou ainda, ao erro aleatório (MINGOTI, 2007).

Com a aplicação da Análise Fatorial, espera-se que as variáveis originais sejam agrupadas em subconjuntos de novas variáveis mutuamente não correlacionadas. Assim, a análise de variáveis ambientais que envolve um grande número de variáveis medidas e correlacionadas entre si, seria possível, a partir da análise fatorial, quando se identifica um número menor de novas variáveis alternativas (chamadas de fatores ou variáveis latentes), não correlacionadas e que, de algum modo, sumarizassem as informações principais das variáveis originais.

O primeiro passo para conduzir a Análise Fatorial é estimar a matriz de correlação teórica, através da matriz de correlação amostral. Para estimação do número de fatores, será necessário extrair os autovalores da matriz e ordená-los em ordem decrescente. E os mais importantes em termos de grandeza numérica seguirão os seguintes critérios: i) análise da proporção da variância total relacionada com cada autovalor; ii) comparação do valor numérico, na qual o valor de fatores será igual ao número de autovalores (Regra de Kaiser, 1958); observação do gráfico *scree-plot* (CATTELL, 1966) que dispõe os valores de cada autovalor, ordenados em ordem decrescente. Neste critério, busca-se no gráfico um ponto de salto que representaria decréscimo de importância em relação à variância total. O valor do número de fatores seria, então, igual ao número de autovalores anteriores ao ponto de salto (MINGOTI, 2007).

3.4.3 Análise de Correlações Canônicas

O objetivo principal da Análise de Correlações Canônicas (CCA) é observar as relações multidimensionais lineares existentes entre dois grupos ou conjunto de variáveis, definidas como combinações lineares dos valores em cada um dos conjuntos (BRUM et al.,

2011). Basicamente, esta análise busca resumir a informação de cada conjunto de variáveis-resposta em combinações lineares, posto que a escolha dos coeficientes dessas combinações é feita tendo-se como critério a maximização da correlação entre os conjuntos de variáveis-resposta. As combinações lineares que podem ser construídas são chamadas de variáveis canônicas, enquanto a correlação entre elas é chamada de correlação canônica. De modo que essa correlação expresse o grau de associação existente entre os dois conjuntos de variáveis (WRUBLACK, 2012).

Em cada estágio do procedimento, duas combinações lineares são construídas, uma relativa às variáveis que estão no vetor x e outra relativa às variáveis que estão no vetor Y . Assim, em cada estágio do procedimento, será construído um par de variáveis canônicas. A técnica de correlações canônicas assegura que as variáveis canônicas de um par não são correlacionadas com as variáveis canônicas de outro par (MINGOTI, 2007).

Se os vetores X e Y forem independentes, entre si, ou não correlacionados, a análise canônica será inútil, pois terão correlação zero para qualquer escolha dos vetores.

A Análise de Correlações Canônicas difere das Análises de Componentes Principais e Fatoriais, pois podem ser aplicadas em um único conjunto de variáveis-resposta. Wrublack (2012), em estudos sobre a qualidade da água, aplicou as técnicas de ACP e AF para identificar quais parâmetros, físicos, químicos ou biológicos explicariam a maior variabilidade na qualidade da água. Assim, a autora aplicou a Análise de Correlações Canônicas para verificar se o uso e a ocupação do solo tiveram influência nos parâmetros de qualidade da água.

3.4.4 Análise de Agrupamentos

A Análise de Agrupamentos (AA), ou análise de conglomerados ou cluster, tem como objetivo dividir os elementos da amostra, ou população em grupos de forma que os elementos pertencentes a um mesmo grupo sejam semelhantes entre si em relação às características (variáveis) sob estudo e que os elementos em grupos diferentes sejam heterogêneos em relação a essas mesmas características.

As técnicas para a construção de Conglomerados (Clusters) são frequentemente classificadas em dois tipos: técnicas hierárquicas (aglomerativas e divisivas) e não hierárquicas. As técnicas hierárquicas, na maioria das vezes, são utilizadas em análises exploratórias dos dados com o intuito de identificar possíveis agrupamentos e o valor provável do número de grupos. Já para o uso de técnicas não hierárquicas, é necessário que o valor do número de grupos já esteja pré-especificado pelo pesquisador (MINGOTI, 2007).

3.4.5 Análise Discriminante

A Análise Discriminante (AD) é uma técnica estatística multivariada que pode ser utilizada para classificação de elementos de uma amostra ou população por permitir a identificação de dos fatores que apresentam maior capacidade de predição em relação ao fenômeno em estudo (GONÇALVES et al., 2008). Para sua aplicação, é necessário que a divisão dos elementos amostrais nos grupos seja predefinida, considerando-se as suas características gerais.

Qualquer divisão exige o uso de critérios e muitas vezes, os grupos são construídos com base em atributos. O emprego da análise de cluster pode auxiliar na formação de grupos iniciais, pois possibilita a utilização de variáveis bases para obtenção da divisão da população em grupos e posteriormente aplica a análise discriminante para avaliar o poder de discriminação, considerando as outras variáveis que não participaram do processo de divisão dos dados em grupos (MINGOTI, 2007; GONÇALVES et al., 2008).

Na Análise Discriminante, a comparação do elemento amostral em relação aos grupos é, em geral, feita através da construção de uma regra matemática de classificação, ou discriminação fundamentada na teoria das probabilidades. Por caracterizar-se como análise classificatória, admite-se que a Análise Discriminante pode ser utilizada em conjunto com outras técnicas estatísticas multivariadas, como a Análise de Componentes Principais e Análise de Agrupamento (cluster), para contribuir com a interpretação.

3.4.6 Análise de Correspondência

A verificação de associação entre variáveis que são categóricas e geram as tabelas de contingência pode ser mensurada pela Análise de Correspondência, que é um método de estatística multivariada utilizada para avaliar se a informação contida nas linhas da tabela é independente ou não da informação contida nas colunas, permitindo a verificação da ocorrência de gradientes ambientais na ordenação das amostras (MEIRELES et al., 2008). Wrublack (2012) utilizou-se desta técnica de Análise de Correspondência (CA) para ordenar as propriedades de acordo com as classes de maior ocupação do solo. Os eixos de ordenação obtidos foram resultantes da prevalência (abundância) em valores percentuais dos diferentes usos e ocupações do solo e das propriedades rurais como unidades amostrais.

Outro método de análise de dados multivariados é a Análise Fatorial de Correspondência Múltipla (ACM), este método multidimensional permite estudar uma população de n indivíduos por p variáveis qualitativas. O propósito da Análise Fatorial é

reduzir a dimensionalidade, mantendo a maior quantidade de informação possível, e ainda, encontrar as melhores representações gráficas para a estrutura multidimensional dos dados (SANTOS et al., 2009).

A Análise de Correspondência e a Análise Fatorial de Correspondência Múltipla constituem métodos úteis para a análise de dados multivariados. Ressalta-se ainda que tais técnicas expressam uma relação direta com a estatística qui-quadrado e podem ser aplicadas às tabelas de contingência multidimensionais.

3.4.7 Análise de Redundância

A Análise de Redundância (RDA) é uma técnica de análise estatística multivariada que tem possibilitado conhecer e analisar a correlação entre variáveis explicativas e explanatórias. O objetivo desta técnica estatística consiste em correlacionar simultaneamente diversas variáveis, ditas dependentes com diversas variáveis métricas, que possam ser atribuídas como independentes. Nessa concepção, a RDA tem o intuito de apresentar uma estrutura que maximize o relacionamento entre os grupos de variáveis dependentes e independentes (FONSECA, 2006).

A RDA tem sido utilizada em estudos das características naturais e de uso e ocupação do solo em bacias hidrográficas, sobretudo na análise da poluição difusa, apoiada nas técnicas de geoprocessamento (FONSECA e ZEILHOFER, 2007). Dessa maneira, as correlações lineares podem ser utilizadas para investigar correlação entre variáveis explicativas, como categorias de uso e ocupação do solo, graus de orientação do terreno, tipos de solo, etc. sobre os parâmetros de qualidade da água, definidos como variáveis exploratórias.

3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU B. S; ABREU I. G. Educação ambiental e a gestão participativa dos recursos naturais: inter-relação necessária para o surgimento de um novo paradigma; **Polêmica**, v. 11, n. 3 , julho/setembro 2012.

AGBABIKA, T. O.; OYEYIOLA, G. P. Microbial and physicochemical assessment of Foma River, Itanmo, Ilorin, Nigeria: an important source of domestic water in Ilorin metropolis. **International Journal of Plant. Animal and Environmental Sciences**, v. 2, n. 1, jan-mar, 2012.

ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; TREZZA, R. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) – model. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.133, p.380-394, 2007.

ALMEIDA NETO, O. B.; MATTOS, A. T.; ABRAHÃO, W. A. P.; COSTA, L. M.; DUARTE, A. Influência da qualidade da água de irrigação na dispersão da argila de Latossolos. **Rev. Bras. Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 6, 2009.

ANA - Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: Informe 2012**. Edição Especial. Brasília: ANA, 2012.

ANDERSON, M. C.; ALLEN, R. G.; MORSE, A.; KUSTAS, W. P. Use of Land thermal imagery in monitoring evapotranspiration and managing water resources. **Remote Sensing of Environment**. v. 122, p. 50-65, 2012.

ANDRADE, A. S.; REIS, M. R. dos; DRUMOND, L. C.; CAIXETA, S. P.; RONCHI, C. P.. Potencial de lixiviação de herbicidas em solos agrícolas na região do Alto Paranaíba (MG). **Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, v. 21, Minas Gerais, 2011.

ANDRADE, R. G.; SEDIYAMA, G. C.; PAZ, A. R.; LIMA, E. P.; FACCO, A. G. Geotecnologias aplicadas à avaliação de parâmetros biofísicos do Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 9, p. 1227-1234, set. 2012.

APHA; AWWA; WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20 ed. Washington: American Public Health Association, 1998, 937 p.

AUGUSTO, L. G. S.; GURGEL, I. G.; CÂMARA NETO, H. F.; MELO, C. H.; COSTA, A. M. O contexto global e nacional frente aos desafios do acesso adequado à água para consumo humano. **Revista Ciência & Saúde Coletiva**, v. 17, n. 6, 2012.

AYERS, R. S; WESTCOT, D. N. (ORG) FAO – Organização das Nações Unidas para a Agricultura e alimentação – **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande – PB: UFPB, (Estudos FAO irrigação e drenagem, n.29, revisado). 218 p. 1994.

BACANI, V. M.; SAKAMOTO, A. Y.; LUCHIARI, A.; QUÉNOL, H. Sensoriamento remoto e SIG aplicados à avaliação da fragilidade ambiental de bacia hidrográfica. **Mercator**, Fortaleza, v. 14, n. 2, p. 119-135, 2015.

BASTIAANSEN, W.G.M.; MENENTI, M.; FEDDES, R.A.; HOLSLAG, A.A.M. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL) – 1. Formulation. **Journal of Hydrology**, v.212, p.198-212, 1998.

BATABYALA, P.; MOOKERJEE, S.; SURB, D.; PALITA, A. Diarrheogenic *Escherichia coli* in potable water sources of West Bengal, India. **Acta Tropica**, n. 127, p. 153-157, 2013.

BECERRA, J. A. B.; SHIMABUKURO, Y. E.; ALVALÁ, R. C. Dos S. Relação do padrão sazonal da vegetação com a precipitação na região do Cerrado da Amazônia Legal, usando índices espectrais de vegetação. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, p.125-134, 2009.

BEZERRA, B. G.; SILVA, B. B. da; FERREIRA, N. J. Estimativa da evapotranspiração real diária utilizando-se imagens digitais TM - Landsat 5. **Revista brasileira meteorologia** [online]. v. 23, n. 3, p. 305-317. 2008. ISSN 0102-7786. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-77862008000300005>.

BEZERRA, M. V. C.; SILVA, B. B.; BEZERRA, B. G. Avaliação dos efeitos atmosféricos no albedo e NDVI obtidos com imagens de satélite. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 7, 2011.

BELTRÁN, J. M. **Integrated approach to address salinity problems in irrigated agriculture**. p. 3-8. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza, Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade - INCT Sal, 2010. 471 p.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução no. 357 de 17 de março de 2005**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf> Acesso em: 12 de dezembro de 2015.

BRASIL. **Lei nº. 4.771 de 15 de setembro de 1965. Código Florestal Brasileiro**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L4771.htm Acesso em: 10 de julho de 2015.

BRASIL. **Lei nº. 7.803 de 18 de julho de 1989**. Disponível em: Acesso em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l7803.htm Acesso em: 20 de novembro de 2015.

BRASIL. **Novo código Florestal Federal. Lei nº. 12.651/2012**. Disponível em: Acesso em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm Acesso em: 17 de julho de 2015.

BRUM, B.; LOPES, S. J.; STORCK, L.; LÚCIO, A. D.; OLIVEIRA, P. H.; MILANI, M. Correlações canônicas entre variáveis de semente, plântula, planta e produção de grãos em mamoneira. **Revista Ciência Rural**, v. 41, n. 3, Santa Maria, p. 404-411, 2011.

CALDERANO FILHO, B.; POLIVANOV, H.; GUERRA, A. J. T.; CHAGAS, C. S.; CARVALHO JÚNIOR, W.; CALDERANO, S. B. Estudo geoambiental do município de Bom Jardim – RJ, com suporte de Geotecnologias: Subsídios ao planejamento de paisagens rurais montanhosas. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 22, n. 1, p. 55-73, abr. 2010.

CATTELL, R. B. This Week's citation classic: The screen test for the number of factors. **Multivariate Behavior**. Res. 1: 245-76, University of Illinois, Urbana-Champaign, Il, 1966.

COLETTI, C.; TESTEZLAF, R.; RIBEIRO, T. A. P.; SOUZA, R. T. G. de; PEREIRA, D. de A. Water quality index using multivariate factorial analysis. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.** v. 14, n. 5 Campina Grande, 2010.

CONLEY, D. J.; PAERL, H. W.; HOWARTH, R. W.; BOESCH, D. F.; SEITZINGER, S. P.; HAVENS, K. E.; LANCELOT, C.; LIKENS, G. E. Controlling Eutrophication: Nitrogen and Phosphorus. **Science**, v. 323, fev. 2009.

COSME, A. **Projeto em Sistemas de Informação Geográfica**. Lisboa: Lidel, 2012.

DALOĞLU, I.; CHO, K. H.; SCAVIA, D. Evaluating causes of trends in long-term dissolved reactive phosphorus loads to Lake Erie. **Environmental Science & Technology**, n. 46, v. 19, 2012.

DIAS, N. S.; BLANCO, F. F. Efeitos dos sais no solo e na planta. p. 130-142. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza, Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade - INCT Sal, 2010. 471 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2ª Ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

FARIAS, E. G. G.; LORENZZETTI, J. A.; MAIA, L. P.; GASTÃO, F. G. C.; BEZERRA, L. C. Uso de técnicas de Geoprocessamento na identificação de áreas favoráveis ao cultivo de macroalgas marinhas. **Revista Brasileira de Engenharia de Pesca**, v. 5, n. 3, 2010.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FLAUZINO, F. S.; AMORIM SILVA, M. K.; NISHIYAMA, L.; ROSA, R. Geotecnologias Aplicadas à Gestão dos Recursos Naturais da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba no Cerrado Mineiro. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 22, n. 1, p. 75-91, 2010.

FOLHES, M. T.; RENNO, C. D.; SOARES, J. V. Remote sensing for irrigation water management in the semi-arid Northeast of Brazil. **Agricultural Water Management**. V. 96 p. 1398-1408, p. 2009.

FONSECA, G. P. S. **Análise da poluição difusa na bacia do rio Teles Pires com técnicas de geoprocessamento**. 171f Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal do Mato Grosso, 2006.

FONSECA, G. P. S.; ZEILHOFER, P. **Técnicas de geoprocessamento aplicadas na análise de poluição difusa da bacia do Rio Teles Pires – MT**. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Florianópolis, p. 2597-2604, 2007.

FRANÇA, M. S. **Análise estatística multivariada dos dados de monitoramento de qualidade de água da bacia do Alto Iguaçu: Uma ferramenta para a gestão de recursos hídricos**. 2009. 150f. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. CURITIBA: Universidade Federal do Paraná, 2009.

GAJARAJ, S.; FAN, C.; LIN, M. S.; HU, Z. Q. Quantitative detection of nitrate in water and wastewater by surface-enhanced Raman spectroscopy. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 185, n. 7, p. 5673-5681, 2013.

GARCIA, A. S.; ACORCI FILHO, L. C.; GARCIA, S. D. Integrando ecologia, economia e geotecnologia em tomadas de decisão. **Revista Interações** (Campo Grande), v. 15, n. 2, 2014.

GARCÍA, M.; SANDHOLT, I.; CECCATO, P.; RIDLER, M.; MOUGIN, E.; KERGOAT, L.; MORILLAS, L.; TIMOUK, F.; FENSHOLT, R.; DOMINGO, F. Actual evapotranspiration in drylands derived from in-situ and satellite data: Assessing biophysical constraints. **Remote Sensing of Environment**, v. 131, p. 103-118, 2013.

GONCALVES, C. A.; DIAS, A. T.; MUNIZ, R. M. Análise discriminante das relações entre fatores estratégicos, indústria e desempenho em organizações brasileiras atuantes na indústria manufatureira. **Revista de Administração Contemporânea** [online]. v. 12, n. 2, p. 287-311, 2008.

HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. Reference crop evapotranspiration from temperature. **Applied Engineering Agriculture**, v. 1, n. 2, p. 96-99, 1985.

HILKERA, T.; HALLB, F. G.; COOPSC, C. N.; COLLATZB, J. G.; BLACKD, A. T.; TUCKERB, J. C.; SELLERSB, P. J. GRANTD, N. Remote sensing of transpiration and heat fluxes using multi-angle observations. **Remote Sensing of Environment**. v. 137, p. 31-42, 2013.

HOFF, R.; VACCARO, S.; KROB, A. J. D. Aplicação de geotecnologias – detecção remota e geoprocessamento – para a gestão ambiental dos recursos hídricos superficiais em Cambará do Sul, RS, Brasil. **Revista de Estudos Politécnicos**, v. 6, n. 10, 2008.

JYOTHI, M. D.; KIRAN, K. R.; RAVINDHRANATH, K. New bio-sorbents in the control of phosphate pollution in wastewaters. **International Journal of Applied Environmental Sciences**, v. 7, n. 2, p. 127-140, 2012.

KAY, D. Water Management. **International Encyclopedia of Human Geography**, p. 207-214, 2009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-008044910-4.00588-5>

LEITE, M. E; LEITE, M. R.; CLEMENTE, C. M. S; o uso do solo e o conflito por água no alto rio riachão – norte de minas gerais: uma análise auxiliada pelas geotecnologias; **Rev. Geogr. Acadêmica** v. 4, n. 1, 2010.

LI, Z.-L. ; T. B.-H.; WU, H.; REN, H.; YAN, G.; WAN, Z. TRIGO, I. F.; SOBRINO, J. A. Satellite-derived land surface temperature: Current status and perspectives. **Remote Sensing of Environment**. v. 131, p. 14-37, 2013.

LUCENA, K. D. T.; SILVA, A. T. M. C.; MORAES, R. M.; SILVA, C. C.; BEZERRA, I. M. P. Análise espacial da violência doméstica contra a mulher entre os anos de 2002 e 2005 em João Pessoa, Paraíba, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 28, n. 6, 2012.

LUÍZ, A.M.E.; PINTO, M.L.C.; SCHEFFER, E.W. de O. Parâmetros de cor e turbidez como indicadores de impactos resultantes do uso do solo, na bacia hidrográfica do Rio Taquaral, São Mateus do Sul-PR. **RA´E GA**, v. 24, p. 290-310, Curitiba, 2012.

LUPPI, A. S. L.; ROSA DOS SANTOS, A.; EUGENIO, F. C.; FEITOSA, L. S. Utilização de Geotecnologia para o Mapeamento de Áreas de Preservação Permanente no Município de João Neiva, ES. **Floresta Ambiental** [online], v. 22, n. 1, p. 13-22, 2015.

MACIEL DE OLIVEIRA, L. M. M.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ANTONINO, A. C. D.; SILVA, B. B.; MACHADO, C. C. C.; GALVÍNCIO, J. D. Análise quantitativa de parâmetros biofísicos de bacia hidrográfica obtidos por sensoriamento remoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 9, p. 1209-1217, 2012.

MACHADO, T. M.; MOLIN, J. P. Ensaios estáticos e cinemáticos de receptores de GPS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** [online]. 2011, v. 15, n. 9, p. 981-988. ISSN 1415-4366. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662011000900015>.

MACHADO, T. M.; MOLIN, J. P.; POVH, F. P. SALVI, J. V. Metodologia para avaliação do desempenho de receptor de GPS de uso agrícola em condição cinemática. **Revista Engenharia Agrícola** [online]. v. 30, n. 1, p. 121-129, 2010. ISSN 0100-6916. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162010000100013>.

MALUTTA, S.; KOBIYAMA, M.; FUERST, L. Análise da qualidade de água dos principais rios do município de Rio Negrinho (SC). **Ambiência**, v. 9, n. 1, 2013.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: Princípios e métodos**. 3ª ed. Viçosa: Ed. UFV, 2009. 355p.

MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de métodos de estatística Multivariada**: uma abordagem aplicada. Belo Horizonte: UFMG, 2007. 297 p.

MANZIONE, R. L.; MARCUZZO, F. F. N.; WENDLAND, E. C. Integração de Modelos Espaciais e Temporais para Predições de Níveis Freáticos Extremos. **Revista de Pesquisas Agropecuárias Brasil**, Brasília, v. 47, n. 9, p. 1368-1375, Setembro, 2012.

MARTINI, L. C. P.; MATTOS, D. S.; BARBOSA, D. F. P.; RECH, A. I. B. Uso de sensoriamento remoto orbital para avaliação da distribuição espacial de Clorofila_a na Lagoa da Conceição, SC. **Revista Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 11, n. 4, 2006.

MASCARENHAS, L. M. A.; FERREIRA, M. A. FERREIRA, L. G. Sensoriamento remoto como instrumento de controle e proteção ambiental: análise da cobertura vegetal remanescente na Bacia do Rio Araguaia. **Soc. nat.** (Online) [online], v. 21, n. 1, p. 5-18, 2009.

MEIRELES, L. D.; SHEPHERD, G. J.; KINOSHITA, L. S. Variações na composição florística e na estrutura fitossociológica de uma floresta ombrófila densa alto-montana na Serra da Mantiqueira, Monte Verde, MG. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 31 n. 4, São Paulo, Oct./Dec. 2008.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. (Org.) **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Brasília, 2012. 212 p. Disponível em: <http://www.cnpq.br/documents/10157/56b578c4-0fd5-4b9f-b82a-e9693e4f69d8> Acesso em: 20 de julho de 2015.

MIURA, A. K.; FORMAGGIO, A. R.; SHIMABUKURO, Y. E.; ANJOS, S. D.; LUIZ, A. J. B. Avaliação de áreas potenciais ao cultivo de biomassa para produção de energia e uma contribuição de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 3, p. 607-620, maio/jun. 2011. ISSN 0100-6916. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162011000300020>.

MOLINOS-SENANTE, M.; SALA-GARRIDO, R.; HERNÁNDEZ-SANCHO, F. Estudio de viabilidad del proceso de recuperación del fósforo contenido en las aguas residuales: una aproximación económica. **Rect@**, v. 11, n. 1, p. 179-195, 2010.

MONICO, J.F.G. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações**. 2ª ed. São Paulo: UNESP, 2007. 476 p.

MONTEITH, J. L. **Evaporation and environment**. In: Symposium of the society for experimental Biology, 6, Swansea, 1964. Cambridge: Cambridge University Press, 1965, p. 205-234.

NAMARA, R. E.; HANJRA, M. A.; CASTILLO, G. E.; RAVNBORG, H. M.; SMITH, L.; KOPPEN, B. V. Agricultural water management and poverty linkages. **Agricultural Water Management**, v. 97, p. 520-527, 2010.

NETELER, M. Estimating daily land surface temperatures in mountainous environments by reconstructed MODIS LST Data. **Remote Sensing**, v. 2, p. 333–351, 2010.

NETTO, F. M.; DANELON, J. R. B.; RODRIGUES, S. C. Avaliação da qualidade da água e do uso da terra da bacia hidrográfica do Córrego Terra Branca – Uberlândia – MG. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 5, n. 2, 2011.

OLIVEIRA, L. F. C.; FIOREZE, A. P. Estimativas de vazões mínimas mediante dados pluviométricos na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Bárbara, Goiás. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 1, n. 1, 2011.

OLIVEIRA, C. N.; CAMPOS, V. P.; MEDEIROS, Y. D. P. Avaliação e identificação de parâmetros importantes para a qualidade de corpos d'água no semiárido baiano. Estudo de caso: bacia hidrográfica do rio Salitre. **Química Nova**, v. 33, n.5, 2010.

OLIVEIRA-FILHO, E. C.; RAMOS, M. G.; FREIRE, I. S.; MUNIZ, D. H. de F. Comparison between the efficiency of two bioindicators for determining surface water quality in an urban environment. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 33, n. 3, p. 311-317, Maringá, 2011.

OLIVEIRA FILHO, P. C.; DUTRA, A. M.; CERUTI, F. C. Qualidade das águas superficiais e o uso da terra: estudo de caso pontual em Bacia hidrográfica do Oeste do Paraná. **Floresta e Ambiente**, v. 19, p. 32-43, 2012. ISSN: 2179-8087

PARANHOS FILHO, A. C.; LASTORIA, G.; TORRES, T. G. **Sensoriamento remoto ambiental aplicado**. Campo Grande, MS: UFSMS, 2009. 198P.

PIMENTA, S. M.; PEÑA, A. P.; GOMES, P. S. Aplicação de métodos físicos, químicos e biológicos na avaliação da qualidade das águas em áreas de aproveitamento hidroelétrico da bacia do Rio São Tomás, Município de Rio Verde – Goiás. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 21, n. 3, p. 393-412, dez. 2009.

PONTES, C. A. A.; SCHRAMM, F. R. Bioética da proteção e papel do Estado: problemas morais no acesso desigual à água potável. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 20, n. 5, p. 1319-1327, 2004.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. L. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos Avançados** [online], v. 22, n. 63, 2008. p. 43-60.

PORTO, M. A. L.; OLIVEIRA, A. M.; FAI, A. E. C.; STAMFORD, T. L. M. Coliformes em água de abastecimento de lojas fast-food da região metropolitana de Recife-PE. **Ciência & Saúde Coletiva** (Online), v. 16, p. 2653-2658, 2011.

PORTO FILHO, F. Q.; MEDEIROS, J. F.; GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; SOUSA, P. S.; DANTAS, D. C. Evolução da salinidade e pH do solo sob cultivo de melão irrigado com água salina. **Rev. Bras. Eng. Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 11, 2011.

REIS, L. C.; REIS, T. S., ABI SAAB, O. J. G. Caracterização da estrutura fundiária do município de Bandeirantes - PR, utilizando Geoprocessamento. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 2, p. 345-354, abr./jun. 2008.

RÍOS-VILLAMIZAR, E. A.; MARTINS JUNIOR, A. F.; WAICHMAN, A. V. Caracterização físico-química das águas e desmatamento na bacia do rio Purus, Amazônia Brasileira Ocidental. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 5, n. 2, 2011.

SANO, E. E.; LIMA, J. E. F. W.; SILVA, E. M.; OLIVEIRA, E. C. Estimativa da variação na demanda de água para irrigação por pivô-central no Distrito Federal entre 1992 e 2002. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 2, 2005.

SANCHES DE OLIVEIRA, P. T.; AYRES, F. M.; PEIXOTO FILHO, G. E. C.; MARTINS, I. P.; MACHADO, N. M. Geoprocessamento como ferramenta no licenciamento ambiental de postos de combustíveis. **Revista Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 20, p. 87-99, 2008.

SANTOS, M. A.; FREIRE, M. B. G.; ALMEIDA, B. G.; LINS, C. M. T.; SILVA, E. M. Dinâmica de íons em solo salino-sódico sob fito-remediação com *Atriplex nummularia* e aplicação de gesso. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 4, abr. 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662013000400007>.

SANTOS, K. O. B.; ARAÚJO, T. M.; OLIVEIRA, N. F. Estrutura fatorial e consistência interna do SRQ-20 em população urbana. **Cad. Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 1, p. 214-222, 2009.

SARTORI, A. V. **Vigilância da qualidade da água para consumo humano**: Estudo de Clorofenóis. 88f, Programa de Pós-Graduação em Vigilância Sanitária. Dissertação – Mestrado. Rio de Janeiro: INCQS, FIO CRUZ, 2007.

SEMA-RS. Secretaria do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul. **O que é uma Bacia Hidrográfica**. 2010. Disponível em: http://www.sema.rs.gov.br/conteudo.asp?cod_menu=54. Acesso em: 25 jun. 2013.

SILVA, B. B.; BRAGA, A. C.; BRAGA, C. C.; OLIVEIRA, L. M. M.; GALVINCIO, J. D.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Evapotranspiração e estimativa da água consumida em perímetro irrigado do Semiárido brasileiro por sensoriamento remoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 9, p. 1218-1226, 2012.

SILVA, M. do S. F. da; SOUZA, R. M. e. Unidades de conservação como estratégia de gestão territorial dos recursos naturais. **Terr@ Plural**, Ponta Grossa. v. 3. n. 2, p. 241-259. Julho/Dezembro, 2009.

SILVA, J. S. V. **Análise multivariada em zoneamento para planejamento ambiental. Estudo de caso**: Bacia Hidrográfica do Rio Taquari MS/MT. 2003. 307 f. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

SILVA, R. M. **Introdução ao Geoprocessamento**: Conceitos, técnicas e aplicações. Novo Hamburgo: Feevale, 2007.

SIQUEIRA, L. P.; SHINOHARA, N. K. S.; LIMA, R. M. T.; PAIVA, J. E.; FILHO, J. L. L. Avaliação microbiológica da água de consumo empregada em unidades de alimentação. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 15, p. 63, 2010.

SOUZA, E. R.; FREIRE, M. B. G.; NASCIMENTO, C. W. A.; MONTENEGRO, A. A. A.; FREIRE, F. J.; MELO, H. F. Fitoextração de sais pela *Atriplex nummularia* Lindl. sob estresse hídrico em solo salino sódico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** [online]. 2011, v. 15, n. 5, p. 477-483. ISSN 1807-1929. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662011000500007>.

TUNDISI, J. G. Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, 2008.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia**: Ciência e Aplicação. Porto Alegre: UFRGS. 2007, 944 p.

WOLFGANG, L.; BAUMANN, S. **Global navigation satellite systems**. Computers and Electronics in Agriculture, v. 25, p. 67-85, 2000.

WRUBBLACK, S. C.; MERCANTE, E.; VILAS BOAS, M. A. Utilização de técnicas de geoprocessamento para caracterização de áreas aptas à irrigação por gotejamento no município de Salto do Lontra – Paraná. **Estudos Ambientais**, v. 14, n. 2esp, p. 6-13, 2012.

WRUBBLACK, S. C. **Caracterização do uso e ocupação do solo e qualidade da água com utilização das técnicas de geoprocessamento**. 88f. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual do Oeste do Paraná. 2012.

ARTIGO 1 - MAPEAMENTO DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E QUALIDADE DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO NO MUNICÍPIO DE SALTO DO LONTRA – PARANÁ

RESUMO: Os objetivos do trabalho consistiram no mapeamento do uso e ocupação do solo e na avaliação da qualidade da água utilizada para irrigação, no município de Salto do Lontra, Estado do Paraná. Foram utilizadas imagens do satélite SPOT-5 para realização da classificação supervisionada pelo algoritmo de Máxima Verossimilhança - MAXVER e para a averiguação da qualidade da água foram analisados os parâmetros pH, CE, HCO_3^- , Cl^- , PO_4^{3-} , NO_3^- , turbidez, temperatura e coliformes termotolerantes, em dois períodos anuais distintos de precipitação. Os dados de qualidade da água foram submetidos às análises estatísticas pelas técnicas de Análise de Componentes Principais (ACP) e Análise Fatorial (AF), para identificação das variáveis mais relevantes na avaliação da qualidade da água de irrigação. A caracterização de uso e ocupação do Solo pelo classificador MAXVER permitiu a identificação das classes: culturas agrícolas, solo exposto/resteira, mata e área urbana. A aplicação da técnica ACP dos dados de qualidade da água de irrigação explicou 53,27% da variação na qualidade da água entre os pontos amostrados. Verificou-se que os parâmetros nitrato, coliformes termotolerantes, temperatura, condutividade elétrica e bicarbonato foram os parâmetros que melhor explicaram a variação espacial da qualidade da água.

PALAVRAS-CHAVE: Sistema de Navegação Global por Satélite - GNSS, Sistemas de Informação Geográfica – SIG, irrigação.

MAPPING THE USE AND OCCUPATION OF SOIL AND IRRIGATION WATER QUALITY IN SALTO DO LONTRA CITY – PARANÁ, BRAZIL

ABSTRACT: This study consisted on mapping the use and soil occupation and evaluation of water quality used in irrigation in Salto do Lontra, Paraná state, Brazil. Images of SPOT-5 satellite were used to perform the supervised classification of Maximum Likelihood algorithm – ML as well as ascertain and analyze water quality of the following parameters: pH, EC, HCO_3^- , Cl^- , PO_4^{3-} , NO_3^- , turbidity, temperature and thermotolerant coliforms in two distinct rainfall periods. Water quality data were submitted to statistical analysis by the techniques of PCA and FA, in order to identify the most relevant variables during the evaluation of irrigation water quality. The characterization of soil use and occupation by ML classifier allowed identifying the following classes: crops, bare soil/stubble, forests and urban area. PCA technique applied to irrigation water quality data explained 53.27% of variation in water quality among the sampled points. Nitrate, thermotolerant coliforms, temperature, electrical conductivity and bicarbonate were the parameters that best explained spatial variation of water quality.

KEYWORDS: Global Navigation Satellite Systems - GNSS, Geographic Information Systems - GIS, irrigation.

3.6 INTRODUÇÃO

As atividades agrícolas, pecuárias, industriais e o processo de expansão urbana geram uma série de impactos sobre o meio ambiente. Consequentemente, a busca pelo uso

sustentável dos recursos naturais tem despertado crescente interesse de muitos pesquisadores para o reconhecimento das características e realidades ambientais.

Quanto à atividade agrícola, os efeitos dependem muito das práticas utilizadas em cada região, assim como do uso intensivo dos defensivos agrícolas. O aporte representado pelas práticas agrícolas refere-se ao aumento na produção de sedimentos, provenientes da erosão dos solos, principalmente quando a erosão não é devidamente controlada, podendo intensificar-se na ocorrência de chuvas em áreas rurais. Por outro lado, as áreas de preservação permanente têm como função principal a preservação dos recursos hídricos e a biodiversidade, evitando sua contaminação por fertilizantes e agrotóxicos, promovendo a retenção hídrica no solo e subsolo, para a contenção dos processos erosivos e assoreamento dos rios (MASCARENHAS et al., 2009).

Como base para os estudos sobre a qualidade da água, as técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento podem ser aplicadas no mapeamento de uso e ocupação de solo. Fornecem apoio aos trabalhos com informações sistematizadas e ferramentas que proporcionam o reconhecimento detalhado da área de estudo (MERCANTE et al., 2011). Além disso, permite-se o processamento de uma grande quantidade de informações por meio dos Sistemas de Informações Geográficas (FERREIRA et al., 2011).

O monitoramento de variáveis ambientais pode resultar na formação de extensos bancos de dados, cuja interpretação pode se tornar complexa (FRANÇA, 2009). Já os métodos de estatística multivariada, como a Análise de Componentes Principais (ACP), permitem a ordenação das variáveis de acordo com as características, geralmente ambientais, destes locais, subsidiando a interpretação de parâmetros químicos, físicos e biológicos de qualidade da água (ALVES et al., 2008).

Assim, os objetivos deste trabalho foram realizar o mapeamento do uso e ocupação do solo, a partir de classificação supervisionada em imagens de satélite e analisar a qualidade da água utilizada para a prática de irrigação, a partir das técnicas de estatística multivariada.

3.7 MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo está situada no município de Salto do Lontra, em coordenadas aproximadas UTM de 7.143.050 metros N e 268.163 metros E, datum WGS 84, zona 22 S. Localiza-se na região Sudoeste do Paraná com área total de aproximadamente 312,199 km² e altitude máxima de 620 m. Conta com uma extensa área rural que corresponde a 99% da área municipal total (IPARDES, 2010). Na Figura 1 encontra-se o mapa de localização do município de Salto do Lontra, no estado do Paraná.

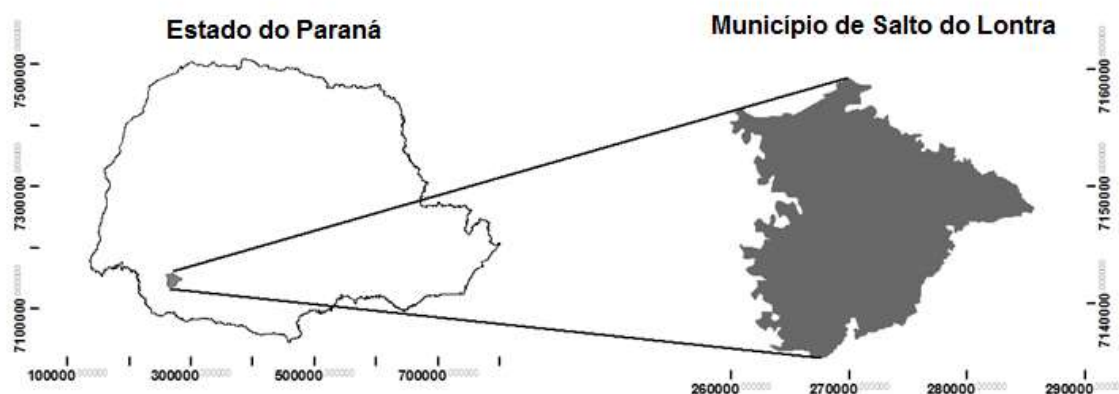


Figura 1 Mapa de localização do município de Salto do Lontra, no estado do Paraná. Datum WGS 84, coordenadas UTM, Zona 22 S.

A Figura 2 apresenta o mapa espacial do município de Salto do Lontra-PR, com a localização da área urbana, rural e dos principais rios presentes no município bem como a espacialização dos 57 pontos de amostragem nas propriedades rurais estudadas.

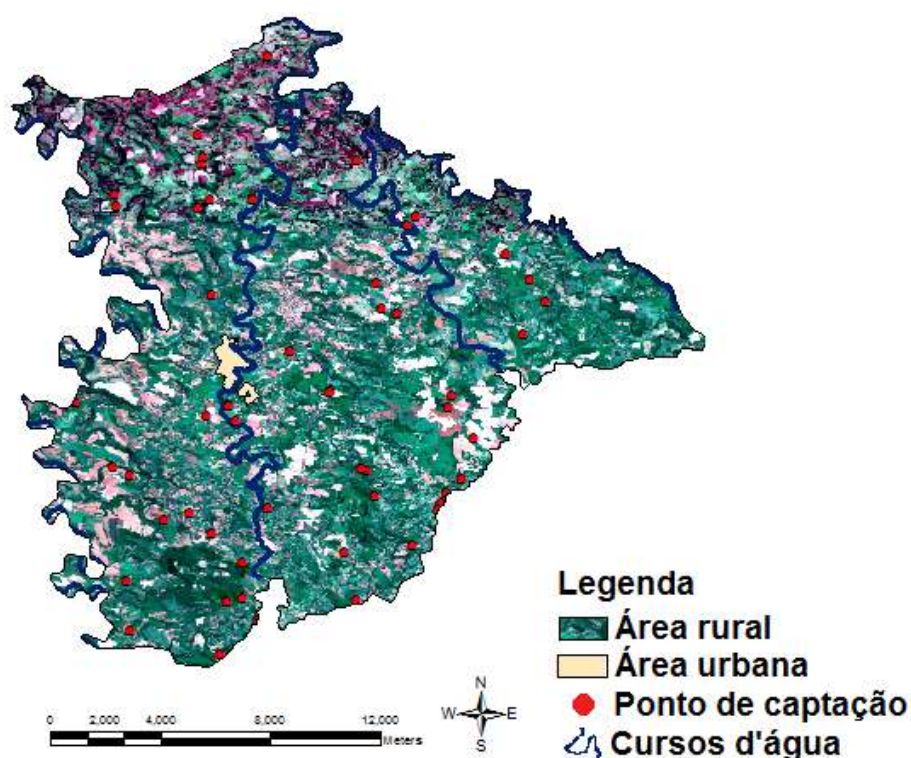


Figura 2 Espacialização dos pontos de captação da água de irrigação nas propriedades rurais no município de Salto do Lontra – PR. Imagem de Satélite SPOT-5 em composição RGB (bandas B3, B2, B1). Datum WGS 84, coordenadas UTM, zona 22 S.

Para averiguação dos parâmetros de qualidade da água utilizada para a prática de irrigação, foram analisados os parâmetros físicos, químicos e biológicos com base na Resolução n.º 357/05 CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente (BRASIL, 2005) e

também na FAO – Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (AYERS e WESTCOT, 1994). Foram determinadas as características químicas da água através dos parâmetros: pH, condutividade elétrica (CE), bicarbonato (HCO_3^-), cloro (Cl^-), fosfato (PO_4^{3-}) e nitrato (NO_3^-). Para os parâmetros físicos de qualidade da água, foram averiguados os parâmetros: turbidez e temperatura; e para os parâmetros biológicos de qualidade da água, foi analisada a presença de coliformes termotolerantes. Os parâmetros avaliados seguiram as recomendações de AYERS & WESTCOT (1991) e os procedimentos experimentais foram realizados de acordo com o *Standard Methods* (APHA et al., 1998).

O monitoramento da qualidade da água utilizada para fins de irrigação foi realizado em cinquenta e sete propriedades rurais de base familiar, em dois períodos distintos de precipitação. O período I ocorreu nos meses de setembro/outubro de 2009 e o período II nos meses de maio/junho de 2010. No período I foi caracterizado como o de maior precipitação, com base nos dados do Instituto das águas do Paraná (2010), e a precipitação média (mm) foi de 260,9 mm. Já no período II, caracterizado por menor precipitação, registraram-se 126,2 mm de precipitação média (mm) no bimestre de maio a junho de 2010.

Os resultados das análises foram tabulados no programa estatístico Minitab, versão 16.0, e serviram para compor uma base de dados, posteriormente comparados com o proposto nas resoluções. Deste modo, foi avaliada a qualidade da água nos pontos amostrados, com a realização de mapas espaciais contendo os valores obtidos para cada parâmetro analisado.

Os produtos de sensoriamento remoto consistiram nas imagens do satélite SPOT-5 provenientes do Instituto de Terras, Cartografia e Geociências (ITCG), disponibilizadas pela Secretaria de Desenvolvimento Urbano / PARANACIDADE pelo Projeto de Mapeamento do Estado do Paraná.

A definição das classes de uso e ocupação do solo foi determinada por identificação dos diferentes alvos presentes, via reconhecimento da assinatura espectral de cada uma das classes de uso do solo na área imageada, com posterior elaboração da legenda temática do mapeamento pela classificação de dados digitais.

Realizou-se a classificação supervisionada da imagem por Máxima Verossimilhança (MAXVER), a qual permite ao classificador associar determinado pixel à determinada classe ou regiões de similaridade de níveis de cinza. Assim, um conjunto de pixels, representativos de cada alvo de ocupação do solo, pertence à classe correspondente se a probabilidade que associa este pixel à classe for maior que a probabilidade que associa o pixel a qualquer outra classe. Tendo sido aplicado o classificador por Máxima Verossimilhança (MAXVER) para identificação das variações espectrais na cobertura vegetal e no mapeamento do uso e ocupação do solo (WRUBLACK et al., 2012).

A partir das imagens do satélite SPOT-5, cenas 703/401, 704/401 e 704/402 de 2005, no sistema de projeção Universal Transversa de Mercator – UTM, datum WGS 84, zona 22 S, procedeu-se o mapeamento do uso do solo com auxílio do SIG ENVI versão 4.5 utilizando o algoritmo MAXVER, para as classes: mata, culturas agrícolas, solo/resteva e área urbana.

A partir da classificação realizada, aplicou-se a técnica da estatística Kappa, como medida de exatidão de uma classificação temática. Determinaram-se os índices de exatidão global (EG) e o índice Kappa (K) definidos pelas equações (1) e (2), respectivamente (CONGALTON & GREEN, 1999):

$$EG = \frac{\sum_{i=1}^r x_{ii}}{N} \quad (1)$$

em que,

EG = Exatidão Global;

N = número total de pontos;

x_{ii} = elementos da diagonal principal;

r = de linhas na Matriz de erros, e

i, j = linhas e colunas da Matriz, respectivamente.

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} * x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} * x_{+i})} \quad (2)$$

em que,

K = coeficiente Kappa de concordância;

N = número de observações (pontos amostrais);

r = número de linhas da matriz de erro;

x_{ii} = observação na i -ésima linha e i -ésima coluna;

x_{i+} = Total marginal da linha i ;

x_{+i} = Total marginal da coluna i ;

A matriz de erros foi gerada no software ENVI 4.0, no espaço amostral do município de Salto do Lontra – PR, com a espacialização de 100 pontos amostrais por amostragem randômica aleatória, dentro do limite do município. A partir desses pontos, gerou-se a matriz de erros sobre o mapa temático do uso e ocupação do solo obtido pelo classificador MAXVER.

Para verificação da interferência do uso e ocupação do solo com os resultados obtidos referentes aos parâmetros físicos, químicos e biológicos da qualidade de água de irrigação, foram utilizadas a análise estatística multivariada por Análise de Componentes

Principais – ACP e a Análise Fatorial – AF, com o programa STATÍSTICA versão 6.0 a partir da estatística descritiva e exploratória dos dados obtidos.

3.8 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.8.1 Mapeamento temático

Nas interpretações sobre o uso e ocupação do solo, foram consideradas as seguintes variáveis: culturas agrícolas, mata, solo/resteva e área urbana.

A definição de uso do solo refere-se às atividades humanas ou funções econômicas associadas a uma específica região, enquanto a ocupação do solo menciona características presentes na superfície terrestre, tais como áreas sob cultivos agrícolas, matas, rios, lagos e estradas.

A ocupação do solo pode ser interpretada pelas imagens de satélite, ao passo que as atividades relacionadas ao uso do solo, frequentemente precisam ser levantadas *in loco*. Neste sentido, as condições de uso e ocupação do solo podem dar indícios da pressão e impacto sobre os elementos naturais, constituindo elemento essencial para análise das fontes de poluição.

As áreas com ocupação em pequenas propriedades (até 30 hectares) são predominantes no município e destinadas à pecuária e secundariamente à agricultura e são caracterizadas basicamente pelas atividades de agricultura familiar, na qual a produção agrícola é diversificada, de acordo com o cultivo de subsistência.

3.8.2 Caracterização do uso e ocupação do solo por meio da classificação supervisionada

A utilização do classificador supervisionado por Máxima Verossimilhança – MAXVER permitiu a definição das seguintes classes de ocupação do uso do solo: mata, culturas agrícolas, solo/resteva e área urbana. Na Tabela 1 encontra-se a caracterização de cada uma das classes, com a quantificação da área em hectares e o percentual da ocupação na área total no município de Salto do Lontra/ PR.

Tabela 1 Caracterização de uso e ocupação do solo de acordo com a classificação supervisionada

Uso do solo	Área em km ²	Área (hectares)	Área (%)
Mata	83,13	8313,0	26,61
Culturas agrícolas	122,70	12270,0	39,28
Solo/Resteva	102,90	10290,0	23,94
Área urbana	3,60	360	1,15
Área total classificada	312,33	31233,0	100%

O mapa temático resultante da classificação supervisionada da imagem do satélite SPOT-5 apresenta as áreas com mata na classe identificada pela cor azul. As áreas correspondentes às culturas agrícolas, identificadas pela cor vermelha e as áreas com solo exposto ou resteva estão na classe identificada pela cor verde. Já a área urbana está indicada pela cor bege, conforme pode ser visualizado na Figura 3.

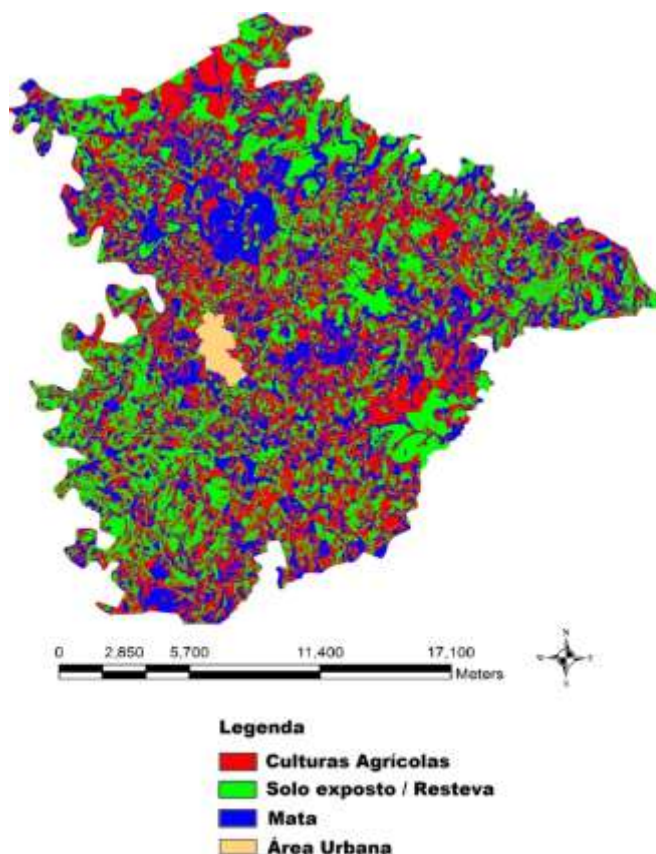


Figura 3 Imagem classificada pelo algoritmo MAXVER. Datum WGS 84, coordenadas UTM, zona 22 S.

Considerando-se que no município os cultivos são bastante diversificados, portanto dificultam a interpretação das imagens pelo classificador, buscou-se avaliar a acurácia dos resultados com a construção da matriz de confusão a partir de 100 pontos de amostragem pelo método da amostragem randômica aleatória. Com base nesta matriz, foram calculados os índices de Exatidão Global e Kappa, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 Valores dos índices Exatidão Global e Kappa obtidos através do Classificador MAXVER.

Índices	Valor obtido
Exatidão Global	89,00
Índice Kappa	88,98

O nível de exatidão do Índice Kappa, utilizado para avaliar a exatidão dos dados, foi estabelecido por LANDIS & KOCH (1977) e pode ser visto na Tabela 3.

Tabela 3 Níveis de exatidão de uma classificação, de acordo com o valor de Índice Kappa.

Índice Kappa (%)	Qualidade
$K \leq 20$	Ruim
$20 < K \leq 40$	Razoável
$40 < K \leq 60$	Bom
$60 < K \leq 80$	Muito bom
$K \geq 80$	Excelente

O índice de exatidão global e o índice Kappa foram superiores a 80%, ou seja, mais de 80% das amostras foram corretamente identificadas pelo classificador. Considerando-se os níveis recomendados para métricas de exatidão global e do índice Kappa maiores que 80%, LANDIS e KOCH (1977) sugerem a classificação como excelente. Torna-se importante ressaltar que os resultados obtidos na classificação supervisionada se referem a uma região caracterizada pela agricultura familiar, na qual, o uso e a ocupação do solo apresentam alta heterogeneidade, portanto, ocasionam uma miscelânea nos valores de pixel e dificultam a classificação (AMARAL et al., 2009).

3.8.3 Qualidade da água de irrigação

A Tabela 4 apresenta a distribuição dos resultados percentuais de restrição ao uso da água utilizada para a prática de irrigação, obtidos nos dois períodos anuais distintos de precipitação.

Tabela 4 Distribuição dos resultados percentuais de restrição ao uso da água na irrigação, no período I (set./out. – 2009) e período II (maio/jun. – 2010).

Parâmetros	Limites	Período I		Período II	
		Estudos FAO - Irrigação e drenagem	Resolução CONAMA 357/05	Estudos FAO - Irrigação e drenagem	Resolução CONAMA 357/05
pH	6,5-8,4	-	-	-	-
CE	0 - 3,0 dS/m	-	-	-	-
Bicarbonato	0 – 10 meq/L	-	-	-	-
Cloro	0 - 30 meq/L	-	-	-	-
Fosfato	0 - 2 mg/L	63,15%	-	84,2%	-
Nitrato	0 -10 mg/L	-	-	-	-
Turbidez	100 UNT	-	-	-	-
Temperatura	-	-	-	-	-
C. Termotolerantes	<1000 NMP	-	54,4%	-	1,75%

3.8.4 Parâmetros químicos de qualidade da água de irrigação

Os histogramas resultantes estão contidos na Figura 4, para cada parâmetro químico analisado nos períodos I e II com a respectiva frequência das observações nos 57 pontos de captação da água de irrigação. No eixo x, verificam-se os valores para cada um dos parâmetros químicos de qualidade da água de irrigação, e no eixo y está apresentada a frequência das observações nos 57 pontos de captação da água utilizada para irrigação nas propriedades rurais amostradas.

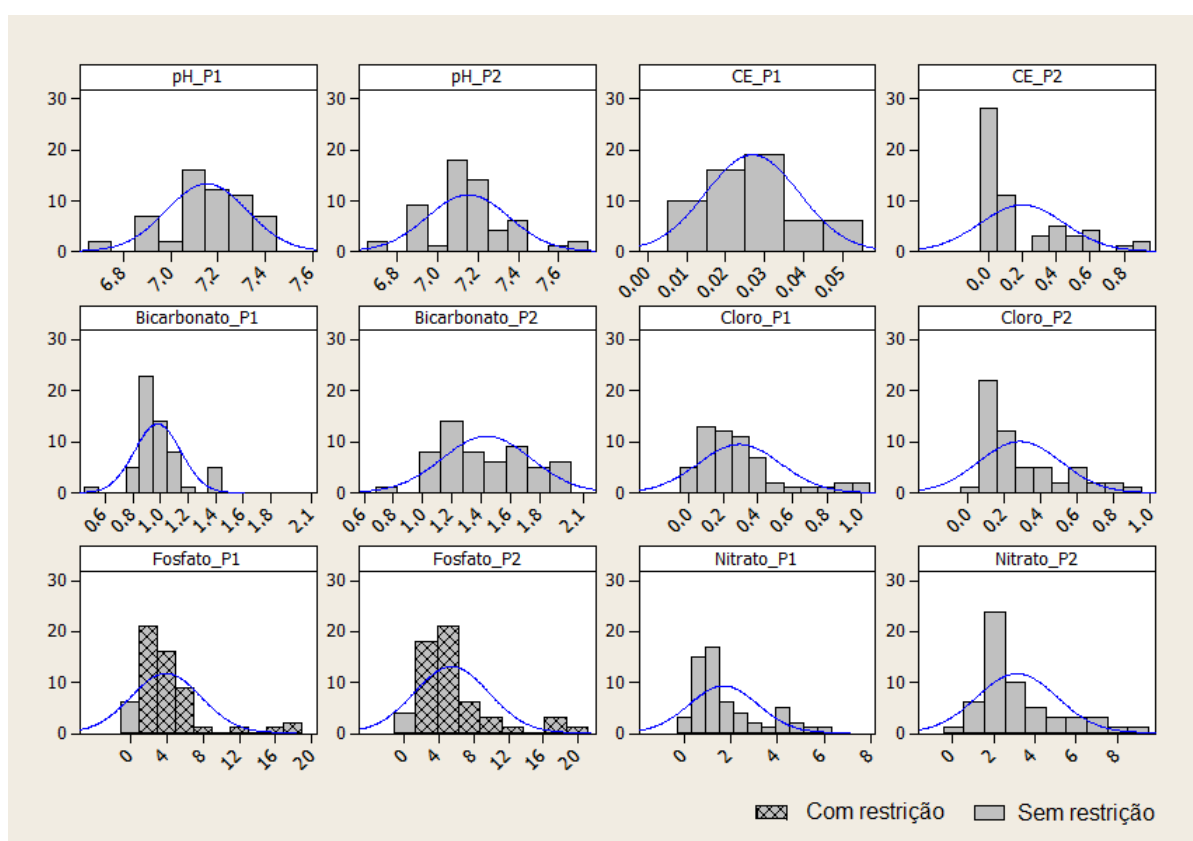


Figura 4 Distribuição das frequências dos parâmetros químicos de pH, CE, bicarbonato, cloro, fosfato e nitrato, nos 57 pontos de captação da água utilizada para irrigação, nos períodos de maior (P1) e menor precipitação (P2).

Os valores obtidos para o parâmetro químico de pH (potencial hidrogeniônico) estiveram de acordo com o limite proposto pela FAO para utilização da água para fins de irrigação. A ocorrência de valores de pH entre 6,0 e 9,0 é considerada compatível em longo prazo para a sobrevivência da maioria dos organismos aquáticos. A alteração desses limites por longos períodos de tempo, ou fortes oscilações de pH em curto prazo, pode interferir nos processos físico-químicos em um corpo d'água e pode, inclusive, constituir-se em fator limitante dos processos biológicos (FRANÇA, 2009).

Os resultados obtidos para condutividade elétrica atenderam aos limites definidos pela FAO para a utilização da água de irrigação. O reconhecimento da condutividade elétrica em áreas agrícolas é essencial (SONCELLA et al., 2011) já que o aumento pode ser explicado em parte devido às práticas agrícolas por manejo inadequado da irrigação (REZENDE et al., 2011) e da utilização excessiva de fertilizantes associada à má utilização de implementos agrícolas, por contribuírem com a compactação do solo e causarem problemas de drenagem, cujo resultado é o escoamento desses íons nos corpos hídricos.

Quanto ao parâmetro químico bicarbonato, não houve restrição ao uso da água de irrigação. Também foram verificadas distinções nos valores referentes às concentrações do mesmo, nos dois períodos anuais distintos de precipitação. A ocorrência de menores concentrações de íons bicarbonato pode ser atribuída ao transporte conjunto na forma molecular de carbonatos (ARRAES et al., 2009). Em águas encontradas em reservatórios, principalmente em açudes, elas ficam sujeitas às elevadas taxas de evaporação, pois aumentam as concentrações de sais, principalmente em períodos de menor precipitação (PALACIO et al., 2011).

Os resultados obtidos para o elemento cloro não caracterizaram restrição ao uso da água para irrigação nos períodos estudados. A averiguação deste parâmetro é essencial por ser indicativo da poluição por esgotos domésticos (PALACIO et al., 2011).

As concentrações de fosfato estiveram acima do limite proposto pela FAO em 63,15% dos pontos de captação no período I (maior precipitação) e 84,2% no período II (menor precipitação). As altas concentrações de fosfato podem estar associadas aos fatores antrópicos de despejos domésticos e industriais e ao escoamento superficial em áreas sob cultivo agrícola (ZANINI et al., 2010) e (FRANÇA, 2009). Em áreas agrícolas, os despejos de efluentes agropecuários merecem especial atenção, notadamente pela possível contribuição de fosfato e de nitrato, presentes nos defensivos agrícolas.

Na averiguação do parâmetro nitrato, considerou-se o limite proposto pela FAO, a qual determina o limite máximo de 10 mg/L, não tendo sido definida a restrição ao uso para tal parâmetro com base nos resultados obtidos nos dois períodos estudados.

Nas atividades rurais, o reconhecimento das concentrações de nitrogênio e o fósforo merece importante destaque, já que esses elementos podem contribuir com o crescimento excessivo de algas que se alimentam desses nutrientes (ALVES et al., 2008) e dos organismos que se alimentam dessas algas, ocasionando fenômenos de eutrofização das águas.

3.8.5 Parâmetros físicos de qualidade da água de irrigação

Os histogramas referentes à Figura 5 representam os parâmetros físicos de qualidade da água de irrigação, estudados nos dois períodos anuais distintos de precipitação. No eixo X, verificam-se os valores da temperatura (expressos em graus Celsius) e no eixo Y, está a frequência das observações nos 57 pontos de captação da água utilizada para irrigação nas propriedades rurais amostradas.

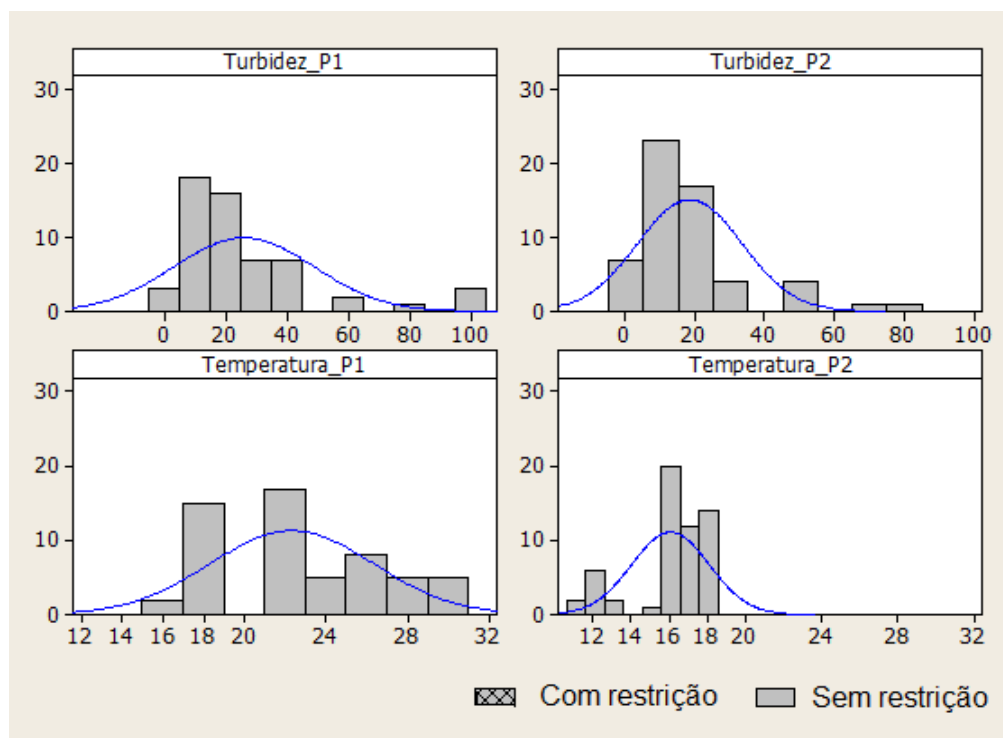


Figura 5 Distribuição das frequências dos parâmetros físicos de turbidez e temperatura nos 57 pontos de captação da água utilizada para irrigação, nos períodos de maior (P1) e menor precipitação (P2).

No que se refere ao parâmetro turbidez, os resultados obtidos estiveram dentro dos limites estabelecidos pela FAO (100 UNT/100 mL). No entanto, alerta-se para o fato de ter havido valores bem próximos aos limites de tolerância no período de maior precipitação (período I). Isso ocorreu, possivelmente, em função da erosão do solo, promovida pelo escoamento superficial (FRANCO & HERNANDEZ, 2009). Além disso, a quantidade de material suspenso aumenta acentuadamente a turbidez (ZANINI et al., 2010).

O parâmetro físico temperatura não está definido para água de irrigação, no entanto, esse se refere aos efeitos da aplicação em determinadas culturas, de modo que a ocorrência de temperaturas mais elevadas pode resultar em aumento na demanda de água para irrigação (ROMITELLI & PATERNIANI, 2007) e (FRAVET et al., 2007) devido à maior evapotranspiração das plantas (GONDIM et al., 2011).

3.8.6 Parâmetro biológico de qualidade da água de irrigação

Na Figura 6, estão os resultados obtidos para o parâmetro biológico coliformes termotolerantes nos 57 pontos de captação da água de irrigação, nos dois períodos anuais distintos de precipitação. No eixo X, podem ser verificados os valores expressos em NMP – Número Mais Provável para o parâmetro biológico representado pelos coliformes termotolerantes e no eixo Y, está a frequência das observações, nos 57 pontos de captação da água utilizada para irrigação nas propriedades rurais amostradas.

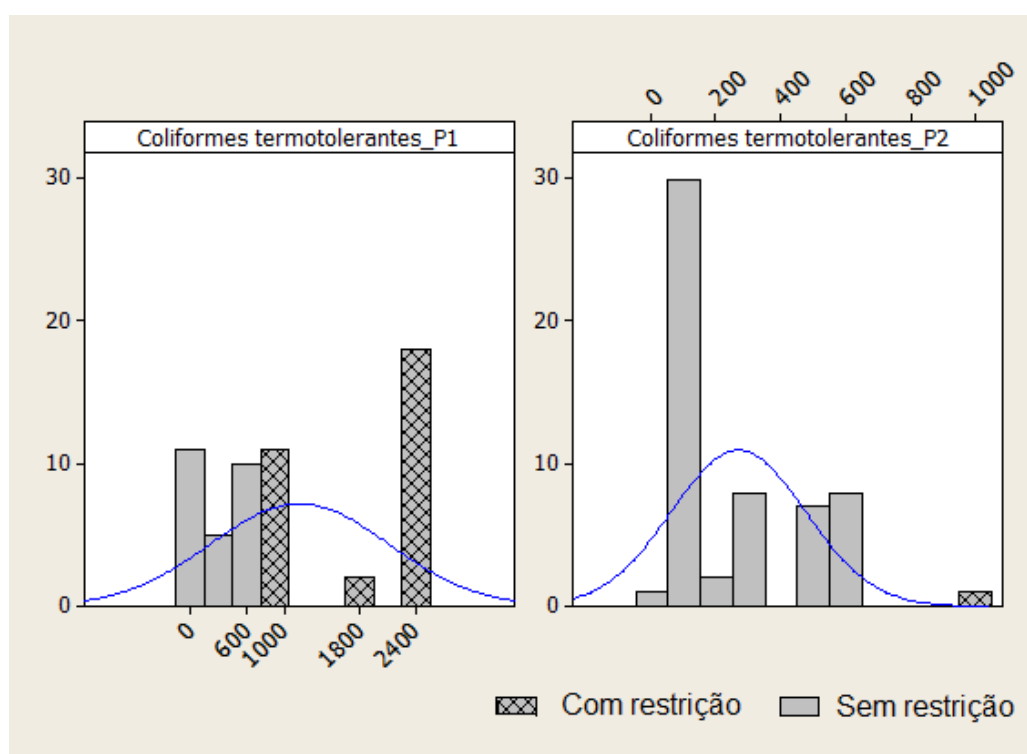


Figura 6 Distribuição das frequências de coliformes termotolerantes nos 57 pontos de captação da água utilizada para irrigação, nos períodos de alta (P1) e baixa precipitação (P2).

Quanto à presença de coliformes termotolerantes na água de irrigação, verificou-se que 54,4% dos pontos de captação da água de irrigação apresentaram concentrações acima do limite estabelecido pela Resolução 357/05 do CONAMA (1.000 NMP/ 100 mL) para a utilização das águas na irrigação e dessedentação de animais no período I, caracterizado por maior precipitação. Já no período II, de menor precipitação, verificou-se concentração acima do limite estabelecido para a utilização da água na irrigação em um ponto de captação. No período de maior precipitação, o aporte de sedimentos aos cursos d'água decorrente da ausência de sistemas de tratamento de efluentes domésticos, coleta de resíduos sólidos urbanos e pela falta de pavimentação das ruas (POLETO, 2011) pode ter favorecido o aumento nas concentrações desses microrganismos, através dos dejetos

animais ou pelas condições de saneamento básico, dos dejetos humanos. Esses fatores constituem-se como principais indicadores da presença de contaminação fecal no corpo d'água (SILVA et al., 2008; BONNET, 2008).

Ressalta-se ainda o fato de que o município possui extensa área rural nas quais predominam as áreas com pastagem, seguidas das áreas com culturas temporárias. Atividades estas que podem contribuir significativamente para explicar em parte essa relação, de modo que os resultados acima dos limites de tolerância, nas concentrações de coliformes termotolerantes, podem ser provenientes dos dejetos animais, sem tratamento adequado, quando utilizados como biofertilizantes. Acrescenta-se o fato de que a presença de animais que buscam a dessedentação diretamente nos cursos d'água, contribui para o aumento destes microrganismos na água por meio dos dejetos que acabam sendo depositados nestes locais. As atividades de pecuária extensiva, associadas com o baixo nível tecnológico empregado nesta atividade (FERREIRA PINTO et al., 2009), foram determinantes para a elevação das concentrações de coliformes termotolerantes na água. Já os teores de fosfato podem ser oriundos da utilização de fertilizantes, utilizados nas atividades agrícolas, os quais prevaleceram no período de maior precipitação, possivelmente promovidos pelo escoamento superficial.

A ocorrência de precipitação associada ao escoamento superficial do solo pode ser potencializada pela declividade do terreno (FRANCO & HERNANDEZ, 2009). Tais fatores em conjunto podem resultar em maior concentração dos parâmetros químicos e biológicos, conforme evidenciado pela concentração de coliformes termotolerantes e dos teores de fosfato neste estudo.

3.8.7 Características de uso e ocupação do solo e os parâmetros de qualidade da água de irrigação

Ao se admitir que os parâmetros de qualidade da água constituem as variáveis dependentes, que poderão ser influenciadas pelas características de uso e ocupação do solo, realizou-se a análise multivariada dos dados, de acordo com a técnica de ACP, cujos objetivos foram reduzir o número de variáveis, melhorar a interpretação e deste modo, identificar quais variáveis ou conjuntos de variáveis que explicam a maior parte da variabilidade total.

A ACP dos dados químicos, físicos e biológicos da água, analisados nos períodos I e II, explicou 53,27% da variação na qualidade da água entre as propriedades amostradas no município de Salto do Lontra/ PR. Os valores fatoriais atribuídos a cada componente bem como o percentual da variância total explicada por cada componente podem ser vistos na Tabela 5.

Tabela 5 Autovalores e a variância explicada por cada valor numérico

Componente Principal	Autovalores	Variância total %	Autovalores acumulados	% acumulados
1	2,4568	27,30	2,45	27,30
2	1,2070	13,41	3,66	40,70
3	1,1305	12,56	4,79	53,27
4	1,0869	12,07	5,88	65,34
5	0,9380	10,42	6,81	75,77
6	0,6620	7,35	7,48	83,12
7	0,5927	6,58	8,07	89,71
8	0,5311	5,90	8,60	95,61
9	0,3947	4,38	9,00	100,00

Verifica-se que as três primeiras componentes explicam respectivamente: 27,30%; 13,41% e 12,56% da variância total dos dados, concentrando-se em três dimensões 53,27% das informações constantes nas nove (9) dimensões anteriores.

Utilizou-se o método dos componentes principais para estimar os fatores e certificou-se da consistência da estrutura da análise fatorial pela medida de adequacidade da amostra de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) para verificar a validade do emprego da Análise Fatorial. A medida de adequacidade da amostra Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) é representada por um índice (MSA) que avalia a adequacidade da análise fatorial, calculada pela equação 4.

$$MSA = \frac{\sum_{j \neq k} \sum_{j \neq k} r_{jk}^2}{\sum_{j \neq k} \sum_{j \neq k} r_{jk}^2 + \sum_{j \neq k} \sum_{j \neq k} q_{jk}^2} \quad (4)$$

em que,

MSA é a medida de adequacidade;

r_{jk}^2 é o quadrado dos elementos da matriz de correlação original (fora da diagonal);

q_{jk}^2 é o quadrado dos elementos fora da diagonal da matriz anti-imagem (onde q_{jk}^2 é o coeficiente de correlação parcial entre as variáveis X_j e X_k elementos da correlação).

De acordo com a medida de adequacidade de Kaiser-Meyer-Olkin, os valores iguais ou menores do que 0,5 indicam que a correlação é fraca entre as variáveis. Já os valores acima de 0,5 indicam que os dados são suficientemente ligados para se proceder a análise e, portanto, são considerados adequados.

Na Tabela 6, podem ser observados os valores dos pesos fatoriais para os componentes 1, 2 e 3. Esses expressam a relação entre fatores e variáveis e permitem a identificação das variáveis com maiores inter-relações entre cada eixo.

Tabela 6 Matriz de correlação entre as variáveis originais e as componentes principais

Variáveis	Fator 1	Fator 2	Fator 3
Fosfato	-0,4226	0,6584	-0,2849
Nitrato	-0,5030	-0,1184	-0,1733
Coliformes termotolerantes	0,6279	0,1594	0,0221
pH	0,1152	0,1342	0,4320
Temperatura	0,8339	0,1485	0,0715
Turbidez	0,0819	-0,0462	-0,8121
Condutividade elétrica	-0,6142	-0,1539	0,3832
Cloro	0,0437	-0,8107	-0,1395
Bicarbonato	-0,7322	0,1038	0,0313
Autovalor	2,4568	1,2070	1,1305
% variância explicada	27,2980	13,4115	12,5613
% variância acumulada	27,2981	40,7097	53,2710

Os valores elevados sugerem quais são as variáveis mais significativas em cada fator. No fator 1, as variáveis coliformes, temperatura, nitrato, condutividade elétrica e bicarbonato apresentaram peso superior a 0,5 indicando que essas variáveis são mais significativas na definição da qualidade da água estudada.

Dentre os parâmetros analisados, verificou-se que o nitrato, os coliformes termotolerantes, a temperatura, a condutividade elétrica e bicarbonato foram os parâmetros que melhor explicaram a variação espacial da qualidade da água, e apresentaram as maiores correlações com o eixo principal.

No eixo 1, a alta correlação positiva entre o parâmetro físico da temperatura e o parâmetro biológico dos coliformes termotolerantes se devem ao fato de que a atividade do grupo coliforme está diretamente influenciada pela temperatura. Assim, há evidências de que, na atividade biológica, os parâmetros temperatura e coliformes termotolerantes estão diretamente relacionados.

A correlação da condutividade elétrica com a alcalinidade do bicarbonato era esperada, uma vez que a condutividade elétrica expressa a concentração dos íons em solução. Especialmente em águas utilizadas para irrigação, a associação do bicarbonato a valores mais elevados para outros íons como cloreto e sódio (PALACIO et al., 2011; ARRAES et al., 2009).

Já o elevado teor de nitrato nas águas pode ter origem em fertilizantes orgânicos (LEAL et al., 2009). Mas, se inadequadamente aplicados, podem atingir os corpos d'água principalmente na ocorrência de períodos mais chuvosos, e é também um indicativo de descargas de esgoto distante no corpo d'água (ALVES et al., 2008).

Na Figura 7, o Fator 1 ilustra a correlação positiva do parâmetro físico da temperatura e o parâmetro biológico dos coliformes termotolerantes no período de maior precipitação e a correlação negativa dos parâmetros químicos de nitrato e bicarbonato e do parâmetro físico para condutividade elétrica no período de menor precipitação.

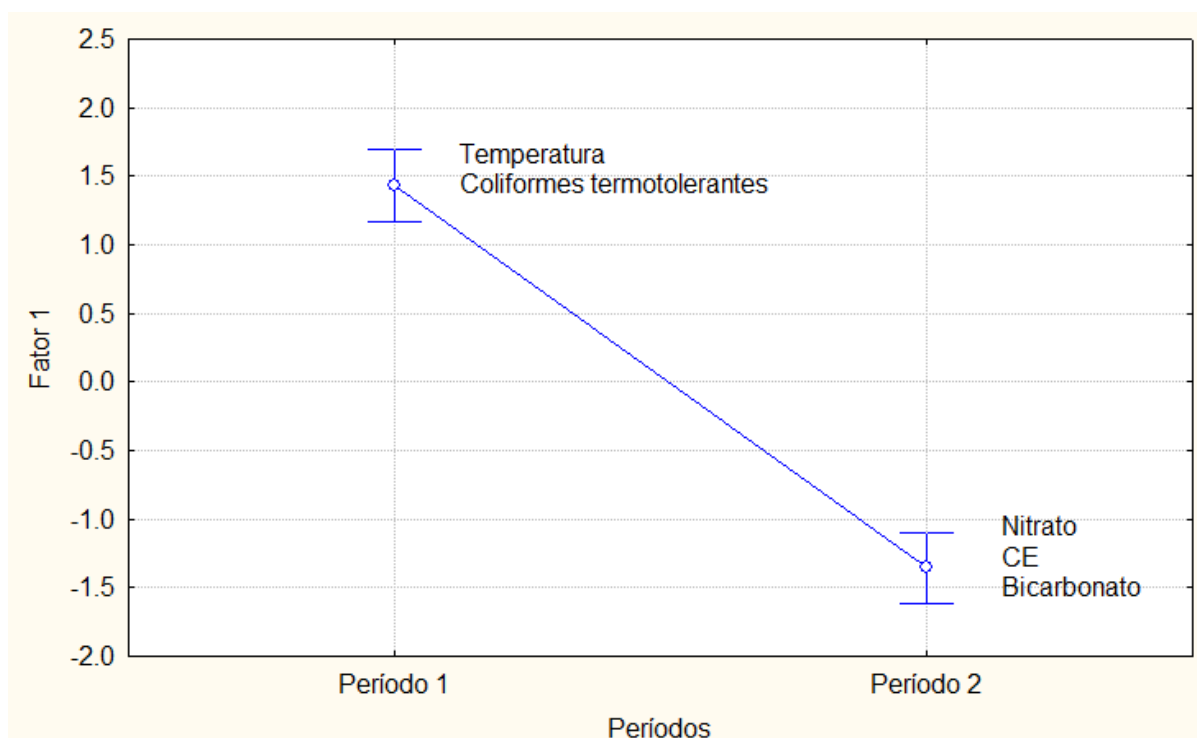


Figura 7 Comportamento das variáveis nos dois períodos anuais distintos de precipitação.

No período I, caracterizado pela maior precipitação, os parâmetros tiveram comportamento diferente daquele encontrado para os mesmos parâmetros no período II, de menor precipitação. As atividades agrícolas podem ocasionar alterações no ambiente aquático, principalmente nos períodos chuvosos, no qual o deflúvio superficial promove o carreamento de partículas do solo para os leitos dos rios, aumento nos níveis de água, promove a diluição das concentrações de alguns elementos químicos da água e consequente lixiviação de fertilizantes ou carreamento de materiais diversos depositados sobre o solo (LEAL et al., 2009).

3.9 CONCLUSÕES

Pelo mapeamento de uso e ocupação do solo, evidenciou-se que o município se caracteriza por extensa área rural, com predomínio das áreas sob culturas agrícolas e solo exposto/resteva na cena da imagem utilizada, com bom percentual de área com mata.

Os valores obtidos para a classificação foram considerados excelentes com a utilização do classificador MAXVER a partir dos índices de Exatidão Global e Kappa no mapeamento do uso e ocupação do solo no município de Salto do Lontra/ PR.

A análise multivariada por Análise de Componentes Principais e por Análise Fatorial permitiu identificar as variáveis mais significativas na avaliação da qualidade da água de irrigação, nos dois períodos anuais distintos de precipitação.

Durante o período de maior precipitação, os parâmetros coliformes termotolerantes e temperatura foram os que melhor explicaram a variação na qualidade da água de irrigação e no período de menor precipitação os parâmetros nitrato, condutividade elétrica e bicarbonato, foram os parâmetros que melhor explicaram a variação na qualidade da água de irrigação.

Os parâmetros fosfato e coliformes termotolerantes apresentaram restrição ao uso da água para irrigação e estiveram relacionados ao uso e à ocupação do solo, nas áreas de predominância agrícola no município.

AGRADECIMENTOS

À CAPES, ao CNPq e à EMATER do município de Salto do Lontra - Paraná.

3.10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, E. C.; SILVA, C. F.; COSSICH, E. S.; TAVARES, C. R. G.; SOUZA-FILHO, E. E.; CARNIEL, A. Avaliação da qualidade da água da bacia do rio Pirapó – Maringá, Estado do Paraná, por meio de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos. *Acta Scientiarum Technology*. Maringá, v. 30, n. 1, p. 39-48, 2008.

AMARAL, M. V.; SOUZA, A. L.; SOARES, V. P.; SOARES, C. P. B.; LEITE, H. G.; MARTINS, S. V.; FERNANDES FILHO, E. I.; LANA, J. M. Avaliação e comparação de métodos de classificação de imagens de satélites para o mapeamento de estádios de sucessão florestal. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 33, p. 575-582, 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-67622009000300019&script=sci_arttext> Acesso em: 23 maio 2012.

APHA; AWWA; WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20 ed. Washington: American Public Health Association, 1998, 937 p.

ARRAES, F. D. D.; ANDRADE, E. M.; PALÁCIO, H. A. Q.; FROTA, J. I. J.; SANTOS, J. C. N. Identificação dos íons determinantes da condutividade elétrica nas águas superficiais da Bacia do Curu, Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, v. 40, p. 346-355, 2009.

AYERS, R. S; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Tradução de H. R. Gheyi, J. F. de Medeiros, F. A. V. Damasceno. Campina Grande: UFPB, 1991. 218 p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, n.29, revisado 1).

BAZILIO, S. **Variabilidade espaço temporal da comunidade de macroinvertebrados Bentônicos na microbacia do rio Lontra na região sudoeste do estado do Paraná**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2012.

BONNET, B. R. P.; FERREIRA, L. G.; LOBO, F. C. Relações entre qualidade da água e uso do solo em Goiás: Uma análise à escala da Bacia Hidrográfica. **Revista Árvore** [on-line], Viçosa: v. 32 n. 2, p. 311-322, 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622008000200014>. Acesso em: 12 dezembro 2012.

BRASIL. Instituto das Águas do Paraná. Superintendência de desenvolvimento de recursos hídricos e saneamento ambiental – SUDERHSA. **Mapeamento da qualidade das águas**. Disponível em: www.suderhsa.pr.gov.br. Acesso em 27 de outubro de 2012.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 18 mar. 2005.

CONGALTON, R.G.; GREEN, K. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices**. Washington: Lewis Publishers, 1999. 137 p.

FERREIRA, E.; TOLEDO, J. H.; DANTAS, A. A. A.; PEREIRA, R. M.; Cadastral maps of irrigated areas by Center pivots in the state of Minas Gerais, using CBERS-2B/CCD satellite imaging. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 4, p. 771-780, jul./ago. 2011. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-69162011000400015&script=sci_arttext >. Acesso em: 10 maio 2012.

FERREIRA PINTO, D. B.; SILVA, A. M. MELLO, C. R. COELHO, G. Qualidade da água do Ribeirão Lavrinha na região Alto Rio Grande – MG, Brasil. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 4, jul./ago. 2009.

FRANCO, R. A. M; HERNANDEZ, F. B. T; Qualidade da água para irrigação na microbacia do Coqueiro do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, n. 6, p. 772-780, 2009.

FRANÇA, M. S. **Análise estatística multivariada dos dados de monitoramento de qualidade de água da bacia do Alto Iguaçu: Uma ferramenta para a gestão de recursos hídricos**. 2009. 150 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) - Universidade Federal do Paraná, CURITIBA, 2009.

FRAVET, A. M. M. F; CRUZ, R. L. Qualidade da água utilizada para irrigação de hortaliças na região de Botucatu-SP. **Revista Irriga**, Botucatu, n. 2, p. 144-155, 2007.

GONDIM, R. S.; CASTRO, M. A. H.; EVANGELISTA, S. R. M.; FUCK-JÚNIOR, S. C. F.; SOUSA, S. A. M. Impacto das mudanças climáticas na evapotranspiração de referência, em nível de Bacia Hidrográfica utilizando um sistema de informações geográfica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 16, n. 2, p. 5-12, abr./jun. 2011.

IPARDES: INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Caderno estatístico do município de Salto do Lontra**. Dezembro, 2010.

LANDIS, J. e G. KOCH. **The measurement of observer agreement for categorical data**, Washington, USA. *Biometrics*, v. 33, n. 1, p. 159-174, 1977.

LEAL, C. M; ANDRADE-JUNIOR, A. S; SOUZA, V. F. SILVA, E. F. F; BASTOS, E. A. Qualidade da água subterrânea para fins de irrigação na microrregião de Teresina, Piauí. **Rev. Irriga**, Teresina, v. 14, n. 3, p. 276-288, 2009.

MASCARENHAS, L. M. A.; FERREIRA, M. E.; FERREIRA, L. G. Sensoriamento remoto como instrumento de controle e proteção ambiental: análise da cobertura vegetal remanescente na bacia do rio Araguaia. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 21, n. 1, p. 5-18, 2009.

MERCANTE, E.; LAMPARELLI, R. A. C.; URIBE-OPAZO, M. A.; ROCHA, J. V. Características espectrais da soja ao longo do ciclo vegetativo com imagens LANDSAT 5/TM em área agrícola no oeste do Paraná. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Jaboticabal, v. 29, n. 02, p. 328-338, 2009.

PALACIO, H. A. Q.; ARAÚJO NETO, J. R.; MEIRELES, A. C. M.; ANDRADE, E. M.; SANTOS, J. C. N.; CHAVES, L. C. G. Similaridade e fatores determinantes na salinidade das águas superficiais do Ceará, por técnicas multivariadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 25, n. 4, p. 395-402, 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v15n4/v15n04a11.pdf>> Acesso em: 13 maio 2012.

POLETO, C. Alterações morfológicas em um canal fluvial urbano no contexto antrópico, social e ambiental: um estudo de caso. **Acta Scientiarum**. Technology. Maringá, v. 33, n. 4, p. 357-364, 2011.

REZENDE, F. C.; RIBEIRO, V. B.; ÁVILA, L. F.; FARIA, M. A.; MELLO, C. R. Variabilidade espacial da condutividade elétrica EM ÁREA COM CAFEEIRO (*Coffea arabica* L.) adubado via fertirrigação e sistema tradicional. **Coffee Science**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 55-64, jan./abr. 2011.

ROMITELLI, L. & PATERNIANI, J. E. Diagnóstico ambiental de um trecho do Córrego Bonifácio, APA Jundiá - SP. **Engenharia Ambiental**, v. 4, n. 2, p. 14-25, 2007.

SILVA, A. E. P.; ANGELIS, C. F.; MACHADO, L. A. T.; WAICHAMAN, A. V. Influência da precipitação na qualidade da água do Rio Purus. **Acta Amazônica**, v. 38, n. 4, p. 733-742, 2008.

SONCELA, R.; SAMPAIO, S. C.; VILAS BOAS, M. A.; TAVARES, M. H. F.; SOUZA, C. F.; SONCELA, A. S. Condutividade elétrica do solo irrigado com água residuária da suinocultura estimado pelo domínio do tempo reflectometria. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 35, jul/ago, 2011.

WRUBBLACK, S. C.; MERCANTE, E.; VILAS BOAS, M. A. Utilização de técnicas de geoprocessamento para caracterização de áreas aptas à irrigação por gotejamento no município de Salto do Lontra – Paraná. **Estudos Ambientais**, v. 14, n. 2esp, p. 6-13, 2012.

ZANINI, H. L. H. T.; AMARAL, L. A.; ZANINI, J. R.; TAVARES, L. H. S. Caracterização da água da microbacia do córrego rico avaliada pelo índice de qualidade de água e de estado trófico. **Eng. Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 4, p. 732-741, jul./ago. 2010.

4 ARTIGO 2 - VARIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA AO LONGO DE UM RIO EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA AGRÍCOLA COM O APOIO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA E ANÁLISE MULTIVARIADA

RESUMO: Este trabalho objetiva encontrar correlação aplicando análises estatísticas multivariadas e Sistemas de Informação Geográfica no estudo da variação da qualidade da água em microbacia predominantemente agrícola. O estudo foi realizado na microbacia do Rio das Lontras na região sudoeste do estado do Paraná. O monitoramento da qualidade da água nos anos 2012 e 2013 foi realizado com auxílio da sonda multiparâmetros, em dez pontos definidos a montante e a jusante da microbacia, em quatro estações distintas. Para o mapeamento de uso e ocupação do solo, foram utilizadas imagens mosaicadas datadas do ano 2014, e provenientes do Google Earth. O Modelo Digital de Elevação e os mapas de tipos de solos, serviram para compor o banco de dados, juntamente com as categorias de UCS, definidos como as variáveis explicativas. A definição das áreas de influência pela técnica de polígonos de Thiessen e as técnicas estatística multivariada, em especial à Análise de Redundância (RDA), foram utilizadas para investigação da correlação entre as variáveis explicativas (uso e ocupação do solo, declividade, tipos de solos e pontos de monitoramento) nos parâmetros de qualidade da água, definidas como variáveis exploratórias. Na área da nascente, situada a montante da microbacia, a contribuição para variação na qualidade da água se tornou menor, quando comparada aos demais pontos de monitoramento. Nos pontos situados a jusante, identificou-se a interferência na qualidade da água se tornou maior, em decorrência dos efeitos da poluição difusa ao longo do curso d'água. Nesse sentido, a partir do monitoramento e acompanhamento temporal da qualidade da água associada à utilização das ferramentas de Geoprocessamento e Sistemas de Informações Geográficas a preservação da qualidade e quantidade dos recursos hídricos disponíveis mostra-se como importante alternativa para definição de estratégias no contexto da gestão do território.

PALAVRAS-CHAVE: Classificação visual; Uso sustentável do solo; qualidade da água.

VARIATION OF WATER QUALITY ALONG A RIVER IN AN AGRICULTURAL WATERSHED SUPPORTED BY GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS AND MULTIVARIATE ANALYSIS

ABSTRACT: In this trial, it was presented the application of multivariate statistical analysis and Geographic Information Systems to carry out variation studies of water quality in a watershed that is mainly agricultural. The study was carried out in the watershed of Lontras's river in southwestern region of Paraná state. The monitoring of water quality has been done in 2012 and 2013 with a multi-parameter probe in ten sites that were defined upstream and downstream watershed, during four different seasons. For land use and occupation mapping, there were mosaicked images dating from 2014, by Google Earth. The Digital Elevation Model and maps concerning soil types helped on making up database, along with UCS categories, defined as explanatory variables. The definition of influence areas by Thiessen polygons technique and multivariate statistical techniques, particularly the Redundancy Analysis (RDA), were used to check the correlation among explanatory variables (use and occupation of soil, slope, soil types and monitoring sites) and water quality parameters, defined as explanatory variables. In a spring area, located upstream watershed, the contribution on water quality variation has gotten smaller, when compared with the other monitoring sites. There was an interference in water quality in downstream sites that has

become greater due to the effects of diffuse pollution along the watercourse. Accordingly, based on the monitoring and time tracking of water quality associated to the use of geoprocessing and Geographic Information Systems tools, preserving quality and quantity of available water resources has been an important alternative to define strategies on management of a territory. Mainly, in order to preserve quality and quantity of available water resources.

KEYWORDS: Visual classification, sustainable land use, water quality.

4.1 INTRODUÇÃO

Os estudos do espaço geográfico, analisados sob a ótica dos aspectos ambientais, tem permitido o reconhecimento acerca das modificações dos ecossistemas naturais, pelo homem. Esta interferência humana tem servido à obtenção de produtos que atendam às necessidades básicas e culturais, bem como em diferentes padrões de consumo, criando relações diversas com a natureza e, conseqüentemente, diferentes graus de pressão sobre os recursos naturais.

A ação antrópica tem alterado as paisagens naturais e provocado uma série de consequências ao meio ambiente, algumas de caráter irreversível. Entre as implicações mais graves, destaca-se a degradação dos solos pelos processos erosivos, com subsequente deterioração das águas em razão do carreamento de sedimentos aos corpos hídricos, especialmente aqueles associados a poluentes (SARI, POLETO & CASTRO, 2013).

Diversas tecnologias têm servido aos estudos de planejamento e gestão ambiental, especialmente em bacias hidrográficas. Ressalta-se o auxílio que as ferramentas de geoprocessamento e dos sistemas de informações geográficas, que tem proporcionado a execução de diferentes análises e mapeamentos, mediante a integração de dados provenientes de diversas fontes, fornecendo informações que possam ser utilizadas na tomada de decisão, a fim de que se subsidiem ações gerenciais, especialmente no que se refere à gestão do território.

Como base para os estudos sobre impactos e origens de problemas na qualidade da água, as técnicas de Sensoriamento Remoto Orbital e de Geoprocessamento podem ser utilizadas para o mapeamento de uso e ocupação de solo (WRUBLACK et al., 2013). E, na delimitação de bacias hidrográficas, são providas informações sistematizadas para a análise integrada da área de estudo, mediante o processamento de grande quantidade de informações, tornando-se indispensável para o conhecimento e fornecimento de informações consistentes sobre a bacia hidrográfica e a tarefa de gestão dos recursos naturais.

O monitoramento ambiental sobre o nível de bacias hidrográficas analisa aspectos relevantes que permitam caracterizar as mudanças que ocorrem no uso e ocupação do solo. Por isso, é possível avaliar os efeitos das atividades humanas sobre os ecossistemas (BERTOSSÍ et al., 2013). A principal importância do monitoramento da qualidade dos recursos hídricos em uma bacia reside no fato de que, a partir das informações coletadas, se pode inferir sobre a condição ambiental da bacia hidrográfica (QUEIROZ et al., 2010).

A condução de estudos ambientais, sobretudo no acompanhamento de variáveis ambientais, pode contribuir para a geração de um grande número de variáveis-resposta. A análise desses extensos bancos de dados pode ser interpretada com o auxílio das técnicas de estatística multivariada. Dessa maneira, destaca-se a utilização de métodos de ordenação como termo coletivo para as técnicas estatísticas multivariadas que visam agrupar pontos de amostragem ao longo dos eixos, com base em características, destes locais (TER BRAAK, 1986).

Dentre os métodos de ordenação direta, destacam-se a utilização da Análise de Componentes Principais (ACP) e a Análise Fatorial (AF), nas quais os eixos de ordenação são interpretados posteriormente, em relação às possíveis variáveis explicativas. A ACP e a AF foram aplicadas aos parâmetros de qualidade da água, coletados em quatro estações distintas e em dez pontos de monitoramento na microbacia (de montante a jusante), visando identificar quais parâmetros de qualidade da água tiveram maior influência em cada um dos pontos monitorados e também em relação às estações do ano. As análises estatísticas multivariadas, aplicadas ao conjunto de dados obtidos, tiveram por objetivo sintetizar/simplificar a informação original, diminuir a contribuição das variáveis de menor significância e melhorar a interpretação de um conjunto de variáveis, ditas correlacionadas.

A ACP foi aplicada às variáveis de qualidade da água no intuito de reduzir o número de variáveis sob estudo e assim melhorar a interpretação pelas combinações lineares construídas. Assim, a informação contida nas variáveis originais foi substituída pela informação contida nos componentes principais não correlacionados. Nessa técnica, as variáveis são analisadas simultaneamente, não sendo definidas as variáveis como dependentes ou independentes.

Análise Fatorial (AF) foi aplicada nos dados provenientes da Análise de Componentes Principais com o objetivo principal de reduzir ainda mais a variabilidade dos dados provenientes da ACP. Esta análise busca descrever a variabilidade original do vetor aleatório, em termos de um número menor de variáveis aleatórias (fatores) e que estão relacionadas com o vetor original através de um modelo linear. Parte desta variabilidade é atribuída aos fatores comuns e o restante da variabilidade é atribuído às variáveis que não foram incluídas no modelo ou atribuídas ao erro aleatório.

Técnicas de Estatística Multivariada com ordenação direta são baseadas em cálculos de distância Euclidiana e assumem relações lineares entre as variáveis explicativas e respostas. Dentre as técnicas de ordenação direta, destaca-se a utilização da Análise de Redundância, a qual é indicada para a ordenação de parâmetros de qualidade da água em função de variáveis ambientais, representadas por dados métricos. Na RDA, o objetivo é correlacionar simultaneamente diversas variáveis dependentes (variáveis-resposta) com diversas variáveis métricas independentes (variáveis preditoras ou explicativas). Dessa maneira, a RDA visa identificar uma estrutura ótima para cada grupo de variáveis que maximize o relacionamento entre os grupos de variáveis dependentes (como parâmetros de qualidade da água) e independentes (como categorias de uso e ocupação do solo) (FONSECA, 2006).

Logo, o presente trabalho teve por objetivo colaborar, a partir da produção científica sobre a aplicabilidade das técnicas de Geoprocessamento, com o reconhecimento detalhado do uso e ocupação do solo, em microbacia predominantemente agrícola assim como auxiliar no reconhecimento da distribuição temporal e espacial da qualidade da água, mediante o emprego das técnicas estatísticas multivariadas, assim como da possibilidade de utilização destas técnicas para a gestão dos recursos hídricos.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Caracterização da microbacia do Rio Lontra

O trabalho foi desenvolvido nos municípios de Salto do Lontra e Nova Esperança do Sudoeste, no Estado do Paraná, vinculado à execução de um projeto financiado pela Secretaria de Estado da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior – SETI, intitulado: Aplicação conjunta das técnicas de Geoprocessamento e Sistemas de Informações Geográficas - SIG na Agricultura Familiar, conforme o Edital nº 01/2013.

A microbacia do rio Lontra está inserida nos municípios de Nova Esperança do Sudoeste e Salto do Lontra, no Estado do Paraná. Em uma área aproximada de 17.780,61 hectares; com extensão aproximada de 55 km, sendo 38 km entre os limites do município de Salto do Lontra e 17 km de extensão aproximada no município de Nova Esperança do Sudoeste onde se encontram as nascentes.

4.2.2 Monitoramento da qualidade da água na microbacia do Rio Lontra

A qualidade de água na microbacia do Rio Lontra foi analisada em quatro estações distintas (primavera, verão, outono e inverno) nos anos de 2012 e 2013, com base em dados pré-existentes (BAZILIO, 2012), os quais incluíram quatro campanhas (ida de campo)

em cada ano. Os dados foram coletados sob condições de correnteza e remanso, com dez repetições em cada ponto de monitoramento, totalizando 5.600 mensurações. O monitoramento foi realizado com auxílio de uma sonda multiparamétrica Horiba, a qual oferece simultaneamente os resultados para os parâmetros de qualidade da água: potencial Hidrogeniônico, oxigênio dissolvido (mg/L), condutividade elétrica (mS/m^{-1}), turbidez (NTU), temperatura ($^{\circ}\text{C}$), Potencial Redutor de Oxidação (mV), Sólidos Totais Dissolvidos (g/L).

A amostragem foi realizada em pontos definidos, a montante e a jusante da microbacia, com georreferenciamento dos pontos de coleta (Figura 1), identificações dos pontos de monitoramento da qualidade da água na microbacia do rio Lontra e os principais usos e impactos na área de estudo (Tabela 1).

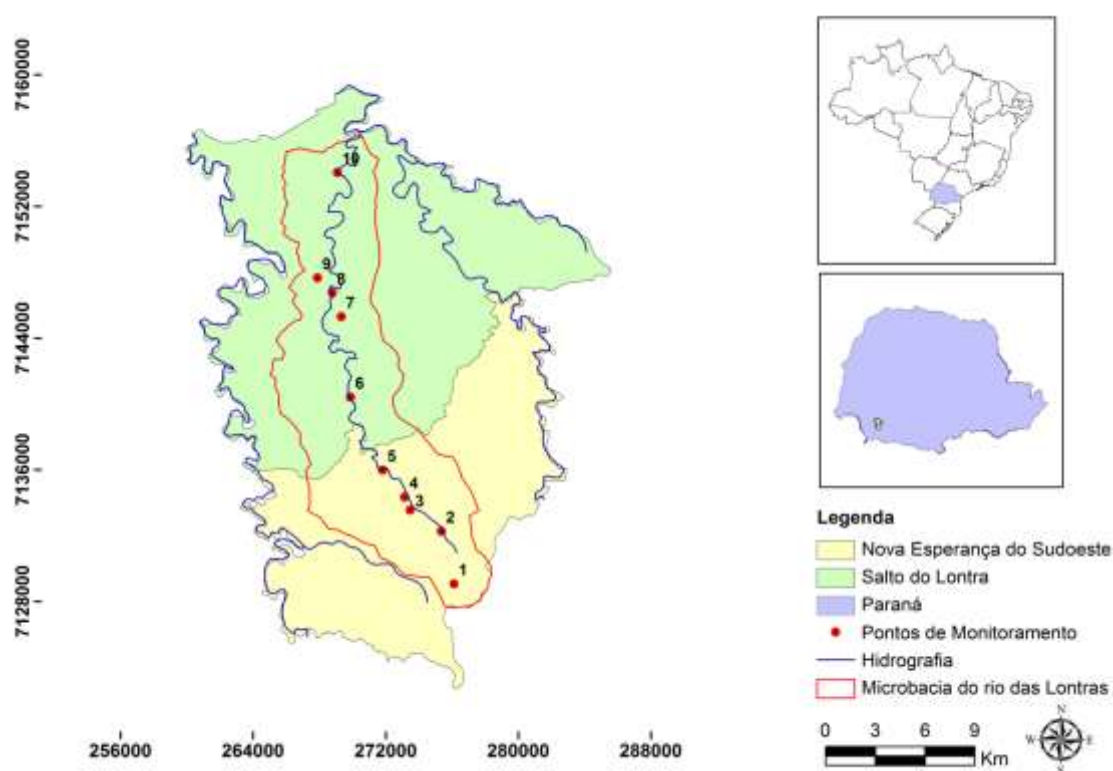


Figura 1 Espacialização dos 10 pontos de monitoramento da qualidade da água na microbacia do rio Lontra. Datum WGS-84, coordenadas UTM, zona 22 S.

Tabela 1 Identificação dos pontos de monitoramento da qualidade da água na microbacia do rio Lontra e dos principais impactos na área

Pontos	Caracterização do ponto de monitoramento e impactos
1	O primeiro ponto de monitoramento compreendeu a região em que se encontram as nascentes, denominada cabeceira do rio Lontra.
2	Área com mata ciliar descaracterizada, inclui a presença de granja de aves a 50 metros de distância do ponto monitorado e uma granja de suínos próxima à margem esquerda do rio.

Continua...

3	Ponte de saída ou início da cidade, com moradias à beira da margem esquerda e presença de animais domésticos. Descarga de efluentes provenientes das atividades em oficina mecânica e madeireira próximas ao rio no qual evidenciou-se a entrada de sedimento.
4	Monitoramento sob ponte situada na área rural. Nas margens, identificou-se mata ciliar alterada embora presente (árvores exóticas). Na margem direita, área sob cultivos agrícolas e na margem esquerda, áreas de pastagem ocasionando entrada de sedimento devido à presença de estrada rural.
5	Ponte do Rio Gavião (asfalto), nascentes do rio Lontra na margem esquerda. Neste ponto, o rio apresenta fundo rochoso com corredeiras.
6	Comunidade Santa Terezinha, com a presença de uma ponte em madeira. Em ambas as margens com ausência de APP, córrego com fundo rochoso e grande entrada de sedimentos.
7	Ponte do Rio dos Porcos (área urbana do município de Salto do Lontra/PR), área com mata ciliar descaracterizada e presença de moradias próximas às margens.
8	Ponto de monitoramento no rio Lontra, APP alterada devido às moradias na margem direita (favela) e áreas de pastagem na margem esquerda do rio.
9	Monitoramento sob o rio Lontra (região de divisa entre a área urbana e rural), margens parcialmente preservadas, com ocorrência de áreas agriculturáveis na margem direita do rio.
10	Comunidade Barra do Lontra, as margens do rio encontram-se desprotegidas devido à presença de pastagem. Neste ponto, o rio atinge 18,40 m de largura, com aproximadamente 1 metro de profundidade.

4.2.3 Tratamento e análises dos dados

Para caracterização do uso e ocupação do solo na microbacia do rio Lontra, foram elaborados mosaicos, a partir de imagens provenientes do *Google Earth*, georreferenciadas junto à base cartográfica com os limites dos municípios de Salto do Lontra e Nova Esperança do Sudoeste, no estado do Paraná.

A partir da modelagem dos mapas de uso e ocupação do solo, foram realizados cruzamentos e inferidas as fontes de degradação difusas e de pressões antrópicas. Para esta análise foi utilizado o mapa temático de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do baixo Iguaçu, a partir de classificação temática das imagens de satélite.

A caracterização ambiental da microbacia incluiu as etapas de levantamento (*in loco*) dos principais impactos nos pontos de monitoramento, também dos dados obtidos para os parâmetros de qualidade da água e a análise integrada com as categorias de uso e

ocupação do solo (obtidas por meio da classificação visual da imagem do Google Earth), classes de declividade a partir do Modelo Global de Elevação Digital (*Global Digital Elevation Model* (GDEM) mediante a utilização da imagem do satélite Terra/Sensor Aster (USGS, 2014) e a classificação dos tipos de solo (ITCG, 2010). Os cruzamentos das informações e geração dos mapas temáticos foram realizados em ambiente SIG, com auxílio do software ArcGIS 9.3 – ESRI.

Quando se admite que a qualidade da água na microbacia pode ser deteriorada pela poluição difusa (dificultando sua localização), fez-se uso da técnica de Polígonos de Thiessen para delimitação das áreas que possam sofrer influência para cada um dos pontos amostrados na microbacia do rio Lontra. Passa a ser indicada quando não há distribuição uniforme dos pontos (GOMIG et al., 2009; PEARSON, 2007; WRUBLACK et al., 2013); portanto, neste estudo, buscou-se a geração dos polígonos de Thiessen, levando-se em consideração os dez (10) pontos de monitoramento da qualidade da água, situados dentro dos limites da microbacia. Assim, buscou-se a definição das áreas individuais de influência em torno de cada ponto de monitoramento.

Para definição das áreas de influência nos pontos monitorados, utilizou-se o software ArcGIS 9.3 (ESRI, 2006), mediante o traçado de linhas retas que uniram os pontos mais próximos entre si, com o traçado das medianas destas retas, que consistem em linhas médias perpendiculares e definem as regiões de influência de cada ponto (GOMIG et al., 2007). Portanto, objetiva-se a quantificação da área de cada polígono formado (localização dos pontos de monitoramento da qualidade da água na microbacia) e definido pelo método dos polígonos de Thiessen, sendo reconhecido o comportamento de cada parâmetro estudado, mediante a geração de mapas temáticos de cada polígono.

A Análise de Redundância (RDA) foi aplicada aos dados de qualidade da água no intuito de avaliar as relações entre dois conjuntos de dados, que constituíram o primeiro grupo de variáveis, ditas dependentes e de interesse direto. E o segundo grupo de variáveis foi compreendido pelas categorias de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica, que supostamente influenciam as variáveis do primeiro grupo. Nesse sentido, os objetivos principais para aplicação desta técnica estiveram fundamentados na determinação de quais variáveis dependentes, ou de suas combinações, foram mais influenciadas a fim de que fossem estimados os efeitos de tais variáveis explanatórias (independentes) que mais influenciaram o grupo de variáveis dependentes ou de interesse.

Para interpretação do teste, definiu-se a hipótese nula (H_0), na qual as variáveis-resposta (parâmetros de qualidade da água) não estão linearmente relacionadas com as variáveis explicativas de uso e ocupação do solo; tipos de solo e classes de declividades e a hipótese alternativa (H_a), na qual as variáveis (explicativas e resposta) estão linearmente

relacionadas. Dessa maneira, à medida que p-valor calculado é superior ao nível de significância ($\alpha = 0,05$), não se pode rejeitar a hipótese nula H_0 .

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado do monitoramento da qualidade da água na microbacia do rio Lontra/PR está apresentado na Tabela 2, a qual mostra as condições de parâmetros da qualidade da água na microbacia assim como das restrições apresentadas, com base nas condições e normas estabelecidas para as águas doces de classe 1 (CONAMA, 2005).

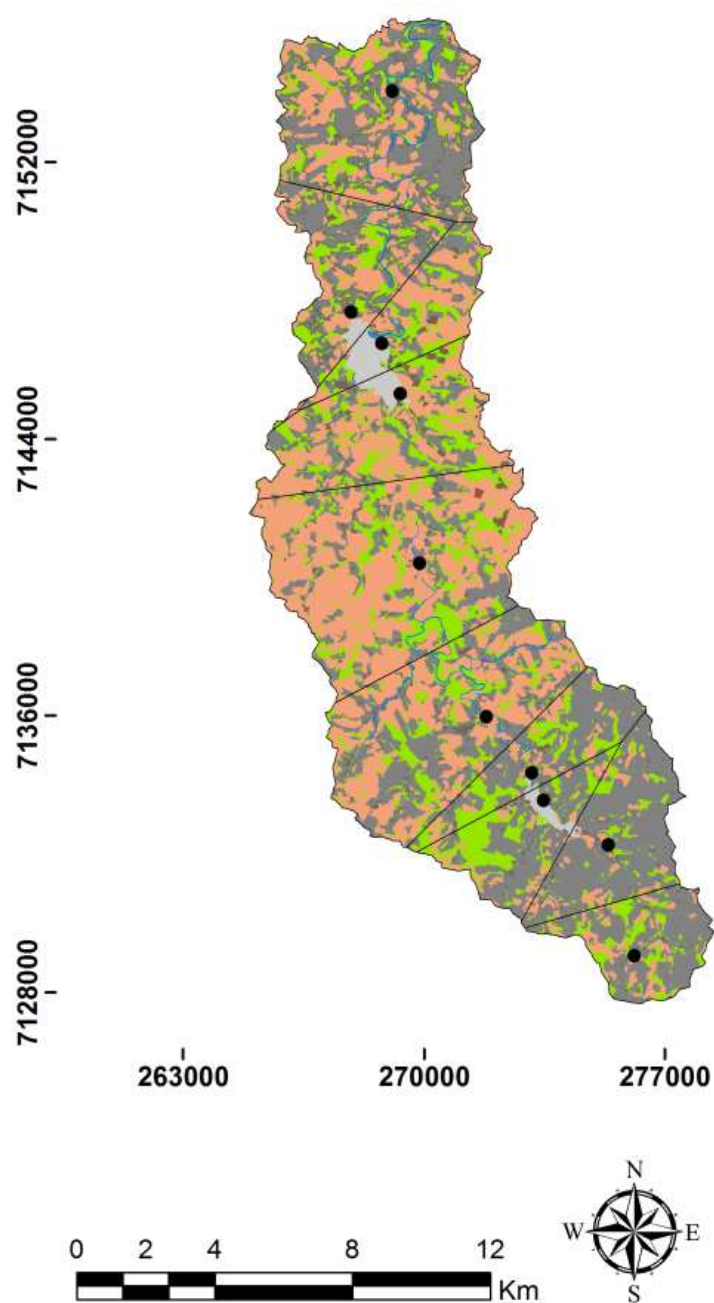
Tabela 2 Condições de parâmetros de qualidade da água na microbacia do rio Lontras

Variável	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão	Limite/Restrição
Temperatura (°C)	12,88	27,46	20,69	4,03	Não definida
pH * (escala 1-14)	5,08	10,76	7,42	1,35	6,0 a 9,0
ORP * (mV)	176,12	578,41	284,17	74,74	100 a 500 (mV)
CE * (mS/m ⁻¹)	0,04	0,13	0,07	0,02	5 a 150 mS m ⁻¹
Turbidez * (NTU)	0,00	72,03	11,46	15,41	Até 40 UNT
OD * (mg/L)	4,93	14,30	8,53	2,61	Não menor que 6 mg/L O ₂
TDS (g/L)	0,03	0,59	0,06	0,08	Menor que 500 mg/L

Nota: * valores mínimos ou máximos que apresentaram restrição à qualidade da água na classe 1 (CONAMA 357/2005). pH (potencial Hidrogeniônico); ORP (Potencial Redutor de Oxidação); CE (Condutividade Elétrica); OD (Oxigênio Dissolvido); TDS (Sólidos Totais Dissolvidos).

O reconhecimento dos parâmetros de qualidade da água serviu para a identificação das condições desses parâmetros nos pontos de monitoramento da microbacia. Evidenciou-se que alguns dos parâmetros apresentaram restrição, com base nos limites definidos para águas doce da classe 1. Estas informações serviram de base para a investigação das possíveis interferências, definidas para as variáveis exploratórias de uso e ocupação do solo, entre outras, na tentativa de explicar uma possível correlação entre as variáveis ambientais.

Na busca pelo reconhecimento detalhado da área de estudo, determinaram-se as classes de uso e ocupação do solo na microbacia do rio Lontra por meio da classificação visual realizada. Na Figura 2, está apresentado o resultado do mapeamento realizado para cada uma das categorias de uso e ocupação do solo na microbacia. Resultantes deste mapeamento, as respectivas classes temáticas foram quantificadas (Tabela 3).



Legenda

- | | |
|----------------------------|---------------------|
| • Pontos de monitoramento | Pastagem |
| Polígonos de Thiessen | Mata |
| Culturas Temporárias | Estradas e rodovias |
| Sedes e Instalações rurais | Perímetro Urbano |
| Rios | Açudes |

Figura 2 Caracterização do uso e ocupação do solo na microbacia do rio Lontra/PR, com destaque aos pontos de monitoramento de qualidade da água e delimitação das áreas de influência, obtidas pela técnica de polígonos de Thiessen. *Datum* WGS-84, coordenadas UTM.

Tabela 3 Uso e ocupação do solo (ha) na microbacia do rio Lontra

	Açudes	Rios	Perímetro urbano	Estradas Rurais	Mata	Pastagens	Temporárias	Sede/ Inst. rurais	Área total (ha)
P1	6,11	11,74	0,00	28,16	749,69	1236,89	671,02	39,81	2743,43
P2	4,03	3,92	37,29	26,89	470,15	552,41	325,86	31,64	1452,19
P3	3,54	3,58	125,80	18,21	292,95	225,42	290,37	40,03	999,91
P4	4,66	0,00	84,35	40,66	663,48	327,70	676,72	91,93	1889,50
P5	8,74	3,24	0,00	64,64	1048,47	594,61	1722,28	95,12	3537,10
P6	14,59	6,76	0,00	40,65	812,76	920,17	953,83	67,13	2815,89
P7	1,62	0,59	11,18	7,90	390,94	545,61	107,75	13,72	1079,31
P8	1,83	0,00	63,63	7,78	408,61	487,19	83,97	14,83	1067,83
P9	2,67	0,00	8,22	13,85	308,03	1038,50	84,07	17,83	1473,16
P10	1,37	0,00	0,00	10,34	309,47	588,09	113,87	9,71	1032,84

De acordo com o mapeamento realizado, a área total da microbacia do rio Lontra foi de 18091,16 hectares. Nota-se que a classe predominante é representada pelas áreas de pastagem, seguida pelas áreas com mata e áreas sob cultivos temporários. Dos dez pontos monitorados, a área de influência obtida pela técnica de polígonos de Thiessen, seis deles tiveram a maior ocupação das áreas sob pastagem; três polígonos tiveram a maior ocupação destinada aos cultivos temporários e um dos polígonos. Diante da classificação realizada, percebe-se que a ocupação é predominantemente agrícola na microbacia.

Na análise de uso e ocupação do solo (Tabela 3), identificou-se a área (ha) de cada classe temática para cada um dos pontos de monitoramento, obtidos pela técnica de Polígonos de Thiessen.

As atividades de exploração agrícola e pecuária são predominantes na microbacia, as quais são representadas principalmente pelas áreas com pastagens, mata e culturas temporárias e ocupam o maior percentual de uso. As principais culturas permanentes correspondem à fruticultura e também às áreas sob pastagens. Nas culturas temporárias predominam os cultivos de soja, milho, fumo e a olericultura, enquanto o milho e soja merecem atenção especial no contexto dos agroecossistemas por se constituírem em séria ameaça aos ecossistemas, devido às práticas inadequadas de manejo do solo. E contribuem para o aumento dos riscos de perda de solo por erosão e pelo emprego de altas excessivas de fertilizantes e defensivos agrícolas (SANTOS et al., 2010), constituindo-se as fontes não-pontuais de poluição, especialmente pelos nutrientes nitrogênio e fósforo.

No contexto dos ecossistemas, a exploração intensiva de recursos, associada ao lançamento de efluentes urbanos e industriais, atividades agrícolas e florestais, tem contribuído para o desequilíbrio de ecossistemas terrestres e aquáticos, e alterado a qualidade e a quantidade de água (LUCAS et al., 2010).

O acompanhamento ao nível de microbacias permite a pontualização de problemas difusos. Além disso, torna-se mais fácil a identificação de focos de deterioração dos recursos naturais, dos processos de degradação ambiental instalados e do grau de comprometimento da produção existente; e tem sido considerada área territorial ideal para o planejamento integrado dos recursos naturais (ALVES SOBRINHO et al., 2010). Uma das principais causas da baixa disponibilidade hídrica se relaciona com as ações antrópicas, sem planejamento do uso e ocupação do solo nas bacias hidrográficas, e que são as principais responsáveis pela poluição das águas (LUCAS et al., 2010).

Em áreas urbanas, a qualidade da água fica sujeita a alterações, devido aos profundos impactos, causados pelas ações antrópicas (POLETO, 2011) principalmente devido à ausência de sistemas de tratamento de efluentes domésticos, à coleta de resíduos sólidos urbanos e à falta de pavimentação das ruas que constituem um dos grandes problemas verificados nas bacias hidrográficas urbanas brasileiras e que, devido à infraestrutura limitada, aportam nos corpos d'água causando impactos severos aos recursos hídricos (POLETO & MERTEN, 2007).

Dessa maneira, a urbanização tem sido apontada como agente contribuidor para a poluição dos corpos d'água, devido ao aporte das águas residuais domésticas não tratadas e dos resíduos industriais. Recentemente, tem-se percebido que, em áreas urbanas, parte desta poluição tem origem do escoamento superficial que traz consigo uma grande carga de sedimentos gerados pelo processo de urbanização, influenciada também, pelo uso do solo, e demais atividades antrópicas realizadas sobre a bacia hidrográfica (MARTINEZ, POLETO & QUIROZ, 2012).

Ressalta-se ainda a significativa contribuição de sedimentos, provenientes das estradas sem pavimentação. Em solos não perturbados, onde a vegetação estão presentes, os processos de infiltração e escoamento superficial ocorrem de forma equilibrada e o escoamento não gera erosão, portanto, mantém a qualidade das águas. Contudo, quando esse solo é alterado pelas atividades humanas, a ação do escoamento sobre a superfície desse solo torna-se mais intensa, e pode ocasionar a remoção de partículas sólidas e seu posterior transporte em direção aos cursos d'água e; por consequência, além de afetar a qualidade das águas (SARI et al., 2013).

Visando identificar os tipos de solos encontrados na microbacia, elaboraram-se mapas temáticos e resultantes deste mapeamento (Figura 3) as áreas, em hectares, puderam ser quantificadas, conforme apresentado na Tabela 4.

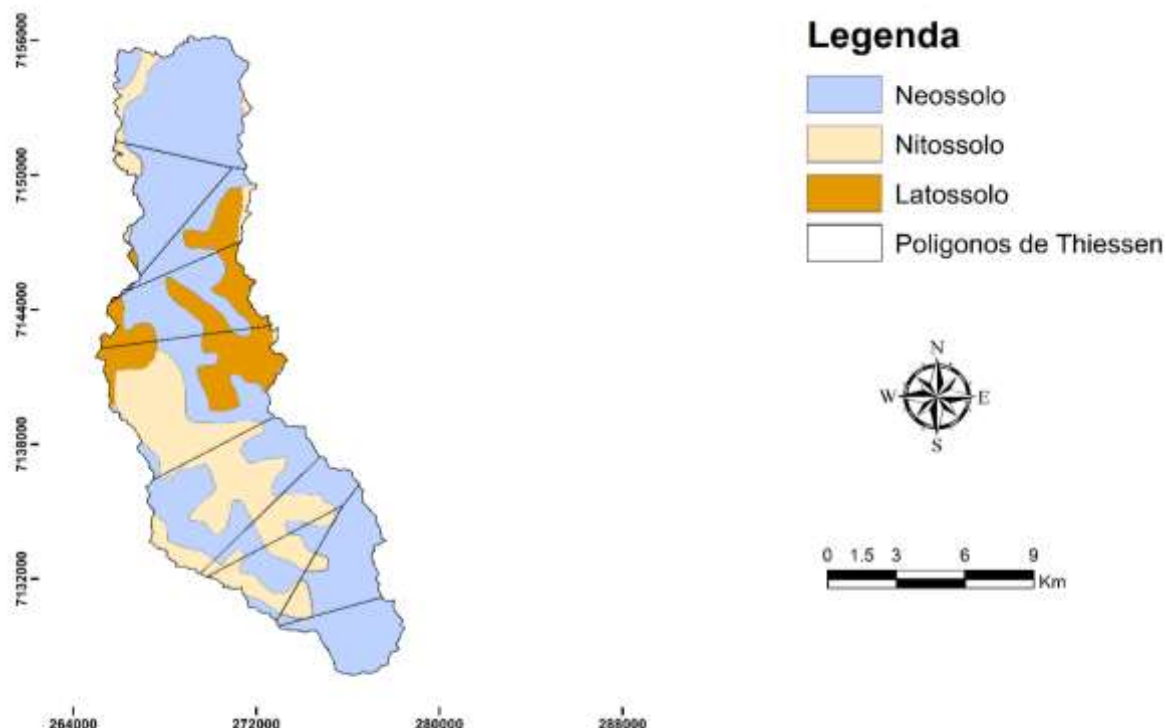


Figura 3 Classificação de solos na microbacia do rio Lontra / PR.

Tabela 4 Tipos de solos na microbacia do rio Lontra/PR com destaque às áreas de influência e pontos de monitoramento

	Neossolo (ha)	Nitossolo (ha)	Latossolo (ha)
P1	1005,41	0,65	0,00
P2	1184,75	203,72	0,00
P3	512,78	529,89	0,00
P4	558,79	490,61	0,00
P5	1528,24	1256,77	0,00
P6	886,92	1463,83	1170,76
P7	1024,06	1,88	859,51
P8	549,73	74,79	370,83
P9	1268,95	135,32	25,01
P10	2431,94	245,47	0,00

Os tipos de solos existentes na microbacia do rio Lontra foram identificados como Neossolo, Nitossolo e Latossolo. Os Neossolos são classificados por solos constituídos por material mineral, não hidromórficos, ou por material orgânico pouco espesso, com baixa intensidade de atuação dos processos pedogenéticos (EMBRAPA, 2013).

O percentual de Neossolo foi de 61,59% numa área de 10951,57 hectares. A segunda maior área foi para o Nitossolo na qual se conceituam os solos constituídos por material mineral, em textura argilosa ou muito argilosa, numa ocupação de 4402,94 hectares, representando 24,76% da área da microbacia.

A terceira categoria do solo foi atribuída para o tipo de solo, latossolo em uma ocupação de 13,64% que corresponde a 2426,11 hectares. Os Latossolos compreendem os tipos de solos constituídos por material mineral, com avançado estágio de intemperização, muito evoluídos, como resultado de enérgicas transformações do material constitutivo (EMBRAPA, 2013).

Considerando-se que a declividade do solo, obtida por meio do Modelo Digital de Elevação (MDE), possa dar indícios da contribuição de sedimentos e poluentes, por carreamento promovido pelo escoamento superficial, buscou-se a identificação por mapa temático das classes de declividades, conforme apresentada na Figura 4. A quantificação de cada classe de declividade está apresentada na Tabela 5.

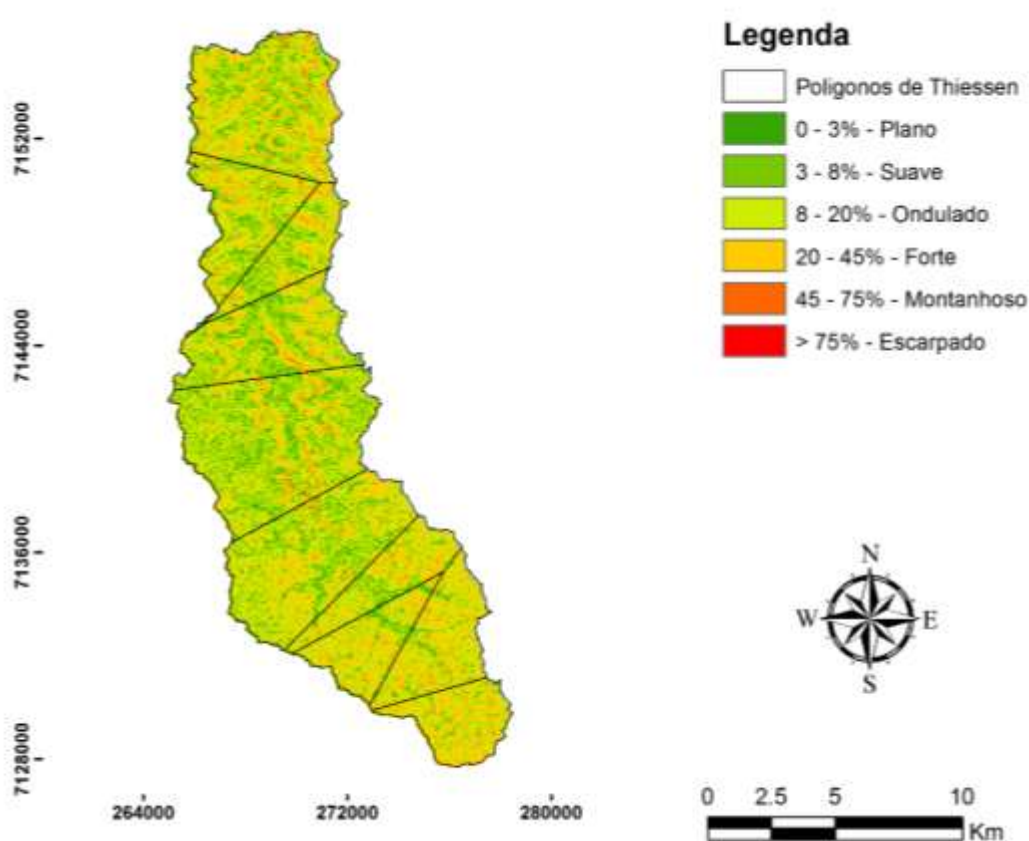


Figura 4 Classes de declividade na microbacia do rio Lontra/PR.

Tabela 5 Classe de declividade e suas respectivas áreas, com destaque aos pontos de monitoramento da microbacia do Rio Lontra/PR

	Plano	Suave ondulado	Moderadamente ondulado	Ondulado	Fortemente ondulado	Montanhoso e escarpado
	0 a 3%	3 a 8%	13 a 20%	20 a 45%	45 a 75%	>75%
P1	165,82	504,63	1113,47	813,71	78,46	0,35
P2	89,78	278,06	625,60	409,49	26,35	0,26
P3	73,45	215,85	440,08	253,44	12,62	0,00
P4	150,27	446,82	814,92	446,39	27,22	0,09
P5	289,12	909,80	1642,72	633,03	46,75	0,00
P6	176,36	583,95	1321,45	683,93	19,70	0,09
P7	51,24	159,68	458,14	366,11	13,65	0,00
P8	48,73	145,25	436,37	400,85	11,67	0,09
P9	54,35	154,50	571,85	585,08	22,73	0,00
P10	25,84	92,11	360,33	502,90	24,97	0,17
Área ha	1124,96	3490,66	7784,93	5094,93	284,11	1,04
Área %	6,33	19,63	43,78	28,65	1,60	0,01

A microbacia do rio Lontra possui grande predomínio de terras na classe de relevo moderadamente ondulado (13-20%) seguido do relevo ondulado (20-45%). A classe de relevo moderadamente ondulado totaliza cerca de 43,78% da área total da microbacia. As áreas com relevo ondulado representam aproximadamente 28,65%; enquanto as áreas com relevo suave ondulado (3 a 8%) associam-se a 19,63% do relevo nesta classe de declividade e em percentual de aproximadamente 6,33% as áreas com relevo plano. A menor parte da área estudada foi atribuída aos relevos fortemente ondulado (45-75%) e montanhoso e escarpado (>75%), os quais correspondem aos percentuais de 1,60% e 0,01%, respectivamente nestas classes de declividade.

A elaboração de mapas de morfologia e a classificação dos solos têm servido de base para processos de tomada de decisão, sobretudo no setor agrícola, os quais podem ser utilizados em combinação com outros fatores (ALEXANDRE e MARQUES DA SILVA, 2009). A fim de auxiliar no planejamento agrícola e em programas de conservação dos solos, com vistas ao desenvolvimento de agroecossistemas sustentáveis, que busquem não somente o aumento de produtividade, mas também a utilização do solo e dos recursos naturais de forma sustentável (SOUSA JUNIOR e DEMATTÊ, 2008). Acrescenta-se a isto o potencial das geotecnologias para reconhecimento das características de uso do solo e demais aspectos geomorfológicos de forma sistematizada, para facilitar a identificação de possíveis interferências, especialmente devido às ações antrópicas, e contribuir com o propósito da gestão geoambiental, especialmente em bacias hidrográficas (MARTINS JUNIOR et al., 2012).

A investigação das supostas relações entre as variáveis dependentes, definidas pelos parâmetros de qualidade da água, e as variáveis independentes (UCS, tipos de solos,

MDT e pontos de monitoramento na microbacia) foram obtidas pelo método de ordenação direta e pela Análise de Redundância, baseada em regressões lineares múltiplas. Os resultados das ordenações foram validados por testes de permutação (ANDERSON, 2001; ANDERSON e TER BRAAK, 2003; FONSECA, 2006) e da hipótese nula, na qual as variáveis-respostas são representadas pelos parâmetros de qualidade da água não estão linearmente correlacionadas às variáveis explicativas de uso e ocupação do solo; tipo de solo; classe de declividade e pontos de monitoramento ao nível de 5% (p valor 0,209).

A Tabela 6 apresenta os autovalores e o percentual de inércia da RDA bem como os valores percentuais acumulados em cada fator. Considerando-se que os fatores F1 e F2 explicaram 83,07% da informação, consideram-se esses dois fatores para a interpretação da análise de ordenação nos eixos X e Y, representados pelas variáveis explicativas e resposta. Os diagramas de ordenação dos dois primeiros eixos da Análise de Redundância, obtidos para a ordenação das sete variáveis dependentes (parâmetros de qualidade da água) e as vinte e sete variáveis explicativas (oito categorias de uso e ocupação do solo; três tipos de solos; seis classes de declividade e dez pontos de monitoramento), estão apresentados nas Figura 5, Figura 6, Figura 7, Figura 8 e Figura 9.

Tabela 6 Autovalores e percentual de inércia (RDA)

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
Autovalor	2.24	0.77	0.34	0.18	0.07	0.01	0.01
Inércia (%)	61.88	21.19	9.28	5.05	1.99	0.38	0.23
Cumulativo %	61.88	83.07	92.35	97.40	99.39	99.77	100.00

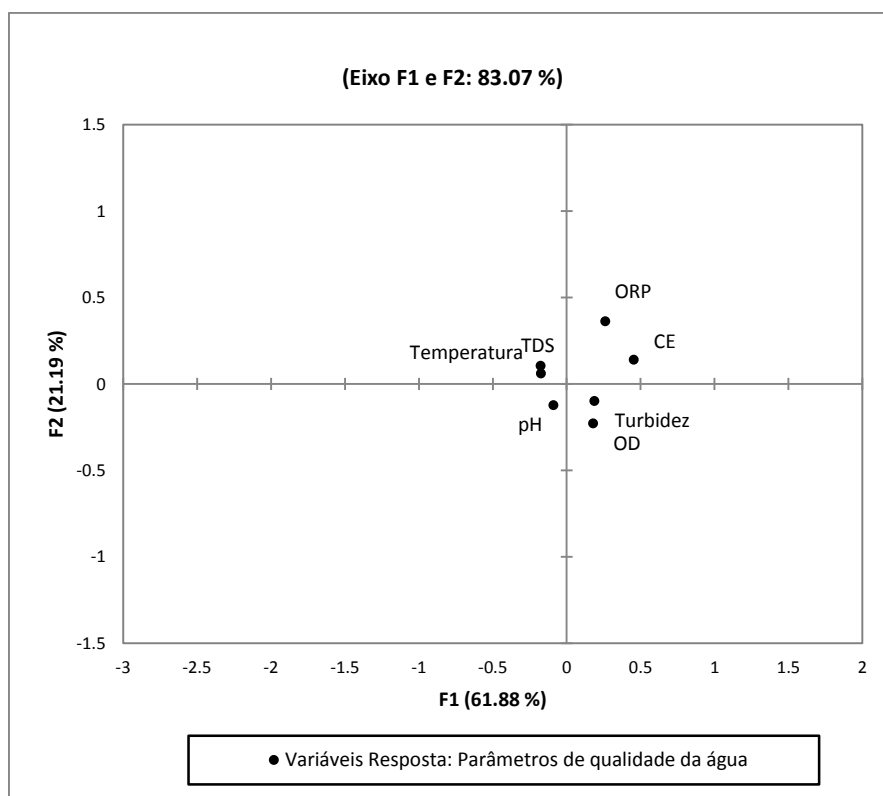


Figura 5 Diagrama de ordenação dos parâmetros de qualidade da água na microbacia do rio Lontra/PR

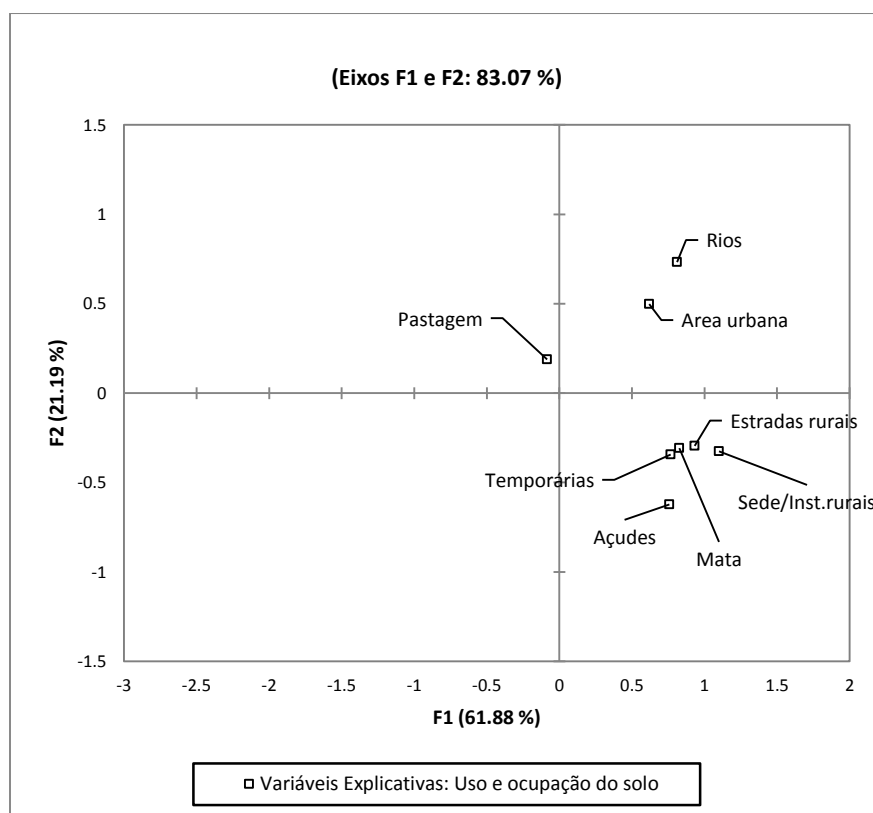


Figura 6 Diagrama de ordenação das categorias de uso e ocupação do solo na microbacia do rio Lontra/PR

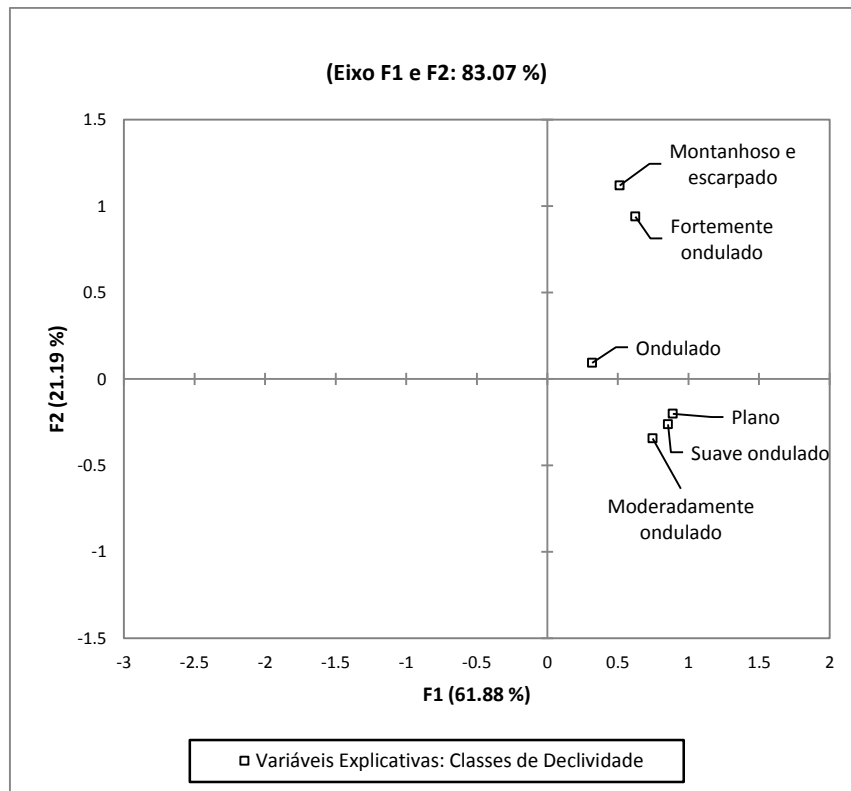


Figura 7 Diagrama de ordenação das classes de declividade na microbacia do rio Lontra/PR

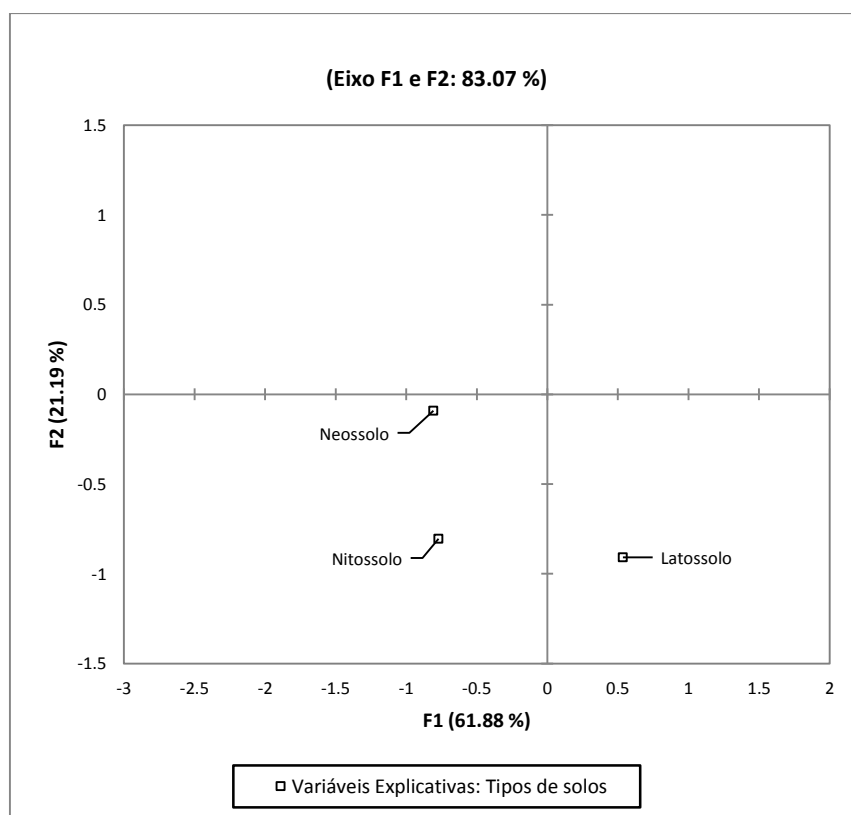


Figura 8 Diagrama de ordenação dos tipos de solos na microbacia do rio Lontra/PR

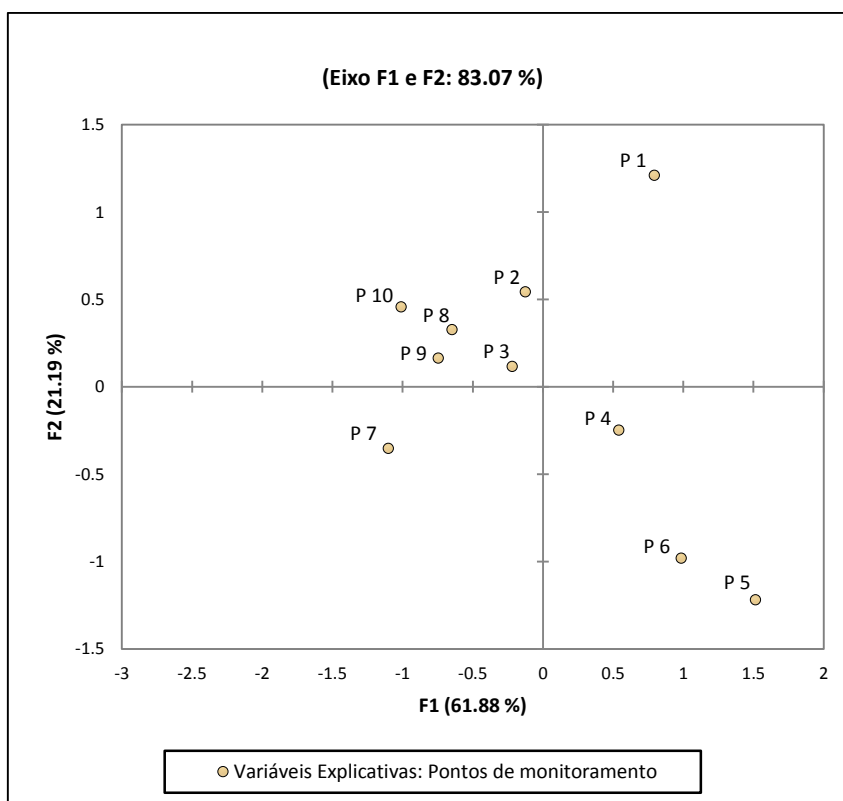


Figura 9 Diagrama de ordenação dos pontos de monitoramento na microbacia do rio Lontra/PR

A ordenação resultante da RDA apresentou correlação positiva para as variáveis (dependentes) CE e ORP (Figura 5). Isso indica que há dependência com os rios e área urbana (Figura 6), relevo montanhoso escarpado, fortemente ondulado e ondulado (notadamente, as categorias de maior declividade) (Figura 7) no ponto 1, situado na cabeceira do rio Lontra (Figura 9).

Os parâmetros temperatura e sólidos totais dissolvidos possuem dependência com as áreas de pastagem, nos pontos 2 e 3 (contribuição de dejetos de suínos e resíduos provenientes das atividades mecânicas) e pontos 8, 9 e 10 (favela; ponte sob área urbana e local de saída da cidade).

O potencial hidrogeniônico indicou possuir dependência com as categorias de neossolo e nitossolo, no ponto 7 (rio dos porcos). Os parâmetros de turbidez e oxigênio dissolvido demonstraram dependência com as áreas de latossolo e as categorias de relevo plano, suave ondulado e moderadamente ondulado (0 – 30% de declividade) de maneira especial, as categorias de menor declividade. Também as categorias de uso e ocupação do solo (estradas rurais, sede/instalações rurais, mata, açudes e cultivos temporários) estão dependentes entre si, pois denotam correlação de acordo com a ordenação do diagrama da RDA.

Na microbacia, identificaram-se áreas com neossolo (61,59%) revelando solos em via de formação e em contraste, áreas com latossolo (13,62%) com solos em processos de intemperização intensa e evolução muito avançada. E um terceiro tipo (nitossolo) derivado do intemperismo de rochas compreende solos de grande importância agrícola, o qual ocupa um percentual de 24,76%. Os solos em discussão apresentam riscos de erosão caso estejam localizados em relevos ondulados, como é o caso da microbacia, na qual o relevo predomina-se, nas categorias, de moderadamente ondulado a ondulado (>72%). Assim, contribui para a potencialização dos efeitos de erosão e de poluição das águas, especialmente agroquímicos, por escoamento superficial.

4.4 CONCLUSÕES

As geotecnologias possibilitaram a realização das análises complexas mediante a integração de dados provenientes de diferentes fontes e revelam sua potencial utilização na gestão do território, sobretudo na definição de estratégias, no contexto de agricultura familiar.

A identificação dos parâmetros de qualidade da água nos pontos de monitoramento, distribuídos na microbacia do rio Lontra/PR, assim como a investigação das pressões antrópicas (uso do solo, declividade e tipo de solo), permitiram o reconhecimento das realidades locais. Considerando-se o uso intensivo (práticas agropecuárias) e as taxas de desmatamento, especialmente nas áreas destinadas à preservação das margens dos rios, os resultados sugerem exposição às elevadas cargas de nutrientes e sedimentos.

A técnica dos Polígonos de Thiessen foi extremamente útil para a definição das áreas de influência em torno dos pontos de monitoramento bem como para auxílio às técnicas de estatística multivariada que possibilitaram inferir quais as variáveis explicativas (UCS, declividade, tipos de solos) que mais influenciaram nos parâmetros de qualidade da água. Na área da nascente, situada a montante da microbacia (P1), a contribuição se tornou menor quando comparada aos demais pontos de monitoramento. Nos pontos situados a jusante, especialmente nos pontos P7 (Rio dos Porcos), P8 (favela) e P9 (ponte sob rio Lontra, que dão acesso à área urbana), identificou-se que a interferência na qualidade da água se tornou maior, provavelmente, em decorrência dos efeitos da poluição difusa ao longo do curso d'água.

O diagrama de ordenação, resultante da Análise de Redundância, possibilitou a identificação das pressões antrópicas sobre os parâmetros de qualidade da água, especialmente quando comparado aos pontos situados a montante e a jusante da microbacia do rio Lontra.

Ressalta-se ainda a necessidade de acompanhamento temporal ao nível de microbacia ou de quaisquer outras áreas sob pressão e de se reconhecer, pela utilização das geotecnologias, se estas áreas estão melhorando ou piorando em termos de qualidade ambiental e o que podemos fazer sobre isso. E, dessa maneira, aumentam-se as chances de explicar os fenômenos ambientais, por meio do emprego das geotecnologias ao tornarem acessíveis estas informações por mapas temáticos, que facilitam a definição de estratégias que possam ser utilizadas em prol da gestão dos recursos finitos.

4.5 AGRADECIMENTOS

À CAPES, ao CNPQ e à USF/SETI pelo aporte financeiro.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDRE, C.; MARQUES DA SILVA, J. R. Influência da morfologia do terreno nas características do solo em terrenos agrícolas do Alentejo – aplicação de classificações geomorfométricas. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 32, n. 1, 2009. p. 407-422.

ALVES SOBRINHO, T.; O., P. T. S.; RODRIGUES, D. B. B.; AYRES, F. M. Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM. **Revista Engenharia Agrícola**, v.30, p. 46-57, 2010.

ANDERSON, M. J. Permutation tests for univariate or multivariate analysis of variance and regression. **Canadian journal of fisheries and aquatic science**, v. 58, n. 3, 2001, p. 629-636.

ANDERSON, M. J.; TER BRAAK, C. J. F. Permutation tests for multi-factorial analysis of variance. **Journal of statistical computation and simulation**, v. 73, n. 2, 2003, p. 85-113.

BAZILIO, S. **Variabilidade espaço temporal da comunidade de macroinvertebrados Bentônicos na microbacia do rio Lontra na região sudoeste do estado do Paraná**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2012.

BERTOSSI, A. P. A.; CECÍLIO, R. A.; NEVES, M. A.; GARCIA, G. O. Qualidade da água em microbacias hidrográficas com diferentes coberturas do solo no sul do Espírito Santo. **Rev. Árvore** [online]. 2013, vol.37, n.1, pp. 107-117. ISSN 0100-6762. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622013000100012>.

EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3ª. Ed. Revisada e ampliada. Brasília, DF: **Embrapa**, 2013. 353p.

FONSECA, G. P. S. **Análise da poluição difusa na Bacia do Rio Teles Pires com técnicas de Geoprocessamento**. 2006. 174f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Geografia – Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2006.

ITCG. Instituto de Terras, Cartografia e Geociências. **Produtos Cartográficos/Dados e informações geoespaciais temáticos/Solos**. Disponível em: www.itcg.pr.gov.br. Acesso em: 23 de set. 2014.

LUCAS, A. A. T.; FOLEGATTI, M. V.; DUARTE, S. N. Qualidade da água em uma microbacia hidrográfica do Rio Piracicaba, SP. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.** [online]. 2010, v. 14, n. 9, p. 937-943. ISSN 1807-1929. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662010000900005>.

MARTINEZ, L. L. G.; POLETO, C.; QUIROZ, H. T. Distribución de Cadmio por sedimentos urbanos em áreas impermeables de Porto Alegre (Brasil). **Revista AIDIS de Ingenieria y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica**. Vol. 6, n. 3, 2012. p. 30 – 38.

MARTINS JUNIOR, P. P.; MELO MARQUES, A. F. S.; CARNEIRO, J. A.; VASCONCELOS, V. V.; NOVAES, L. A.; ROSA, S. A. G.; Gestão geoambiental de bacias hidrográficas: os sistemas geológicos como fase inicial de decisão para uso da terra. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 42, supl. 1, p. 96-113, 2012.

POLETO, C.; MERTEN, G. H. Urban watershed studies in southern Brazil. **Journal of Urban and Environmental Engineering**, v. 1, n. 2, p. 70-78, 2007.

POLETO, C. Alterações morfológicas em um canal fluvial urbano no contexto antrópico, social e ambiental: um estudo de caso. **Acta Scientiarum Technology**, v. 33, n. 4, p. 357-364, 2011.

SANTOS, E. H. M.; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F. C. Relação entre uso do solo e comportamento hidrológico na Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 826-834, 2010.

SARI, V. POLETO, C. CASTRO, N. M. R. **Revista Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 9, n. 16, 2013. p. 596-624.

SOUSA JUNIOR, J. G. A.; DEMATTÊ, J. A. Modelo digital de elevação na caracterização de solos desenvolvidos de basalto e material arenítico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, Viçosa, 2008.

TER BRAAK, C. J. F. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. **Ecology**, p. 1167-1179, 1986.

USGS. Use for a changin world. Digital Elevation/SRTM. **Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Global Digital Elevation Model (GDEM)**. Disponível em: earthexplorer.usgs.gov. Acesso em: 23 de set. 2014.

WRUBBLACK, S. C.; MERCANTE, E.; VILAS BOAS, M. A. PIANA, P. A. Influence of use and land occupation on the water quality with the application of multivariate statistical techniques. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, v. 11 (3&4), p. 2131-2135, 2013.

6 ARTIGO 3 - GEOTECNOLOGIAS E ESTATÍSTICA MULTIVARIADA APLICADA À GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS NO ÂMBITO DE MICROBACIA AGRÍCOLA

RESUMO: Este trabalho apresenta a aplicação de geotecnologias na condução de estudos voltados à gestão dos recursos hídricos em microbacia, predominantemente agrícola. O estudo foi realizado na microbacia do Rio Lontra na região Sudoeste do estado do Paraná. A imagem do satélite LANDSAT-8 datada em 02/12/13, órbita/ponto 223/78, projeção UTM, Datum WGS-84 foi utilizada para realização da classificação supervisionada por meio do classificador SAM (*Spectral Angle Mapper*) para a caracterização do uso e ocupação do solo no âmbito da microbacia do Rio Lontra. Realizou-se o monitoramento dos parâmetros de qualidade da água (pH, OD, CE, turbidez, temperatura, TDS e ORP) no ano de 2012 em quatro estações distintas (primavera, verão, outono e inverno) com auxílio de uma sonda multiparamétrica Horiba. A amostragem foi realizada em pontos definidos, a montante e a jusante da microbacia, com georreferenciamento de dez pontos de coleta. As técnicas estatísticas multivariadas foram utilizadas no propósito facilitar a interpretação das relações de dependência das variáveis de qualidade da água e das categorias de uso e ocupação do solo. A ACP permitiu identificar as variáveis mais relevantes para explicar a variação na qualidade da água. Os parâmetros: temperatura, pH, ORP e OD foram as variáveis que melhor explicaram a variação na qualidade da água no fator 1, as quais foram significativamente influenciadas pelas estações do ano e nos pontos de monitoramento. A CE foi a variável que melhor explicou a variabilidade na qualidade da água no fator 2 e influenciada significativamente pelas estações do ano e pontos de monitoramento. No fator 3, a variável turbidez foi influenciada significativamente pelas estações do ano. A RDA demonstrou não haver correlação significativa entre as variáveis de qualidade da água quando correlacionadas às categorias de uso e ocupação do solo na microbacia do rio Lontra. Entretanto, a ordenação direta destas variáveis foi possível nas quatro estações distintas, a fim de facilitar a interpretação dos gradientes ambientais na microbacia.

PALAVRAS-CHAVE: Classificação supervisionada, Uso sustentável do solo, Avaliação da qualidade da água, Sistemas de informações geográficas – SIG, Análise multivariada, Áreas de influência, Polígonos de Thiessen, Imagens de satélite, Recursos hídricos, Características ambientais.

GEOTECHNOLOGIES AND MULTIVARIATE STATISTICS APPLIED TO WATER RESOURCES MANAGEMENT IN A PREDOMINANTLY AGRICULTURAL WATERSHED

ABSTRACT: This study aimed to describe the application of geotechnologies in studies focused on water resources management in a predominantly agricultural watershed. It was carried out in Lontra River watershed in the Southwestern region of Paraná. The image of satellite LANDSAT-8, dated 12.02nd.13, orbit/point 223/78 was used to perform the supervised classification by SAM classifier. Water quality parameters such as pH, DO, EC, turbidity, temperature, TDS and ORP were monitored using a multiparameter probe in four different seasons (spring, summer, autumn and winter) in 2012. Sampling was carried out at specific sites, upstream and downstream watershed, with georeferencing in the ten studied collection sites. Multivariate statistical techniques were used in order to easy interpretation of dependence relationships among water quality variables as well as land and soil use categories. PCA allowed identifying the most relevant variables in order to explain water quality variation. Parameters such as temperature, pH, ORP and DO were the ones that best explained variation in water quality in factor 1 and they were also significantly influenced by the seasons of the year and monitoring sites. In factor 3, the variable turbidity was

significantly influenced by the seasons. The RDA showed no significant correlation among water quality variables when correlated to soil and land use categories in Lontra River watershed. However, the direct ordering of these variables has been possible in four different stations in order to easy the environmental gradients interpretation in this watershed.

KEYWORDS: Supervised classification, sustainable soil and land use, water availability, Geographic information system – GIS, multivariate analysis, areas of influence, Thiessen Polygon, satellite images, water resources, environmental characteristics.

6.1 INTRODUÇÃO

As Geotecnologias compreendem o estudo do espaço geográfico e os aspectos ambientais a ele relacionados. O levantamento das informações do espaço geográfico, quando associado às realidades ambientais, contribui para a condução de estudos voltados à gestão dos territórios e em especial à gestão dos recursos hídricos. E, mediante a utilização das geotecnologias, podem ser realizados mapeamentos, análises e a integração de dados provenientes de diversas fontes, os quais contribuem para a tomada de decisão nas ações gerenciais, sobretudo no aspecto ambiental (WRUBLACK et al., 2013).

Dessa maneira, as informações obtidas por Sensoriamento Remoto Orbital têm possibilitado o estudo do espaço geográfico mediante a utilização das técnicas de geoprocessamento. Soma-se a isto o potencial das técnicas estatísticas multivariadas como ferramenta para subsidiar a interpretação de extensos bancos de dados (ALEXANDRE et al., 2010). Logo, há a contribuição para a adoção de estratégias de gestão, sobretudo no que se refere à utilização dos recursos com vistas ao desenvolvimento sustentável.

A integração das geotecnologias e das técnicas estatísticas multivariadas possibilita a obtenção de informações consistentes sobre os aspectos relativos às condições de uso e ocupação do solo. Assim, colaboram com conhecimentos que possam servir para um planejamento adequado e uma gestão integrada dos recursos existentes no âmbito de microbacias hidrográficas, especialmente em áreas rurais. Neste sentido, a condução de estudos relacionados à gestão de microbacias torna-se necessária para enfatizar a necessidade de uma racionalidade no uso e conservação dos mesmos (ALVES et al., 2013).

Assim, o presente estudo teve por objetivo demonstrar a aplicabilidade das Geotecnologias em conjunto com as técnicas estatísticas multivariadas para quantificar, mapear e analisar variáveis hídricas e de uso e ocupação do solo, visando dar suporte à gestão dos recursos hídricos.

6.2 MATERIAL E MÉTODOS

A microbacia do rio Lontra situa-se nos municípios de Nova Esperança do Sudoeste e Salto do Lontra, no estado do Paraná. Em uma área aproximada de 17.316 hectares; com

extensão aproximada de 38 km entre os limites do município de Salto do Lontra e extensão aproximada de 17 km no município de Nova Esperança do Sudoeste onde se encontram as nascentes. No que se refere ao enquadramento dos corpos de água das águas doces, o rio Lontras pertence à classe 2 das águas, que podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional (inclui clarificação com utilização de coagulação e floculação, seguida de desinfecção e correção de pH); à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário; à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer; e à aquicultura e à atividade de pesca (CONAMA/2005).

Na Figura é apresentado o mapa de localização da microbacia do Rio Lontra, com destaque à área urbana dos municípios.

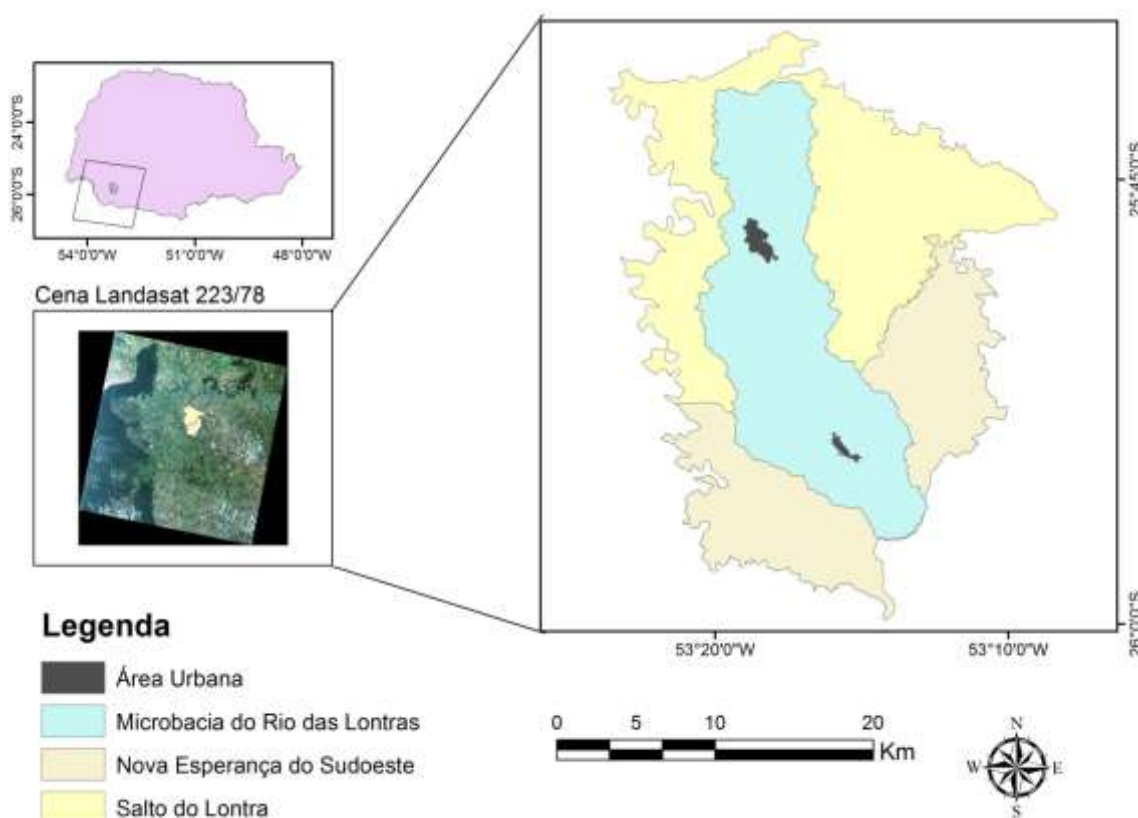


Figura 1 Mapa temático da microbacia do rio Lontra, localizada nos limites dos municípios de Salto do Lontra/PR e Nova Esperança do Sudoeste/PR. Imagem LANDSAT-8, Datum WGS-84, zona 22 S.

A metodologia para caracterização da microbacia do rio Lontra incluiu o mapeamento de uso e ocupação do solo, mediante a utilização de imagens do satélite LANDSAT-8, georreferenciadas junto à base cartográfica com os limites dos municípios de Salto do Lontra e Nova Esperança do Sudoeste, no estado do Paraná.

As imagens utilizadas foram provenientes do satélite LANDSAT-8 datada em 02/12/13, órbita/ponto 223/78, projeção UTM, Datum WGS-84. A imagem foi convertida para reflectância da atmosfera (TOA) utilizando a expressão:

$$\rho_{\lambda}' = M_p Q_{cal} + A_p$$

em que:

ρ_{λ}' = TOA (reflectância planetária), sem correção para o ângulo solar;

M_p = Fator multiplicativo de redimensionamento específico-banda a partir dos metadados (REFLECTANCE_MULT_BAND_x, onde x é o número da banda);

A_p = Fator de redimensionamento aditivo específico-banda a partir dos metadados (REFLECTANCE_ADD_BAND_x, onde x é o número da banda);

Q_{cal} = Valores de pixel produto padrão quantizados e calibrados (DN).

A fim de melhorar a distribuição de nível de cinza das imagens, o realce do contraste foi aplicado por histograma de cada uma das três bandas, numa composição RGB-564. Os cruzamentos de informações e geração de mapas temáticos foram realizados em ambiente SIG, com o auxílio do software ENVI (4.7), tendo sido realizada classificação supervisionada, mediante o uso do classificador SAM (*Spectral Angle Mapper*) para caracterização do uso e ocupação do solo no âmbito da microbacia. Considerando que a classificação supervisionada requer conhecimento prévio das classes de alvos, a fim de classificar as classes imagem de interesse pré-definidos pelo analista, realizou-se o levantamento *in loco* (Tabela 1).

Dessa maneira, a seleção de pequenas áreas da imagem que contêm amostras de pixels representativos, padrões ou características dos alvos, foi realizada com base nas realidades locais. Este procedimento de seleção de pixels representativos é de fundamental importância, pois o algoritmo precisa ser treinado para ser capaz de distinguir uma das outras classes. A partir da modelagem dos mapas de uso e ocupação do solo, foram realizados cruzamentos e inferidos os diferentes usos do solo, como possíveis fontes de pressões antrópicas à qualidade da água. Os resultados foram armazenados e manipulados em Sistemas de Informações Geográficas – SIG.

Tabela 1 Identificação dos pontos de monitoramento da qualidade da água na microbacia do rio Lontra

Ponto	Coord. X	Coord. Y	Altitude	Principais usos e impactos
1	275923	7129081	639 m	Cabeceira do rio Lontra, região em que se encontram as nascentes.

Continua...

2	275209	7132256	575 m	Área com mata ciliar descaracterizada e presença de granja de aves a 50 m de distância do ponto monitorado. Uma granja de suínos encontra-se próxima à margem esquerda.
3	273436	7133566	541 m	Ponte de saída ou início da cidade, moradias à beira da margem esquerda com presença de animais domésticos. Efluentes provenientes das atividades em oficina mecânica e madeireira próximas ao rio no qual há entrada de sedimento.
4	273119	7134359	545 m	Monitoramento sob ponte situada na área rural. Mata ciliar alterada embora presente (árvores exóticas). Na margem direita, área de agricultura e na margem esquerda, áreas de pastagem que ocasionam entrada de sedimento devido à estrada rural.
5	271743	7135973	526 m	Ponte do Rio Gavião (asfalto), nascentes do rio Lontra na margem esquerda, 500 m até o rio, fundo rochoso, com corredeiras.
6	269864	7140418	557 m	Comunidade Santa Terezinha, ponte em madeira, ambas as margens com ausência de APP, córrego com fundo rochoso e grande entrada de sedimento.
7	269282	7145313	452 m	Ponte do Rio dos Porcos (zona urbana), área com mata ciliar descaracterizada, moradias próximas às margens.
8	268700	7146715	444 m	Ponto de monitoramento no rio Lontra, APP alterada devido às moradias na margem direita (favela) e às áreas de pastagem na margem esquerda do rio.
9	267827	7147668	453 m	Monitoramento sob o rio Lontra (divisa entre a área urbana e rural), margens parcialmente preservadas, áreas agriculturáveis na margem direita do rio.
10	269018	7154124	362 m	Comunidade Barra do Lontra, as margens do rio encontram-se desprotegidas devido à presença de pastagem, rio com 18,40 m de largura, com 1 metro de profundidade.

Nota: Datum WGS-84, Coordenadas UTM, Zona 22 S.

A partir de dados pré-existentis (BAZILIO, 2012), os parâmetros de qualidade da água na microbacia do rio Lontra foram analisados em quatro estações distintas (primavera, verão, outono e inverno) nos anos de 2011 e 2012. A coleta das amostras foi realizada em condições de ausência de chuvas durante o período de amostragem e foram considerados normais (CPTEC / INPE, 2011, 2012) com base nas estações consideradas, sem ocorrência de seca ou de seca severa ou nenhuma interferência de chuvas ou tempestades intensas.

O monitoramento foi realizado com auxílio de uma sonda multiparamétrica Horiba, a qual oferece simultaneamente os resultados para os seguintes parâmetros: potencial hidrogeniônico, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, turbidez, temperatura, sólidos totais dissolvidos e potencial redutor de oxidação.

Considerando-se o fato de que a qualidade da água na microbacia pode ser influenciada pela poluição difusa (dificultando sua localização), buscou-se a utilização da técnica de Polígonos de Thiessen para delimitação das áreas que possam sofrer influência para cada um dos pontos amostrados na microbacia do rio Lontra. E esta técnica é indicada quando não há distribuição uniforme dos pontos (GOMIG et al., 2009; PEARSON, 2007; WRUBBLACK et al., 2013).

Assim, neste estudo, objetivou-se a geração de polígonos de Thiessen, levando-se em consideração os dez pontos de monitoramento da qualidade da água, situados dentro dos limites da microbacia. Desta forma, foram determinadas as áreas individuais de influência em torno de cada ponto de monitoramento. As áreas de influência em torno dos pontos monitorados foram definidas em um ambiente SIG no ArcGIS plataforma 9.3 (ESRI, 2006). E foram traçadas linhas retas que unem os pontos que estão mais próximos aos demais pontos. E foi pelo traçado das mediatrizes que se definiram as áreas de influência cada ponto (GOMIG et al., 2007). O comportamento de cada parâmetro foi identificado a partir da criação de mapas temáticos de cada polígono. A amostragem foi realizada em pontos definidos, a montante e a jusante da microbacia, com georreferenciamento dos pontos de coleta, conforme apresentadas na Figura 2.

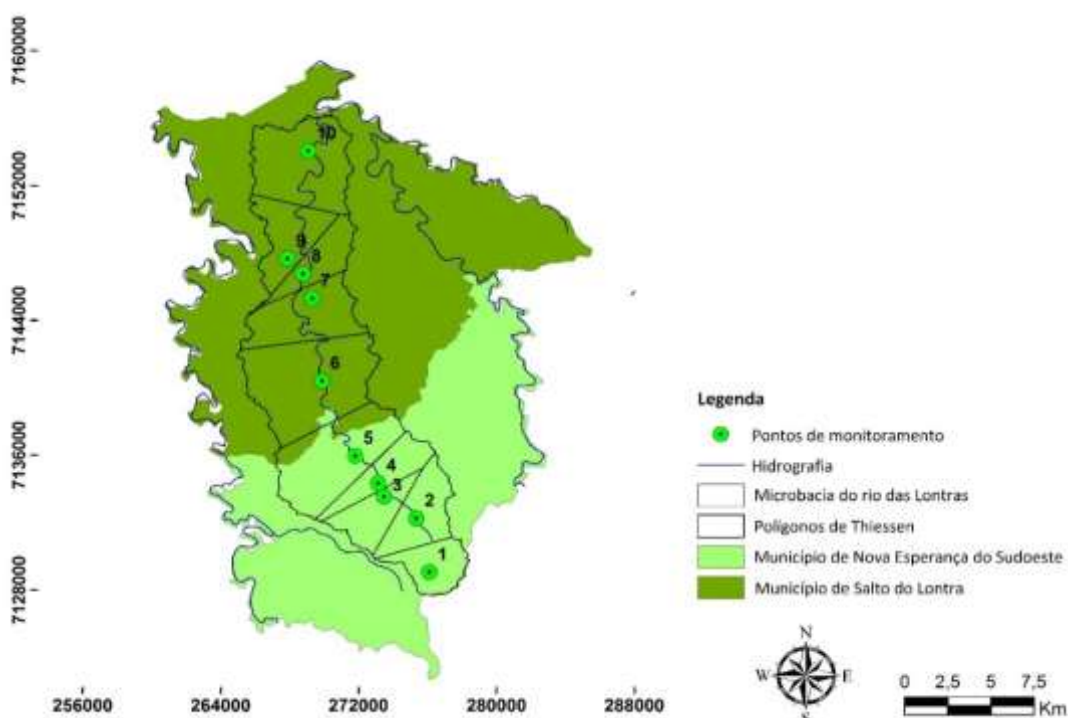


Figura 2 Espacialização dos 10 pontos de monitoramento da qualidade da água na microbacia do rio Lontra. Datum WGS-84, coordenadas UTM, zona 22 S.

A condução de estudos ambientais pode envolver um grande número de variáveis-resposta. Logo, a análise destes extensos bancos de dados pode ser interpretada com o auxílio das técnicas de estatística multivariada. A Análise de Componentes Principais (ACP) e a Análise Fatorial (AF) permitem a ordenação das variáveis, resumindo a informação original, a fim de diminuir a contribuição das variáveis de menor significância e melhorar a interpretação de um conjunto de variáveis, ditas correlacionadas. Dessa forma, tendo sido aplicadas às variáveis de qualidade da água: potencial hidrogeniônico, oxigênio dissolvido (mg/L), condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}^3$), turbidez (NTU), temperatura ($^{\circ}\text{C}$), sólidos totais dissolvidos (g/L) e potencial redutor de oxidação - ORP (mV) no intuito de subsidiar a interpretação dos parâmetros mais significativos na variação da qualidade da água.

Com a finalidade de investigar uma possível interferência das categorias de uso e ocupação do solo sobre os parâmetros de qualidade da água, a Análise de Redundância (RDA) foi aplicada aos dados de uso e ocupação do solo na microbacia e nas variáveis de qualidade da água para verificar a existência de correlação entre estes dois conjuntos de dados. A RDA foi realizada no Excel® 2013 software (módulo STAT / ADA / RDA).

A Análise de Redundância é fundamentada em cálculos da distância Euclidiana que assumem relações lineares entre as variáveis explanatórias e dependentes (RAO, 1973). De modo geral, são indicadas para a ordenação de medições de qualidade de água em função das categorias de uso e ocupação de solo e outras variáveis ambientais que apresentem dados métricos. Almeja-se ainda que tal correlação expresse o grau de associação existente entre os dois conjuntos de variáveis. A validação dos resultados das ordenações apresentadas será validada a partir de testes de permutação (ANDERSON & TER BRAAK, 2003), ao se testar a hipótese nula (H_0), na qual não existe relação entre as variáveis explanatórias (independentes) e de resposta (dependentes, ou de interesse).

6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 mostra as categorias de uso e ocupação do solo (%) em cada um dos pontos amostrados, com destaque para as categorias predominantes em cada um dos pontos amostrais na microbacia do rio Lontra.

Tabela 2 Categorias de uso e ocupação do solo na microbacia do rio Lontra/PR

Ponto amostral	Área total (ha)	Categorias de uso e ocupação do solo (Área percentual)				
		Temporárias	Pastagens	Mata	Água	Área urbana
Ponto 1	1002,83	12,08	69,69	18,14	0,09	0
Ponto 2	1379,22	5,95	78,56	14,97	0,08	0,45

Continua...

Ponto 3	1028,85	10,46	54,44	28,28	0,48	6,34
Ponto 4	1047,56	8,16	59,46	30,82	0,11	1,44
Ponto 5	2768,60	27,72	47,11	25	0,17	0
Ponto 6	3472,15	53,94	30,45	15,42	0,19	0
Ponto 7	1873,42	40,57	36,28	18,52	0,12	4,5
Ponto 8	9913,59	32,22	29,33	23,38	0,15	14,92
Ponto 9	1421,59	26,16	38,98	30,76	0,44	3,66
Ponto 10	2629,23	34,26	42,57	22,94	0,23	0

Na Figura 3, está apresentado o mapa temático resultante da classificação supervisionada pelo classificador SAM (*spectral angle mapper*), para a imagem LANDSAT-8 na microbacia do rio Lontra/PR.

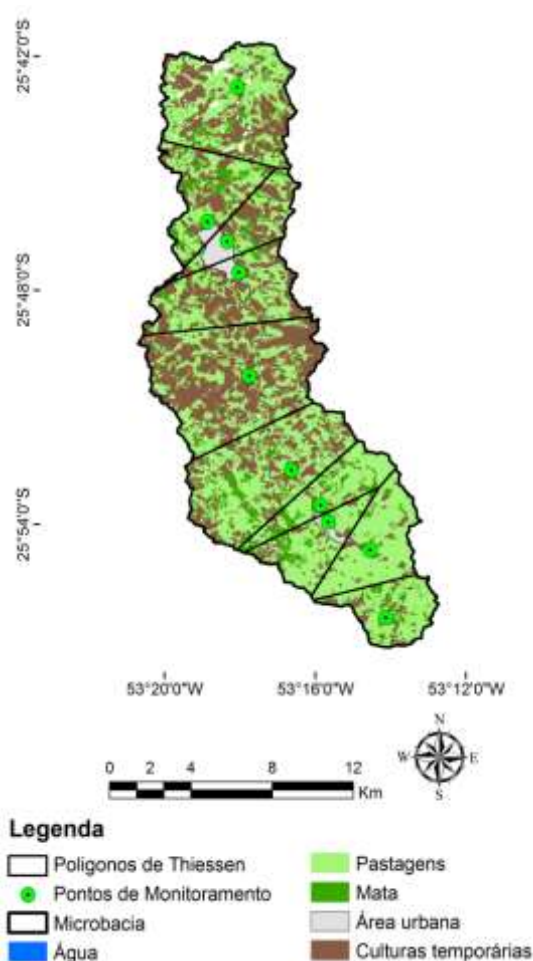


Figura 3 Caracterização do uso e ocupação do solo na microbacia do rio Lontra/PR, com destaque para os pontos de monitoramento de qualidade da água e delimitação das áreas de influência, obtidas pela técnica de polígonos de Thiessen. Imagem LANDSAT-8, *Datum* WGS-84, coordenadas Lat/long.

A categoria de maior uso do solo nesta microbacia ocupou o percentual de 48,69%, cujas áreas são ocupadas por pastagem. A segunda maior ocupação foi representada pela classe temática das culturas temporárias com percentual de 25,15% da área. A categoria definida para mata ocupou percentual de 22,82% da área. A classe temática água, mediante

a classificação supervisionada pelo classificador SAM, resultou em ocupação de 0,21% da área na microbacia do rio Lontra/PR, sendo esta a classe temática com menor percentual de classificação. As áreas urbanas dos municípios de Salto do Lontra/PR e Nova Esperança do Sudoeste/PR foram quantificadas em percentual de 3,13% da área. O monitoramento da qualidade da água na microbacia e a definição das condições de restrições apresentadas foram realizados com base nas condições e normas estabelecidas para as águas doces de classe 1 (BRASIL, 2005). A Tabela 3 mostra as Condições de parâmetros de qualidade da água na microbacia do rio Lontras.

Tabela 3 Condições de parâmetros de qualidade da água na microbacia do rio Lontras (Paraná / Brasil)

Variáveis	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão	Limite/Restrição
Temperatura	12,88	27,46	20,69	4,03	Não definido
pH *	5,08	10,76	7,42	1,35	6,0 a 9,0
ORP*	176,12	578,41	284,17	74,74	100 a 500 (mV)
CE *	0,04	0,13	0,07	0,02	5 a 150 mS m ⁻¹
Turbidez*	0,00	72,03	11,46	15,41	Até 40 NTU
OD *	4,93	14,30	8,53	2,61	Não < 6 mg/L ⁻¹ O ₂
TDS	0,02	0,59	0,06	0,08	< 500 mg/L ⁻¹

Nota: * Valores mínimos e máximos para caracterização de restrição à qualidade da água na Classe I (CONAMA 357/2005).

Assume-se que as condições de uso e ocupação do solo possam influenciar os parâmetros de qualidade da água, os quais são caracterizados como variáveis dependentes. Assim buscou-se, a partir da análise estatística multivariada, o reconhecimento dos parâmetros mais significativos para explicar essa variação. Foram empregadas técnicas multivariadas de Análise de Componentes Principais, obtidas a partir da matriz de correção e da Análise Fatorial, por reduzirem a contribuição de variáveis menos significantes. Essas simplificam ainda mais a estrutura de dados provenientes da Análise de Componentes Principais.

Quanto ao número de componentes principais utilizados na análise, foram considerados os quatro primeiros componentes que explicaram 83,98% da variabilidade total das variáveis estudadas (JOHNSON e WICHERN, 1999). Admite-se ainda que os primeiros componentes principais possam explicar mais de 70% da variabilidade total das variáveis (FURTADO, 1996).

Na Tabela 4 estão apresentados os autovalores obtidos assim como o percentual acumulado em cada valor numérico.

Tabela 4 Autovalores e variância explicada em cada valor numérico

Valor Numérico	Autovalor	% total Variância	% Acumulado
1	2,5050	35,78	35,78
2	1,3152	18,78	54,57
3	1,0664	15,23	69,80
4	0,9925	14,17	83,98
5	0,5141	7,34	91,33
6	0,4725	6,74	98,08
7	0,1344	1,92	100,00

A Tabela 5 apresenta os pesos fatoriais para os componentes. Esses valores expressam a relação entre fatores e variáveis e permitem a identificação das variáveis com maior inter-relação em cada eixo. Os valores iguais ou menores do que 0,5 indicam que a correlação é fraca entre as variáveis. Porém, os valores acima de 0,5 indicam que os dados são suficientemente ligados para se proceder a análise, e, portanto, considerados resultados adequados (KAISER & RICE, 1974) e obtidos pela aplicação da técnica de Análise de Componentes Principais para os parâmetros de qualidade da água, com destaque às variáveis mais significativas para explicar a fonte de variação.

Tabela 5. Matriz de correlação entre as variáveis originais e as componentes principais

Variáveis	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4
Temperatura	0,8582	-0,1231	0,3437	0,0227
pH	0,7365	0,0629	-0,3641	-0,2087
ORP	-0,5989	-0,5735	-0,1427	0,1964
CE	0,1019	-0,7910	-0,4311	0,0590
Turbidez	-0,2211	-0,4562	0,7539	-0,2712
OD	-0,8408	0,3650	-0,0420	0,1214
TDS	0,3184	0,0080	0,1982	0,9045
Autovalor	2,5050	1,3152	1,0664	0,9925
% variância explicada	35,7856	18,7881	15,2344	14,1787
% variância acumulada	35,7856	54,5737	69,8081	83,9868

As porcentagens de variâncias explicadas pelas componentes foram de 35,78% para $\hat{Y}_1$; 18,78% para $\hat{Y}_2$; 15,23 para $\hat{Y}_3$ e 14,17% para $\hat{Y}_4$. Juntas, as quatro primeiras componentes principais representaram 83,98% da variância total do vetor original X . As componentes principais foram representadas por:

$$\hat{Y}_1 = 0,8582 \text{ (temperatura)} + 0,7365 \text{ (pH)} - 0,8408 \text{ (OD)} - 0,5989 \text{ (ORP)},$$

$$\hat{Y}_2 = -0,7910 \text{ (condutividade elétrica)},$$

$$\hat{Y}_3 = 0,7539 \text{ (turbidez)},$$

$$\hat{Y}_4 = 0,9045 \text{ (sólidos totais dissolvidos)}.$$

O primeiro Componente Principal (CP) representa um índice global da qualidade da água de acordo com os parâmetros analisados. Os maiores valores numéricos apresentados nesse componente expressam os parâmetros mais significativos para explicar a variação da qualidade da água, com base nos valores numéricos dos respectivos coeficientes na combinação linear.

As variáveis temperatura e pH foram as mais significativas para explicar a variação na qualidade da água. Por assumirem valores positivos, assume-se que a temperatura e o pH superam a variabilidade na qualidade da água, quando comparada aos parâmetros de OD e de ORP neste componente.

O segundo componente principal representa a comparação entre o parâmetro condutividade elétrica e as variáveis neste componente. Por ter apresentado elevado valor negativo, significa que os demais parâmetros superam a variação na qualidade da água, assim justificado pelo valor negativo da componente condutividade elétrica.

No terceiro componente principal, o parâmetro turbidez assume valor elevado e positivo, logo indica que a turbidez supera os demais parâmetros para explicar a variabilidade na qualidade da água, neste componente. E, no quarto componente principal, a variável sólidos totais dissolvidos (STD) superou os demais parâmetros para explicar a variabilidade na qualidade da água.

Considerando-se que a análise de componentes principais é uma análise exploratória, aplicou-se a análise de variância como análise confirmatória para os dados obtidos no fator 1. Desta forma, é importante verificar se existe diferença significativa entre os parâmetros de qualidade da água, representados neste fator. O modelo ajustado para o Fator 1 está apresentado na Equação 1, na qual:

$$F_1(E, P) = a.E + b.P + c$$

Onde,

Fator 1 é a interação das estações do ano (E) e dos pontos de monitoramento na microbacia (P) e o termo constante é o intercepto (c). Na Tabela 6, está apresentada a análise de variância dos dados multivariados no fator 1.

Tabela 6 Análise de variância dos dados de qualidade da água segundo as estações do ano e os pontos de monitoramento na microbacia no fator 1.

F. V.	G.L.	SQ	QM	F	p-valor	
Intercepto	1	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	ns
Estação	3	80,3044	26,7681	80,1749	0,0000	*
Pontos	9	8,3756	0,9306	2,7873	0,0188	*
Erro	27	9,0145	0,3338			
Total	40	97.69463				

* teste é significativo ao nível de 5% de significância; ns teste não significativo.

No fator 1, a fonte de variação definida para as estações do ano foi significativa; assim como os pontos de monitoramento demonstraram ser significativos, $p\text{-valor} < 0,005$. Pode-se, portanto, concluir que houve diferença significativa entre as estações do ano e pontos de monitoramento quando se avaliou a qualidade da água de acordo com os parâmetros: temperatura, pH, ORP e OD, representados neste fator. Dessa forma, os resultados apontam efeito significativo da variação espaço-temporal entre estes parâmetros (ALEXANDRE et al., 2010). Na Figura 4 está demonstrada a relação existente entre as estações do ano com os dados obtidos nos parâmetros de qualidade da água no fator 1 (temperatura, pH, ORP e OD) e a Figura 5 mostra a relação entre os pontos de monitoramento da qualidade da água na microbacia.

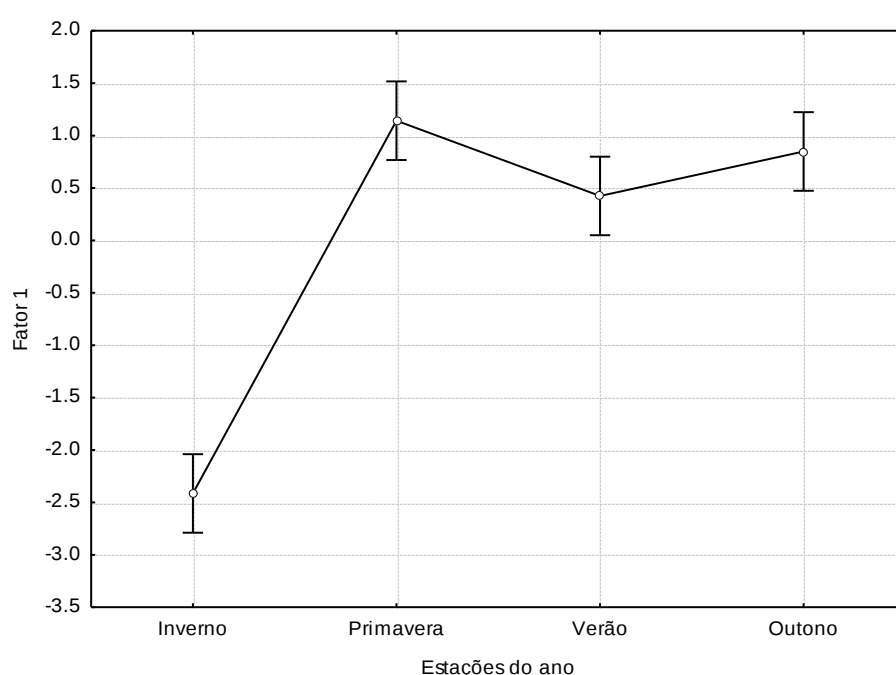


Figura 4 Comportamento das variáveis de qualidade da água no fator 1, relacionado às estações do ano.

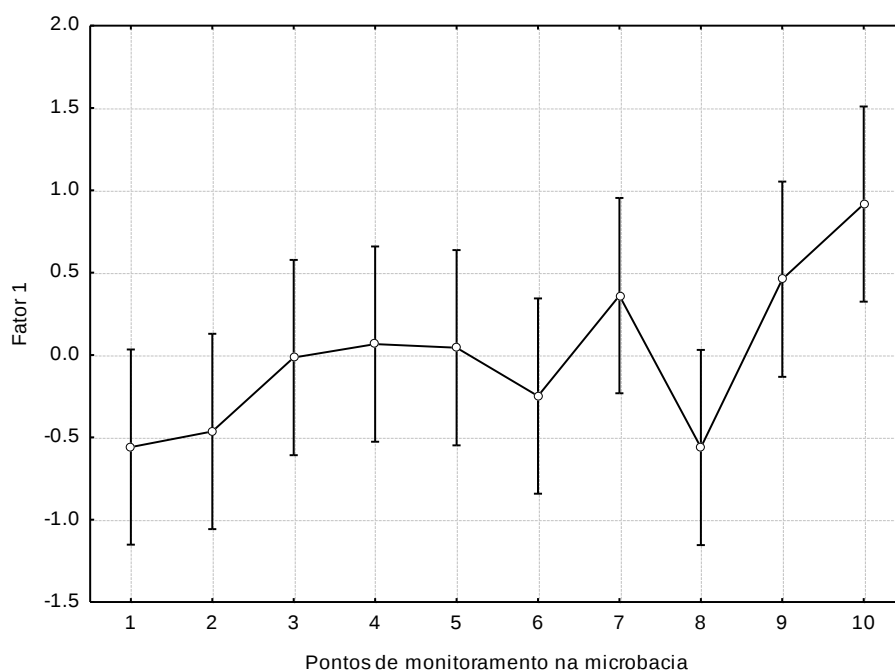


Figura 5 Comportamento das variáveis de qualidade da água no fator 1, relacionado aos pontos de monitoramento na microbacia.

Ao serem analisados os resultados de qualidade da água nas estações do ano, verifica-se que os parâmetros temperatura, pH, ORP e OD, representados no fator 1, tiveram comportamento influenciado pelas diferentes estações do ano. No inverno, a influência sobre a qualidade da água foi menor nesses parâmetros, e na estação primavera, a influência se tornou maior, quando comparada às estações de verão e outono. O teste de Tukey foi aplicado para as variáveis: estação do ano no fator 1, que representaram os parâmetros de qualidade da água neste fator.

Evidencia-se clara distinção entre os pontos de monitoramento em função dos parâmetros de qualidade da água no fator 1. Nos pontos situados a montante da microbacia, a influência tornou-se menor sobre a qualidade da água. Tal fato era esperado, por situarem-se na área das nascentes e também no local mais alto da microbacia (COLETTI et al., 2010). Nos pontos de monitoramento, situados a jusante, a influência na variação da qualidade da água tornou-se maior. Na Tabela 7 estão apresentados os resultados da análise de variância dos dados multivariados no fator 2.

Tabela 7 Análise de variância dos dados de qualidade da água segundo as estações do ano e os pontos de monitoramento na microbacia no fator 2.

F. V.	G.L.	SQ	QM	F	p-valor	
Intercepto	1	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	ns
Estação	3	6,3891	2,1297	3,4516	0,0303	*
Pontos	9	28,2429	3,1381	5,0859	0,0004	*
Erro	27	16,6594	0,6170			
Total	40	51,2916				

* teste é significativo ao nível de 5% de significância; ns teste não significativo.

Os resultados apresentados na tabela acima demonstram que houve diferença significativa entre as estações do ano e os pontos de monitoramento da qualidade da água, representados pelo parâmetro condutividade elétrica no fator 2. Na Figura 6, está apresentada a relação existente entre as estações do ano e; na Figura 7, a relação existente entre os pontos de monitoramento da qualidade da água na microbacia, com os dados obtidos no parâmetro de condutividade elétrica da água no fator 2.

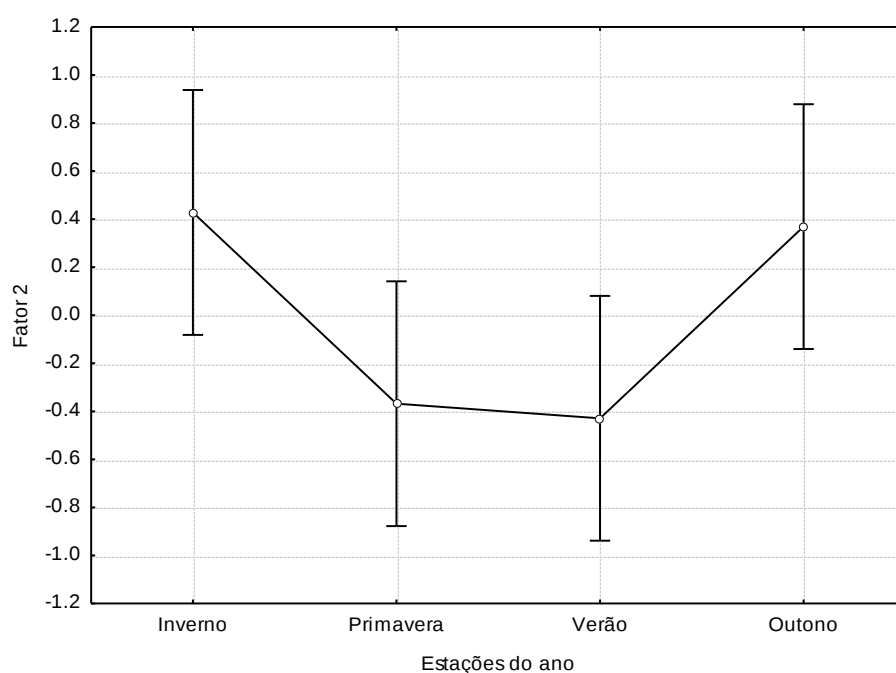


Figura 6 Comportamento da variável condutividade elétrica no fator 2, relacionada às estações do ano.

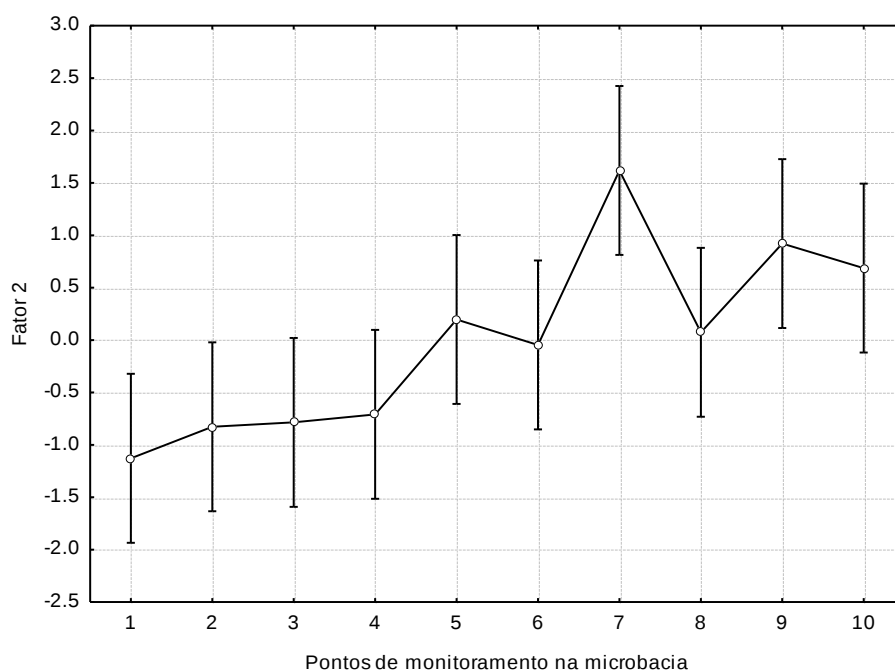


Figura 7 Comportamento da variável condutividade elétrica da água no fator 2, relacionado aos pontos de monitoramento na microbacia.

No fator 2, a variável condutividade elétrica apresentou diferença significativa pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância, mostrando haver diferença entre as estações do ano. Os resultados sugerem que, na estação do inverno, a condutividade elétrica teve influência positiva, assim como na estação do outono. Já nas estações da primavera e verão, a influência foi negativa no parâmetro condutividade elétrica da água.

Os resultados dos parâmetros de qualidade da água no fator 2 com os pontos de monitoramento evidenciam clara distinção entre os pontos monitorados. Nos pontos de monitoramento, situados a montante da microbacia evidenciou-se que a influência sobre a qualidade da água se tornou, quando comparada aos demais pontos de monitoramento. Percebe-se ainda que a qualidade da água tende a sofrer maior influência na variação do parâmetro condutividade elétrica à medida que os pontos se situam a jusante. Dessa maneira, nos pontos de monitoramento, situados a jusante, maior se tornou a influência na variação da qualidade da água por receber a contribuição dos pontos situados a montante e, conseqüentemente, trazer a poluição difusa ao longo da microbacia (COLETTI et al., 2010).

Em última instância, uma análise de variância dos dados de qualidade da água foi realizada em função das estações do ano e dos pontos de monitoramento na microbacia, no fator 3, conforme apresentada na Tabela 8.

Tabela 8 Análise de variância dos dados de qualidade da água segundo as estações do ano e os pontos de monitoramento na microbacia no fator 3

F. V.	G.L.	SQ	QM	F	p-valor	
Intercepto	1	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	ns
Estação	3	16,3314	5,4438	7,8975	0,0006	*
Pontos	9	6,6473	0,7385	1,0715	0,4140	ns
Erro	27	18,6111	0,6893			
Total	40	41.589				

* teste é significativo ao nível de 5% de significância; ns teste não significativo.

Como se pode observar, o valor de $p < \alpha$, ao nível de 5% de significância, apresenta diferença significativa na qualidade da água entre as estações do ano no fator 3, representado pelo parâmetro turbidez. Dessa maneira, as estações do ano exerceram influência significativa na qualidade da água em cada período do ano (CAMARGO, 2010). No fator 3, os pontos de monitoramento da qualidade da água não apresentaram diferença significativa. Na Figura 8 está demonstrada a relação existente entre as estações do ano com os dados obtidos no parâmetro de turbidez da água no fator 3.

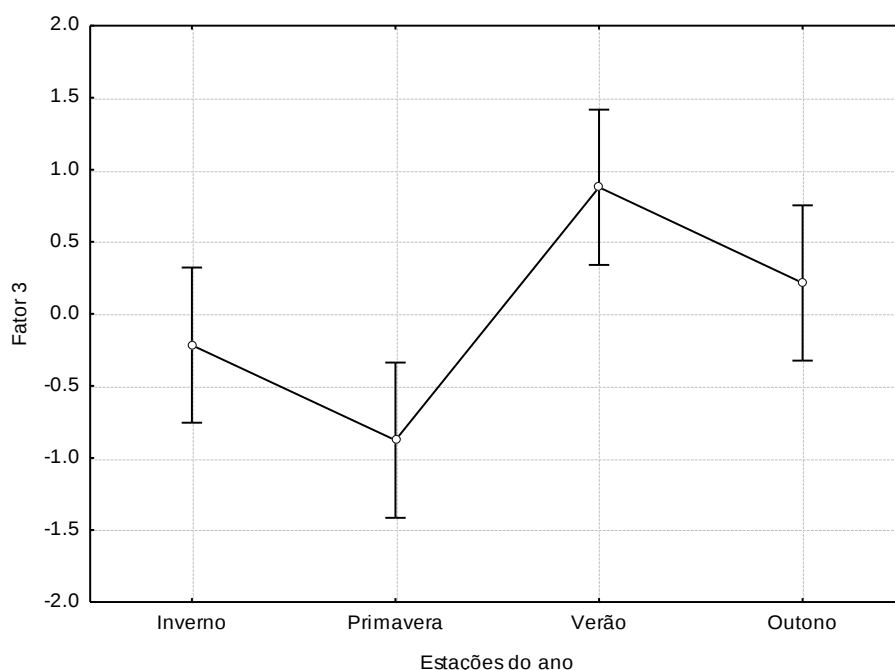


Figura 8 Comportamento da variável turbidez no fator 3, relacionada às estações do ano.

Os resultados sugerem que, nas estações de inverno e primavera, a qualidade da água foi influenciada negativamente. Ao passo que nas estações de verão e outono, houve influência positiva no parâmetro da turbidez. Dessa maneira, identificaram-se diferenças

significativas entre as estações para explicar a variação da qualidade da água em cada período do ano (COLETTI et al., 2010; CAMARGO, 2010; WRUBBLACK et al., 2013).

A Análise de Redundância foi conduzida com base nos dados obtidos para os parâmetros de qualidade da água, de uso e ocupação do solo nos dez pontos de monitoramento na microbacia do rio Lontra, durante quatro estações distintas. A Análise de Redundância é baseada em cálculos da distância euclidiana e assume relações lineares entre as variáveis explanatórias e dependentes, de modo geral, indicadas para a ordenação. Assim, a matriz X de variáveis explanatórias intervém diretamente nos cálculos dos eixos de ordenação e força os eixos de ordenação a terem correlação máxima com combinações de variáveis em X. Dessa maneira, essas ficam indicadas para ordenação de medições de parâmetros de qualidade da água em função do uso e ocupação do solo, dentre outras variáveis ambientais representadas por dados quantitativos. O resultado da análise (RDA) expressa a correlação existente entre os fatores (Tabela 9).

Tabela 9 Resultado do teste de permutação

Permutações	Pseudo F	P-valor	α
900	0,197	0,659	0,050

A interpretação do teste foi realizada com base no teste de hipótese para definir a hipótese nula ou H_0 , na qual as variáveis Y e X não estão linearmente relacionadas e a hipótese alternativa ou H_a em que as variáveis Y e X são linearmente relacionadas. À medida que o p-valor calculado é superior ao nível de significância ($\alpha = 0,05$), não se pode rejeitar a hipótese nula H_0 . Dessa maneira, o risco de rejeitar a hipótese nula H_0 se é verdade é 65,89%. Na Tabela 10 estão apresentados os autovalores (escores de ordenação das variáveis dependentes da ordenação) e percentuais de inércia da RDA.

Tabela 10 Autovalores e percentuais de inércia (RDA)

	F1	F2	F3	F4	F5
Autovalores	0.5295	0.1817	0.0425	0.0312	0.0086
Variação explicada (%)	66.7344	22.8971	5.3558	3.9341	1.0786
Variação cumulativa explicada (%)	66.7344	89.6315	94.9873	98.9214	100.0000

A Tabela 11 apresenta os scores obtidos para as variáveis explicativas (X) e a na Tabela 12 estão apresentados os resultados obtidos para as variáveis de interesse (Y) ou também denominadas variáveis resposta (qualidade da água).

Tabela 11 Scores ou pontuações obtidas para as variáveis respostas ou de interesse, representadas para os parâmetros de qualidade da água

	F1	F2	F3	F4	F5
Temperatura	-0.057	0.311	0.877	0.174	0.407
pH	-0.378	0.650	-0.116	-0.319	0.248
ORP	1.375	-0.563	0.462	-0.029	-0.192
CE	1.572	0.644	-0.402	-0.010	0.264
NTU	0.008	-0.915	-0.064	-0.712	0.335
OD	-0.189	-0.104	0.015	0.202	0.167
TDS	0.017	0.750	0.353	-0.650	-0.323

Tabela 12 Scores/pontuações obtidas para as variáveis explanatórias ou independentes, representadas para as categorias de uso e ocupação do solo

	F1	F2	F3	F4	F5
Temporárias	-0.414	-0.033	-0.042	-0.146	0.012
Pastagem	-0.027	0.106	-0.018	-0.153	-0.059
Mata	-0.404	0.201	-0.021	-0.091	-0.018
Água	-0.360	0.152	0.105	-0.097	0.027
Área urbana	-0.260	-0.160	0.047	0.151	0.014

Na Figura 9 está apresentado o diagrama de ordenação por RDAs interpretados para o estabelecimento dos principais fatores de variação da qualidade da água; e suas relações com o uso e ocupação do solo estão apresentadas na Figura 10.

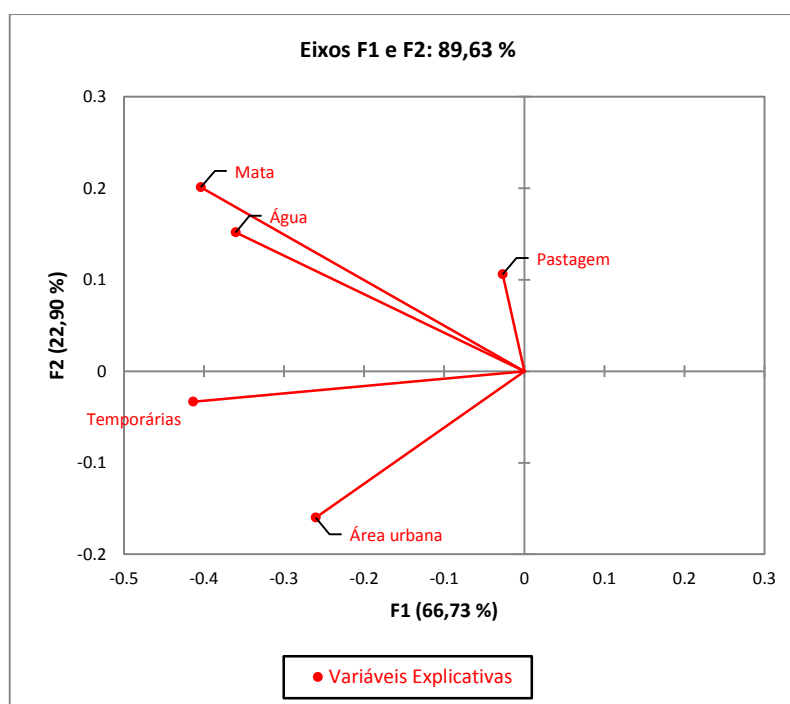


Figura 9 Ordenação resultante da Análise de Redundância aplicada às variáveis explicativas (X) para os dois primeiros eixos (F1 e F2).

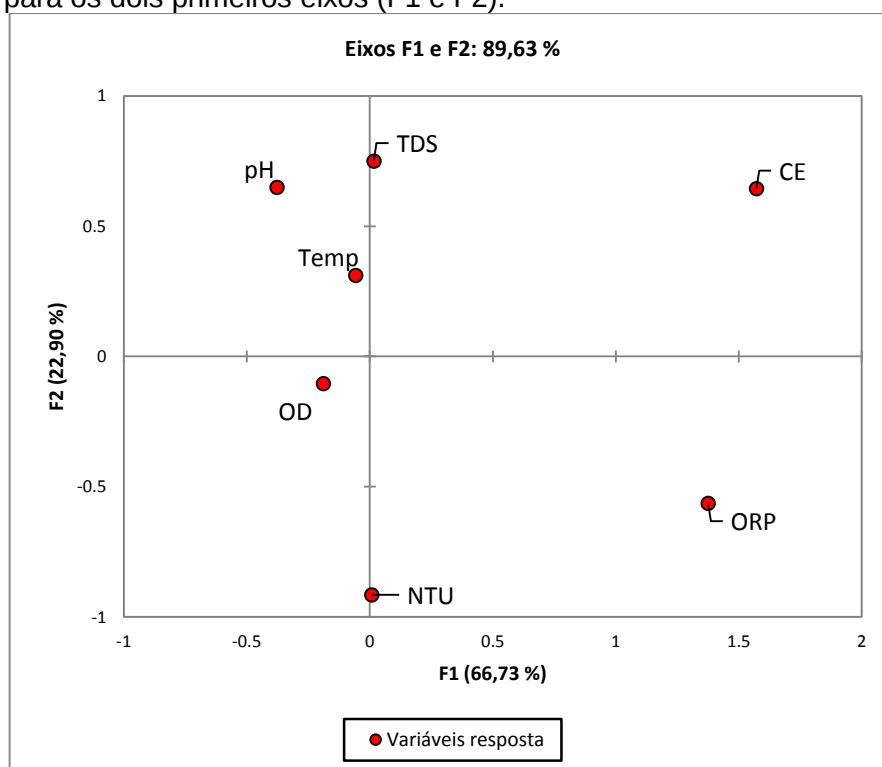


Figura 10 Ordenação resultante da Análise de Redundância aplicada às variáveis dependentes ou de interesse (Y) para os dois primeiros eixos (F1 e F2).

A Figura 9 expôs a relação entre a dispersão das categorias de uso e ocupação do solo no espaço de ordenação com suas respectivas classes temáticas e na Figura 10 foram apresentadas as variáveis dependentes (parâmetros de qualidade da água). O modelo explicou aproximadamente 89,63% da variância na matriz dependente, nos primeiros dois eixos da Análise de Redundância Linear, obtidos para a ordenação das sete variáveis dependentes ou de interesse (parâmetros de qualidade da água) e dos cinco fatores explanatórios ou independentes (categorias de uso e ocupação do solo).

Foi possível evidenciar pelo diagrama de ordenação que os parâmetros de qualidade da água, representados pelas variáveis dependentes, tiveram correlação positiva na variável Condutividade Elétrica (CE) e Sólidos Totais Dissolvidos (TDS), no primeiro quadrante (positivo para F1 e F2). As variáveis Potencial Redutor de Oxidação e Turbidez (NTU) também foram correlacionadas, especialmente em pontos monitorados na estação do inverno.

Parâmetros físicos como potencial hidrogeniônico (pH) e temperatura estiveram correlacionados em pontos monitorados nas estações de outono e verão bem como as categorias de uso e ocupação do solo, representadas pelas áreas contendo mata, pastagens e água. Admite-se ainda que, nas categorias de UCS, o comprimento das setas é

ajustado à sua importância perante as demais ordenações das variáveis e o ângulo formado entre as variáveis expressa o grau de correlação com o eixo de da ordenação (FONSECA e ZEILHOFER, 2007).

As categorias de UCS atribuídas para as áreas com cultivos temporários e área urbana apontam em direção oposta às demais categorias. Isso sugere a correlação negativa por ordenação das variáveis (negativo para ambos os eixos) e o parâmetro oxigênio dissolvido foi identificado neste quadrante da ordenação, demonstrando menor correlação do parâmetro OD quando comparada aos demais parâmetros de qualidade da água.

A Figura 11 mostra conjuntamente os vetores representativos das categorias de uso e ocupação do solo, as variáveis de qualidade da água, com as observações por pontos de monitoramento nas distintas estações do ano.

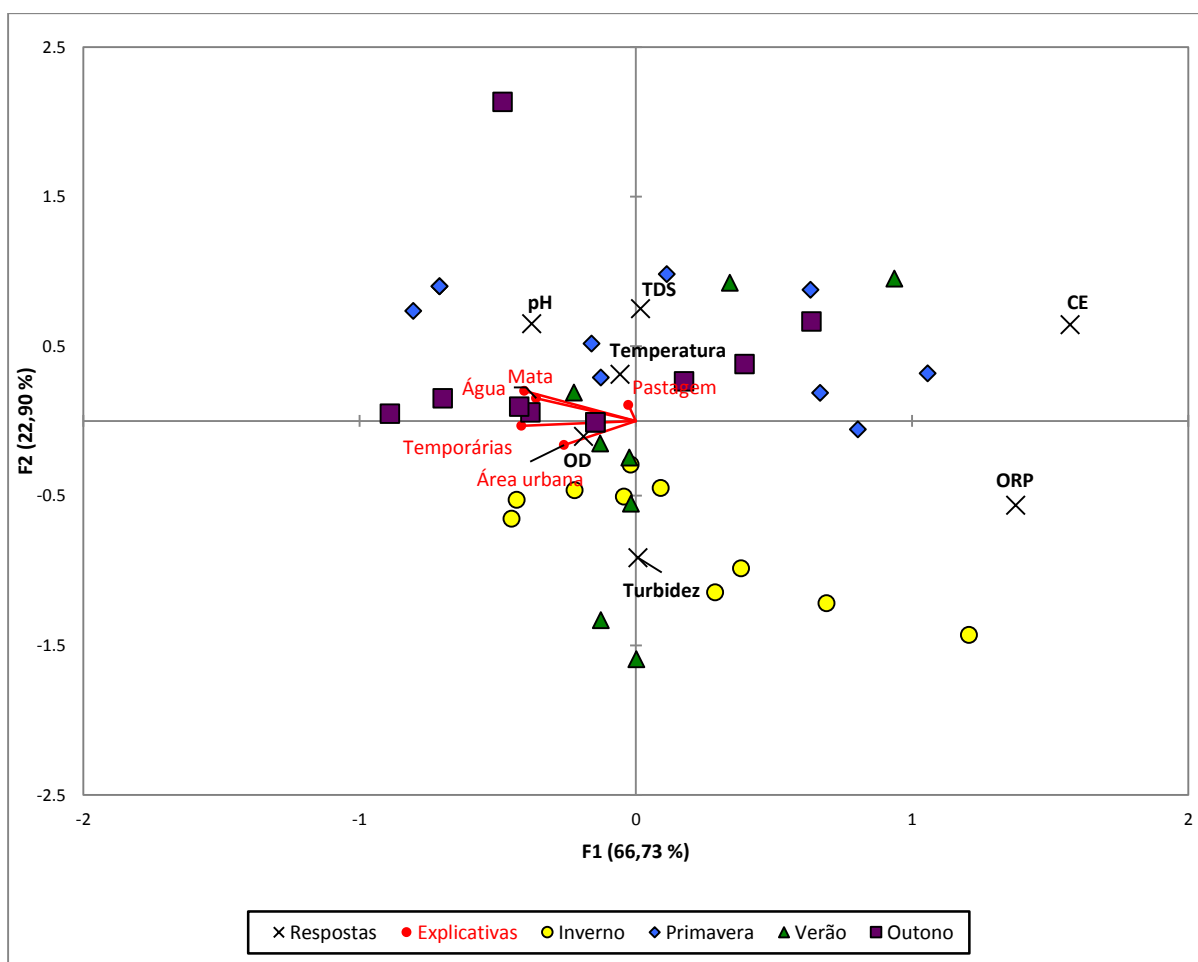


Figura 11 Diagrama de ordenação (RDA) para os dois primeiros eixos (F1 e F2) com as relações entre as categorias de uso e ocupação solo, parâmetros de qualidade da água e observações realizadas nas quatro estações do ano.

De acordo com o diagrama de ordenação obtido, verificou-se uma separação temporal entre as observações realizadas nos pontos de monitoramento na microbacia e entre as estações do ano, em função dos parâmetros de qualidade da água, inclusive com

as categorias de uso e ocupação do solo. Dessa maneira, a Análise de Redundância contribuiu para a identificação acerca das características ambientais sob estudo nas diferentes estações do ano (FERREIRA, 2011; PIMENTEL et al., 2011).

Os parâmetros condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos estão relacionados com as estações mais quentes (verão, primavera e outono) como mostrado pelos valores positivos no primeiro quadrante. O segundo quadrante foi associado com as estações do ano, com valores mais elevados de temperatura e pH, associados com as seguintes categorias de uso e ocupação do solo para as áreas com mata, água e pastagem. No quadrante baixo-baixo (negativo para ambos), as categorias de uso e ocupação do solo atribuídas às culturas temporárias e a área urbana demonstraram estar correlacionadas entre si e negativamente correlacionadas às demais categorias de uso e ocupação do solo. Em um padrão alto-baixo (quarto quadrante, com sinal positivo para F1 e negativo para F2), estão relacionados parâmetros como a turbidez e o potencial redutor de oxidação, correlacionados a um grupo de pontos monitorados principalmente na estação do inverno.

Embora as variáveis de interesse (parâmetros de qualidade da água) não estivessem linearmente relacionadas com as variáveis exploratórias (uso e ocupação do solo), à medida que o p-valor calculado foi superior ao nível de significância ($\alpha = 0,05$), a Análise de Redundância Linear possibilitou a ordenação direta das variáveis de qualidade de água nas quatro estações distintas e em função do uso e ocupação do solo na microbacia.

6.4 CONCLUSÕES

As Geotecnologias contribuíram para o estudo dos aspectos relacionados à estrutura do espaço geográfico e dos aspectos ambientais nele inseridos, cooperando para o entendimento dos processos e análises vinculadas aos Sistemas de Informações Geográficas e às técnicas de Geoprocessamento. Dessa maneira, houve auxílio na gestão dos recursos naturais presentes na área de estudo.

Os métodos estatísticos multivariados mostraram-se úteis no estudo de grande número de variáveis-resposta, sobretudo, na condução de estudos ambientais. A utilização de técnicas exploratórias de sintetização da estrutura de variabilidade dos dados permitiu identificar as variáveis mais significativas para explicar a variação na qualidade da água. Já as técnicas de inferência estatística permitiram identificar diferenças significativas na variação da qualidade da água entre os pontos de monitoramento na microbacia do rio Lontra e as estações do ano.

Temperatura, pH, ORP e OD foram as variáveis que melhor explicaram a variação na qualidade da água neste fator e foram significativamente influenciadas pelas estações do ano e pelos pontos de monitoramento. A condutividade elétrica foi a variável que melhor explicou a variabilidade na qualidade da água no fator 2 e foi significativamente influenciada pelas estações do ano e pelos pontos de monitoramento. No fator 3, a variável turbidez foi significativamente influenciada pelas estações do ano. Em pontos localizados a jusante da microbacia, maior tornou-se a variação da qualidade da água, possivelmente devido às ações humanas no uso e ocupação da microbacia do rio Lontra.

A Análise de Redundância Linear demonstrou não haver correlação significativa entre as variáveis de uso e ocupação do solo (variáveis independentes) quando correlacionadas às variáveis de interesse (parâmetros de qualidade da água) nos dez pontos de monitoramento da qualidade da água na microbacia do rio Lontra.

O uso de geotecnologias em conjunto com as técnicas de estatística multivariada contribuiu para identificar as relações de dependência entre as variáveis respostas associadas ao uso e ocupação do solo, mediante o mapeamento realizado com auxílio dos produtos de sensoriamento remoto orbital. Assim, foi possível a investigação de sua relação com as variáveis. E as informações podem ser geradas para apoiar ações de gestão de recursos hídricos.

6.5 AGRADECIMENTOS

À CAPES, ao CNPq, à SETI/PR, pelo apoio financeiro e à EMATER do município de Salto do Lontra – PR, pelo aporte administrativo.

6.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDRE, D. M. B.; ANDRADE, E. M.; LOPES, F. B.; PALÁCIO, H. A. Q.; SILVA FERREIRA, A. C. The water quality investigation using GIS and multivariable analysis in a semiarid region reservoir. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, p. 554-561, 2010.

ALVES, T. L. B.; AZEVEDO, P. V. Estudo de bacias hidrográficas como suporte à gestão dos recursos naturais. **Engenharia Ambiental**, v. 10, n. 2, p. 166-184, 2013.

ANDERSON, M. J. TER BRAAK, C. J. F. Permutation tests for multi-factorial analysis of variance. *Journal of statistical computation and simulation*, 2003. v. 73, n. 2, p. 85-1130.

BAZILIO, S. **Variabilidade espaço temporal da comunidade de macroinvertebrados Bentônicos na microbacia do rio Lontra na região sudoeste do estado do Paraná**. Tese

(Doutorado em Engenharia Agrícola). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2012.

CAMARGO, R. A.; CALIJURI, M. L.; SANTIAGO, A. F.; COUTO, E. A.; MACHADO E SILVA, M. D. F. Water quality prediction using the QUAL2Kw model in a small karstic watershed in Brazil. **Acta Limnológica Brasiliensia** (Online). 2010, v. 22, n. 4, p. 486-498. ISSN 2179-975X. <http://dx.doi.org/10.4322/actalb.2011.012>.

COLETTI, C.; TESTEZLAF, R.; RIBEIRO, T. A. P.; SOUZA, R. T. G.; PEREIRA, D. A. Water quality index using multivariate factorial analysis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. [online]. 2010, v. 14, n. 5, p. 517-522. ISSN 1807-1929. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662010000500009>.

FERREIRA, A. N. **Avaliação do impacto da dragagem sobre associação fitoplanctônica do Porto de Aratu, Baía de Todos os Santos**. 73f. Universidade Federal da Bahia – Dissertação (Mestrado em Geoquímica). Programa de Pós-graduação em Geoquímica: Petróleo e Meio Ambiente), 2011.

GOMIG, K., LINDNER, E. A.; KOBIYAMA, M. **Áreas de influência das estações pluviométricas na bacia rio do Peixe/SC pelo método de polígonos de Thiessen utilizando imagem de satélite e SIG**. Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. p. 3373-3380, 2007.

JOHNSON, R.A.; WICHERN, D.W. **Applied multivariate statistical analysis**. 4 ed. New Jersey: Prentice Hall, 1998.

KAISER, H.F. and RICE, J. Little Jiffy Mark IV. **Educational and Psychological Measurement**, v. 34. Ed. Spring, p. 111-117, 1974.

PEARSON, J. **A Comparative Business Site-Location Feasibility Analysis using Geographic Information Systems and the Gravity Model**. v. 9, Papers in Resource Analysis. Saint Mary's University of Minnesota Central Services Press. Winona, MN, 2007.

PIMENTEL, M. S. DE-POLLI, H.; AQUINO, A. M.; CORREIRA, M. E. F.; ROUWS, J. R. C. Bioindicators of soil quality in coffee organic cultivation systems. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 5, 2011, p. 546-553.

WRUBBLACK, S. C.; MERCANTE, E.; VILAS BOAS, M. A. Water quality parameters associated with soil use and occupation features by Thiessen polygons. **Journal of Food, Agriculture & Environment**. v. 11, n. 2, p. 846-853, 2013.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As Geotecnologias apresentadas e utilizadas neste estudo possibilitaram o reconhecimento, de modo integrado, do espaço geográfico e dos aspectos ambientais. Foram representadas por metodologias de mapeamento de uso e ocupação do solo, pelo monitoramento dos parâmetros de qualidade da água e demais variáveis (MDE, declividade, etc.). Diante das informações geradas por tais tecnologias georreferenciadas, foi possível desenvolver estudos relacionados à área na microbacia do rio Lontra, na região Sudoeste do estado do Paraná, com vistas à análise das condições de uso e ocupação na microbacia e às interferências antrópicas sobre a qualidade da água.

Nestes estudos, a partir da estatística multivariada, a identificação de significância estatística possibilitou a classificação de pontos situados a montante e a jusante da microbacia, onde a localização geográfica dos pontos de monitoramento e as respectivas ocupações, caracterizadas como possíveis influências antrópicas, em distintas estações do ano contribuíram para o melhor entendimento das características ambientais da microbacia. Em conjunto com esta técnica, a geração dos polígonos de Thiessen permitiu subsidiar estudos explicativos e preditivos em relação às áreas de influência nos pontos de monitoramento. Os parâmetros de qualidade da água foram sempre associados às respectivas variáveis de uso e ocupação do solo, além das demais categorias explicativas em cada polígono considerado.

Este trabalho buscou ainda apresentar métodos para serem aplicados na gestão de território, com destaque à gestão dos recursos hídricos e em especial em microbacias sob uso predominantemente agrícola.

Os dados utilizados estão relacionados ao monitoramento da qualidade da água na microbacia do rio Lontra/PR nos anos de 2012 e 2013. A qualidade da água foi analisada em quatro estações distintas (primavera, verão, outono e inverno) nos anos de 2012 e 2013 com quatro campanhas (ida de campo) de cada ano e coletados sob condições de corredeira e remanso, com dez repetições em cada ponto de monitoramento. No total, foram feitas 5.600 medições dos parâmetros de qualidade da água. Este monitoramento teve como propósito o acompanhamento temporal das variáveis: potencial hidrogeniônico, oxigênio dissolvido (mg/L), condutividade elétrica (mS m^{-1}), turbidez (NTU), temperatura ($^{\circ}\text{C}$), Potencial Redutor de Oxidação (mV), sólidos totais dissolvidos (g/L) pela utilização de uma sonda multiparamétrica Horiba.

O estudo demonstra ainda a aplicabilidade das geotecnologias nos levantamentos em escala espacial e temporal e, para cumprir esta finalidade, em uma primeira fase, foram utilizadas imagens do satélite SPOT-5 para mapeamento do uso e ocupação do solo e avaliação da qualidade da água utilizada para irrigação ao nível de propriedades rurais de base familiar no município de Salto do Lontra / PR.

Em uma segunda etapa, imagens mosaicadas provenientes do *Google Earth* foram utilizadas para classificação visual das categorias de uso e ocupação do solo. A definição das áreas de influência pela técnica de polígonos de Thiessen e as técnicas de estatística multivariada, em especial à RDA, foram utilizadas para investigação da correlação entre as variáveis explicativas (UCS, declividade, tipos de solos e pontos de monitoramento) nos parâmetros de qualidade da água, definidas como variáveis exploratórias.

Um terceiro estudo envolveu a caracterização do uso e a ocupação do solo mediante o uso da imagem do satélite LANDSAT-8, na qual foi realizada a classificação supervisionada por classificador SAM (*spectral angle mapper*). Destacam-se a facilidade de aquisição e a periodicidade das imagens Landsat. No entanto, a heterogeneidade da área e a resolução da imagem implicaram a definição de um número menor de categorias (água, pastagem, mata, área urbana e culturas temporárias).

Dessa maneira, uma ampla abordagem acerca das geotecnologias e, em especial, mediante a utilização de diferentes imagens de satélite, foi conduzida na área de estudo, cuja finalidade foi o uso destas tecnologias georreferenciadas para a condução de estudos ambientais e assim subsidiar a aplicação dos instrumentos de gestão dos recursos hídricos em escala de microbacia e de municípios.

Com o intuito de identificar os principais usos e ocupações do solo e as possíveis contribuições das pressões antrópicas na microbacia do rio Lontra/PR, fez-se uso também da estatística multivariada. Contou-se ainda com o monitoramento dos parâmetros de qualidade da água e dos principais fatores que buscaram explicar as fontes de variação, representados pelos eixos de ordenação.

Neste estudo, além dos parâmetros de qualidade da água, categorias de uso e ocupação do solo, modelo digital de elevação, classes de declividade e categorias do solo também foram utilizados os pontos de monitoramento na microbacia do rio Lontra/PR. Os pontos serviram de indicação do nível de pressão antrópica para as variáveis de qualidade da água. Concluindo os objetivos propostos para este estudo, foi feito uso da Análise de Redundância, para verificação da ordenação das variáveis. Com os resultados obtidos e com a aplicação das técnicas propostas, verifica-se que as geotecnologias e as técnicas estatísticas multivariadas são extremamente úteis no estudo de extensos bancos de dados.

Finalmente, recomenda-se para estudos futuros a inserção de novas variáveis com dados agrometereológicos, geomorfológicos, geológicos, pedológicos, socioeconômicos, além do enquadramento/desconformidade das classes de solo e susceptibilidade erosiva e, por fim, um aprofundamento nas técnicas, com ampliação das chances para um entendimento maior das necessidades/disponibilidades de recursos na microbacia.

ANEXOS

Estação	Temperatura	pH	ORP	CE	Turbidez	OD	TDS
Inv1	12,89	5,86	578,42	0,07	9,16	11,89	0,05
Inv2	13,15	5,83	461,00	0,07	13,15	11,25	0,04
Inv3	13,56	5,15	353,75	0,08	14,56	12,52	0,05
Inv4	13,61	6,11	278,88	0,08	10,36	12,31	0,05
Inv5	15,24	6,54	270,75	0,08	7,90	12,41	0,05
Inv6	13,51	6,48	246,50	0,07	11,98	13,62	0,05
Inv7	16,16	6,41	276,63	0,05	6,59	14,12	0,03
Inv8	13,62	5,09	365,25	0,07	14,36	13,32	0,04
Inv9	15,32	7,11	243,38	0,06	16,79	14,30	0,04
Inv10	18,26	6,05	282,75	0,07	13,21	8,71	0,04
Pri1	21,52	7,83	390,00	0,10	18,00	4,94	0,06
Pri2	21,32	8,41	349,63	0,10	18,91	5,15	0,07
Pri3	21,45	7,95	371,88	0,12	16,54	6,76	0,08
Pri4	21,97	9,19	305,50	0,11	7,94	6,05	0,07
Pri5	19,46	9,76	251,13	0,10	1,16	6,10	0,06
Pri6	20,15	9,44	276,25	0,07	2,60	5,68	0,05
Pri7	20,58	10,41	200,00	0,06	0,56	6,42	0,04
Pri8	20,80	8,84	307,25	0,07	0,00	8,43	0,04
Pri9	21,64	10,77	206,75	0,06	0,00	8,10	0,04
Pri10	21,64	10,77	206,75	0,06	0,00	8,10	0,04
Ver1	23,08	7,46	208,00	0,12	5,50	9,71	0,08
Ver2	24,36	6,94	267,00	0,08	38,10	9,05	0,05
Ver3	25,10	7,23	282,50	0,13	6,58	6,02	0,09
Ver4	22,37	7,36	256,88	0,08	28,69	7,49	0,05
Ver5	21,37	7,10	255,50	0,07	9,86	7,78	0,05
Ver6	23,23	6,75	302,75	0,07	72,04	7,09	0,04
Ver7	22,98	6,93	176,13	0,04	2,04	7,08	0,03
Ver8	24,10	6,98	285,88	0,06	63,73	7,42	0,04
Ver9	26,60	7,69	279,25	0,06	4,93	7,81	0,04
Ver10	24,38	7,04	304,00	0,06	6,86	9,51	0,04
Out1	23,01	7,01	298,50	0,09	2,05	7,67	0,06
Out2	23,38	7,14	293,00	0,08	2,40	8,07	0,05
Out3	25,25	7,31	240,84	0,04	0,94	6,24	0,07
Out4	21,62	7,05	280,00	0,11	1,98	6,32	0,07
Out5	21,37	7,10	255,50	0,07	9,86	7,78	0,05
Out6	21,37	7,10	255,50	0,07	9,86	7,78	0,05
Out7	22,85	6,93	176,13	0,04	2,04	7,08	0,03
Out8	22,94	6,99	245,96	0,06	1,83	7,25	0,04
Out9	25,11	7,09	243,97	0,06	3,39	6,84	0,04
Out10	27,46	7,80	237,13	0,06	2,16	7,22	0,59

Nota: Inv. (inverno); Pri. (primavera); Ver. (verão); Out. (outono) em pontos de 1 a 10, definidos a montante e a jusante da microbacia do Rio Lontra/PR.