

JADSON LUIZ SIMÕES ROCHA

**MAPEAMENTO POR SIG E *RANDOM FOREST* DO IMPACTO DOS RESÍDUOS
DA SUINOCULTURA NA QUALIDADE DAS ÁGUAS DA BACIA DO RIO
PIRANGA-MG.**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, para a obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2016

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

R672m
2016

Rocha, Jadson Luiz Simões, 1960-
Mapeamento por SIG e *Random Forest* do impacto dos
resíduos da suinocultura na qualidade das águas da Bacia do Rio
Piranga-MG / Jadson Luiz Simões Rocha. – Viçosa, MG, 2016.
xvii, 140f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui apêndices.

Orientador: Cecília de Fátima Souza.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f.123-132.

1. Suíno - Criação. 2. Sistemas de informação geográfica.
3. Águas residuais - Aspectos ambientais. 4. Água - Qualidade.
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia
Agrícola. Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola.
II. Título.

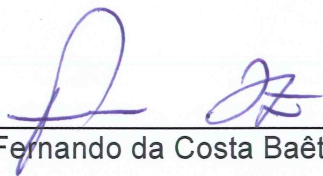
CDD 22 ed. 636.4

JADSON LUIZ SIMÕES ROCHA

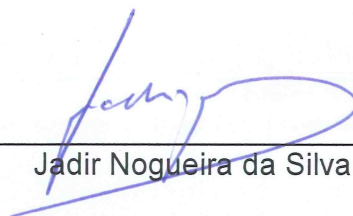
Mapeamento por SIG e *Random Forest* do impacto dos resíduos da suinocultura na qualidade das águas da Bacia do Rio Piranga-MG.

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, para a obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

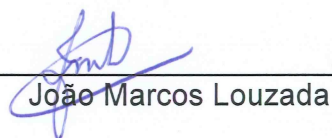
APROVADO: 09 de dezembro de 2016.



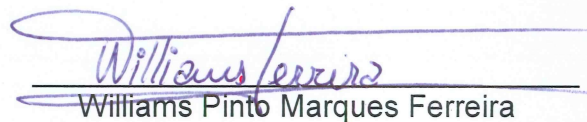
Fernando da Costa Baêta



Jadir Nogueira da Silva



João Marcos Louzada



Williams Pinto Marques Ferreira



Cecília de Fátima Souza
Orientadora

AGRADECIMENTOS

À Deus pelas conquistas alcançadas e bênçãos a mim concedidas.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV) e ao Departamento de Engenharia Agrícola (DEA), pela oportunidade de realização do curso.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano (IFBAIANO), *campus* Santa Inês, pela minha liberação das atividades docentes.

Ao Instituto Mineiro de Agropecuária (IMA), pela concessão dos dados, necessários à realização da pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão da bolsa de estudos.

Aos meus Pais, Irmãs e demais Familiares que me incentivaram e torceram pela minha vitória.

Aos meus Filhos, Caio, Bruna e Tainá, pela compreensão, quando estive ausente, devido ao tempo de dedicação ao trabalho.

À minha querida esposa Tânia, por todo seu amor, pela cumplicidade, companheirismo, carinho, dedicação, palavra amiga e ombro em momentos difíceis, mas também, nos momentos de vitórias e alegrias compartilhadas sempre.

À Professora Cecília, pela orientação, confiança e dedicação a mim concedidas.

À Professora Ilda, grande responsável e incentivadora da minha trajetória desde o primeiro momento.

Aos Professores Alisson e Maurício, pela coorientação, apoio e estruturação da pesquisa.

Aos Professores Baêta e Jadir, pela amizade e contribuições tanto no meu projeto, quanto no desenvolvimento.

Aos Professores João e Gerson, pelas valiosas colaborações na análise dos dados.

Ao Dr. Williams, pelas suas oportunas contribuições e sugestões.

Aos amigos Gustavo e Ricardo, pelas colaborações e parcerias.

Aos amigos do AMBIAGRO, sempre juntos como uma família.

À Pró-Reitoria de Gestão de Pessoas da UFV e seus Servidores, que acolheram, a mim e a minha esposa, durante o período de realização do curso.

À todos os colegas pela parceria feita durante o curso.

Aos amigos Wilson, Maria do Carmo, Jorge, Maria José, Flávia, Andréa, Gil e o meu afilhado, o pequeno Davi.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram na realização deste trabalho, o meu muito obrigado!

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xi
RESUMO.....	xiv
ABSTRACT	xvi
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1 Atividade suinícola: cenário nacional	5
2.2 Bacia hidrográfica: gestão integrada das águas.....	7
2.3 Sistemas de Informações Geográficas.....	8
2.4 Delimitação da bacia hidrográfica e sua caracterização morfométrica.....	9
2.5 Qualidade da água	11
2.6 Poluição hídrica.....	12
2.6.1 Um breve histórico do Índice de Qualidade da água	14
2.6.2 Monitoramento das águas superficiais do estado de Minas Gerais	18
2.6.3 Equivalente Populacional	22
2.6.4 Superfície Agrícola Utilizada	23
2.6.5 A suinocultura: atividade geradora de poluentes.....	25
2.7 Análise estatística	29
2.7.1 Linguagem R.....	30
2.7.2 Regressão, coeficientes de correlação (r) e determinação (r ²) – aplicação prática	30
2.7.3 Matriz de correlação	32
2.7.4 Método <i>Random Forest</i> - Regressão	32
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	35
3.1 Área de estudo	35
3.1.1 Caracterização geopolítica e Hidrografia da área de estudo.....	35
3.1.1.1 Solos	37
3.1.1.2 Relevo	37
3.1.1.3 Clima	38
3.1.1.4 Vegetação	38
3.1.2 Delimitação da área de estudo.....	38
3.1.3 Caracterização socioeconômica.....	40

3.2 Caracterização da suinocultura	40
3.2.1 Densidade suinícola em relação à Superfície Agrícola Utilizada, Temporária e Permanente, de cada município da área de estudo	40
3.2.2 Rebanho suinícola de cada granja existente na área de estudo	41
3.2.3 O rebanho e a Água Residuária Suinícola	42
3.2.4 Estimativa do Equivalente Populacional da suinocultura na área de estudo....	43
3.3 Variáveis de qualidade da água	44
3.4 Sub Bacias Hidrográficas da área de estudo	48
3.5 Análise estatística	49
3.5.1 Análise preliminar pelo método da matriz de correlação	49
3.5.2 Método <i>Random Forest</i>	50
3.6 Análise espacial das variáveis selecionadas pelo <i>Random Forest</i>	51
4 RESULTADOS E DISCUSÃO	52
4.1 Área de estudo e o Modelo Digital de Elevação	52
4.2 População residente na área de estudo	53
4.3 Índice de Desenvolvimento Humano Municipal.....	61
4.4 Produto Interno Bruto dos municípios da área de estudo	64
4.5 Atividade suinícola nos municípios da área de estudo.....	69
4.5.1 Estabelecimentos agropecuários e o rebanho suinícola	69
4.5.2 Superfície Agrícola Utilizada	75
4.6 Rebanho suinícola por granja existente na área de estudo e a SAU _{TP}	80
4.7 Equivalente Populacional da suinocultura	83
4.8 Variáveis de qualidade da água	84
4.8.1 Estações de monitoramento do Projeto Águas de Minas	84
4.8.2 Sub Bacias Hidrográficas da área de estudo	85
4.8.3 Tabulação de dados	91
4.9 Análise estatística	91
4.9.1 Análise visual da espacialização da área de estudo	91
4.9.2 Análise preliminar pelo método da matriz de correlação	92
4.9.3 <i>Random Forest</i>	95
4.9.4 Análise espacial das variáveis selecionadas pelo <i>Random Forest</i>	99
5 CONCLUSÕES	122
REFERÊNCIAS.....	123
APÊNDICE	133
Apêndice A.....	134

Apêndice B.....	137
Apêndice C.....	139
Apêndice D.....	140

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - MDE gerado com imagens SRTM com 30m de resolução	11
Figura 2 – Curvas de qualidade elaboradas pelo NSF.....	17
Figura 3 – Mapa da bacia do rio Doce com a distribuição dos IQA e contaminação por tóxicos dos cursos de água.....	18
Figura 4 – UPGRH da Bacia Hidrográfica do Rio Doce	20
Figura 5 – Mapa de localização da área de estudo.....	36
Figura 6 – Mapa do Modelo Digital de Elevação (MDE) da Área de Estudo (AE).....	52
Figura 7 – Mapa da AE com os municípios inseridos total ou parcialmente	54
Figura 8 – Mapa com as sedes municipais inseridas na área de estudo	55
Figura 9 – <i>Ranking</i> dos dez municípios mais populosos, presentes na área de estudo	61
Figura 10 – Os dez municípios com os maiores valores de PIB total bruto (R\$ 1.000.000,00).....	67
Figura 11 – Os dez municípios com os maiores valores de PIB nos serviços da administração pública (R\$ 1.000.000,00).....	67
Figura 12 – Os dez municípios com os maiores valores de PIB nos serviços da administração pública, exceto os sociais (R\$ 1.000.000,00).....	68
Figura 13 – Os dez municípios com os maiores valores de PIB na indústria (R\$1.000.000,00)	68
Figura 14 – Os dez municípios com os maiores valores de PIB na agropecuária (R\$ 1.000.000,00).....	69
Figura 15 - <i>Ranking</i> dos dez municípios com maiores rebanhos suínícolas	73
Figura 16 – Mapa dos municípios com a densidade suínícola em relação à SAUTP	79
Figura 17 – Especialização das granjas suínícolas na AE	81
Figura 18 – Gráfico da ARS gerada por tipo de sistema de produção	82
Figura 19 – Cargas estimadas de DBO5 da suinocultura e população residente na área de estudo	83
Figura 20 – Equivalente Populacional da suinocultura na área de estudo	84

Figura 21 – Espacialização das estações de monitoramento do PAM.....	85
Figura 22 – Mapa das sub bacias de contribuição da área de estudo	86
Figura 23 – Mapas das sub bacias com a espacialização das granjas suinícolas	89
Figura 24 – Área de estudo com as estações de monitoramento válidas (Coord-Y: coordenadas Y e Coord-X: coordenadas X).....	92
Figura 25 – Representação gráfica da matriz de correlação.....	94
Figura 26 – Relatórios gerados em cada estágio no <i>Random Forest</i>	95
Figura 27 – Gráficos com os erros calculados para os estágios de 2 a 4	96
Figura 28 – Gráficos com o <i>ranking</i> das variáveis classificadas pelo <i>Random Forest</i> nos estágios 2 a 4	97
Figura 29 – Modelo de regressão do <i>Random Forest</i> ajustado, para os estágios de 2 a 4, com dados estimados (reais) e os valores preditos da Água Residuária Suinícola (ARS)	99
Figura 30 - Mapa interpolado via IDW e gráfico da análise exploratória da variável de qualidade de água classificada pelo <i>Random Forest</i> no quarto estágio	101
Figura 31 - Mapa interpolado via IDW e gráfico da análise exploratória da variável de qualidade de água classificada pelo <i>Random Forest</i> no quarto estágio	103
Figura 32 - Mapa interpolado via IDW e gráfico da análise exploratória da variável de qualidade de água classificada pelo <i>Random Forest</i> no quarto estágio	105
Figura 33 – Mapa interpolado via IDW da concentração em mg l ⁻¹ dos sólidos em suspensão no período seco (Ss.Ct.S.A)	106
Figura 34 – Mapa interpolado via IDW e gráfico da análise exploratória da variável de qualidade de água classificada pelo <i>Random Forest</i> no terceiro estágio.....	109
Figura 35 - Mapa interpolado via IDW e gráfico da análise exploratória das variáveis de qualidade de água classificada pelo <i>Random Forest</i> no terceiro estágio.....	110
Figura 36 - Mapa interpolado via IDW e gráfico da análise exploratória das variáveis de qualidade de água classificada pelo <i>Random Forest</i> no terceiro estágio.....	111
Figura 37 – Espacialização das UPL nas sub bacias RD013, 018 e 072.....	113
Figura 38 - Mapa interpolado via IDW e gráfico da análise exploratória da variável de qualidade de água classificada pelo <i>Random Forest</i> no terceiro estágio.....	115

Figura 39 - Mapa interpolado via IDW e gráfico da análise exploratória da variável de qualidade de água classificada pelo <i>Random Forest</i> no segundo estágio.....	117
Figura 40 - Mapa interpolado via IDW e gráfico da análise exploratória de duas das variáveis de qualidade de água classificadas pelo <i>Random Forest</i> no segundo estágio	119
Figura 41 – Concentrações das formas de Nitrogênio orgânico, amoniacal, Nitrito e nitrato (Norg, Nam, Ntri e Ntra)	120
Figura 42 – Mapa da espacialização dos declarantes de carga poluidora nos anos 2012 e 2013	121

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Carnes Bovina, Frango e Suína em milhões de toneladas no mundo.....	5
Tabela 2 – Posição do Brasil no <i>Ranking</i> Mundial das Carnes Bovina, Frango e Suína	5
Tabela 3 – Posição do Brasil no <i>Ranking</i> Mundial da Carne suína	6
Tabela 4 – Pesos atribuídos às variáveis para o cálculo do IQA.....	15
Tabela 5 – Classificação da qualidade da água segundo o IQA	17
Tabela 6 – Bacias hidrográficas do estado de Minas Gerais	19
Tabela 7 – Características das AR de animais confinados	23
Tabela 8 – Concentração em mg kg ⁻¹ , de nutrientes na massa fresca de dejetos animais.....	26
Tabela 9 – Estações de monitoramento do PAM e suas descrições.....	44
Tabela 10 – Variáveis analisadas no Projeto Águas de Minas no ano de 2014	45
Tabela 11 – Estações fluviométricas localizadas na AE	46
Tabela 12 – Variáveis de qualidade de água	48
Tabela 13 – Esboço da planilha para tabulação de dados.....	49
Tabela 14 – Variáveis selecionadas pela matriz de correlação de Pearson	50
Tabela 15 - População dos municípios da área de estudo.....	56
Tabela 16 – População residente, total, urbana e rural nos anos de 2000 e 2010....	58
Tabela 17 – IDHM dos municípios presentes na área de estudo.....	61
Tabela 18 – PIB dos Municípios inseridos na área de estudo com a distribuição por serviços públicos, a agropecuária e a indústria.....	64
Tabela 19 – Evolução do rebanho suinícola no período de 2006 a 2014.....	70
Tabela 20 – Densidade suinícola de vinte municípios separados em ordem crescente	74
Tabela 21 – Densidade suinícola em relação à SAUTP.....	76
Tabela 22 – Quantitativos da suinocultura na área de estudo	82
Tabela 23 – Sub bacias e suas granjas suinícolas.....	90

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABPA	Associação Brasileira de Proteína Animal
AE	Área de Estudo
ANA	Agência Nacional de Águas
AR	Água Residuária
ARS	Água Residuária de Suinocultura
CERH	Conselho Estadual de Recursos Hídricos
CERH	Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Minas Gerais
CETEC	Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COPAM	Conselho Estadual de Política Ambiental
CT	Contaminação por Tóxicos
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EOOB	<i>Error Out Of Bag</i>
EP	Equivalente Populacional
ESRI	<i>Environmental Systems Research Institute</i>
ESRI	<i>Environmental Systems Research Institute</i>
EU	<i>European Union</i>
FEAM	Fundação Estadual do Meio Ambiente
GeoDSA	Sistema de Cadastro e Georreferenciamento de Defesa Sanitária Animal
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDE	Índice de Diversidade de Espécies
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IDHM	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
IDW	<i>Inverse Distance Weighted</i>
IEF	Instituto Estadual de Florestas
IET	Índice do Estado Trófico

IGAM	Instituto Mineiro de Gestão das Águas
IMA	Instituto Mineiro de Agropecuária
INE	Instituto Nacional de Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPA	Índice de Proteção Ambiental
IQA	Índice de Qualidade de Água
IT	Índice de Toxicidade
MDE	Modelos Digitais de Elevação
MSE	<i>Mean Square Error</i>
NSF	<i>National Sanitation Foundation</i>
OD	Oxigênio Dissolvido
OOB	<i>Out Of Bag</i>
PAM	Projeto Águas de Minas
pH	Potencial Hidrogeniônico
PIB	Produto Interno Bruto
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
RHAL	Região Hidrográfica do Atlântico Leste
RHAS	Região Hidrográfica do Atlântico Sudeste
RHPR	Região Hidrográfica do Paraná
RHSF	Região Hidrográfica do São Francisco
SAU	Superfície Agrícola Utilizada
SAU _{TP}	Superfície Agrícola Utilizada Temporária e Permanente
SEMAD	Secretaria do Estado de Meio Ambiente, do Desenvolvimento Sustentável
SIDRA	Sistema IBGE de Recuperação Automática
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
SNDA	Superfície de Área Necessária para a Aplicação de Dejetos
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
UCC	Unidade de Ciclo Completo
UCT	Unidade de Crescimento e Terminação
UPGRH	Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos
UPL	Unidade de Produção de Leitões
USA	<i>United States of America</i>

USDA
USGS

United States Department of Agriculture
U.S. Geological Survey

RESUMO

ROCHA, Jadson Luiz Simões, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 2016. **Mapeamento por SIG e *Random Forest* do impacto dos resíduos da suinocultura na qualidade das águas da Bacia do Rio Piranga-MG.** Orientadora: Cecília de Fátima Souza. Coorientadores: Alisson Carraro Borges, Maurício Santana Moreau e Ilda de Fátima Ferreira Tinôco.

Caracterizada como uma produção industrial, a suinocultura gera uma quantidade expressiva de resíduos de natureza orgânica, convertidos em águas residuárias que podem ser consideradas como fonte de poluição, principalmente, dos recursos hídricos. Os Sistemas de Informações Geográficas, possuem robustas ferramentas aplicadas no gerenciamento e análise de informações de qualquer natureza (espacial ou geográfica). Objetiva-se verificar se a atividade suinícola, presente na Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos DO1 do rio Doce no estado de Minas Gerais, está alterando a qualidade das águas superficiais das bacias hidrográficas que a compõem. Neste sentido, pretende-se verificar o desempenho do Sistema de Informações Geográficas na avaliação da qualidade das águas superficiais, testar o *Random Forest* como classificador das variáveis de qualidade das águas superficiais, aplicar a estatística espacial como ferramenta para a avaliação da qualidade das águas superficiais, estruturar o indicador Superfície Agrícola Utilizada, Temporária e Permanente e, aplicar o Equivalente Populacional como indicador na avaliação dos impactos dos resíduos suinícolas sobre a qualidade das águas superficiais da área de estudo. A delimitação da área de estudo foi feita a partir de um modelo digital de elevação gerado pelo ArcGis, versão 10.3.1. O rebanho suinícola dos municípios da área de estudo foi levantado no Sistema IBGE de Recuperação Automática no ano de 2014 e no Sistema de Cadastro e Georreferenciamento de Defesa Sanitária Animal no ano de 2015, do Instituto Mineiro de Agropecuária. Os dados das variáveis de qualidade da água foram obtidos dos relatórios executivos do Projeto Águas de Minas, no período de 1997 a 2014, no site do Instituto Mineiro de Gestão das Águas, em quinze estações de monitoramento implantadas na área de estudo. O Programa Águas de Minas adota dois períodos, chuvoso e de estiagem, respectivamente. Os resultados apresentaram um conjunto composto de três variáveis (cargas de sólidos em suspensão, fósforo total e nitrato, no período seco) que foram classificadas pelo *software*, no quarto estágio do treinamento. Essas variáveis selecionadas pelo

procedimento *Random Forest* foram capazes de prever razoavelmente o volume da água residuária da atividade suinícola na área de estudo. No estágio final do processo o modelo de regressão ajustado apresentou o coeficiente de correlação igual a 63,10%. Com os resultados obtidos, a partir da análise integrada, dos métodos em ambientes de Sistemas de Informações Geográficas e estatística espacial, pode-se concluir que os resíduos da atividade suinícola na área de estudo estão contribuindo para a alteração da qualidade das águas superficiais.

ABSTRACT

ROCHA, Jadson Luiz Simões, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, December, 2016. **Mapping by GIS and Random Forest of the impact of swine residues on the waters quality of the Piranga River Basin-MG.** Advisor: Cecília de Fátima Souza. Co-advisors: Alisson Carraro Borges, Maurício Santana Moreau and Ilda de Fátima Ferreira Tinôco.

Characterized as an industrial production, swine breeding produces an expressive amount of organic waste, converted into wastewater that has been considered as a source of pollution, mainly water resources. Geographic Information Systems have robust tools applied in the management and analysis of information of any nature (spatial or geographical). The objective of this study was to verify if the swine activity, present in the DO1 Water Resources Planning and Management Unit of the Doce River in Minas Gerais State has been altering the quality of the surface waters of the watersheds that compose it. Then, we intend to verify the performance of the Geographic Information System in the evaluation of surface water quality, to test Random Forest as a classifier of surface water quality variables, to apply spatial statistics as a tool for the evaluation of surface water quality, to structure the Indicator of Agricultural Utilization, Temporary and Permanent, and to apply the Population Equivalent as an indicator in the evaluation of the impacts of swine residues on the surface water quality of the study area. The delimitation of the study area had done from a digital elevation model generated by ArcGis, version 10.3.1. The swine herd of the municipalities of the study area was surveyed in the IBGE Automatic Recovery System in 2014 and in the System of Cadastre and Georeferencing of Animal Sanitary Defense in the year 2015, of the *Instituto Mineiro de Agropecuária*. The data of water quality variables had obtained from the executive reports of the *Projeto Águas de Minas*, from 1997 to 2014, on the website of the *Instituto Mineiro de Gestão das Águas*, in fifteen monitoring stations located in the study area. The *Projeto Águas de Minas* adopts two periods, rainy and dry, respectively. The results presented a set composed of three variables (loads of suspended solids, total phosphorus and nitrate in the dry period) that were classified by the software in the fourth stage of the training. These variables selected by the Random Forest procedure were able to reasonably predict the volume of wastewater from the swine activity in the study area. In the final stage of the process, the adjusted regression model had a correlation coefficient of 63.10%.

With the results obtained, from the integrated analysis of the methods in Geographic Information Systems and spatial statistics environments, it has been concluded that residues of the swine activity in the study area are contributing to the alteration of surface water quality.

1 INTRODUÇÃO

Em decorrência do crescimento populacional, seguido de melhorias em índices socioeconômicos de países, a exemplo do Brasil, a demanda por alimentos à base de proteína animal tende a crescer. Com o Produto Interno Bruto (PIB) superior a US 2 trilhões (2013) e uma população ocupando a quinta posição, o Brasil se encontra entre as dez maiores economias mundiais. O consumo das carnes bovina, suína e de aves, principais fontes de proteína animal para a população brasileira, atingirá o montante de 83 kg hab⁻¹ por pessoa no ano de 2024, impulsionado principalmente, pela carne de aves, devido ao custo final, menor que as demais, para o consumidor (OECD; FAO, 2015).

Neste contexto, para atender à demanda por alimentos, técnicas mais robustas têm sido desenvolvidas e implementadas, proporcionando, de um modo geral, maiores índices produtivos nas atividades agropecuárias. O confinamento de animais, ocupando espaços cada vez menores, associado às técnicas construtivas que promovem o bem-estar animal, melhores padrões genéticos com boa sanidade e dietas com alimentação balanceada, têm promovido melhores resultados, do ponto de vista da segurança alimentar.

Nesta cadeia produtiva, tratando-se de um sistema em que a base energética é de natureza orgânica e mineral, além da água, ao final e após ser apurado o produto principal, a carne, o ovo e lácteos, é inevitável a geração de resíduos orgânicos, fármacos e patógenos, nas formas sólida, líquida, gasosa e poeira, os quais, se não forem tratados e dispostos adequadamente, podem se tornar causas de degradação de mananciais hídricos, solos e o ar.

Os impactos ambientais associados à produção pecuária estão atraindo, cada vez mais, a atenção dos órgãos de controle ambiental, de pesquisa e das Universidades, que têm se debruçado sobre o assunto e dispendido energia, recursos financeiros e humanos para o desenvolvimento e aplicação de tecnologias, capazes de tratar adequadamente tais resíduos.

O crescimento da atividade suinícola em todo o mundo e, em especial, no Brasil vem ocorrendo de maneira desordenada com índices elevados de concentração animal por unidade de área, quando se leva em consideração a Superfície Agrícola Utilizada (SAU) (MIRANDA, 2007).

Caracterizada como produção industrial, a suinocultura gera quantidade expressiva de resíduos de natureza orgânica que podem ser considerados como uma fonte pontual de poluição. No entanto, quando espalhados em grandes áreas tornam-se fonte difusa, com riscos de degradação do solo, da água e do ar. Os principais efeitos podem ter como causa os níveis de emissão sob as formas de nitrogênio, fósforo e outros minerais presentes nesses dejetos (MIRANDA, 2007).

Segundo Miranda (2007), no ano de 2003, quando feita a relação da área de lavoura temporária com o plantel de suínos, as mesorregiões brasileiras que mereceram destaque, pela alta densidade, foram o Norte Maranhense (5,05 suínos ha⁻¹), o Oeste Catarinense (4,62 suínos ha⁻¹), o Norte Piauiense (4,08 suínos ha⁻¹) e a Zona da Mata Mineira (3,75 suínos ha⁻¹). Porém, naquele mesmo ano, quando estes mesmos dados foram utilizados, levando-se em consideração as microrregiões, Concórdia, SC (15,14 suínos ha⁻¹) e Ponte Nova, MG (10,76 suínos ha⁻¹) os cenários apresentaram-se mais preocupantes ainda do ponto de vista ambiental.

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (BRASIL, 2016c), a Microrregião de Ponte Nova, no ano de 2014, possuía o efetivo de suínos de 723,932 mil cabeças. A ocupação das terras era predominantemente feita pela pecuária (66%), com destaque para a suinocultura, florestas e outras formações naturais (31%) e demais áreas com outros usos antrópicos (3%) (ECOPLAN; LUME, 2010).

Até o momento, tem-se avaliado de forma isolada a qualidade das águas de corpos hídricos ou o grau em que encontram-se impactados, ou ainda a capacidade de autodepuração destes, sem apontar especificamente a causa em particular. Nessas circunstâncias, o tratamento dos resíduos se apresenta como alternativa capaz de viabilizar ambientalmente a atividade suinícola.

Os sistemas de tratamento de efluentes, até hoje, estão baseados no uso de lagoas em série ou que as utilizam em alguma etapa do processo, semelhantes aos sistemas de tratamento de esgoto sanitário. Higarashi, Kunz e Oliveira (2007), inferem que, de todos os sistemas de tratamento avaliados, de acordo com a Resolução nº 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), nenhum atingiu níveis que permitissem o descarte dos efluentes direto nos rios.

O controle do lançamento de efluentes deve ser feito de maneira que os cursos de água se mantenham dentro das condições estabelecidas pelas respectivas

classes, nas quais se encontram inseridos. Este é um instrumento de planejamento bastante interessante por permitir estabelecer a qualidade que cada curso de água deverá manter, de forma a atender seus usos específicos (BRAGA, 2002).

Como toda forma de vida é fonte de geração de resíduos e está intimamente relacionada com a água, esta pode ser facilmente poluída. Sabendo-se que se trata de um recurso escasso e essencial à subsistência e às atividades humanas, a recuperação da sua qualidade às vezes é onerosa e tecnicamente difícil, tornando-se um problema mundial. Assim, as características físicas, químicas e biológicas de um rio normalmente são afetadas pela forma de uso e ocupação da terra pelo homem, como também pela quantidade de resíduos que são lançados em suas águas. Portanto, conhecer as características da água é conhecer o grau dos impactos que esse rio possa estar sofrendo (BRIGANTE; ESPÍNDOLA, 2003; MACHADO; FERREIRA; RITTER, 2004).

A Lei 9.433/1997 intitulada Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), dentre suas diretrizes de ações, segundo Silva (2015b), estabelece a gestão dos recursos hídricos, sem dissociá-la dos aspectos qualitativos/quantitativos, adequando às diversidades físicas, bióticas, demográficas, econômicas, sociais e culturais das diversas regiões do País. Um dos principais entraves à implantação de programas de gestão sustentável de recursos hídricos é representado pela dificuldade de se obter, processar analiticamente e divulgar dados e informações socioambientais relevantes. O pleno acesso às informações atualizadas e organizadas deverá possibilitar tanto uma melhor fundamentação técnico-científica das ações, quanto à apresentação e em particular a disponibilização de dados e informações às comunidades locais em diferentes formatos e graus de complexidade.

Diversos métodos e técnicas de análise espacial são aplicados na gestão ambiental de diferentes regiões fisiográficas como bacias hidrográficas, unidades de conservação e cidades. Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) apresentam um conjunto de robustas ferramentas aplicadas no gerenciamento e análise de informações de qualquer natureza, dependentes da localização, seja espacial ou geográfica.

Os SIG promovem o desenvolvimento de abordagens críticas para a compreensão, o gerenciamento e a comunicação dos vários aspectos das paisagens naturais e antrópicas, possibilitando a melhor percepção da Terra como um sistema

ambiental. Os SIG favorecem a realização de análises sofisticadas, cruzamento e superposição de informações e, principalmente, a apresentação dos resultados por meio de mapas, imagens, gráficos, símbolos, textos, representações matemáticas e estatísticas, além de animações e vídeos que podem ser úteis. Sumariamente, o SIG é constituído por um conjunto de procedimentos básicos para manipulação, aquisição, armazenagem, recuperação, atualização, processamento, análise e representação de dados assistidos por computador (AUGUSTO, 2013).

De acordo com BRASIL (2013a) os estados de Minas Gerais e Espírito Santo, compartilham a Bacia Hidrográfica do Rio Doce. A porção que cabe ao Estado mineiro, está subdividida em seis Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRH), com seus comitês administrativos a saber: Comitê da Bacia do Rio Piranga (DO1); Comitê da Bacia do Rio Piracicaba (DO2); Comitê da Bacia do Rio Santo Antônio (DO3); Comitê da Bacia do Rio Suaçuí (DO4); Comitê da Bacia do Rio Caratinga (DO5); e Comitê da Bacia do Rio Manhuaçu (DO6). Conforme a ECOPLAN e LUME (2010), a UPGRH DO1, é composta pelas bacias hidrográficas dos rios Piranga, Casca, do Carmo, Matipó e bacia incremental Piranga.

No presente estudo, como objetivo geral, propõe-se verificar se a atividade suinícola, presente na UPGRH DO1, está alterando a qualidade das águas superficiais das bacias hidrográficas que a compõem. Como objetivos específicos, pretende-se: verificar o desempenho do SIG na avaliação da qualidade das águas superficiais da área de estudo (AE); testar o *Random Forest* como classificador das variáveis de qualidade das águas superficiais da AE; aplicar a estatística espacial como ferramenta para a avaliação da qualidade das águas superficiais da AE; estruturar o indicador Superfície Agrícola Utilizada, Temporária e Permanente (SAU_{TP}), capaz de calcular a área em ha, disponível para a aplicação dos resíduos suinícolas; e, aplicar o Equivalente Populacional (EP) como indicador na avaliação dos impactos dos resíduos suinícolas sobre a qualidade das águas superficiais da AE.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Atividade suinícola: cenário nacional

Na Tabela 1 está apresentado o *ranking* mundial de produção de carne, com destaque para a bovina, suína e de frango, conforme estimativas da Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA). A carne suína, com mais de 43% do total, tanto é a mais produzida, quanto é a mais consumida (ABPA, 2015).

Tabela 1 – Carnes Bovina, Frango e Suína em milhões de toneladas no mundo

Carnes	Bovino	Frango	Suíno	Total	% ¹
Produção	58,7	87,4	111,8	257,9	43,35
Consumo	56,9	85,1	111,2	253,2	43,91
Exportação	9,9	10,9	7,2	28,0	25,71
Importação	8,0	8,7	6,3	23,0	27,39

Fonte: (ABPA, 2015).

Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) (2015), o Brasil está entre os maiores produtores de carne do mundo. Além de ter importante papel na balança comercial, o setor de produção de carnes está intimamente relacionado com a cadeia produtiva de grãos, com destaque para o milho e a soja, uma vez que estes fazem parte da ração animal. 70%, 78% e 85% das produções de carne de frango, bovina e suína, respectivamente, são consumidas pelo mercado interno, com a agroindústria nacional bem aparelhada e com tecnologia de ponta, de forma que garante produtos de qualidade e com preços competitivos (CONAB, 2015).

Na Tabela 2 estão apresentadas as projeções feitas pelo *United States Department of Agriculture* (USDA), para o ano de 2017. O Brasil ocupará posições de destaque no *ranking* mundial de consumo, exportação e produção das carnes bovina, suína e de frango.

Tabela 2 – Posição do Brasil no *Ranking* Mundial das Carnes Bovina, Frango e Suína

Carnes	Bovino	Frango	Suíno
Consumo	4º	4º	5º
Exportação	1º	1º	4º
Produção	2º	2º	4º

Fonte: (USDA, 2016).

¹ Posição em pontos percentuais da carne suína.

A evolução da suinocultura tem se apresentado em crescimento nos últimos seis anos, colocando o Brasil em posição de destaque no *Ranking* mundial, em relação à produção, consumo e exportação. Na Tabela 3 está apresentada a posição do Brasil no *Ranking* mundial de carne suína (ABPA, 2016; USDA, 2016).

Tabela 3 - Posição do Brasil no *Ranking* Mundial da Carne suína

Ano	Produção (1.000 t)						Ranking
	2012	2013	2014	2015	2016	2017 ²	
China	53.427	54.930	56.710	54.870	51.850	53.750	1º
EU	22.526	22.359	22.540	23.350	23.350	23.350	2º
USA	10.554	10.525	10.370	11.121	11.307	11.739	3º
Brasil	3.330	3.335	3.400	3.519	3.710	3.825	4º
Consumo (1.000 t)							
China	53.922	55.456	57.195	55.668	54.070	55.870	1º
EU	20.382	20.147	20.390	20.974	20.062	20.062	2º
USA	8.441	8.665	8.651	9.37	9.452	9.811	3º
Rússia	3.239	3.267	3.024	3.016	3.160	3.280	4º
Brasil	2.67	2.751	2.845	2.893	2.811	2.886	5º
Exportação (1.000 t)							
EU	2.165	2.227	2.164	2.389	3.300	3.300	1º
USA	2.440	2.262	2.203	2.272	2.356	2.449	2º
Canada	1.243	1.246	1.218	1.239	1.350	1.300	3º
Brasil	661	585	556	627	900	940	4º

Fonte: (ABPA, 2016; USDA, 2016).

A atividade suinícola está distribuída por 12 estados brasileiros, além do Distrito Federal, sendo que Santa Catarina, Paraná, Rio Grande do Sul e Minas Gerais, nesta ordem, ocuparam as primeiras posições em abate de suínos no Brasil no ano de 2015, conforme ABPA (2016), tendo sido abatidas 39,2 milhões de cabeças, com um incremento de 288,23%, comparando-se com o ano de 1997 (início da série anual), quando foram abatidas 13,6 milhões de cabeças (BRASIL, 2016d).

Segundo Brasil (2015), até 2024, é projetado o aumento, tanto do consumo (18,9%), quanto da produção (1,9% a.a./20,6% total) de carne suína. Quanto às exportações, a carne suína (3,7% a.a.) vai estar na liderança em relação às carnes de frango (3,6% a.a.) e bovina (3,3% a.a.), colocando essa atividade em posição de destaque, tanto do ponto de vista econômico-financeiro, quanto ambiental, haja vista a pressão exercida sobre os recursos hídricos, solo e ar (BRASIL, 2015).

² Estimativa.

2.2 Bacia hidrográfica: gestão integrada das águas

Segundo Rodrigues e Menciondo (2013), a água se apresenta de maneira determinante na sustentação da vida e alavanca o desenvolvimento cultural e socioeconômico da humanidade. Os seus múltiplos usos geram conflitos devido às demandas específicas de quantidade e qualidade. Tais usos, dividem-se em consuntivos (retirada de água sem retorno) e não-consuntivos (retirada de água com retorno ao corpo hídrico, com pouca alteração na disponibilidade) (REIS; BRANDÃO, 2013).

De acordo com Rodrigues e Menciondo (2013), os maiores motivos dos conflitos resultantes dos usos múltiplos da água, resultam de gestão inadequada. Os autores inferem que a gestão deve ser integrada, preditiva, adaptativa e em escala de bacia hidrográfica. Assim, para a conservação da água, deve-se ter o pleno conhecimento das características das bacias hidrográficas, o contexto de utilização dos recursos hídricos e as possíveis alternativas de uso e manejo do solo.

A Política Nacional de Recursos Hídricos estabeleceu a bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão. A bacia hidrográfica pode ser definida como uma área delimitada por divisores topográficos e drenada por um curso de água e seus afluentes que conduzem as águas superficiais para uma seção fluvial de saída, denominada exutório. Os divisores topográficos ou de águas, caracterizam-se pelas diferenças altimétricas entre os pontos mais altos e os mais baixos, servindo de limites entre bacias adjacentes. Em uma bacia hidrográfica ao serem consideradas as alterações climáticas naturais e as mudanças da paisagem como consequências de ações antrópicas, pode-se obter uma visão abrangente e sistêmica (FLORENZANO, 2011; RODRIGUES; MENDIONDO, 2013).

Segundo Rodrigues e Menciondo (2013), a gestão dos recursos hídricos em uma bacia hidrográfica passa pela qualidade e disponibilidade de informações acerca da demanda e oferta de água, necessitando para tanto uma boa caracterização desta, mediante a integralização das informações de ordem física, ecológica e socioeconômica, bem como o comportamento hidroclimatológico. Esta integralização é facilmente operacionalizada através dos Sistemas de Informações Geográficas.

2.3 Sistema de Informações Geográficas

Sistemas de Informações Geográficas agregam um conjunto de ferramentas organizadas, em síntese, para o tratamento de dados referentes ao espaço habitado pela humanidade para a geração de informações capazes de facilitar o entendimento de sua interação com o ambiente. Com o avanço das tecnologias e o advento da informatização foram aperfeiçoando-se as técnicas e ferramentas para a captura, armazenamento e processamento de informações espaciais. A partir daí, o geoprocessamento despontou como um elo entre as diversas ciências, mostrando-se como uma tecnologia multidisciplinar, uma vez que esta interage com várias disciplinas, equipamentos, programas, processos, entidades, dados, metodologias, além de envolver pessoas para a coleta, tratamento, análise e apresentação de informações associadas aos mapas digitais georreferenciados (BIELENKI; BARBASSA, 2012).

Segundo Bielenki e Barbosa (2012), as funcionalidades de um SIG combinam-se de forma a possibilitar as análises necessárias às atividades de gestão de recursos hídricos em uma bacia hidrográfica, além de possibilitar prognósticos de situações futuras por meio de modelos. Os modelos são entendidos como uma simplificação da realidade, desde a representação dos canais de uma bacia por segmentos de linha até a representação da superfície por um modelo numérico do terreno. Bielenki e Barbassa (2012), citam como exemplos o cadastramento de estruturas hidráulicas, o levantamento de áreas irrigadas, os estudos hidrológicos e previsão de inundações.

Souza, Sluter e Braga (2009), utilizaram um modelo de dados espaço temporal em SIG implementado no ArcView 3.2, para a análise da qualidade da água em uma bacia hidrográfica, associado à ocorrência de determinados eventos para possibilitar o conhecimento da influência causada pela ocupação humana, atividades econômicas e usos da água, de forma a fornecer subsídios para o gerenciamento dos recursos hídricos. No desenvolvimento do trabalho foi proposta uma adaptação do Modelo de Dados Espaço-temporais baseado em Eventos (*Event-based Spatio-Temporal Data Model* – ESTDM). Assim, o modelo se baseia em eventos e utiliza o tempo como base para organizar os dados espaciais, permitindo registrar o momento e o local das mudanças ocorridas e a representação de eventos passados, presentes e futuros.

De acordo com Pinheiro, Werneck, Moté, Marçal, Silva e Ferreira (2009) os SIG são utilizados como ferramentas de análise espacial, na modelagem e simulação de cenários, para subsidiar a elaboração de políticas públicas. Esta tecnologia permite integrar informações de dados cartográficos, cadastrais de diferentes naturezas, variáveis ambientais, entre outras, em um banco de dados unificado, o que reflete a multiplicidade de usos e a interdisciplinaridade permitida.

Destaca-se a facilidade de integrar dados das mais diversas áreas, como geologia, geomorfologia, pedologia, demografia, movimentos sociais, urbanismo, saneamento, ecologia entre outras, possibilitando uma abordagem ampla e completa, configurando-se como instrumento articulador do processo de integração entre o planejamento ambiental e a gestão dos recursos hídricos (PINHEIRO; WERNECK; OLIVEIRA; MOTÉ; MARÇAL; SILVA; FERREIRA, 2009). Os autores utilizaram a maioria das informações georreferenciadas (visualizadas por meio de mapas), tais como geologia, geomorfologia, uso do solo, tipo do solo, hidrografia, delimitações de sub-bacias, zoneamentos existentes, sistema viário, áreas verdes e declividades. A superposição destes mapas por meio do uso do SIG permitiu a elaboração de um mapa síntese que integra todos esses temas, compreendendo as diversas características da área.

O referido trabalho demonstrou o uso do geoprocessamento como ferramenta de integração e análise das informações, à época, da qualidade das águas, dos usos preponderantes e das fontes poluidoras na bacia hidrográfica do rio Macaé, e de adaptação dessas informações por meio de cartogramas e indicadores. Para manipulação das informações espacializadas em ambiente SIG, foram utilizados o software *ArcGis 9.2 – Environmental Systems Research Institute (ESRI)* e a carta topográfica do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) na escala de 1:50.000 (PINHEIRO; WERNECK; OLIVEIRA; MOTÉ; MARÇAL; SILVA; FERREIRA, 2009).

2.4 Delimitação da bacia hidrográfica e sua caracterização morfométrica

A caracterização de uma bacia hidrográfica objetiva descrever quantitativamente os sistemas hidrológicos, as interações entre propriedades geomorfológicas e respostas hidrológicas, bem como a avaliação comparativa entre

bacias distintas (RODRIGUES; MENDIONDO, 2013). Dentre as características obtidas no estudo morfométrico de uma bacia hidrográfica, destacam-se a sua delimitação, a área de contribuição em pontos de interesse, a identificação dos principais cursos de água, além do comprimento, declividade e o perfil longitudinal dos rios (SANTOS, 2008; RODRIGUES; MENDIONDO, 2013).

As bacias hidrográficas são hierarquizadas conforme vão sendo ordenadas pelos seus cursos de água principais, obedecendo uma escala em que vai ocorrendo sobreposição das sub bacias, ou seja, as menores vão se tornando embutidas nas maiores em uma sequência ordinária, às quais vão sendo classificadas em ordem 1 até a ordem n. Nesta análise é possível se identificar os impactos resultantes de determinadas alterações de uso do solo. Não há um tamanho ideal para uma bacia hidrográfica a ser analisada. O que deve prevalecer é a abrangência da problemática em sua totalidade (FLORENZANO, 2011; RODRIGUES; MENDIONDO, 2013).

Décadas atrás, as informações necessárias para a confecção de mapas topográficos eram trabalhadas manualmente, seguindo a habilidade do profissional e a disponibilidade de dados que eram coletados em campo mediante uso de aparelhos manuais como trenas, teodolitos, escalas, entre outros. Com o advento da informática, foram implementados métodos de geoprocessamento e Sistemas de Informações Geográficas capazes de manipular as mesmas informações de forma automática através de Modelos Digitais de Elevação (MDE) (SANTOS, 2008)

Um MDE pode ser obtido pela interpolação de curvas de nível extraídas de cartas topográficas ou através de imagens de sensores remotos. Tais imagens são reproduzidas a partir de informações geradas pelo método *Interferometric Synthetic Aperture Radar* utilizado na missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), as quais destacam-se pela velocidade e acurácia na aquisição de dados topográficos na forma de MDE.

A missão SRTM possibilitou a geração de imagens com resoluções de 30m e 90m, tendo como *datum* o WGS84. Estas, foram disponibilizadas gratuitamente pelo centro de pesquisa dos Estados Unidos *U.S. Geological Survey* (USGS) para os Estados Unidos, desde o ano 2000, com a resolução de 30m e a partir de 2003, com resolução de 90m para o continente Sul Americano (SANTOS, 2008; FLORENZANO, 2011; RODRIGUES; MENDIONDO, 2013). Porém, a partir de 2014, o USGS passou

a disponibilizar estas imagens na resolução de 30m na rede mundial de computadores (USGS, 2014).

Na Figura 1 está apresentado um exemplo de MDE gerado a partir de imagens SRTM com resolução de 30m, baixadas do site do USGS-NASA pelo autor. As características da imagem são as seguintes: extensão ao norte 7856593,33306, ao sul 7642950,42564, ao este 841656,96207069 e a oeste 609017,45591373 m; o sistema de projeção é UTM-Fuso 23S, referenciado no SIRGAS 2000.

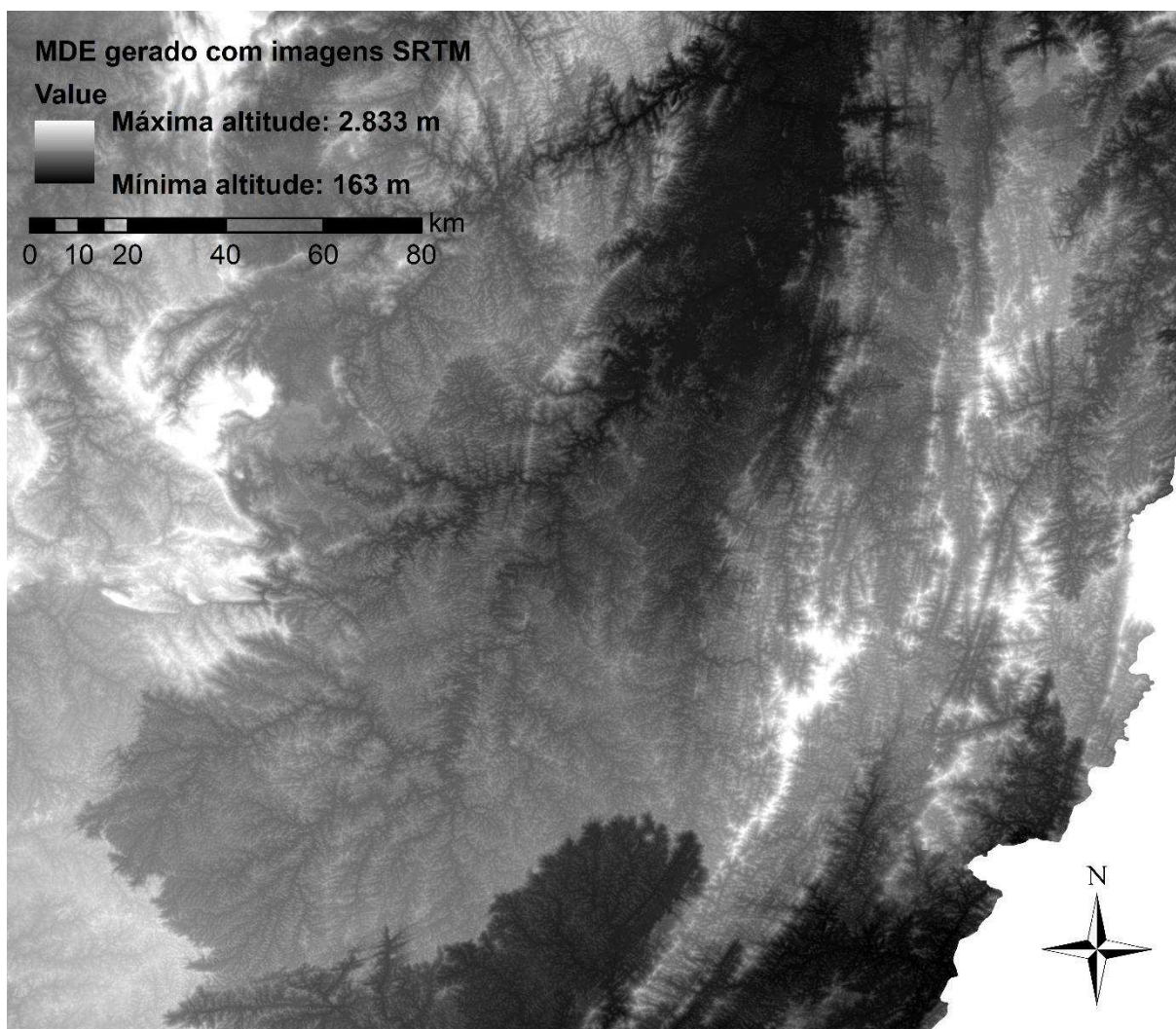


Figura 1 – MDE gerado com imagens SRTM com 30m de resolução.

2.5 Qualidade da água

A qualidade da água pode ser caracterizada através de diversas variáveis de ordem física, química e biológica. Os padrões de qualidade são balizados por

legislação própria, no âmbito local, estadual e federal a saber: Padrão de potabilidade – Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde; Padrão de corpos de água – Resolução CONAMA 357/2005 do Ministério do Meio Ambiente e legislação estadual; Padrão de lançamento – Resoluções CONAMA 357/2005 e 430/2011 do Ministério do Meio Ambiente e legislação estadual (SPERLING, 2014; SILVA, 2015a).

Tais variáveis de acordo com Sperling (2014) e Silva (2015b), podem ser especificadas em:

Físicas: cor, turbidez, sabor e odor e temperatura;

Químicas: pH, alcalinidade, acidez, dureza, ferro, manganês, cloretos, nitrogênio (molecular, orgânico, amônia, nitrito e nitrato), fósforo (ortofosfato, polifosfato, e fósforo orgânico), oxigênio dissolvido, matéria orgânica, micropoluentes inorgânicos (arsênio, cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio, prata e zinco) e micropoluentes orgânicos; e

Biológicas: bactérias, algas, fungos, protozoários, vírus e helmintos.

Segundo Rodrigues e Mendiondo (2013), a água possui funções, de acordo com sua qualidade, que lhe conferem importância socioambiental e podem ser classificadas como: produção e consumo em aplicações diretas (consumo humano, dessedentação animal, irrigação e uso industrial); diluição e regulação (recepção e depuração de resíduos); e suporte (propicia condições para a vida e ações produtivas).

2.6 Poluição hídrica

A água na natureza encontra-se em constante movimento e sofre alterações em seu padrão de qualidade, seja pela contribuição das chuvas com particulados em suspensão, pela erosão e deposição de sedimentos provocados pelo escoamento superficial, pela percolação das águas lixiviando diversos constituintes e reações químicas com as rochas. A poluição das águas pode ser promovida por ações naturais ou antrópicas de forma pontual, difusa ou ainda pela atmosfera (REIS; BRANDÃO, 2013; RODRIGUES; MENDIONDO, 2013; SPERLING, 2014; SILVA, 2015a).

A poluição difusa ocorre a partir de extensas áreas nas quais são gerados os poluentes de forma intermitente, dificultando a sua mensuração e identificação. Dentre as atividades geradoras de poluentes, podem ser citadas as atividades agrícolas

(fertilizantes e pesticidas) e pecuárias (urina, fezes e fármacos de origem veterinária). Quanto à poluição pontual, a sua identificação é facilitada por estar limitada a despejos concentrados em canais ou dutos facilmente georreferenciados (REIS; BRANDÃO, 2013; RODRIGUES; MENDIONDO, 2013; SPERLING, 2014; SILVA, 2015a).

A avaliação da poluição hídrica passa pela quantificação da carga do poluente, que é o resultado do produto da vazão pela concentração que é mensurada a partir de análises laboratoriais de amostras coletadas no corpo hídrico da área em estudo. Caso não seja possível o acesso a alguma das informações necessárias, podem ser adotados dados da literatura pertinente. Dentre as informações necessárias podem ser citados os dados físicos da bacia hidrográfica, comportamento hidráulico dos corpos de água, uso e ocupação da terra, caracterização socioeconômica, usos múltiplos e requisitos de qualidade das águas, localização, quantificação e tendência das principais fontes poluidoras e diagnóstico da qualidade atual da água (RODRIGUES; MENDIONDO, 2013; SPERLING, 2014).

Segundo Sperling (2014), quando se pretende monitorar os impactos de uma determinada fonte poluidora, os locais de medição e coleta das amostras, bem como as variáveis a serem analisados, levar-se-ão em consideração as características do lançamento, podendo as avaliações estarem concentradas em um ou mais períodos intensivos, de forma a obter informações sobre a dinâmica do sistema, sendo de maior relevância, os períodos de estiagem por estarem relacionados a uma menor capacidade de autodepuração do corpo receptor.

Os resultados obtidos com o monitoramento são analisados e convertidos em notas equivalentes ao estado real em que se encontra o manancial hídrico, podendo apresentar-se de muito ruim até excelente, ou seja, são índices que retratam a qualidade das águas do manancial avaliado. Existem vários índices de qualidade das águas de corpos hídricos tais como o Índice de Qualidade da Água (IQA), Índice de Toxicidade (IT), Índice do Estado Trófico (IET) e Índice de Diversidade de Espécies (IDE). Destes, o IQA é o mais conhecido e serve de base para o desenvolvimento de diversos outros índices (SPERLING, 2014; SILVA, 2015a).

2.6.1 Um breve histórico do Índice de Qualidade da água

Segundo Mattos (1998), Horton, em 1965, desenvolveu o primeiro IQA, para a ORSANCO - *Ohio River Valley Water Sanitation Commission*, nos Estados Unidos. O resultado do trabalho não foi considerado como um produto final, mas apenas como um ponto de partida para novos experimentos. No entanto o objetivo principal foi atingido:

Um sistema de índice de qualidade oferecendo um meio para a medida do progresso na redução da poluição através da comparação das condições do rio numa certa época com as condições que são desejadas ou planejadas para o futuro (MATTOS, 1998).

Assim o sistema de avaliação pode ser utilizado para propósitos administrativos e para comunicação expressiva com o público.

A Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, em 1994, adotou o índice de Horton para diagnosticar o reservatório de Vacai Mirim. Diversos IQA foram desenvolvidos, utilizando-se diferentes métodos e variáveis, com destaque para os índices elaborados de acordo com a opinião de especialistas e índices baseados em métodos estatísticos (MATTOS, 1998).

De acordo com Mattos (1998), em 1970, Brown e colaboradores, nos Estados Unidos, apresentaram um novo IQA, utilizando-se como metodologia a pesquisa de opinião sistemática para incorporar o julgamento de um grupo diverso de especialistas, com o propósito de minimizar a tendenciosidade na formação de um julgamento baseado em pontos de vista profissional ou área geográfica individual.

Duas variáveis foram consideradas à parte, pesticidas e elementos tóxicos, os quais, se identificados acima do limite adotado pelos padrões de potabilidade do *American Public Health Service*, tanto o coeficiente dicotômico, quanto o IQA, assumiriam o valor zero, do contrário, o coeficiente assumiria o valor 1 (um) e o IQA o valor calculado com o somatório das nove variáveis anteriores (MATTOS, 1998).

Ainda de acordo com Mattos (1998), o uso de cores para ilustrar a qualidade da águas em uma região, bacia ou estado foi incorporado, adotando-se o vermelho escuro para a qualidade mais pobre, o amarela correspondendo às águas de qualidade média, com um índice equivalente a 50, e a melhor qualidade representada pelo azul escuro, tendo sido utilizado para determinação da qualidade das águas na Lagoa Caconde em Osório, Rio Grande do Sul. A Fundação Centro Tecnológico de

Minas Gerais (CETEC) também o utilizou para determinação da qualidade das águas de diversas bacias hidrográficas do Estado de Minas Gerais.

Segundo Ferreira e Almeida (2005), o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) passou a monitorar as águas superficiais do Estado de Minas Gerais em parceria com a Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM) através do Projeto Águas de Minas. Este monitoramento realizado desde 1997 passou a utilizar uma rede de 244 estações de amostragem distribuídas em oito bacias hidrográficas, abrangendo cerca de 98% da área total do estado, com coletas de água realizadas em quatro campanhas trimestrais.

O IGAM, em seu resumo executivo das águas superficiais do estado de Minas Gerais em 2013, relata que a *National Sanitation Foundation* (NSF) dos Estados Unidos em 1970, desenvolveu o IQA, adotando o mesmo procedimento metodológico de Brown e colaboradores, relatado por Mattos (1998). Como resultado, foram elencadas nove variáveis considerados mais representativos para a caracterização da qualidade das águas: oxigênio dissolvido (OD), coliformes termotolerantes, pH, demanda bioquímica de oxigênio, nitrato, fosfato total, variação da temperatura da água, turbidez e sólidos totais. Na Tabela 4 estão apresentados os parâmetros com seus respectivos pesos, de acordo com a sua importância relativa no cálculo do referido índice (IGAM, 2014a).

Tabela 4 - Pesos atribuídos às variáveis para o cálculo do IQA

Ordem	Parâmetro	Peso
1	Coliformes termotolerantes ³ (NMP 100 ml ⁻¹)	0,15
2	pH	0,12
3	Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO (mg L ⁻¹)	0,10
4	Nitratos (mg L ⁻¹ NO ₃ ⁻)	0,10
5	Fosfato total (mg L ⁻¹ PO ₄ ⁻²)	0,10
6	Variação da temperatura	0,10
7	Turbidez (UNT)	0,08
8	Sólidos totais (mg L ⁻¹)	0,08
9	Oxigênio dissolvido – OD (%OD sat)	0,17

Fonte: (IGAM, 2014a).

Para o ano de 2013, o parâmetro coliformes termotolerantes foi substituído pelo *Escherichia coli*, pelo fato deste ter sido apontado em estudos atuais como sendo a única espécie indicadora inequívoca de contaminação fecal, humana ou animal, uma

³ Substituído por *E. coli* a partir do ano de 2013

vez que foram identificadas algumas poucas espécies de coliformes termotolerantes habitando ambientes naturais, apresentando, portanto, como limitações para indicar contaminação fecal. Na ausência de uma das variáveis coliformes termotolerantes/*E.coli* e oxigênio dissolvido, o IQA não foi calculado para aqueles pontos. E, na ausência das demais variáveis, o IQA foi calculado considerando-se os valores das oito variáveis, sendo o peso do parâmetro faltante redistribuído entre os demais (IGAM, 2014a).

Segundo IGAM (2014), existem duas formulações adotadas para as metodologias de cálculo do IQA, sendo uma aditiva e outra multiplicativa. O IGAM adotou, no estudo da qualidade das águas superficiais, no ano de 2013, o IQA multiplicativo, para o qual foi utilizada a equação 1:

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

em que:

IQA = Índice de Qualidade da água, variando de 0 a 100;

q_i = qualidade do i -ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100 obtido através da curva média de variação da qualidade em função da sua concentração ou medida;

w_i = peso atribuído ao i -ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1 atribuído em função de sua importância para a conformação global da qualidade; e

i = número do parâmetro, variando de 1 a 9 ($n = 9$, ou seja, o número de variáveis que compõem o IQA é 9).

O somatório dos pesos de todos as variáveis é igual a 1, conforme equação 2:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (2)$$

Na Tabela 5 estão apresentados os valores do índice, que variam entre 0 e 100. São atribuídas cores para cada faixa de qualidade.

Tabela 5 - Classificação da qualidade da água segundo o IQA

Nível de qualidade	Faixa	Significado
Excelente	$90 < IQA < 100$	Águas apropriadas para tratamento convencional visando o abastecimento público.
Bom	$70 < IQA \leq 90$	
Média	$50 < IQA \leq 70$	
Ruim	$25 < IQA \leq 50$	Águas impróprias para tratamento convencional visando o abastecimento público, sendo necessários tratamentos mais avançados.
Muito ruim	$0 < IQA \leq 25$	

Fonte: (IGAM, 2014a).

As curvas de qualidade de cada parâmetro, estão apresentadas na Figura 2.

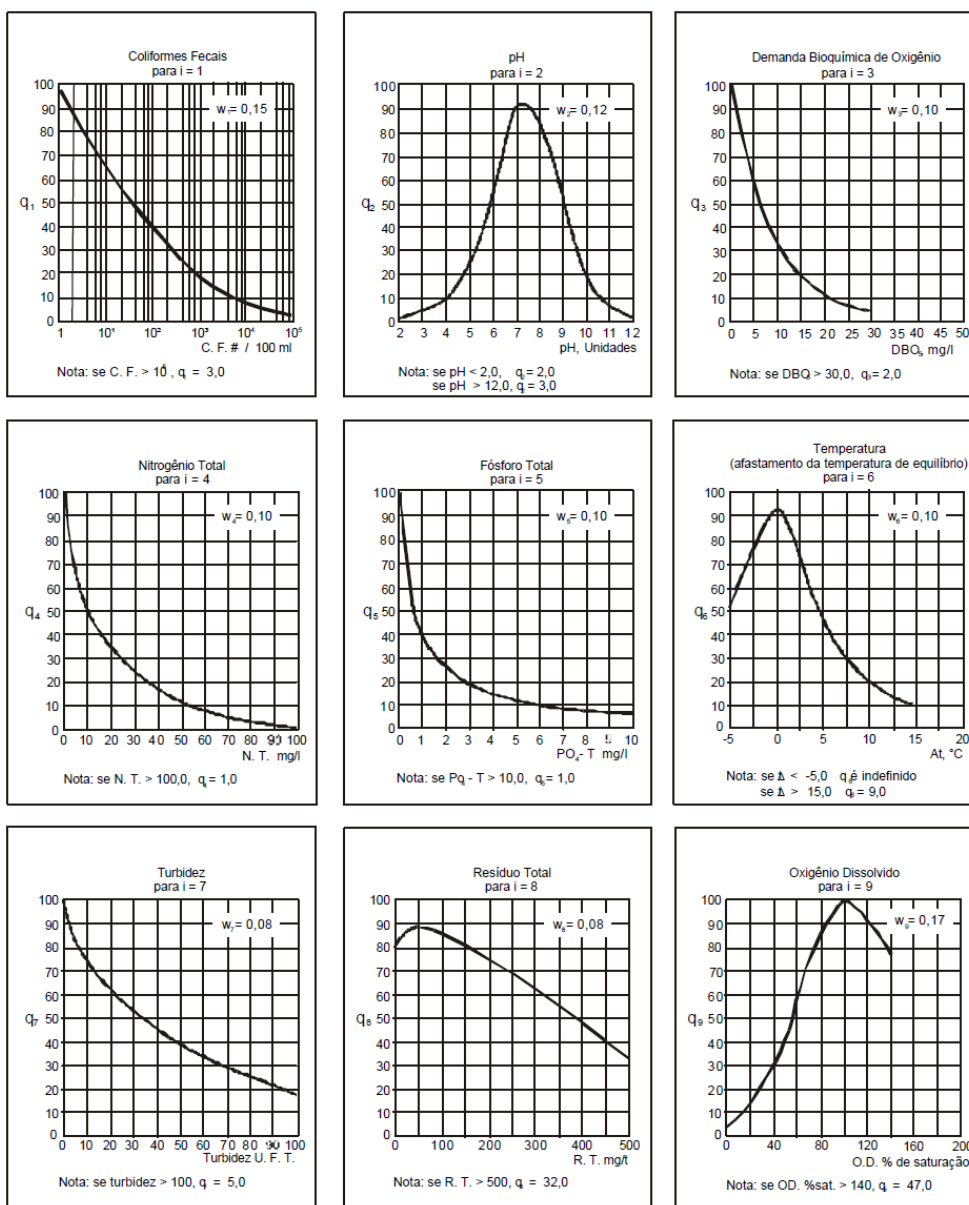


Figura 2 – Curvas de qualidade elaboradas pelo NSF.

Fonte: (IGAM, 2014a).

Em resumo, conforme mencionado, o cálculo do IQA leva a diversas aplicações de ordem administrativa na gestão dos recursos hídricos, através dos resultados apurados. Sperling (2014) infere sobre as diversas aplicações que podem ser dadas com o IQA, aplicações estas, convertidas em informações de fácil entendimento para o público de maneira geral, como mapas hidrográficos com escalas de cores nos trechos dos cursos de água para cada faixa de valor do índice.

Na Figura 3 está apresentado um mapa produzido pelo IGAM como resultado do monitoramento da qualidade das águas da bacia hidrográfica do rio Doce em Minas Gerais, apresentando além do IQA, faixas de contaminação por tóxicos, também classificadas em escala de cores.

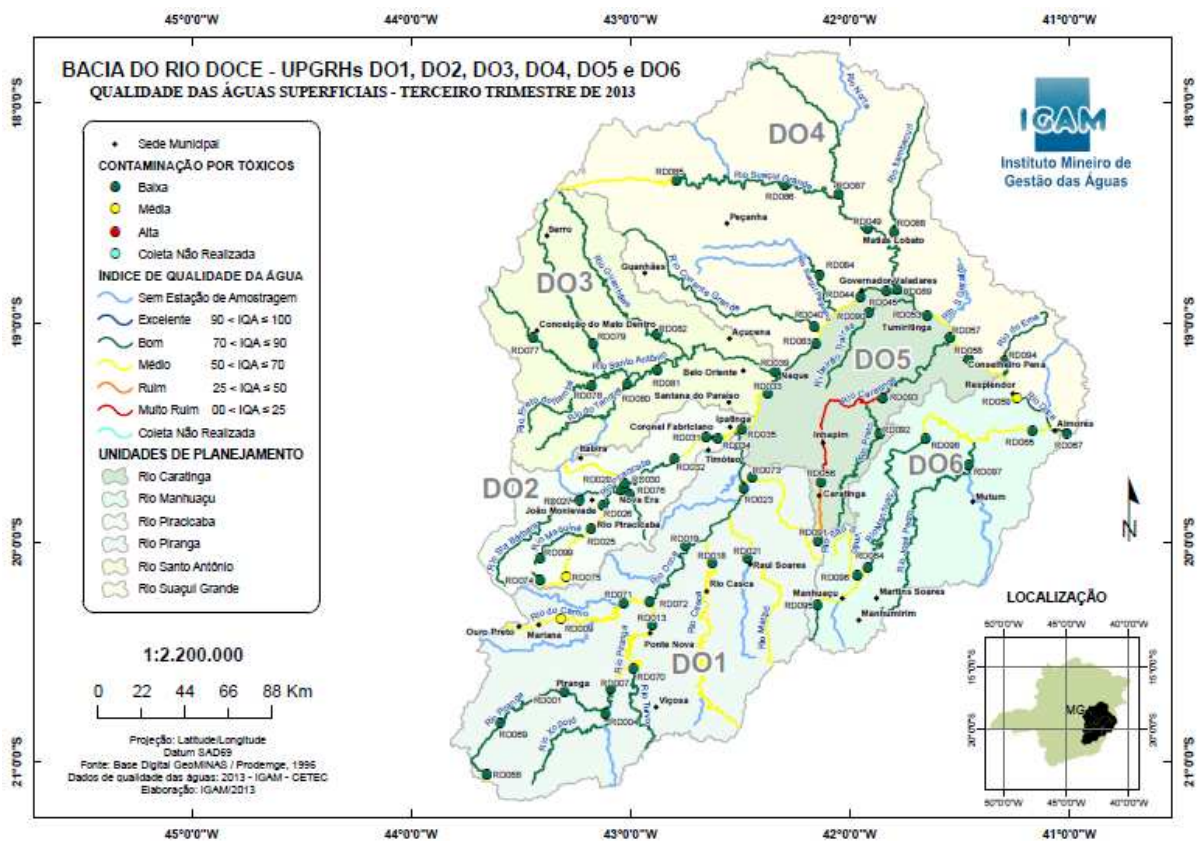


Figura 3 – Mapa da bacia do rio Doce com a distribuição dos IQA e contaminação por tóxicos dos cursos de água.
Fonte: (IGAM, 2014a).

2.6.2 Monitoramento das águas superficiais do estado de Minas Gerais

O marco legal da gestão dos recursos hídricos do estado de Minas Gerais data do ano de 1997, quando o Departamento de Recursos Hídricos do Estado de Minas Gerais – DRH, por meio da Lei nº. 12.584, passou a se chamar Instituto Mineiro de

Gestão das Águas – IGAM e teve suas competências adaptadas às funções de órgão gestor das águas no Estado. No ano de 2007, a Agência Nacional de Águas (ANA) e o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), realizaram os primeiros estudos com vistas à elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Minas Gerais - PERH-MG. Este primeiro trabalho teve como objetivo a caracterização dos Recursos Hídricos do Estado de Minas Gerais. Os estudos foram focados nas Regiões Hidrográficas (4), Bacias Hidrográficas (17) e nas Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (36) (IGAM, 2007).

Segundo IGAM (2007), o Estado de Minas Gerais destaca-se no cenário nacional em relação aos recursos hídricos por existirem, em seu território, nascentes de importantes rios federais, a exemplo do rio São Francisco. Com seus 586.521,235 km², correspondendo 7% do território nacional, possui 853 municípios, com 20,99 milhões de habitantes (BRASIL, 2016b).

O Estado de Minas Gerais teve seu território subdividido em dezessete bacias hidrográficas, às quais estão inseridas, de acordo com a Resolução nº 32 de 15/10/2003 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), em quatro Regiões Hidrográficas Nacionais, conforme seguem relacionadas, de acordo com IGAM (2007):

1. Região Hidrográfica do São Francisco - RHSF (40% da área do Estado),
2. Região Hidrográfica do Paraná – RHPR (27%),
3. Região Hidrográfica do Atlântico Leste –RHAL (17%) e
4. Região Hidrográfica do Atlântico Sudeste – RHAS (16%).

Na Tabela 6 estão apresentadas as bacias hidrográficas do estado de Minas Gerais e os estados que as compartilham:

Tabela 6 - Bacias hidrográficas do estado de Minas Gerais

Região hidrográfica	Bacia Hidrográfica	Outros estados integrantes da bacia	Área bacia/área de Minas %
RHAL	Jequitinhonha	BA	11,20
RHAL	Pardo	BA	0,30
RHAL	São Mateus	BA	1,00
RHAL	Mucuri	BA	2,50
RHAL	Buranhém	BA	2,20
RHAL	Peruibe	BA	0,00
RHAL	Jucuruçu	BA	0,10

(continua)

Região hidrográfica	Bacia Hidrográfica	Outros estados integrantes da bacia	Área bacia/área de Minas %
RHAL	Itanhém	BA	0,10
RHAL	Itaúnas	ES/BA	0,02
RHAS	Paraíba do Sul	RJ/SP	3,50
RHAS	Doce	ES	12,10
RHAS	Itabapoana	ES/RJ	0,10
RHAS	Itapemirim	ES	0,01
RHPR	Paranaíba	GO/MS	12,00
RHPR	Grande	SP/MS/RJ	14,70
RHPR	Piracicaba	SP	0,20
RHSF	São Francisco	BA/PE/AL/SE/DF/GO	40,00
	TOTAL		100,00

Fonte: Adaptado de IGAM (2007).

Na Figura 4 está apresentado o mapa com as UPGRH da bacia hidrográfica do rio Doce (IGAM, 2014a).

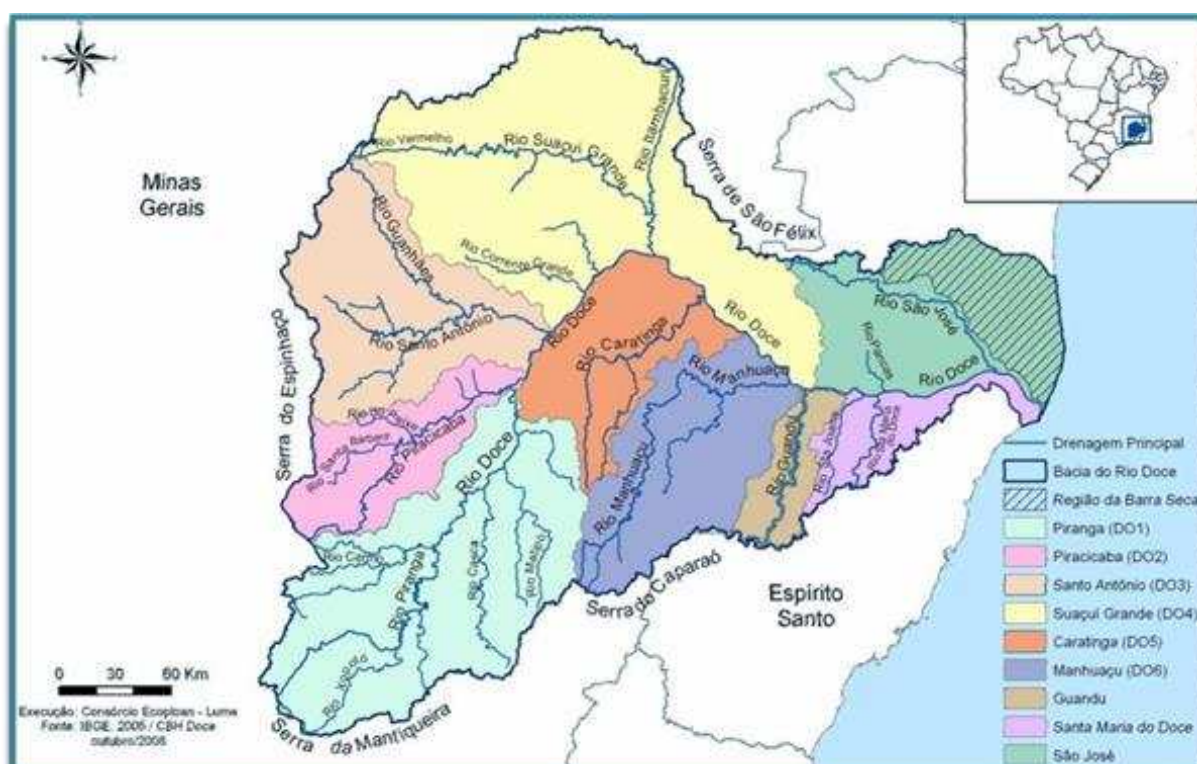


Figura 4 – UPGRH da Bacia Hidrográfica do Rio Doce.

Fonte: (BRASIL, 2013a).

As UPGRH foram instituídas mediante a Deliberação Normativa do CERH-MG – DN nº 06/10/2002 e suas alterações, totalizando 36, a partir das bacias hidrográficas listadas na Tabela 6. A bacia hidrográfica do rio Doce é composta por seis UPGRH, de acordo com bacias hidrográficas que a compõem, a saber: bacias dos rios Piranga

(DO1), Piracicaba (DO2), Santo Antônio (DO3), Suaçuí (DO4), Caratinga (DO5) e Manhuaçu (DO6). As UPGRH, unidades físico-territoriais, identificam-se pela sua caracterização de acordo com os aspectos físicos, socioculturais, econômicos e políticos.

Cada uma das UPGRH é gerida por um colegiado no formato de Comitê que atua desenvolvendo ações pertinentes à gestão dos recursos hídricos. Dentre as ações, está prevista a elaboração de diagnóstico para os diferentes usos da água na bacia, permitindo uma avaliação da resposta dos corpos hídricos em termos qualitativos, bem como, quantitativos às intervenções antrópicas, proporcionando uma visão da distribuição espacial dos usos das águas (IGAM, 2010b).

O projeto “Sistema de Monitoramento da Qualidade das Águas superficiais do Estado de Minas Gerais – Águas de Minas” teve início em janeiro de 1997, sob a coordenação e execução da Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM, vinculada à Secretaria do Estado de Meio Ambiente, do Desenvolvimento Sustentável – SEMAD. A rede de monitoramento contava inicialmente com 222 estações em todo o estado. Dentre estas, 34 pertenciam à bacia hidrográfica do rio Doce (IGAM, 2014b).

As ações metodológicas realizadas para o monitoramento da qualidade das águas geraram dados e informações que foram utilizadas para o cálculo do IQA e a contaminação por tóxicos (CT) para cada uma das estações de amostragem e os resultados foram disponibilizados no site da FEAM (www.bhnet.com.br/feam). Tais índices foram a base para a elaboração do mapa de qualidade das águas superficiais de Minas Gerais em 1997 (IGAM, 2014b).

No primeiro relatório foi chamada a atenção para a relevante interferência dos despejos da suinocultura na qualidade das águas do rio Casca e recomendou-se a adequação dos sistemas de controle ambiental desta atividade. A atividade suinícola, considerada como atividade econômica, foi também citada no relatório de 1998, à qual foi relacionada à presença de zinco na água do rio Piranga (IGAM, 2014b).

Em 1999, para os rios Piranga, Casca e Matipó, foram registradas interferências da suinocultura na qualidade das águas, relacionadas à Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO). No relatório de 2000, mais uma vez, as sub bacias dos rios Piranga e Casca são apontadas sofrendo interferência da atividade suinícola, quanto às presenças de zinco, fosfato, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, sólidos em suspensão, turbidez, coliformes fecais e totais (IGAM, 2014b).

Uma síntese destes resultados, com a tabela demonstrativa e mapas, está apresentada no Apêndice A, podendo servir como referência da relação entre a atividade suinícola, dentre outras, e a qualidade das águas superficiais da UPGRH DO1.

2.6.3 Equivalente Populacional

Além dos IQA, existem outras variáveis que têm a propriedade de caracterizar os despejos resultantes das diversas atividades humanas, sejam estas urbanas ou rurais. Tais despejos, considerados como Água Residuária (AR), quando mensurados podem ser classificados levando-se em conta a sua carga de DBO em relação à contribuição *per capita* da população residente na área de influência da bacia hidrográfica onde ocorre a atividade geradora da AR, ou seja, quando fica estabelecida que uma atividade geradora de AR tem o EP de 20.000 habitantes, significa dizer que esta atividade gera a carga de DBO correspondente a uma população de 20.000 habitantes (SILVA, 2012; DIAS; COLEN; FERNANDES; SOUZA; BUENO, 2013; PIRES; DAMIANIVIC; NERY, 2013; SPERLING, 2014).

Segundo Sperling (2014), uma importante maneira de caracterizar as águas residuárias geradas em uma indústria é mediante o uso do parâmetro de Equivalente Populacional (EP). O EP representa o potencial poluidor de uma indústria, quando este é comparado com esgoto bruto de uma população. O referido parâmetro leva em consideração a carga de DBO₅ de cada um, quando se estabelece uma relação entre as duas fontes orgânicas. Para a AR populacional, segundo Sperling (2014), a literatura internacional adota a carga de 54 g DBO₅ hab⁻¹ dia.

O EP pode ser calculado pela equação 3, levando-se em consideração a carga de DBO da fonte geradora e a contribuição per capita de DBO da população residente (SPERLING, 2014).

$$EP = \frac{\text{carga de DBO da fonte geradora (kg dia}^{-1}\text{)}}{\text{contribuição per capita de DBO (kg hab}^{-1}\text{ dia)}} \quad (3)$$

O confinamento de animais, dentre outras atividades como indústrias alimentícias, sucroalcooleira, bebidas, têxtil, couro e curtume, são apresentadas por

Sperling (2014) com suas classificações quanto ao EP. Na Tabela 7 estão apresentadas as características das AR de animais confinados.

Tabela 7 – Características das AR de animais confinados

Tipo	Unid. de produção	VE ⁴ de esgotos (m ³ unid ⁻¹)	CE ⁵ de DBO (kg unid ⁻¹)	EP ⁶ de DBO (hab unid ⁻¹ d ⁻¹)	Ct ⁷ de DBO (mg L ⁻¹)
Suínos		0,2	2	35–100	10000-50000
Vacas (sala de ordenha)	t viva.d	0,02-0,08	0,05-0,10	1–2	370–2300
Bovinos		0,15	1,6	65–150	10000–50000
Equinos		0,15	4–8	65–150	20000–50000
Ovinos		0,38	0,9	15-20	2000-3000

Fonte: adaptado de Sperling (2014).

Existem outros estudos que fazem uma relação direta. Hachmann, Laureth, Parizotto e Gonçalves (2014), inferem que os dejetos suinícolas são 260 vezes mais poluentes quando comparados com o potencial poluente dos esgotos domésticos. De acordo com Diesel, Miranda e Perdomo (2002), a capacidade poluente dos dejetos suínos é muito superior a de outras espécies e segundo os autores, quando é utilizado o conceito de EP, um suíno, em média, equivale a 3,5 pessoas. Em outras palavras, uma granja com 600 animais possui um poder poluente, segundo esse critério, semelhante ao de um núcleo populacional de aproximadamente 2.100 pessoas.

2.6.4 Superfície Agrícola Utilizada

Segundo o Instituto Nacional de Estatística (INE), (2014), em Portugal a Superfície Agrícola Utilizada (SAU) é formada pelas terras aráveis, com ou sem cobertura vegetal (matas e florestas), culturas permanentes, pastagens permanentes e horta familiar. Por Exploração Agrícola, o Instituto caracteriza uma unidade técnico-econômica, equivalente a um Estabelecimento agropecuário para o IBGE. No ano de 2013, o INE contabilizou um decréscimo de 40,8 mil explorações em relação ao ano de 2009. No entanto, não houve interferência na área de SAU, que correspondia a

⁴ Vazão Específica

⁵ Carga Específica

⁶ Equivalente Populacional

⁷ Concentração

39,5% da superfície territorial do País (INE, 2014; PIMENTA; FERNANDES; MINHOTO, 2014).

Segundo Pimenta, Fernandes e Minhoto, (2014), a SAU em Portugal sofreu alterações em sua composição, uma vez que ocorreu a diminuição para a metade de terras com culturas agrícolas e o aumento triplicado das terras com pastagens permanentes. Na região do Alentejo, a diminuição das áreas com culturas temporárias promoveu a disponibilidade de recursos para investimento em culturas forrageiras, sejam temporárias ou permanentes.

Vários trabalhos têm sido desenvolvidos utilizando a SAU como uma unidade de referência agrária para análise de aplicação de Água Residuária de Suinocultura (ARS) como fertilizante para as mais diversas culturas, servindo de base para a gestão pública, setorial e as estratégias privadas. Além disso tem sido adotada em estudos que estabelecem limites para os tamanhos dos rebanhos em granjas suinícolas instaladas ou em fase de licenciamento para o funcionamento, quando se leva em consideração o volume de ARS a ser gerado e a SAU existente, tanto na propriedade, quanto no entorno, aptas para a exploração agrícola (SOARES; SALDANHA, 2000; OLIVEIRA, 2012b; MIELE; LOPES; ALMEIDA; MONTICELLI; WAQUIL, 2014).

Oliveira (2012b) gerou um Índice de Pressão Ambiental (IPA), para a suinocultura do estado de Santa Catarina, utilizando a SAU e a Superfície de Área Necessária para a Aplicação de Dejeito (SNDA) em ha, conforme a equação 4. A interpretação a ser dada para os valores resultantes do IPA é simples. Quando o valor do IPA é positivo, significa que toda a AR pode ser utilizada como adubo orgânico na propriedade, podendo a mesma ter a recomendação para expansão da atividade suinícola. Se o valor for nulo, apesar de atender à legislação vigente, não poderá expandir a atividade. E se o IPA for negativo a propriedade está ferindo a legislação, devendo se adequar. Poderá buscar áreas vizinhas que possam ser usadas para equilibrar a equação, tornando-a nula ou positiva.

$$\text{IPA} = \text{SAU} - \text{SNDA} \text{ (ha)} \quad (4)$$

A SAU tem servido também de base para o dimensionamento de sistemas de tratamento de ARS, como o biodigestor. Os resultados apontados pelo trabalho desenvolvido por Oliveira (2012b), possibilitaram o desenvolvimento de um arranjo baseado nas tecnologias da Embrapa e na legislação vigente no Estado de Santa

Catarina (IN-11, FATMA). Neste arranjo, prevê o emprego de tecnologias como o biodigestor, unidade de compostagem automatizada, pastagem para o gado leiteiro, reflorestamento para a produção de serragem e sombreamento do gado e o uso do fertilizante orgânico na propriedade ou a sua comercialização. Tal arranjo promove a racionalização e a integração das diversas atividades, agregando valor aos produtos e sub produtos e resíduos gerados, principalmente na atividade suinícola, conferindo à propriedade, o *status* de produção sustentável.

2.6.5 A suinocultura: atividade geradora de poluentes

A suinocultura, por ser uma atividade que concentra números expressivos de animais em uma mesma área, resulta em produção excessiva de dejetos, podendo causar poluição do solo, do ar e da água. Portanto, os impactos ambientais, resultantes da produção industrial de suínos, representam uma questão crucial quanto à garantia da sustentabilidade da produção de carne (ARAÚJO; OLIVEIRA; ALVES; FILHO; COSTA, 2012; PHILIPPE; NICKS, 2014).

Segundo Palhares e Calijuri (2007, p. 503), “a suinocultura pode causar impacto em todos os setores, atividade e compartimentos citados na legislação...”, referindo-se aos instrumentos legais regulamentados pelo CONAMA. Os autores inferem que tal abrangência justifica a necessidade de se aprofundarem os estudos em que são determinadas as relações da atividade suinícola com o meio ambiente. Dentre os recursos passíveis de impactos pela produção suinícola, os hídricos são os mais afetados, isto porque a característica física do principal resíduo é líquida.

Segundo Hadlich e Scheibe (2007), o uso dos corpos hídricos como receptores finais dos dejetos suínos, seja direta (despejo) ou indiretamente (uso no solo como fertilizante orgânico), provocam importantes problemas ambientais e conflitos quanto aos usos das águas superficiais. Os resultados mostraram que o OD, a DBO, os coliformes e as formas nitrogenadas, dentre as variáveis analisados, apresentaram as maiores evidências da poluição das águas do rio pela atividade suinícola na bacia hidrográfica. Os resultados do estudo, levaram os autores a concluírem que a poluição orgânica do rio foi provocada pela suinocultura, mesmo com a presença de outras fontes de contaminação.

Segundo Matos (2011), a pecuária intensiva é uma forma de exploração poluidora, com a geração de resíduos de natureza orgânica. A quantidade de resíduos gerados por suínos depende da fase de desenvolvimento, podendo alcançar valores da ordem de 4,9 a 8,5% do peso do animal por dia, considerando uma faixa entre 15 e 100 Kg de peso vivo. Tais resíduos são constituídos basicamente por fezes, urina, restos de alimento, água desperdiçada nos bebedouros e a usada na higienização das baias, contribuindo com o aumento do volume da AR, podendo atingir de 15 a 25 l cab⁻¹ d⁻¹. Na Tabela 8 são apresentadas as concentrações de nutrientes que compõem os dejetos de alguns tipos de animais. Tais dejetos apresentam composição química muito variada.

Tabela 8 – Concentração em mg kg⁻¹, de nutrientes na massa fresca de dejetos animais

Fonte	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe
Gado de leite	0,53	0,35	0,41	0,28	0,11	0,05	0,004
Gado de corte	0,65	0,15	0,30	0,12	0,10	0,09	0,004
Cavalo	0,70	0,10	0,58	0,79	0,14	0,07	0,010
Frango	1,50	0,77	0,89	0,30	0,88	0,00	0,100
Ovelha	1,28	0,19	0,93	0,59	0,19	0,09	0,020
Suíno	0,58	0,15	0,42	0,57	0,08	0,14	0,020

Fonte: (MATOS, 2011) adaptado de Loehr (1984).

O esterco de suínos é caracterizado por um elevado teor de sólidos suspensos, matéria orgânica, alto teor de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), elevada concentração de fósforo e nitrogênio, assim como altos níveis de população microbiana. Para se conhecer o grau de toxicidade do resíduo é necessário realizar a avaliação do dejetos de suíno, conhecendo-se também o procedimento de tratamento e a previsão de contaminação que esses resíduos podem gerar, pois representam um potencial poluidor, implicando na degradação da água, do solo e do ar (OLIVEIRA, 2012a; SOUSA, 2014).

De modo geral os resíduos gerados em uma suinocultura apresentam-se sem características padronizadas, mostrando-se com grandes variações físico-químicas, vindo a dificultar o processo de tratamento e de aproveitamento a ser implementado. O manejo envolvendo a alimentação, fornecimento de água e a limpeza das instalações podem influenciar nas características do efluente, possibilitando o aumento da diluição dos dejetos. Isto pode acarretar em maior quantidade de

efluentes gerados, além de elevar os custos de coleta, de armazenagem, de tratamento, de transporte e de distribuição (OLIVEIRA, 2012a; SOUSA, 2014).

Conforme Ricardo (2013) enfatiza, os dejetos suínolas são grandes passivos ambientais, os quais, se forem dispostos sem o tratamento adequado, podem provocar danos ao corpo receptor a saber:

a. O uso excessivo ou prolongado dos resíduos no solo pode provocar desequilíbrio químico, físico e biológico, seletividade de espécies vegetais, alterações na diversidade e funcionalidade dos microrganismos e distúrbios na saúde dos animais. Estes resíduos apresentam vários nutrientes em proporções variadas que nem sempre estão de acordo com os índices de fertilidade do solo, podendo provocar desequilíbrios, a depender da capacidade extratora das plantas, do tipo de solo e das taxas e aplicação e acúmulo. Para tanto, deve-se adotar um monitoramento dos níveis de nutrientes, bem como, das exigências da cultura a ser implantada. Alguns aspectos podem ser mencionados para melhor entendimento (SEGANFREDO, 2007):

- Os níveis de nitrogênio alterados e com excesso podem provocar o acamamento e a queda da produtividade de cereais;
- Distúrbios na saúde dos animais, a exemplo da presença do cobre em excesso, que pode provocar intoxicação em ovelhas, em concentrações de apenas 5 mg Kg^{-1} ;
- Alterações da diversidade e funcionalidade da microbiota do solo pela presença em níveis alterados de cobre e zinco, amplamente utilizados nas rações dos suínos, com níveis de excreção que podem chegar a 98% do que é ingerido pelos animais (MIRANDA, 2009);
- Outra importante questão, é a população microbiana que pode conter agentes patogênicos como os coliformes, os quais podem ser vetores de algumas doenças de natureza entérica;
- Além disso, dependendo das características do solo, estes compostos minerais podem ser percolados pela lixiviação de maneira a atingirem os lençóis subterrâneos e provocar a contaminação das águas, a exemplo dos compostos nitrogenados.

- b. Da mesma forma, as águas superficiais podem ter sua qualidade comprometida pela descarga de resíduos suínolas sem o devido tratamento com as possíveis consequências a saber:
- Aumento da DBO com a conseqüente diminuição do oxigênio livre na água, podendo vir a interferir no equilíbrio da biota aquática com a tendência à seletividade de espécies mais resistentes em detrimento das demais, provocando perda de biodiversidade (SPERLING, 2014);
 - Pelo provável aumento da turbidez da água, ocorre uma diminuição na taxa de fotossíntese, contribuindo ainda com a diminuição do oxigênio livre;
 - Com a sedimentação da DBO ocorre a formação de lodo de fundo promovendo um ambiente anaeróbio. Nestas condições, a decomposição da matéria orgânica gera gás sulfídrico, responsável por maus odores no ambiente;
 - Pela presença abundante de nitrogênio e fósforo, e suas conversões a nitratos e fosfatos, respectivamente, ocorre a fertilização do meio aquático e o risco de eutrofização é eminente, podendo também promover a perda da qualidade da água (MIRANDA, 2009; RICARDO, 2013; SPERLING, 2014).

Segundo USDA (2011), os resíduos orgânicos de origem animal não devem ser caracterizados como produtos de descarte, mas como um recurso valioso. Tais resíduos, ao serem aplicados a taxas adequadas em áreas agrícolas, podem melhorar as condições físicas do solo, pois são ricos em nutrientes para as plantas, além de reduzirem a necessidade do uso de fertilizantes químicos. Num relatório da Universidade de Cornell foi mostrado que cerca de 75% do nitrogênio, 60% do fósforo e 80% do potássio que compõem a ração do gado leiteiro são excretados no esterco (aves e suínos têm os maiores valores para fósforo e potássio), além disso, é fonte de cálcio, manganês, magnésio, zinco, cobre, enxofre e outros micronutrientes.

Em estudos realizados por Scherer, Nesi e Massotti (2010), com aplicações de dejetos suínos em áreas agrícolas de Santa Catarina, os autores concluíram que o uso continuado destes resíduos com a finalidade de fertilização de culturas anuais

resultou num maior acúmulo de nutrientes (P, K, Cu e Zn) na camada superficial do solo, quando comparado com os valores encontrados para a adubação mineral.

Tais aplicações continuadas influenciaram também na distribuição destes nutrientes ao longo do perfil do solo, tendo sido mais acentuado no Neossolo e no Cambissolo do que no Latossolo. Os autores inferiram ainda sobre a pouca mobilidade que, tanto o cobre, quanto o zinco, além do fósforo e potássio, têm no solo. Esta característica promove os seus acúmulos na camada superficial, oferecendo pouco risco de contaminação aos lençóis subterrâneos. Cabe ressaltar porém, que esta regra não se aplica bem para as águas superficiais, uma vez que o *runoff* pode carrear estes nutrientes para os corpos hídricos, onde há ocorrência destes acúmulos (SCHERER; NESI; MASSOTTI, 2010).

2.7 Análise estatística

Segundo Naghettini e Pinto (2007), a estatística apresenta-se como uma ciência de importância significativa para a hidrologia, devido à natureza probabilística desta, na avaliação do comportamento dos processos hidrológicos. Na busca de resultados que explicam os fenômenos relacionados aos diversos usos da água, dentre outros, é imperiosa a qualidade que devam ter as informações. Estas podem pertencer a uma coleção histórica, com a qual seja possível a análise, na busca de resultados que possuam a acurácia necessária no sentido de auferir confiança satisfatória às respostas para os diversos problemas hidrológicos.

Estas informações podem ser climatológicas, pluviométricas, fluviométricas, evaporimétricas, sedimentométricas e de indicadores de qualidade da água, obtidos em estações de monitoramento de natureza hidrométrica e, ou hidrometeorológica, mantidas por Instituições, a exemplo da Agência Nacional das Águas (ANA), do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM). Grande parte destes dados encontra-se disponível nos *sites* das instituições que as geram (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

2.7.1 Linguagem R

O R é um ambiente com linguagem própria para estatística e gráficos em computação, capaz de realizar modelagem não linear, testes clássicos, análise de séries temporais, linear e agrupamentos, com a manipulação de dados, cálculos e visualização gráfica. É um *software* livre sob os termos da *Free Software Foundation's GNU General Public License* em forma de código fonte, disponível para uma ampla variedade de plataformas, incluindo o *Windows*. O R pode ser estendido facilmente via pacotes. Há cerca de oito pacotes (pacotes básicos nativos ou que fazem parte núcleo básico com o executável) disponíveis para *download*, dentre outros através da família CRAN de *sites* na Internet (LANDEIRO, 2011; POVOA; MANZIONE; WENDLAND, 2011; TEAM, 2014).

Segundo Pova; Manzione; Wendland (2011), o ambiente de programação R não tem funções capazes de distinguir coordenadas de outro dado numérico (vetores, matrizes, data frames,...). Porém, existe uma gama de outros pacotes que são capazes de lidar com dados espaciais, a exemplo do pacote *sp*, que foi desenvolvido pelos pesquisadores Bivand, Pebesma e Gómez-Rubio (2013), com a finalidade de análises de dados espaciais, servindo como ferramenta de R. São citados também outros pacotes, pelos mesmos pesquisadores que utilizam direta ou indiretamente o pacote *sp*. São eles: *maptools*, *rgdal*, *splancs*, *geoR*, *gstat*, *spsurvey*, *trip*, dentre outros tantos.

2.7.2 Regressão, coeficientes de correlação (r) e determinação (R²) – aplicação prática

Para a determinação da qualidade da água dos corpos hídricos em uma bacia hidrográfica, existe uma gama de variáveis disponíveis (possíveis variáveis candidatas preditoras), em relação às suas características físicas, químicas e biológicas. Esta condição pode tornar a avaliação do grau de qualidade da água complexa, do ponto de vista interpretativo. Os IQA, ao serem convertidos em notas, não apontam para qual ou quais as variáveis que contribuíram para o resultado encontrado. Assim, a estatística apresenta-se como uma alternativa para dirimir dúvidas à esse respeito.

As variáveis que explicam o grau de qualidade em que se encontra um corpo hídrico, neste sentido, nem sempre possuem correlação entre si. Para contornar este problema existem diversos métodos que visam estudar a associação entre duas ou mais variáveis aleatórias. Dentre estes, a teoria da regressão e correlação ocupa posição de destaque (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

A análise de regressão é uma técnica estatística capaz de investigar e modelar a relação entre variáveis. Assim, objetiva-se com tal análise estabelecer o quanto uma determinada variável X (observada), pode explicar a ocorrência de outra Y (predita). Para se medir o grau desta relação, o coeficiente de correlação de Pearson (r) e o coeficiente de determinação (R^2) descrevem o grau de colinearidade entre dados simulados e dados medidos (COSTA NETO, 1977; NAGHETTINI; PINTO, 2007; CARDOSO, 2010; GOMES, 2013).

O coeficiente de correlação r , indica o grau de relação linear entre pares de características ou variáveis avaliadas. Se r é igual a 0, não existe uma relação linear. Se r é igual a 1 ou -1, existe uma relação linear positiva ou negativa perfeita. Quanto ao R^2 , mede a qualidade de ajustamento de um modelo estatístico linear, como a regressão linear, em relação aos valores observados. O R^2 varia entre 0 e 1, indicando, em porcentagem, o quanto o modelo consegue explicar os valores observados. Valores superiores a 0,5 são considerados aceitáveis (MORIASI; ARNOLD; VAN LIEW; BINGNER; HARMEL; VEITH, 2007; CARDOSO, 2010; GUEDES; SILVA; ELESBON; RIBEIRO; MATOS; SOARES, 2012).

Helena, Pardo, Vega, Barrado, Fernández e Fernández, (2000), ao analisarem o conjunto de dados analíticos quantitativos do aquífero aluvial do rio Pisuerga, localizado no nordeste de Valladolid (Espanha), adotaram coeficientes de correlação superiores a 0,5 para expressarem forte correlação entre variáveis de qualidade da água. Peterson, Merton, Theobald e Urquhart, (2006), ao analisarem uma série de dados amostrais coletados em Maryland, USA, pelo *Department of Natural Resources (DNR)*, com o objetivo de quantificarem os padrões de correlação espacial entre as variáveis de qualidade da água, para modelos geoestatísticos preditores, admitiram que os valores de R^2 entre 0,63 a 0,95 possuem forte correlação entre as variáveis observadas e as estimadas. Assim, para este fenômeno em especial, é razoavelmente aceitável o $r > 0,5$, considerando-se bom, quando não há ocorrência de forte correlação entre as características consideradas.

2.7.3 Matriz de correlação

Quando se tem um conjunto de dados multivariados, existem métodos que fazem a análise estatística buscando resultados que são interpretados a partir dos coeficientes de variação e determinação resultantes. Tais dados são estruturados em matrizes de variâncias ou de correlação entre as variáveis, onde ocorrem as transformações lineares das variáveis originais em novas variáveis, formando assim novos conjuntos, até que as variações destes sejam explicadas. Tal método tem por objetivo a redução da dimensão do conjunto que apresenta muitas variáveis inter-relacionadas. Para a matriz, adota-se como parâmetro correlacional o coeficiente de correlação de Pearson e, portanto, é denominada de matriz de correlação de Pearson (GUEDES; SILVA; ELESBON; RIBEIRO; MATOS; SOARES, 2012; MEDEIROS, 2012).

Medeiros (2012), adotou, dentre outros métodos, a matriz de correlação de Pearson para analisar dados do IQA de períodos chuvoso e seco em rios dos municípios de Abaetetuba e Barcarena no estado do Pará. No mesmo estudo, o coeficiente de correlação de Pearson foi adotado para avaliação de todos os dados das variáveis obtidas nas campanhas de amostragem. Guedes, Silva, Elesbon, Ribeiro, Matos e Soares, (2012) adotaram a matriz de correlação de Pearson para analisar a qualidade da água do rio Pomba em Minas Gerais e inferiram que o principal motivo foi a eliminação do problema de escalas e unidades diferentes em que as variáveis foram medidas. Os autores concluíram que a técnica estatística multivariada promoveu a redução do número de variáveis de qualidade da água resultando num melhor comportamento destas para a finalidade a que são submetidas.

2.7.4 Método *Random Forest* - Regressão

De acordo com Hastie, Tibshirani e Friedman, (2008), *bagging or bootstrap aggregation* trata-se de uma técnica com o objetivo de reduzir a variância entre as variáveis amostrais, em função da predição estimada. Aplica-se bem nos casos em que ocorre alta variância. *Random forests* é uma adaptação de *bagging*, no qual se constrói uma grande coleção de árvores correlacionadas. É um método implementado em diversos pacotes computacionais. Os autores utilizaram o “*R package*

randomForest (version 4.5-16)” em suas análises. Entende-se que o *Random Forest* é um valioso método de aprendizagem de máquina capaz de realizar as tarefas de classificação e regressão. Entre outras ferramentas de exploração de dados, o mesmo pode lidar com métodos de redução dimensional de dados, valores perdidos e valores *outliers* ou dados discrepantes.

De acordo com Breiman (2001), apud Sauer, Lemke, Zinn, Buettner e Kohls, (2015) o termo *random forest* justifica-se porque o método estrutura as amostras aleatoriamente adotando-se o mesmo desenho de árvores de decisão, que são organizadas aleatoriamente formando uma floresta de árvores. Assim, ao conjunto, vai sendo atribuída a média dos resultados de várias árvores de decisão com base no princípio do voto majoritário, quando for de interesse a classificação com base nos atributos em estudo. Já para o caso da regressão, os preditores de cada árvore, são simplesmente uma média dos resultados obtidos para as diferentes árvores.

Um medida de suma importância do *Random Forest* é o conceito de amostras *out-of-bag*. Brilhantemente, tal procedimento envolve a (re)amostragem dos dados com reposição que denomina-se amostragem por reposição. Isso implica que alguns dados podem aparecer mais de uma vez a dada amostra bootstrap e outros podem não ser contemplados. Esse princípio é aplicado no procedimento *Random Forest*, isto é, uma parte dos dados que não são selecionados para treinamento pode ser usada para teste. Por isso, esses dados são denominados de amostras *out-of-bag* (OOB). Dessa forma, as estimativas dos erros obtidos a partir dessas amostras são conhecidos por *error out of bag* (EOOB).

Há evidências que a avaliação desses EOOB é tão acurada quanto usar um conjunto de teste do mesmo tamanho que o conjunto para treinamento. Portanto, usar a estimativa do EOOB dispensa a necessidade de um conjunto de dados de teste reserva, como é feito nos procedimentos de validação cruzada, leave-on-out, por exemplo (Breiman, 2001). Com a aplicação do método *Random Forest*, Sauer, Lemke, Zinn, Buettner e Kohls (2015), obtiveram resultados satisfatórios e classificaram este método como poderoso instrumento de predição, bem conhecido na investigação biológica, por exemplo, mas, praticamente desconhecido em psicometria.

No *Random Forests* (árvores aleatórias) são criadas muitas árvores de classificação, para as quais são atribuídos votos pela escolha do analista e, ao final, aquela classificação mais votada é escolhida dentre as demais pelo nível de

importância encontrado em relação à menor variância (BREIMAN; CUTLER, 2004) . O método *Random forests* é caracterizado pelos autores, pela precisão com que analisa uma grande base de dados sem excluir variáveis.

De acordo com Hastie, Tibshirani e Friedman, (2008), o *Random Forests*, pelas suas experiências, gera resultados muito bons com pouco ajuste necessário, corroborando com as afirmações positivas do sucesso do método que os autores Breiman e Cutler fazem (“mais precisos, “mais interpretáveis”). Freire, Santos, Morais e Oliveira, (2014), ao analisarem a performance de classificadores (*técnicas de redes neurais artificiais, K-vizinhos mais próximos, máquinas de vetores de suporte e random forest*) na predição dos ciclos hidrológicos, a partir das alterações das variáveis de qualidade da água no reservatório da Usina Hidrelétrica de Tucuruí, concluíram que o *Random Forest* apresentou o melhor desempenho.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

Para a caracterização da AE foram explorados dados dos relatórios do IBGE, ANA e IGAM, disponíveis em seus sites oficiais.

3.1.1 Caracterização Geopolítica e Hidrografia da área de estudo

A Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRH) DO1, objeto do presente estudo, está presente em sua totalidade no estado de Minas Gerais, abrangendo uma área de 17.571,37 km², entre as latitudes 19°29'18"S e 21°11'7"S e as longitudes 43°49'55"O e 42° 5'17"O, constituindo-se na segunda maior unidade da bacia do rio Doce. Esta unidade é composta pelas bacias dos rios Piranga (6.608 km²), do Carmo (2.278 km²), Casca (2.510 km²) e Matipó (2.550 km²), além da área incremental correspondente às áreas de contribuição de outras bacias menos representativas (3.626 km²) (IGAM, 2010b).

A UPGRH DO1 é composta por vários municípios, ocupando no todo ou em parte seus territórios, todos pertencentes ao estado de Minas Gerais, os quais se encontram inseridos, nas mesorregiões Zona da Mata e Campos das Vertentes e em microrregiões como Ponte Nova, Viçosa, Manhuaçu, Conselheiro Lafaiete e Barbacena (IGAM, 2010b).

Está mostrado na Figura 5 o mapa de localização da AE em relação ao Brasil e ao estado de Minas Gerais com a sua rede hidrográfica. Os atributos relativos à rede hidrográfica, poligonais do Brasil e Estado de Minas Gerais, utilizados na composição dos mapas foram baixados dos *sites* do Instituto Estadual de Florestas (IEF) e IBGE.

Segundo o IGAM (2010) a rede hidrográfica da UPGRH DO1 é composta pelos rios Piranga, Casca, do Carmo e Matipó, sendo estes os mais representativos. O rio Piranga nasce no município de Ressaquinha, sendo que a sua sede não está inserida na bacia do rio Doce. Estende-se por cerca de 470 km, até a sua confluência com o Ribeirão do Carmo, os quais formam, a partir daí, o rio Doce. Seus principais tributários são os rios São Bernardo, Xopotó, Turvo Limpo e Oratórios.

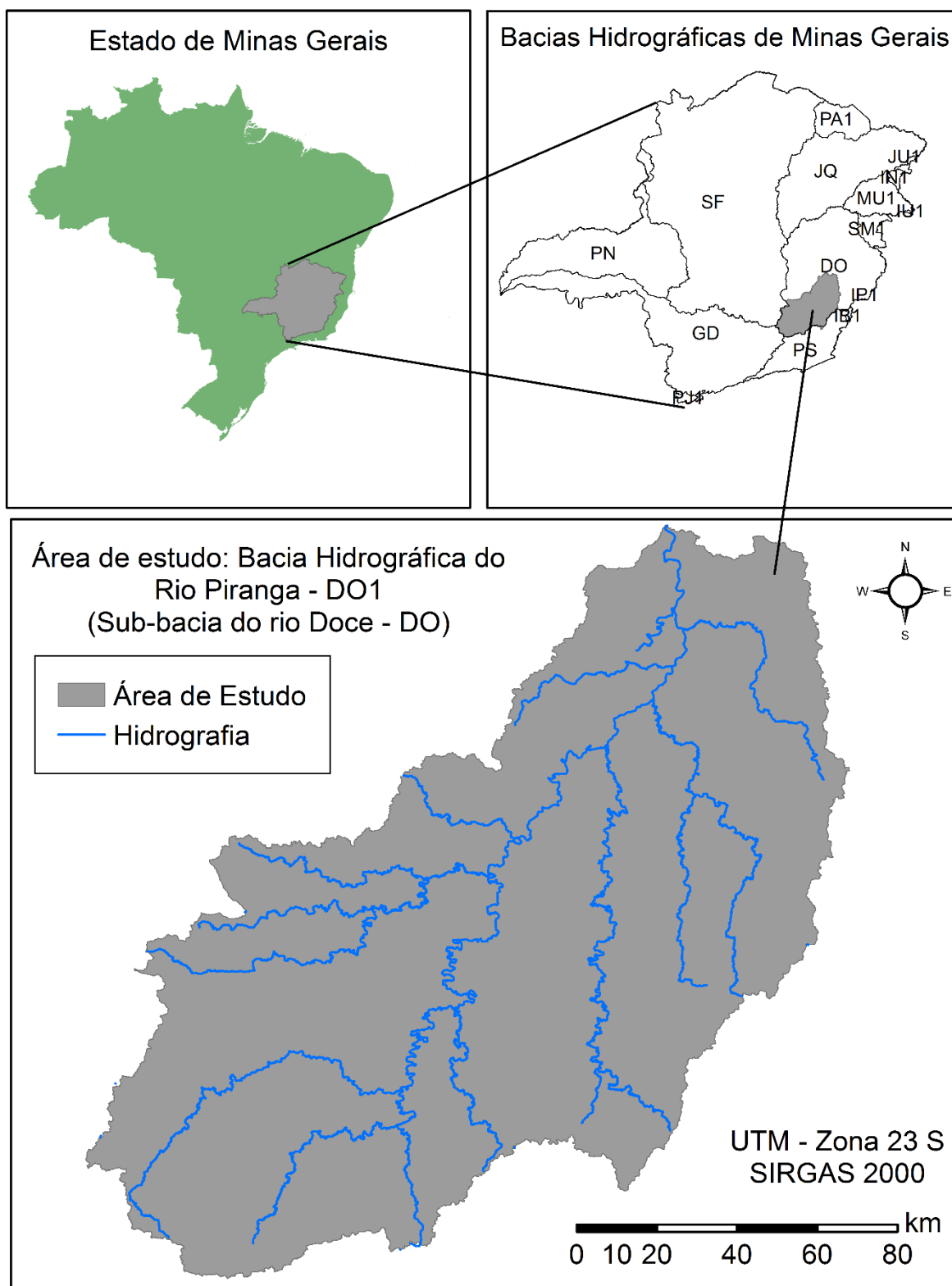


Figura 5 – Mapa de localização da área de estudo.

O rio do Carmo nasce no município de Ouro Preto e tem como principais tributários os rios Gualaxo do Sul e Gualaxo do Norte. O rio Casca nasce no município

de Ervália, e tem o rio Santana como o seu principal tributário. O rio Matipó tem suas nascentes com origem nos municípios de Sericita e Pedra Bonita. Quanto à fração incremental, pela margem esquerda, os mais significativos são os rios do Peixe, Sem Peixe e os Ribeirões Mombaça, do Turvo e do Belém. Pela direita destaca-se o Rio Sacramento, todos drenando diretamente para o rio Doce (IGAM, 2010b).

De acordo com o IGAM (2010), no sistema hidrológico da UPGRH DO1 há uma predominância de 70% dos aquíferos das rochas cristalinas com substrato de rochas granitoides de diversas composições, 23% sobre aquíferos xistosos, 3% sobre os quartizíticos e 4% sobre aquíferos porosos ou granulares, estes últimos, considerados bons produtores de água subterrânea, no geral contribuem com uma parcela muito pequena. No item seguinte é apresentado síntese de outros aspectos naturais: solos, relevo, clima e vegetação da AE.

3.1.1.1 Solos

Quanto aos solos, predominam as classes dos Latossolos, os Argissolos e Cambissolos, sendo 53% das terras com forte suscetibilidade à erosão, 44% média suscetibilidade e 4% enquadradas como classe muito forte. Com base nos dados censitários de 2006 cerca de 40% dos 45.106 estabelecimentos encontrados nos territórios municipais da UPGRH DO1, não adotam qualquer técnica conservacionista de solo, 50% adota o plantio em nível, 8% adota a rotação de culturas e cerca de 2% adota terraceamento (IGAM, 2010b).

3.1.1.2 Relevo

A UPGRH DO1 é caracterizada com relevo acidentado, sendo forte ondulado e, ou montanhoso. Pelas suas características geomorfológicas e o modelo de uso e ocupação das terras, predominantemente com algum tipo atividade antrópica em cerca de 69% da área, a produção de sedimentos nas partes altas atinge elevadas taxas, chegando entre 50 a 100 t km² ano⁻¹. Estas ocorrências predominam-se nas cabeceiras dos rios Piranga e Carmo (IGAM, 2010b).

3.1.1.3 Clima

O clima da bacia hidrográfica do rio Doce classifica-se de acordo Köppen em Aw (tropical com inverno seco), Cwa (subtropical úmido com verão quente) e Cwb (subtropical úmido com verão ameno) (Alvares; Stape; Sentelhas; Gonçalves; Sparovek, 2013). O regime pluviométrico é caracterizado por dois períodos, sendo um chuvoso e ou outro seco. No chuvoso, que ocorre entre os meses de outubro a março, ocorrem precipitações que variam entre 800 a 1300mm, enquanto no seco, no período de abril a setembro, variam de 150 a 250mm. BRASIL (2013a),

3.1.1.4 Vegetação

A UPGRH DO1 está inserida em terras originalmente do bioma mata atlântica. A ocupação das terras está dividida com floresta (30%), agropecuária (66%), reflorestamento (1%), outras formações naturais (1%) e diversos usos antrópicos (2%). Ainda de acordo com a análise elaborada no mesmo estudo, 69% da área mapeada da UPGRH DO1 está ocupada por sistema antrópico, enquanto os demais 31%, são ocupados por algum tipo de sistema natural, demonstrando que a Unidade se encontra bastante alterada (IGAM, 2010b).

Existem, em toda a bacia do rio Doce, dezenove unidades de conservação de proteção integral. Na UPGRH DO1 existem várias unidades de conservação de diversos tipos, sendo quatro de proteção integral e as demais de uso sustentável, num total de trinta (IGAM, 2010b).

3.1.2 Delimitação da área de estudo

Para gerar o mapa com a delimitação da AE, foi criado um projeto no *ArcGis 10.3.1*, que é um robusto *software* capaz de armazenar informações em bancos de dados, sob a forma de feições espaciais, sejam pontos, linhas ou polígonos, como atributos, em tabelas. Foram adotados os procedimentos metodológicos sugeridos por Santos (2008) e Florenzano (2011) para a obtenção do MDE, e utilizar as imagens com resolução espacial de 30m geradas pela *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM), disponíveis gratuitamente no *site* (<http://srtm.csi.cgiar.org/>). Foi definido para

todo o trabalho o sistema de projeção UTM-Fuso 23S referenciado ao SIRGAS 2000, com o recorte da área de interesse entre as coordenadas 7.856.593,3330647m e 7.642.950,4256353m (N) e 609.017,45591373m 841.656,96207069m (E).

Foram utilizados comandos com ferramentas do *software*, disponíveis no *ArcToolbox*, conforme passos discriminados a seguir, sugeridos por Santos (2008):

- Tratamento das inconsistências do MDE - Para o tratamento das inconsistências, com o preenchimento das depressões espúrias, foi utilizado o comando *fill* (preencher), da caixa de ferramentas *Hydrology*;
- Direção de Fluxo - A obtenção da direção do fluxo da imagem criada foi realizada mediante o comando *Flow Direction*, pertencente também à caixa de ferramentas *Hydrology*;
- Fluxo acumulado – Para a obtenção do fluxo acumulado da nova imagem, a mesma foi submetida ao comando *Flow Accumulation*, ainda na caixa de ferramentas *Hydrology*;
- Rede de drenagem – Para a extração da rede de drenagem da imagem criada, foi utilizado o comando *Con* da caixa de ferramentas *Conditional*;
- Arquivo vetorial – Na sequência, a rede de drenagem foi convertida em arquivo vetorial. Para tanto, foi utilizado o comando *Stream to feature* da caixa de ferramentas *Hydrology*;
- Bacia de contribuição – A bacia de contribuição foi criada, utilizando o comando *Watershed* da caixa de ferramentas *Hydrology*, para o qual foram inseridos arquivos da imagem de direção de fluxo e o *shape* com as coordenadas do ponto mais próximo da estação de monitoramento RD035, à jusante do ponto de confluência do rio Doce com o rio Piracicaba, para que este não exercesse influência na área objeto do estudo;
- Área de drenagem – A imagem *raster* criada com a bacia de contribuição, em seguida foi convertida em um polígono com o comando *Raster to polygon* da caixa de ferramentas *From raster*. Em seguida foi definido o sistema de projeção UTM-Fuso 23S referenciado ao SIRGAS 2000. Na sequência, a área de drenagem foi calculada a partir de uma nova coluna que foi inserida na tabela de atributos e submetida ao comando *Calculate Geometry*, após duplo clic com o botão direito do mouse sobre a mesma.

3.1.3 Caracterização socioeconômica

A caracterização socioeconômica da Área de Estudo (AE) foi feita a partir dos dados oficiais do IBGE, IGAM, ANA e IMA, os quais foram plotados nos mapas gerados pelo SIG. Nestes mapas é possível conferir os perímetros da AE, da UPGRH DO1 e dos noventa e seis municípios inseridos, total ou parcialmente, bem como suas sedes, às quais foram tomadas como base para a caracterização socioeconômica realizada no presente estudo.

Para a construção do mapa no ambiente do SIG, foi utilizada a ferramenta *Clip* no *ArcToolbox* do *ArcMap*, que possibilitou o recorte dos sessenta e quatro municípios que têm suas sedes inseridas na AE, ou seja, dois a mais que a UPGRH DO1.

3.2 Caracterização da suinocultura

O MDE que foi gerado pelo SIG, possibilitou ainda a construção de diversos mapas de relevante importância quanto à visualização da AE apresentando suas características relacionadas com a atividade suinícola.

3.2.1 Densidade suinícola em relação à Superfície Agrícola Utilizada, Temporária e Permanente, de cada município da área de estudo

Para se obter uma dimensão do rebanho suinícola nos municípios da AE, foram obtidos no Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA) os dados relativos ao rebanho de cada município no ano de 2014, bem como as áreas cultivadas com culturas permanentes e, ou temporárias, e foram plotados em planilha do *Software Microsoft® Excel® 2013*. Com os dados do rebanho e a SAU_{TP}, foi possível calcular a densidade suinícola de cada um dos municípios da AE pela equação 5.

$$D = \frac{Sui}{SAU_{TP}} \quad (5)$$

em que:

D – Densidade suinícola em relação à SAU_{TP};

Sui – rebanho suinícola em cabeças; e

SAU_{TP} – Soma das Superfícies Agrícolas Utilizadas Temporárias e Permanentes.

3.2.2 Rebanho suinícola de cada granja existente na área de estudo

Os dados do IBGE levantados por município via questionários, não levam em consideração as informações mais detalhadas como o sistema de manejo adotado, dados pessoais do Produtor ou as coordenadas geográficas. A partir da necessidade do maior detalhamento do rebanho suinícola no presente estudo, foram utilizados os dados extraídos dos relatórios do Cadastro e Georreferenciamento de Produtor, gerados pelo Sistema de Cadastro e Georreferenciamento de Defesa Sanitária Animal (GeoDSA) no ano de 2015, cedidos pelo Instituto Mineiro de Agropecuária (IMA), os quais foram solicitados por meio de ofício encaminhado à Diretoria Geral, em Belo Horizonte, e prontamente atendidas pelo órgão. Os relatórios são bem detalhados e compostos por informações tais como:

- Identificação: Número do Cadastro, Nome do Produtor, CPF/CNPJ, Nome da Propriedade, Localidade e Município;
- Endereço de Correspondência;
- Georreferenciamento – Geocódigo da Propriedade, Datum, Latitude, Longitude e Altitude;
- Perfil da Produção: Tipo de Produção, Acesso ao Mercado, Número de Animais, Sistema de Criação, Finalidade da Criação, Manejo, Comércio de Animais Vivos, Reposição de Animais, Venda de Reprodutores, Material Genético Importado, Classificação Biossegurança. Vacinação e Vermifugação;
- Responsável Técnico e Responsável pelo Preenchimento do Cadastro.

O acesso ao GeoDSA, foi viabilizado pelo escritório do IMA no município de Viçosa e possibilitou a geração de um banco de dados com os relatórios deste e dos demais escritórios como segue: Alto Rio Doce, Carandaí, Conselheiro Lafaiete, Itabirito, Juiz de Fora, Manhuaçu, Ponte Nova, Rio Casca, Rio Piracicaba, São Domingos do Prata, Ubá e Visconde do Rio Branco, totalizando treze escritórios e trezentos e quarenta e cinco relatórios. Tais dados foram plotados em planilha do *Software Microsoft® Excel®* 2013.

Após a análise para a eliminação de duplicatas e correção de informações, as quais foram checadas com os técnicos do IMA, foram eliminados cem relatórios e a

nova planilha foi inserida no *ArcGis* e convertida em um arquivo vetorial *shapefile* o qual foi armazenado em uma pasta de extensão *gdb* (*geo data base*), criada para este fim no *ArcCatalog*, junto com os demais arquivos do projeto da AE. Foi utilizado o *ArcMap*, e importado o *shapefile* das granjas para a realização de uma análise espacial que possibilitou a identificação de todas as informações contidas nos relatórios originais da base de dados.

A análise visual do mapa recém criado, permitiu verificar que algumas granjas estavam com a localização incorreta, possivelmente devido à digitação ou lançamentos equivocados das coordenadas nos relatórios. Para a correção, a planilha com extensão *xlsx* do *Excel*[®] foi convertida em um arquivo de bloco de notas do *Microsoft Windows*, o qual foi importado para o aplicativo *Google Earth pro 7.1.4.1529*. Cada granja teve suas coordenadas conferidas, a partir da edição e reposicionamento dos pontos de acordo com a visualização da imagem ampliada. As coordenadas corrigidas foram novamente importadas para o *ArcGis*, e na sequência, foi criado um novo *shapefile* nomeado como *granja_nov_coord*, no qual constava em sua tabela de atributos, além das informações originais, as novas coordenadas geradas, totalizando cento e oitenta e seis granjas.

3.2.3 O rebanho e a Água Residuária Suinícola

Segundo Perdomo, Oliveira e Kunz (2003), para o dimensionamento de um sistema de armazenagem de dejetos suínos, a estimativa do volume a ser gerado esbarra em uma série de variáveis a serem consideradas. Dentre estas, o clima, o material genético, o manejo e a nutrição são relevantes, no entanto, o ideal é a medição direta para se ter valores mais exatos. Ainda de acordo com Perdomo, Oliveira e Kunz (2003) existem tabelas de cálculo que precisam ser ajustadas caso a caso, conforme as peculiaridades de cada granja. Os sistemas de produção são classificados de acordo com o objetivo final em Unidade de Produção de Leitões (UPL), Unidade de Crescimento e Terminação (UCT) e Unidade de Ciclo Completo (UCC).

Neste sentido, diante dos dados disponíveis, para o cálculo do volume da ARS produzida, foram tomados por base o sistema de produção adotado e o número de

animais confinados em cada granja, de acordo com o método proposto por Perdomo, Oliveira e Kunz (2003), por meio das equações 6, 7 e 8, como seguem:

$$AR_{UPL} = 53,1 \text{ l dia}^{-1} * (\text{matrizes instaladas}) \quad (6)$$

$$AR_{UCT} = 10,4 \text{ l dia}^{-1} * (\text{cabeças alojadas}) \quad (7)$$

$$AR_{UCC} = 115,5 \text{ l dia}^{-1} * (\text{matrizes instaladas}) \quad (8)$$

em que:

AR_{UPL} (Água Residuária da Unidade de Produção de Leitões em litros dia⁻¹);

AR_{UCT} (Água Residuária da Unidade de Crescimento e Terminação em litros dia⁻¹); e

AR_{UCC} (Água Residuária da Unidade de Ciclo Completo em litros dia⁻¹).

3.2.4 Estimativa do Equivalente Populacional da suinocultura na área de estudo

O IMA (2015) classifica as criações de suínos em tecnificadas e não tecnificadas. De cento e oitenta e seis granjas suinícolas da AE, apenas três apresentaram-se como não tecnificadas. Quanto às demais, apresentam-se como tecnificadas. Neste estudo foi adotado o método sugerido por Perdomo, Oliveira e Kunz (2003), no qual os autores consideram os índices para granjas de médio nível tecnológico, o qual se aplica bem para a carga de DBO₅ da suinocultura da AE. Ainda, de acordo com Perdomo, Oliveira e Kunz (2003) a emissão de DBO₅ por suínos alojados pode ser estimada levando-se em consideração o sistema de produção, a composição do rebanho, o peso médio animal e a demanda de água. Neste sentido, os autores estimaram as cargas para UPL, UCT e UCC, 0,33 kg d⁻¹, 0,23 kg d⁻¹ e 1,72 kg d⁻¹, respectivamente. Para a UPL e UCC os valores são expressos por matriz, enquanto para UCT toma-se por base o número de cabeças alojadas.

Para o cálculo do EP, da suinocultura na AE, foi utilizada a equação 9 proposta por Sperling (2014).

$$EP = \frac{\text{carga de DBO}_5 \text{ da suinocultura}}{\text{carga per capita}} \quad (9)$$

3.3 Variáveis de qualidade da água

Desde 1997 o IGAM vem monitorando a qualidade das águas superficiais do Estado através do Projeto Águas de Minas (PAM). O PAM, no ano de 2014, contava com uma malha de 543 estações de monitoramento, distribuídas nas bacias hidrográficas dos 18 maiores rios. Conforme já mencionado, a bacia do rio Doce é subdividida em 6 bacias, das quais, a do rio Piranga, DO1 contava com 15 estações de monitoramento localizadas em seus principais cursos de água como seguem: Rio Piranga - RD001, RD007, RD013, RD068 e RD069; Rio Xopotó – RD004; Rio do Carmo – RD009 e RD071; Rio Casca – RD018; Rio Doce – RD019, RD023 e RD072; Rio Matipó – RD021; Rio Turvo – RD070; e Ribeirão do Sacramento – RD073. Na Tabela 9, estão apresentadas as descrições de cada uma das referidas estações.

Tabela 9 – Estações de monitoramento do PAM e suas descrições

Ordem	Estação	Descrição	Latitude	Longitude
1	RD001	Rio Piranga, no município de Piranga	-20,690000	-43,300000
2	RD004	Rio Xopotó, próximo à sua foz no rio Piranga	-20,790000	-43,120000
3	RD007	Rio Piranga, no município de Porto Firme	-20,670000	-43,090000
4	RD009	Rio Carmo, em Monsenhor Horta	-20,350000	-43,320000
5	RD013	Rio Piranga, à jusante do município de Ponte Nova	-20,380000	-42,900000
6	RD018	Rio Casca, em Águas Férreas	-20,100000	-42,630000
7	RD019	Rio Doce, à montante do rio Casca	-20,020000	-42,750000
8	RD021	Rio Matipó, à jusante do município de Raul Soares	-20,080000	-42,470000
9	RD023	Rio Doce, à montante da Cachoeira dos Óculos	-19,760000	-42,480000
10	RD068	Rio Piranga, próximo à sua nascente, na localidade de Engenheiro Simão	-21,060000	-43,660000
11	RD069	Rio Piranga no distrito de Piranguita	-20,820000	-43,590000
12	RD070	Rio Turvo próximo à sua foz no rio Piranga	-20,580000	-42,990000
13	RD071	Rio do Carmo próximo à sua confluência com o rio Piranga	-20,280000	-43,030000
14	RD072	Rio Doce, logo após sua formação, depois da confluência dos rios Piranga e do Carmo	-20,275833	-42,913889
15	RD073	Ribeirão Sacramento, próximo à sua foz no rio Doce	-19,710000	-42,450000

Fonte: (IGAM, 2010a) .

O PAM adota campanhas de monitoramento trimestrais e com base no regime de chuvas da região, considera o primeiro (janeiro, fevereiro, março - JFM) e o terceiro (julho, agosto, setembro - JAS) como período chuvoso e de estiagem respectivamente. O segundo (abril, maio, junho - AMJ) e o quarto (outubro, novembro, dezembro - OND) como períodos de transição. Para efeito deste estudo, foram adotados o primeiro e o quarto como período chuvoso e o segundo e o terceiro como período seco, conforme preconiza (BRASIL, 2013a).

Nas referidas estações são coletadas amostras para a análise em laboratórios com o propósito de estabelecer a qualidade da água. No ano de 2014, do conjunto total de 55 variáveis, o PAM analisou 51 em JFM e JAS e 19 em AMJ e OND. Na Tabela 10, estão apresentadas as variáveis para as campanhas trimestrais do ano de 2014.

Tabela 10 - Variáveis analisadas no Projeto Águas de Minas no ano de 2014

Ordem	Variáveis	Ordem	Variáveis
1	Alcalinidade	21	Fenóis Totais
2	Alcalinidade Total	22	Ferro Dissolvido
3	Alumínio Dissolvido	23	Fósforo Total
4	Arsênio Total	24	Macroinvertebrados bentônicos
5	Bário Total	25	Magnésio Total
6	Bicarbonato	26	Manganês Total
7	Boro Total	27	Mercúrio Total
8	Cádmio Total	28	Níquel Total Turbidez
9	Cálcio	29	Nitrato
10	Chumbo Total	30	Nitrito
11	Cianeto Livre Feofitina	31	Nitrogênio Amoniacal Total
12	Cianotoxinas	32	Nitrogênio Orgânico
13	Cloreto Total	33	Óleos e Graxas
14	Clorofila a	34	Oxigênio Dissolvido (OD)
15	Cobre Dissolvido	35	pH in loco
16	Coliformes Termotolerantes/E. coli	36	Potássio
17	Coliformes Totais	37	Selênio Total
18	Condutividade Elétrica in loco	38	Sódio
19	Cor Verdadeira	39	Sólidos Dissolvidos
20	Cromo Total	40	Sólidos em Suspensão

(Continua)

Ordem	Variáveis	Ordem	Variáveis
41	Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	49	Sólidos Totais
42	Demanda Química de Oxigênio (DQO)	50	Substâncias tensoativas
43	Densidade de Cianobactérias	51	Sulfatos
44	Dureza (Cálcio)	52	Sulfetos
45	Dureza (Magnésio)	53	Temperatura da Água
46	Dureza Total	54	Temperatura do Ar
47	Ensaio de Toxicidade Crônica	55	Zinco Total
48	Estreptococos Fecais		

Fonte: (IGAM, 2014b).

No presente estudo foram adotadas as campanhas que ocorreram no período de 1997 a 2014, levando-se em consideração aquelas variáveis mais significativas em relação à ARS e que têm dados disponíveis. Após a tabulação dos dados em planilha do *Excel*[®], foram calculadas as médias aritmética e geométrica de cada parâmetro em cada estação de monitoramento. De acordo com Sperling (2014), quando se estimam alguns poluentes, a quantificação deve ser expressa em carga. Portanto, para aquelas variáveis expressas em concentração, que foram levantadas a partir dos dados disponíveis, foi calculada, também, a carga. Neste sentido, foram identificadas no site da ANA vinte estações fluviométricas existentes e em operação na AE, para viabilizar o cálculo da carga.

Para identificar as estações fluviométricas, uma vez que cada uma delas está georreferenciada, foi criado um *shapefile* no *ArcGis*, de maneira que o mapa resultante possibilitou a análise para a escolha das referidas estações mais próximas às estações de monitoramento do PAM. Estas totalizaram doze, às quais estão identificadas e apresentadas na Tabela 11, com os códigos, os nomes e as coordenadas geográficas de cada uma.

Tabela 11 – Estações fluviométricas localizadas na AE

Ordem	Código da Estação	Nome	Latitude	Longitude
1	56055000	Bráz Pires	-20,8475	-43,2419
2	56090000	Faz. Varginha	-20,7144	-42,9997
3	56028000	Piranga	-20,6906	-43,2994
4	56075000	Porto Firme	-20,6703	-43,0881

(continua)

Ordem	Código da Estação	Nome	Latitude	Longitude
5	56110005	Ponte Nova – Jusante	-20,3839	-42,9028
6	56335001	Acaiaca – Jusante	-20,3614	-43,1394
7	56337000	Faz. Ocidente	-20,2672	-43,1008
8	56415000	Rio Casca	-20,2261	-42,6500
9	56510000	Instituto Florestal Raul Soares	-20,0975	-42,4592
10	56425000	Faz. Cachoeira D'Antas	-19,9944	-42,6744
11	56539000	Cachoeira dos Óculos - Montante	-19,7769	-42,4764
12	56570000	Pingo D'Água	-19,7086	-42,4456

Fonte: (ANA, 2016b) .

Para o cálculo da vazão levou-se em consideração a média dos sete dias anteriores à data de cada coleta de amostra de água no PAM. Como a vazão medida na estação fluviométrica está expressa em $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$, esta foi convertida em $\text{m}^3 \text{dia}^{-1}$, pela equação 10. A carga foi calculada pela equação 11, conforme Sperling (2014).

$$V_z = V_{z7} * 86.400 \quad (10)$$

$$C_g = \frac{C_t * V_z}{n_g} \quad (11)$$

em que:

V_{z7} = vazão em $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ dos sete dias anteriores à data da coleta da amostra pelo PAM;

V_z = vazão em $\text{m}^3 \text{dia}^{-1}$;

C_t = concentração da variável;

C_g = carga em kg dia^{-1} ; e

n_g = valor de conversão para kg.

As variáveis resultantes, para aplicação no presente estudo, estão apresentadas na Tabela 12, com suas respectivas unidades.

Tabela 12 – Variáveis de qualidade da água

Ordem	Concentração (unidade)	Carga (unidade)
1	Clorofila a ($\mu\text{g l}^{-1}$)	Clorofila a (kg dia^{-1})
2	Cobre dissolvido (mg l^{-1})	Cobre dissolvido (kg dia^{-1})
3	Cobre total (mg l^{-1})	Cobre total (kg dia^{-1})
4	Coliformes termotolerantes (NMP 100ml^{-1})	-
5	Coliformes totais (NMP 100ml^{-1})	-
6	Cromo total (mg l^{-1})	Cromo total (kg dia^{-1})
7	DBO (mg l^{-1})	DBO (kg dia^{-1})
8	DQO (mg l^{-1})	DQO (kg dia^{-1})
9	E coli (NMP 100ml^{-1})	-
10	Estreptococcus fecais (NMP 100ml^{-1})	-
11	Ferro dissolvido (mg l^{-1})	Ferro dissolvido (kg dia^{-1})
12	Fósforo total (mg l^{-1})	Fósforo total (kg dia^{-1})
13	Magnésio total (mg l^{-1})	Magnésio total (kg dia^{-1})
14	Manganês total (mg l^{-1})	Manganês total (kg dia^{-1})
15	Nitrato (mg l^{-1})	Nitrato (kg dia^{-1})
16	Nitrito (mg l^{-1})	Nitrito (kg dia^{-1})
17	Nitrogênio amoniacal (mg l^{-1})	Nitrogênio amoniacal (kg dia^{-1})
18	Nitrogênio orgânico (mg l^{-1})	Nitrogênio orgânico (mg l^{-1})
19	OD (mg l^{-1})	OD (kg dia^{-1})
20	Potássio dissolvido (mg l^{-1})	Potássio dissolvido (kg dia^{-1})
21	Sódio dissolvido (mg l^{-1})	Sódio dissolvido (kg dia^{-1})
22	Sólidos dissolvidos totais (mg l^{-1})	Sólidos dissolvidos totais (kg dia^{-1})
23	Sólidos em suspensão (mg l^{-1})	Sólidos em suspensão (kg dia^{-1})
24	Sólidos totais (mg l^{-1})	Sólidos totais (kg dia^{-1})
25	Turbidez (UNT)	-
26	Zinco (mg l^{-1})	Zinco (kg dia^{-1})

3.4 Sub Bacias Hidrográficas da área de estudo

As estações de monitoramento do PAM foram utilizadas como referência espacial para determinação das sub bacias de contribuição, elaboradas pelo mesmo método, já relatado, usado para a bacia de contribuição da AE. Ao todo foram criadas quinze sub bacias às quais foram identificadas com o mesmo código das estações de monitoramento do PAM.

No ambiente do SIG, cada sub bacia teve sua área de drenagem calculada, com as granjas suinícolas e a estação de monitoramento do PAM correspondente, plotadas, possibilitando a determinação dos volumes de ARS e dos valores correspondentes a cada uma das variáveis relacionadas à qualidade da água.

3.5 Análise estatística

Com a análise estatística buscou-se estabelecer uma correlação entre a AR e as variáveis analisadas pelo PAM, em doze, das quinze estações de monitoramento, visto que não existiam granjas suínolas nas três que foram invalidadas (RD009, RD019 e RD068).

Os dados foram analisados com o uso do *software* R, versão 3.2.0 (TEAM, 2014).

3.5.1 Análise preliminar pelo método da matriz de correlação

Devido à natureza dos dados que são secundários e o número reduzido de pontos amostrais disponíveis, e, ainda por se tratarem de variáveis de fontes naturais e antrópicas, optou-se inicialmente pela aplicação do método da avaliação direta com a matriz de correlação, baseada na correlação Pearson, com 95% de intervalo de confiança. O coeficiente de correlação resultante “r”, aplica-se bem ao caso, por ser adimensional e variar entre -1 e +1, ou seja, $-1 \leq r \leq +1$, possibilitando uma interpretação mais fácil e rápida da correlação existente (COSTA NETO, 1977).

No ambiente R foi utilizado o pacote *corrplot* (WEI; SIMKO, 2016) para o procedimento da análise de correlação que buscou a existência de correlação entre as variáveis e a AR. A matriz foi montada obedecendo a seguinte estrutura: as colunas com as variáveis e as linhas com as estações amostrais do PAM. Na Tabela 13 está apresentado um esboço da planilha em *Excel*[®], na qual, as variáveis tiveram suas médias, aritméticas e geométricas, das concentrações e cargas, calculadas para os períodos de chuva e de estiagem.

Tabela 13 – Esboço da planilha para tabulação de dados

Variável X (mg l ⁻¹)							
Aritmética				Geométrica			
XCgSA	XCtSA	XCgCA	XCtCA	XCgSG	XCtSG	XCgCG	XCtCG

em que:

X – variável; Cg – carga; Ct – concentração; S – período de estiagem; C – período chuvoso; A – média aritmética e G – média geométrica.

A partir desse estudo, foram selecionadas, inicialmente, quarenta e oito variáveis das cento noventa e uma disponíveis. No Tabela 14 estão apresentadas as variáveis selecionadas, e que apresentaram coeficientes de correlação acima de 0,3 com a AR.

Tabela 14 – Variáveis selecionadas pela matriz de correlação de Pearson

Variáveis		
[1]"AguaRes"	[2]"Mat"	[3]"Cla.Cg.S.A"
[4]"Cla.Cg.C.A"	[5]"Cud.Cg.S.A"	[6]"Cud.Cg.C.A"
[7]"Crt.Cg.S.A"	[8]"Crt.Cg.C.A"	[9]"DBO.Cg.S.A"
[10]"DBO.Cg.C.A"	[11]"DQO.Cg.S.A"	[12]"DQO.Cg.C.A"
[13]"Fed.Cg.S.A"	[14]"Fed.Cg.C.A"	[15]"Kd.Cg.S.A"
[16]"Kd.Ct.S.A"	[17]"Kd.Cg.C.A"	[18]"Mgt.Cg.S.A"
[19]"Mgt.Cg.C.A"	[20]"Mnt.Cg.S.A"	[21]"Mnt.Cg.C.A"
[22]"Nam.Cg.S.A"	[23]"Nam.Cg.C.A"	[24]"Nor.Cg.S.A"
[25]"Nor.Cg.C.A"	[26]"Nad.Cg.S.A"	[27]"Nad.Cg.C.A"
[28]"Ntra.Cg.S.A"	[29]"Ntra.Cg.C.A"	[30]"Ntra.Ct.C.A"
[31]"Ntri.Cg.S.A"	[32]"Ntri.Ct.S.A"	[33]"Ntri.Cg.C.A"
[34]"Ntri.Ct.C.A"	[35]"Od.Cg.S.A"	[36]"Od.Cg.C.A"
[37]"Pt.Cg.S.A"	[38]"Pt.Ct.S.A"	[39]"Pt.Cg.C.A"
[40]"Pt.Ct.C.A"	[41]"Sdt.Cg.S.A"	[42]"Sdt.Cg.C.A"
[43]"Ss.Cg.S.A"	[44]"Ss.Cg.C.A"	[45]"St.Cg.S.A"
[46]"St.Cg.C.A"	[47]"Zn.Cg.S.A"	[48]"Zn.Cg.C.A"
[49]"Zn.Ct.C.A"		

em que:

AguaRes - Água Residuária

Cla - Clorofila *a*

Crt – cromo total

DQO – Demanda química de oxigênio

Kd – Potássio dissolvido

Mnt – Manganês total

Nor – Nitrogênio orgânico

Ntra – Nitrato

Od – Oxigênio dissolvido

Sdt – Sólidos dissolvidos totais

St – Sólidos totais

Mat – Matrizes

Cud – cobre dissolvido

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

Fed - Ferro dissolvido

Mgt – Magnésio total

Nam – Nitrogênio amoniacal

Nad – Sódio dissolvido

Ntri – Nitrito

Pt – Fósforo total

Ss - Sólidos em suspensão

Zn – Zinco total

3.5.2 Método *Random Forest*

O método *Random Forest*, ou árvore aleatória, (LIAW; WIENER, 2002), cujo pacote é o *randomForest*, outro pacote do R, foi escolhido por sua robustez e por

apresentar como característica principal o uso de amostras *out-of-bag* (OOB), ou seja, amostras que vão sendo misturadas aleatoriamente e tendem a diminuir a variância entre as novas amostras formadas, após cada estágio, aqui entendido como treinamento.

A aplicação do referido método, no presente estudo, possibilita identificação da ocorrência de padrões em regressão multivariada, isto é, o *Random Forest* avalia o grau de importância de cada preditora no modelo de regressão e estabelece um *ranking*, uma vez que as variáveis amostrais possuem características distintas e dificultam a predição com variâncias aceitáveis (BREIMAN; CUTLER, 2004).

3.6 Análise espacial das variáveis selecionadas pelo *Random Forest*

Para a análise espacial das variáveis que foram selecionadas pelo *Random Forest* adotou-se a estratégia da interpolação dos dados para a elaboração de mapas nos quais são mostradas as áreas de abrangência de cada uma das variáveis de qualidade da água que estejam correlacionados com a AR. O pacote *gstat* (PEBESMA, 2004) foi utilizado para processar toda a análise espacial e geração de mapas no ambiente R. Adotou-se o método do *Inverse Distance Weighted* (IDW), no qual o interpolador atribui maior importância aos valores mais próximos do ponto a ser predito, apresentando resultados satisfatórios na maioria dos casos (SPERANZA, 2008).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Área de estudo e o Modelo Digital de Elevação

A área da superfície da bacia hidrográfica, objeto de estudo, que foi criada é 17.991,93 km² e está apresentada na Figura 6, com o mapa do MDE, o seu perímetro, a rede hidrográfica e as referências altimétricas.

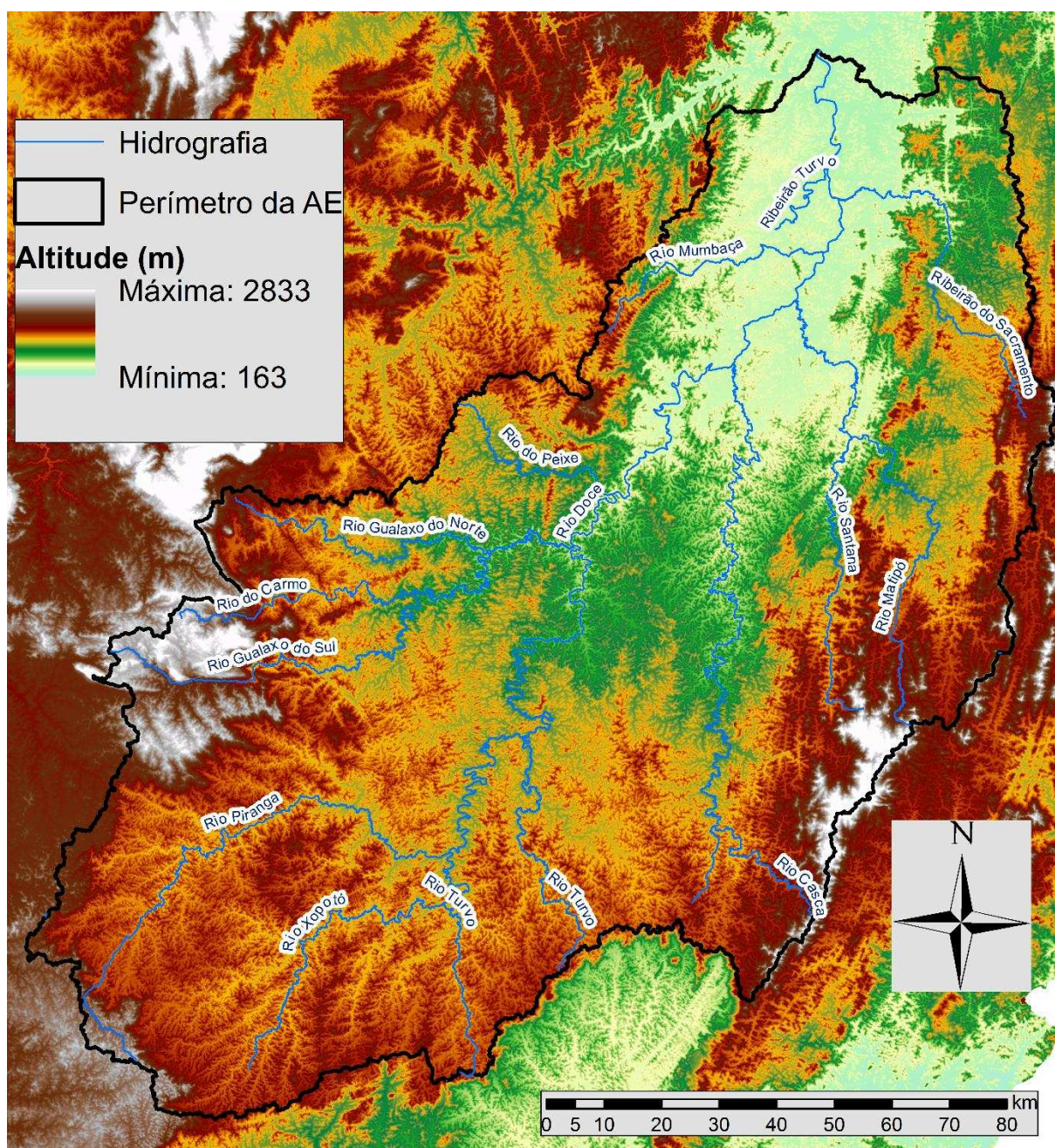


Figura 6 – Mapa do Modelo Digital de Elevação (MDE) da Área de Estudo (AE).

O mapa apresentado na Figura 6 serviu de base para a construção dos demais mapas e neste, é possível identificar a rede hidrográfica, disponibilizada pelo Instituto Estadual de Florestas de Minas Gerais, o qual constam informações como os nomes dos corpos hídricos mais relevantes que possibilita uma avaliação mais detalhada, bem como a criação de novos mapas com outras informações necessárias ao presente estudo. O mapa possibilita a realização de análise visual em relação ao relevo da AE indicando vales bastante encaixados, com altitudes variando de 160 a 2.800m.

4.2 População residente na área de estudo

Estão inseridos na UPGRH DO1, total ou parcialmente, noventa e seis municípios, os quais estão apresentados na Figura 7, com seus perímetros e sedes além dos perímetros da UPGRH DO1 e da AE. As sedes municipais foram usadas como referência para a caracterização socioeconômica da AE.

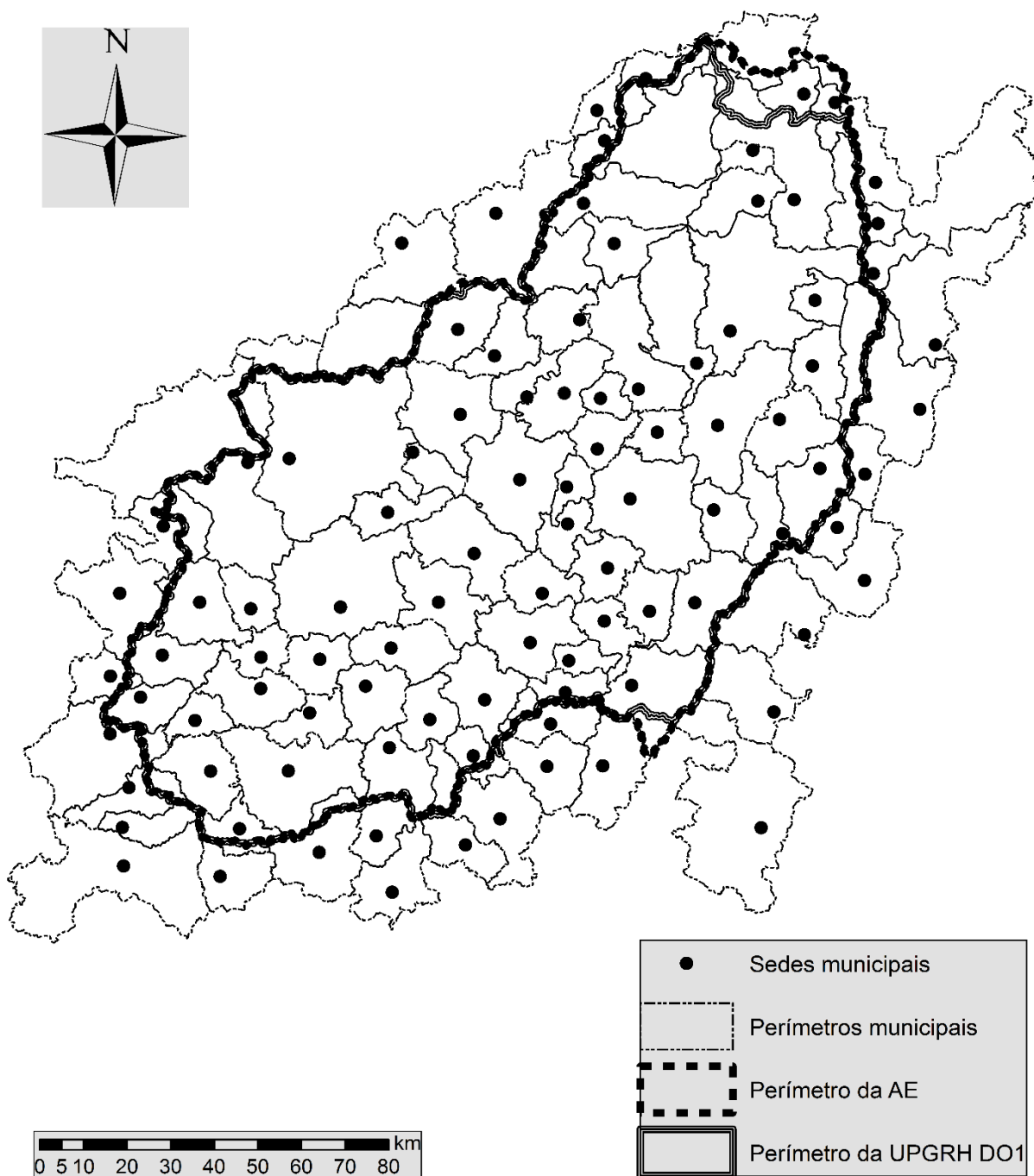


Figura 7 – Mapa da AE com os municípios inseridos total ou parcialmente.

De acordo com IGAM (2010), a UPGRH DO1 é composta por setenta e sete municípios mineiros, constituindo-se na maior das unidades da bacia do rio Doce. Destes, oito têm suas sedes fora da bacia hidrográfica do rio Doce e sete têm suas sedes localizadas em outras UPGRH do rio Doce, totalizando sessenta e dois com sedes na UPGRH DO1. No entanto, a AE que apresentou 419,53 km² a mais que UPGRH DO1, tem dois municípios além dos sessenta e dois, que têm suas sedes

inseridas. São eles, Entre Folhas (25) e Vargem Alegre (62). Na Figura 8, é apresentado o mapa com os municípios listados e identificados.

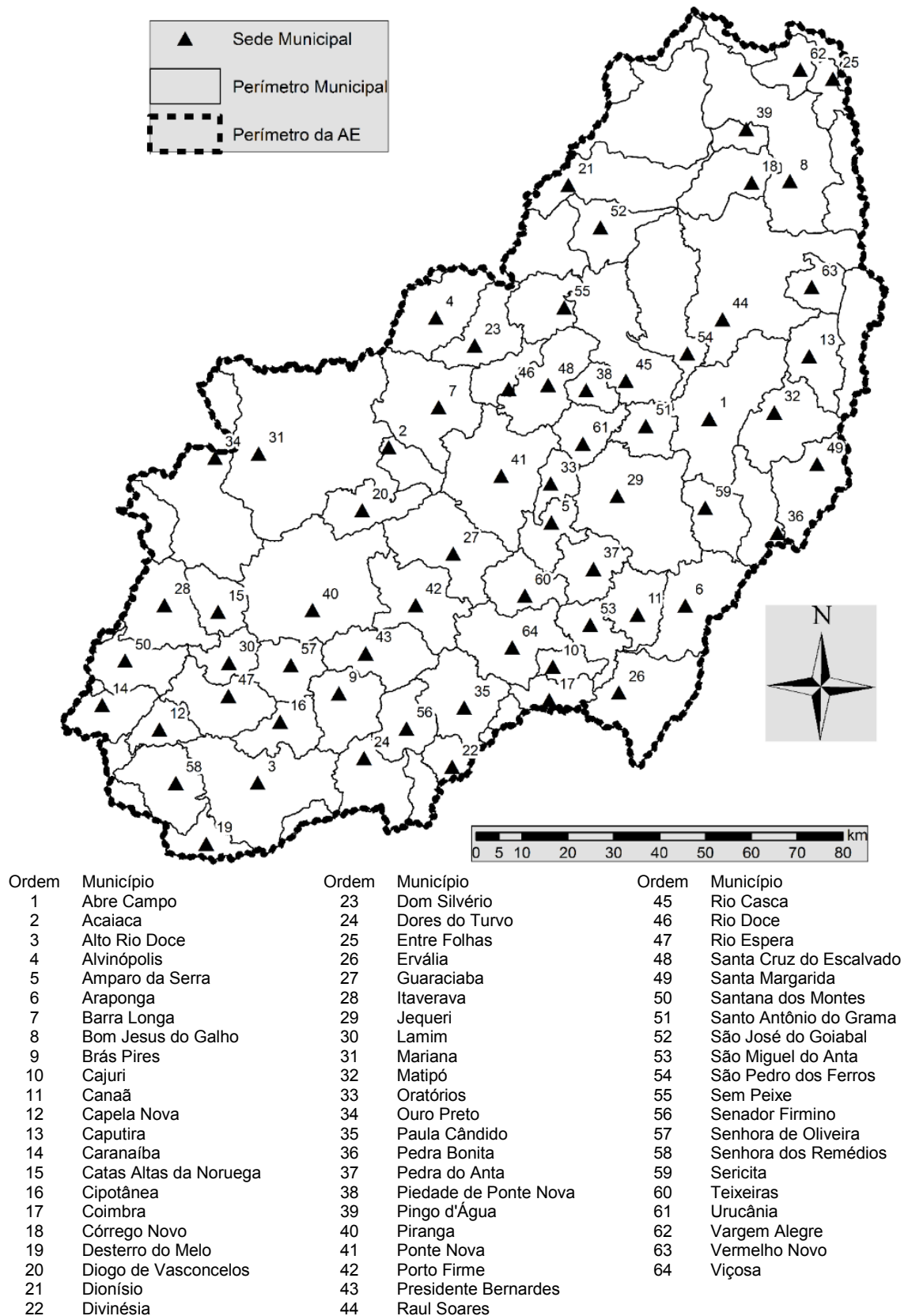


Figura 8 – Mapa com as sedes municipais inseridas na área de estudo.

Assim, ao ser adotado o mesmo critério no qual as sedes municipais encontram-se inseridas no território ocupado pela AE, estão apresentados na Tabela 15 os municípios com seus territórios inseridos total ou parcialmente na AE (IGAM, 2010b; BRASIL, 2016e).

Tabela 15 – População dos municípios da área de estudo

	Municípios	População Total Residente do Município	
		2007 ⁸	2015 ⁹
1	Abre Campo	12.867	13.719
2	Acaiaca	4.056	4.056
3	Alto Rio Doce	12.657	11.896
4	Amparo do Serra	5.245	4.971
5	Araponga	8.029	8.501
6	Barra Longa	6.965	5.799
7	Brás Pires	4.592	4.604
8	Cajuri	4.015	4.121
9	Canaã	4.668	4.713
10	Capela Nova	4.598	4.825
11	Caputira	8.855	9.392
12	Caranaíba	3.445	3.319
13	Catas Altas da Noruega	3.424	3.638
14	Cipotânea	6.539	6.832
15	Coimbra	6.886	7.480
16	Córrego Novo	3.155	3.032
17	Diogo de Vasconcelos	3.941	3.923
18	Dionísio	10.234	8.463
19	Dom Silvério	5.284	5.348
20	Dores do Turvo	4.572	4.474
21	Entre Folhas	4.965	5.385
22	Guaraciaba	10.428	10.532
23	Jequeri	12.965	12.946
24	Lamim	3.546	3.511
25	Matipó	16.430	18.713
26	Oratórios	4.385	4.686
27	Paula Cândido	9.086	9.654
28	Pedra Bonita	6.474	7.051
29	Pedra do Anta	3.672	3.339
30	Piedade de Ponte Nova	4.113	4.203
31	Pingo D'Água	4.016	4.789
32	Piranga	17.208	17.864

⁸ Dados apresentados pelo IGAM com base na contagem do IBGE.

⁹ Dados do IBGE referentes a estimativa realizada.

(continua)

Municípios		População Total Residente do Município		
		2007	2015	
33	Ponte Nova	55.687	60.005	
34	Porto Firme	10.404	11.107	
35	Presidente Bernardes	5.699	5.594	
36	Raul Soares	23.901	24.394	
37	Rio Casca	14.496	14.247	
38	Rio Doce	2.520	2.600	
39	Rio Espera	6.594	5.929	
40	Sta Cruz do Escalvado	5.193	5.003	
41	Santa Margarida	14.205	15.982	
42	Santana dos Montes	3.989	3.897	
43	Sto Antônio do Grama	4.241	4.103	
44	São José do Goiabal	5.646	5.673	
45	São Miguel do Anta	6.820	7.019	
46	São Pedro dos Ferros	8.880	8.284	
47	Sem-Peixe	2.950	2.814	
48	Senador Firmino	7.019	7.700	
49	Senhora de Oliveira	5.675	5.879	
50	Senhora dos Remédios	10.201	10.585	
51	Sericita	7.083	7.406	
52	Teixeiras	11.665	11.793	
53	Urucânia	10.203	10.585	
54	Vargem Alegre	6.575	6.634	
55	Vermelho Novo	4.551	4.883	
56	Viçosa	70.404	77.318	
57	Alvinópolis	44,3	12.918	
Sub total (A)		526.916	545.213	
Municípios com parte do território inserido na UPGRH DO1		Área (%)	2007 (população proporcional)	2015 (população total)
58	Bom Jesus do Galho	84,47	14.337	15.542
59	Desterro do Melo	79,86	2.541	3.036
60	Divinésia	66,73	2.196	3.437
61	Ervália	84,61	15.264	18.868
62	Itaverava	93,82	5.367	5.758
63	Mariana	89,03	50.931	58.802
64	Ouro Preto	40,77	50.963	74.036
Sub total (B)			154.517	195.098
Total (A + B)			680.433	740.311

Fonte: (IGAM, 2010b; BRASIL, 2016e).

Na Tabela 16 estão apresentados os dados disponíveis em BRASIL (2016a), da população residente total (rural e urbana) da área de estudo, entre os anos de 2000 e 2010.

Tabela 16 - População residente, total, urbana e rural nos anos de 2000 e 2010

Municípios	População Residente					
	2000			2010		
	Total	Urbana	Rural	Total	Urbana	Rural
1 Abre Campo	13.348	5.983	7.365	13.311	7.281	6.030
2 Acaiaca	3.889	2.385	1.504	3.920	2.553	1.367
3 Alto Rio Doce	13.858	4.912	8.946	12.159	5.070	7.089
4 Alvinópolis	15.588	10.804	4.784	15.261	11.433	3.828
5 Amparo do Serra	5.477	2.506	2.971	5.053	2.642	2.411
6 Araponga	7.916	2.541	5.375	8.152	3.041	5.111
7 Barra Longa	7.554	2.244	5.310	6.143	2.313	3.830
8 Bom Jesus do Galho	16.173	9.294	6.879	15.364	10.024	5.340
9 Brás Pires	5.107	1.805	3.302	4.637	2.223	2.414
10 Cajuri	4.190	2.287	1.903	4.047	2.096	1.951
11 Canaã	4.789	1.419	3.370	4.628	1.859	2.769
12 Capela Nova	4.964	2.066	2.898	4.755	2.132	2.623
13 Caputira	8.834	3.434	5.400	9.030	3.779	5.251
14 Caranaíba	3.478	1.176	2.302	3.288	1.176	2.112
15 Catas A. da Noruega	3.288	1.130	2.158	3.462	1.429	2.033
16 Cipotânea	6.345	2.418	3.927	6.547	3.014	3.533
17 Coimbra	6.523	3.488	3.035	7.054	5.156	1.898
18 Córrego Novo	3.638	2.142	1.496	3.127	2.038	1.089
19 Desterro do Melo	3.211	1.092	2.119	3.015	1.390	1.625
20 Diogo de Vasconcelos	3.972	841	3.131	3.848	1.099	2.749
21 Dionísio	10.191	5.611	4.580	8.739	7.165	1.574
22 Divinésia	3.188	1.494	1.694	3.293	2.175	1.118
23 Dom Silvério	5.228	3.835	1.393	5.196	4.058	1.138
24 Dolores do Turvo	4.799	1.877	2.922	4.462	2.030	2.432
25 Entre Folhas	5.054	3.083	1.971	5.175	3.889	1.286
26 Ervália	17.018	7.560	9.458	17.946	9.470	8.476
27 Guaraciaba	10.262	2.749	7.513	10.223	3.218	7.005
28 Itaverava	6.388	2.418	3.970	5.799	2.565	3.234
29 Jequeri	13.658	6.450	7.208	12.848	7.293	5.555
30 Lamim	3.587	1.362	2.225	3.452	1.511	1.941
31 Mariana	46.710	38.679	8.031	54.219	47.642	6.577

(continua)

Municípios	População Residente					
	2000			2010		
	Total	Urbana	Rural	Total	Urbana	Rural
32 Matipó	16.291	11.679	4.612	17.639	13.832	3.807
33 Oratórios	4.359	2.729	1.630	4.493	3.241	1.252
34 Ouro Preto	66.277	56.292	9.985	70.281	61.120	9.161
35 Paula Cândido	9.037	3.886	5.151	9.271	4.936	4.335
36 Pedra Bonita	6.237	1.303	4.934	6.673	1.807	4.866
37 Pedra do Anta	3.925	2.079	1.846	3.365	2.192	1.173
38 P. de P. Nova	4.029	2.679	1.350	4.062	3.178	884
39 Pingo-d'Água	3.820	3.470	350	4.420	4.035	385
40 Piranga	17.010	5.079	11.931	17.232	5.958	11.274
41 Ponte Nova	55.303	48.997	6.306	57.390	51.185	6.205
42 Porto Firme	9.474	3.897	5.577	10.417	4.831	5.586
43 Pre. Bernardes	5.847	1.365	4.482	5.537	1.642	3.895
44 Raul Soares	24.287	14.299	9.988	23.818	15.484	8.334
45 Rio Casca	15.260	11.477	3.783	14.201	11.334	2.867
46 Rio Doce	2.318	1.372	946	2.465	1.653	812
47 Rio Espera	6.942	2.238	4.704	6.070	2.403	3.667
48 Santa Cruz do Escalvado	5.378	1.643	3.735	4.992	1.730	3.262
49 Sta. Margarida	13.713	6.314	7.399	15.011	7.626	7.385
50 S. dos Montes	3.944	2.011	1.933	3.822	2.292	1.530
51 Sto. A. do Grama	4.377	3.238	1.139	4.085	3.365	720
52 S. José do Goiabal	6.009	3.449	2.560	5.636	3.689	1.947
53 S. M. do Anta	6.641	3.331	3.310	6.760	3.746	3.014
54 S. P. dos Ferros	9.239	7.036	2.203	8.356	6.783	1.573
55 Sem-Peixe	3.170	1.167	2.003	2.847	1.507	1.340
56 Senador Firmino	6.598	3.998	2.600	7.230	4.683	2.547
57 Sra. de Oliveira	5.643	2.722	2.921	5.683	3.256	2.427
58 Sra. dos Remédios	10.024	2.850	7.174	10.196	3.430	6.766
59 Sericita	6.990	3.019	3.971	7.128	3.718	3.410
60 Teixeiras	11.149	6.949	4.200	11.355	7.623	3.732
61 Urucânia	10.375	7.069	3.306	10.291	7.946	2.345
62 Vargem Alegre	6.544	4.824	1.720	6.461	4.771	1.690
63 Vermelho Novo	4.572	1.534	3.038	4.689	1.852	2.837
64 Viçosa	64.854	59.792	5.062	72.220	67.305	4.915

(continua)

Municípios	População Residente					
	2000			2010		
	Total	Urbana	Rural	Total	Urbana	Rural
Total	697.861	432.872	264.989	⁷ 12.249	486.917	225.332
Crescimento	¹⁰ 1,0	1,0	1,0	¹¹ 1,0206	1,1248	0,149

Fonte: (BRASIL, 2016a).

Na Tabela 16 observa-se o crescimento populacional de 2,06%, entre os anos de 2000 e 2010. Pela estimativa apontada pelo IBGE para o ano de 2015, o percentual de crescimento populacional em relação a 2010 quase que dobrou, passando para 3,95%. Para o mesmo período, o Brasil e o Estado de Minas Gerais apresentaram 7,18% e 6,49%, respectivamente. O fenômeno do êxodo rural, também é uma realidade na área estudada, ou seja, no período de dez anos, enquanto a zona urbana cresceu 12,48%, a zona rural encolheu 14,9%.

Continuando com a análise dos dados apresentados na Tabela 16, após selecionar os dez municípios mais populosos, observa-se o crescimento modesto e a manutenção dos mesmos municípios nos dois anos, com a mesma característica. Com exceção de Ervália e Piranga no ano de 2000, todos possuíam população urbana superior à rural e, em 2010, apenas Piranga se manteve com a mesma relação, confirmando o aumento do êxodo rural no período analisado. Outra observação a ser feita é que entre os mais populosos, estiveram Ouro Preto, Viçosa, Ponte Nova e Mariana, nesta ordem em 2000. Em 2010, Viçosa superou Ouro Preto, assumindo o primeiro lugar no *ranking* dos municípios mais populosos do grupo estudado, que está apresentado no gráfico da Figura 9.

¹⁰ Valor convencional utilizado, correspondente a 100% da população do ano 2000

¹¹ Valor convencional utilizado, correspondente ao crescimento no ano 2010 em relação ao ano 2000:
> 1 = crescimento positivo
< 1 = crescimento negativo

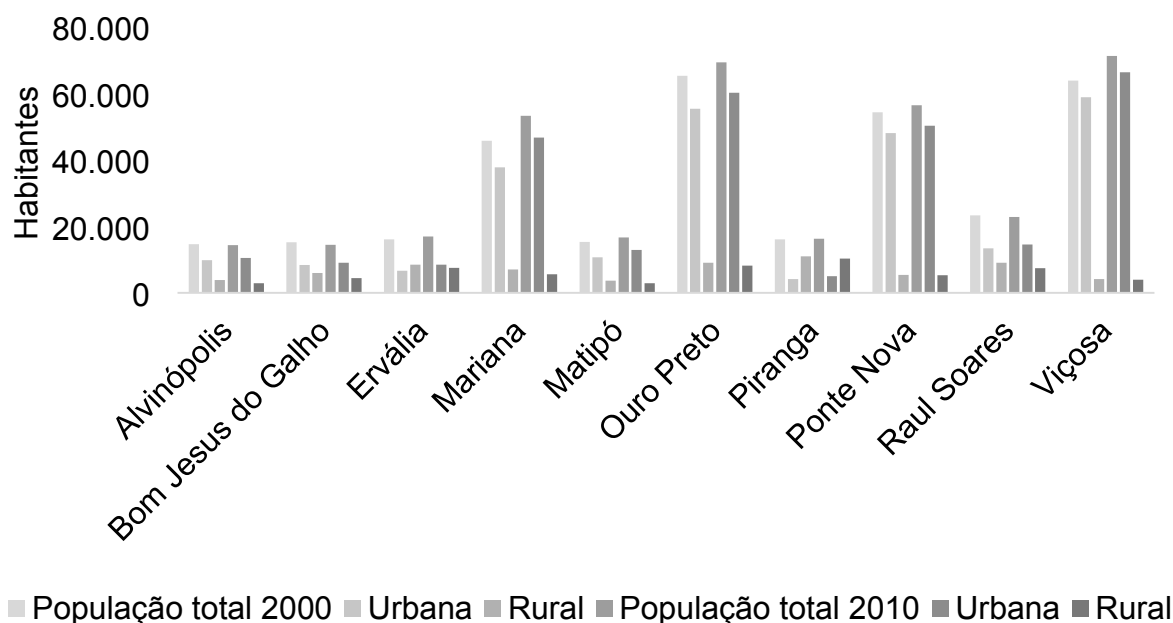


Figura 9 – *Ranking* dos dez municípios mais populosos, presentes na área de estudo.

Fonte: (BRASIL, 2016a).

4.3 Índice de Desenvolvimento Humano Municipal

Segundo o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, PNUD (2010), as condições básicas de vida de uma população, centradas nas dimensões saúde, conhecimento e padrão de vida (renda), podem ser resumidas em números para possibilitar uma visão mais fácil do grau de desenvolvimento desta. Neste sentido, o PNUD, utiliza o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), o qual foi adaptado para os municípios brasileiros, passando a ser denominado Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM). Na Tabela 17 estão apresentados os dados resultantes da consulta ao Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA). Dentre as séries estatísticas, foram selecionados os valores do IDHM, com base no censo de 2010 de cada município presente na área de estudo.

Tabela 17 – IDHM dos municípios presentes na área de estudo

	Município	Censo 2010	Área km ²	Densidade (hab km ⁻²)	IDHM
1	Abre Campo	13.311	470,551	28,288	0,654
2	Acaiaca	3.920	101,886	38,474	0,630
3	Alto Rio Doce	12.159	518,053	23,471	0,620
4	Alvinópolis	15.261	599,443	25,459	0,676

(continua)

	Município	Censo 2010	Área km ²	Densidade (hab km ⁻²)	IDHM
5	Amparo do Serra	5.053	136,186	37,104	0,641
6	Araponga	8.152	303,793	26,834	0,536
7	Barra Longa	6.143	383,628	16,013	0,624
8	Bom Jesus do Galho	15.364	592,289	25,940	0,623
9	Brás Pires	4.637	223,351	20,761	0,625
10	Cajuri	4.047	83,038	48,737	0,617
11	Canaã	4.628	174,900	26,461	0,649
12	Capela Nova	4.755	111,073	42,810	0,648
13	Caputira	9.030	187,704	48,108	0,615
14	Caranaíba	3.288	159,950	20,556	0,634
15	Catas Altas da Noruega	3.462	141,622	24,445	0,600
16	Cipotânea	6.547	153,479	42,657	0,579
17	Coimbra	7.054	106,875	66,002	0,669
18	Córrego Novo	3.127	205,385	15,225	0,632
19	Desterro do Melo	3.015	142,279	21,191	0,631
20	Diogo de Vasconcelos	3.848	165,091	23,308	0,601
21	Dionísio	8.739	344,442	25,371	0,702
22	Divinésia	3.293	116,970	28,153	0,657
23	Dom Silvério	5.196	194,972	26,650	0,709
24	Dores do Turvo	4.462	231,169	19,302	0,629
25	Entre Folhas	5.175	85,209	60,733	0,634
26	Ervália	17.946	357,489	50,200	0,625
27	Guaraciaba	10.223	348,596	29,326	0,623
28	Itaverava	5.799	284,220	20,403	0,627
29	Jequeri	12.848	547,897	23,450	0,601
30	Lamim	3.452	118,602	29,106	0,655
31	Mariana	54.219	1.194,208	45,402	0,742
32	Matipó	17.639	266,990	66,066	0,631
33	Oratórios	4.493	89,068	50,445	0,637
34	Ouro Preto	70.281	1.245,865	56,411	0,741
35	Paula Cândido	9.271	268,321	34,552	0,637
36	Pedra Bonita	6.673	173,928	38,366	0,573
37	Pedra do Anta	3.365	173,168	19,432	0,624
38	Piedade de Ponte Nova	4.062	83,733	48,511	0,639
39	Pingo-d'Água	4.420	66,570	66,396	0,619
40	Piranga	17.232	658,812	26,156	0,600
41	Ponte Nova	57.390	470,643	121,940	0,717
42	Porto Firme	10.417	284,777	36,579	0,634
43	Presidente Bernardes	5.537	236,798	23,383	0,632
44	Raul Soares	23.818	763,364	31,201	0,655
45	Rio Casca	14.201	384,381	36,945	0,650

(continua)

	Município	Censo 2010	Área km ²	Densidade (hab km ⁻²)	IDHM
46	Rio Doce	2.465	112,094	21,990	0,664
47	Rio Espera	6.070	238,602	25,440	0,602
48	Sta. Cruz do Escalvado	4.992	258,726	19,295	0,625
49	Santa Margarida	15.011	255,730	58,699	0,610
50	Santana dos Montes	3.822	196,565	19,444	0,647
51	Sto. Antônio do Grama	4.085	130,213	31,372	0,633
52	São José do Goiabal	5.636	184,511	30,546	0,666
53	São Miguel do Anta	6.760	152,111	44,441	0,644
54	São Pedro dos Ferros	8.356	402,739	20,748	0,659
55	Sem-Peixe	2.847	176,634	16,118	0,654
56	Senador Firmino	7.230	166,495	43,425	0,644
57	Senhora de Oliveira	5.683	170,749	33,283	0,631
58	Senhora dos Remédios	10.196	237,815	42,874	0,626
59	Sericita	7.128	166,012	42,937	0,560
60	Teixeiras	11.355	166,735	68,102	0,675
61	Urucânia	10.291	138,792	74,147	0,633
62	Vargem Alegre	6.461	116,664	55,381	0,631
63	Vermelho Novo	4.689	115,242	40,688	0,612
64	Viçosa	72.220	299,418	241,201	0,775
Total		712.249	17.636,615	40,385 ¹²	0,639 ¹³

Fonte: (BRASIL, 2016b).

Fazendo uma análise a partir da Tabela 17, ao se estabelecer o *ranking* em que estão os dez primeiros municípios, verifica-se que Viçosa, Mariana, Ouro Preto e Ponte Nova, nesta ordem, possuem os maiores valores de IDHM. Viçosa e Ouro Preto são os mais populosos, Ouro Preto e Mariana possuem as maiores áreas, sendo Viçosa e Ponte Nova os de maior densidade. Sobre Viçosa, vale ressaltar que a população universitária não é contabilizada, mas contribui nos aspectos socioeconômicos e ambientais, principalmente quanto ao saneamento básico, saúde e segurança, além de influenciar na educação, o que certamente influencia no IDHM.

No ano de 2010, o estado de Minas Gerais esteve em 9º lugar, com o IDHM 0,731 e o Brasil, nos anos de 2013 e 2014 ocupou o 79º e o 75º lugares no *ranking* mundial com o IDH de 0,744 e 0,755, respectivamente, posicionando-se na faixa de Médio Desenvolvimento Humano, conforme *Human Development Report 2014*

¹² Médias da densidade demográfica (habitantes/km²)

¹³ Média do IDHM

Sustaining Human Progress: Reducing Vulnerabilities and Building Resilience publicado pelo *United Nations Development Programme* (UNDP, 2014; PNUD, 2015).

4.4 Produto Interno Bruto dos municípios da área de estudo

O Produto Interno Bruto (PIB) é o índice composto pela soma das riquezas produzidas pelos serviços públicos, a agropecuária e indústria de cada Município, Estado e do País. De acordo com os dados do IBGE (2014), o valor correspondente ao Produto Interno Bruto (PIB) do estado de Minas Gerais e de Belo Horizonte no ano de 2013 foi de R\$ 486.955,00 e R\$ 69.805,80 (milhões), respectivamente. Estão apresentados na Tabela 18 os dados referentes à soma do PIB dos municípios inseridos na área de estudo. O valor total foi R\$ 19.905,47 (milhões), correspondente a 4,08% do PIB do Estado.

Tabela 18 – PIB dos Municípios inseridos na área de estudo com a distribuição por serviços públicos, a agropecuária e a indústria

Ordem	Municípios	PIB (R\$ 1.000,00)				
		Total	Serviços da administração pública		Agropecuária	Indústria
			Sociais	Diversos		
1	Abre Campo	127.412	39.702	58.065	22.902	6.744
2	Acaiaca	29.611	14.082	10.304	3.384	1.842
3	Alto Rio Doce	103.514	35.059	26.351	35.517	6.588
4	Alvinópolis	175.800	45.153	67.254	13.016	50.376
5	Amparo do Serra	34.956	16.557	10.267	6.230	1.902
6	Araponga	57.510	24.982	13.116	16.361	3.051
7	Barra Longa	46.574	19.086	15.196	8.231	4.061
8	Bom Jesus do Galho	97.180	42.146	30.277	17.259	7.498
9	Brás Pires	31.689	15.077	8.522	6.854	1.237
10	Cajuri	43.842	13.985	11.463	5.779	12.614
11	Canaã	41.043	15.594	8.450	15.069	1.930
12	Capela Nova	34.340	15.578	12.569	4.308	1.885
13	Caputira	60.754	28.477	16.670	12.212	3.395
14	Caratinga	1.079.068	250.408	659.746	33.674	135.239
15	Catas Altas da Noruega	23.915	12.068	5.982	4.002	1.864
16	Cipotânea	37.641	19.839	9.548	5.178	3.076
17	Coimbra	65.395	21.984	24.469	14.491	4.451

(continua)

Ordem	Municípios	PIB (R\$ 1.000,00)				
		Total	Serviços da administração pública		Agropecuária	Indústria
			Sociais	Diversos		
18	Córrego Novo	23.298	12.174	6.107	3.803	1.214
19	Desterro do Melo	28.496	12.265	7.816	6.852	1.563
20	Diogo de Vasconcelos	24.652	10.506	6.251	6.289	1.607
21	Dionísio	55.604	23.325	18.973	8.994	4.313
22	Divinésia	36.377	13.338	9.889	8.658	4.493
23	Dom Silvério	57.883	17.247	25.190	5.195	10.251
24	Dores do Turvo	37.924	13.855	8.775	13.477	1.818
25	Entre Folhas	36.555	16.784	13.519	3.756	2.496
26	Ervália	222.724	53.323	73.521	79.503	16.377
27	Guaraciaba	60.997	30.452	16.923	8.642	4.981
28	Itaverava	40.785	17.021	12.308	9.104	2.352
29	Jequeri	101.608	38.276	26.474	31.961	4.896
30	Lamim	26.290	12.681	8.490	3.096	2.024
31	Mariana	6.431.914	260.743	1.515.681	19.511	4.635.979
32	Matipó	251.055	53.857	134.444	19.111	43.642
33	Oratórios	39.012	16.699	11.777	8.724	1.812
34	Ouro Preto	6.376.618	299.004	1.643.224	17.978	4.416.411
35	Paula Cândido	71.731	28.239	20.326	15.571	7.596
36	Pedra Bonita	45.035	23.926	10.275	9.011	1.823
37	Pedra do Anta	27.547	12.966	7.312	5.558	1.712
38	Piedade de Ponte Nova	38.288	15.715	11.836	8.553	2.184
39	Pingo-d'Água	30.695	16.868	10.199	915	2.713
40	Piranga	114.538	49.579	40.798	19.195	4.966
41	Ponte Nova	993.942	189.094	606.457	27.222	171.168
42	Porto Firme	71.386	29.208	19.895	11.585	10.697
43	Presidente Bernardes	32.517	16.305	10.022	4.724	1.466
44	Raul Soares	202.610	70.589	92.864	27.937	11.220
45	Rio Casca	149.418	45.510	74.626	17.593	11.688
46	Rio Doce	24.819	11.617	6.756	2.226	4.220
47	Rio Espera	35.876	18.109	9.751	6.388	1.627
48	Santa Cruz do Escalvado	38.177	17.542	7.802	11.287	1.547
49	Santa Margarida	163.406	47.246	44.546	62.157	9.457

(continua)

Ordem	Municípios	PIB (R\$ 1.000,00)				
		Total	Serviços da administração pública		Agropecuária	Indústria
			Sociais	Diversos		
50	Santana dos Montes	28.065	14.419	7.938	4.000	1.707
51	Santo Antônio do Grama	37.096	16.914	11.359	6.162	2.661
52	São José do Goiabal	40.583	19.131	13.601	5.538	2.312
53	São Miguel do Anta	52.235	21.752	13.990	12.821	3.672
54	São Pedro dos Ferros	98.896	24.920	31.364	27.402	15.211
55	Sem-Peixe	23.522	12.584	5.747	3.722	1.469
56	Senador Firmino	57.876	22.704	25.060	6.477	3.635
57	Senhora de Oliveira	44.218	18.316	17.526	4.717	3.658
58	Senhora dos Remédios	67.466	28.989	19.224	14.827	4.425
59	Sericita	66.419	22.089	15.843	14.415	14.072
60	Teixeiras	91.045	36.134	38.894	10.039	5.977
61	Urucânia	142.047	32.598	39.389	39.007	31.053
62	Vargem Alegre	40.912	20.456	13.174	4.170	3.112
63	Vermelho Novo	32.933	16.239	7.269	8.013	1.412
64	Viçosa	1.100.140	231.667	687.587	22.065	158.821
	Total	19.905.474	2.662.752	6.449.041	892.418	9.901.263

Fonte: (IBGE, 2014).

Na Tabela 18 é apresentado o cenário econômico que indica a grandeza das riquezas produzidas pelo grupo de municípios presentes na área de estudo. Ao analisar os dados desta tabela, foram eleitos os dez municípios por ordem decrescente, em cada uma das áreas citadas. Na Figura 10, estão apresentados os dez municípios que geraram maior volume de riquezas, dentre os demais. Destes, os que se destacaram foram Mariana e Ouro Preto, seguidos por Caratinga e Viçosa, fato que puxou a média para além dos demais.

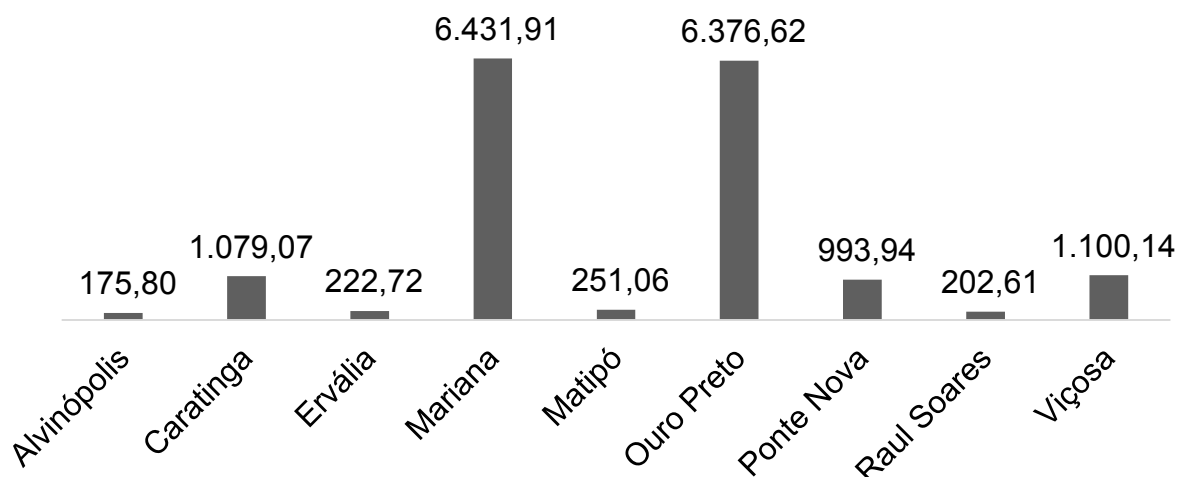


Figura 10 – Os dez municípios com os maiores valores de PIB total bruto (R\$ 1.000.000,00).

Fonte: (IBGE, 2014).

No setor de serviços, além dos mesmos municípios, aparece também Ponte Nova com valor próximo destes. Quanto aos demais, estiveram quase no mesmo nível de produção, entre si e bem abaixo da média geral. Estes dados estão apresentados nas Figuras 11 e 12.

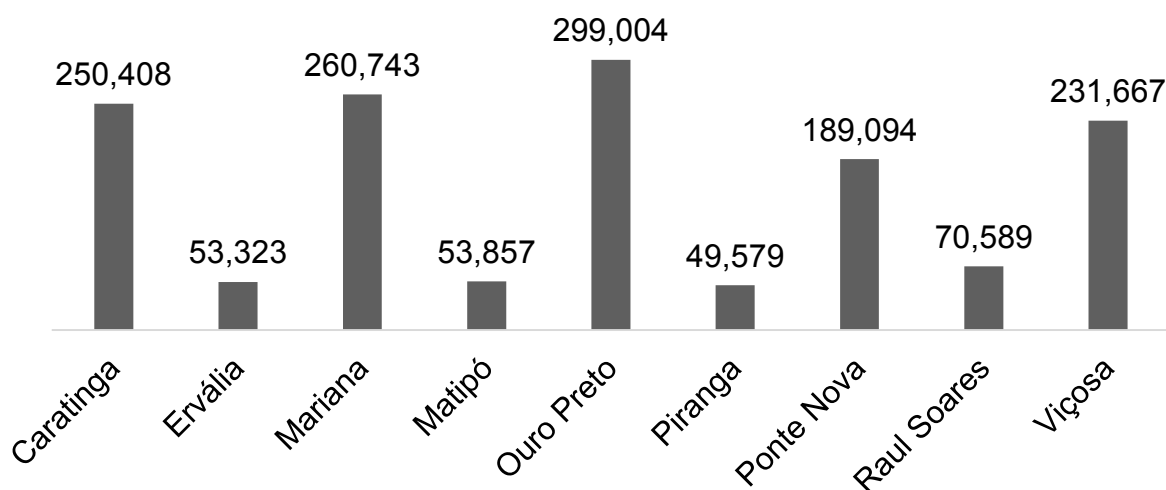


Figura 11 – Os dez municípios com os maiores valores de PIB nos serviços da administração pública (R\$ 1.000.000,00).

Fonte: (IBGE, 2014).

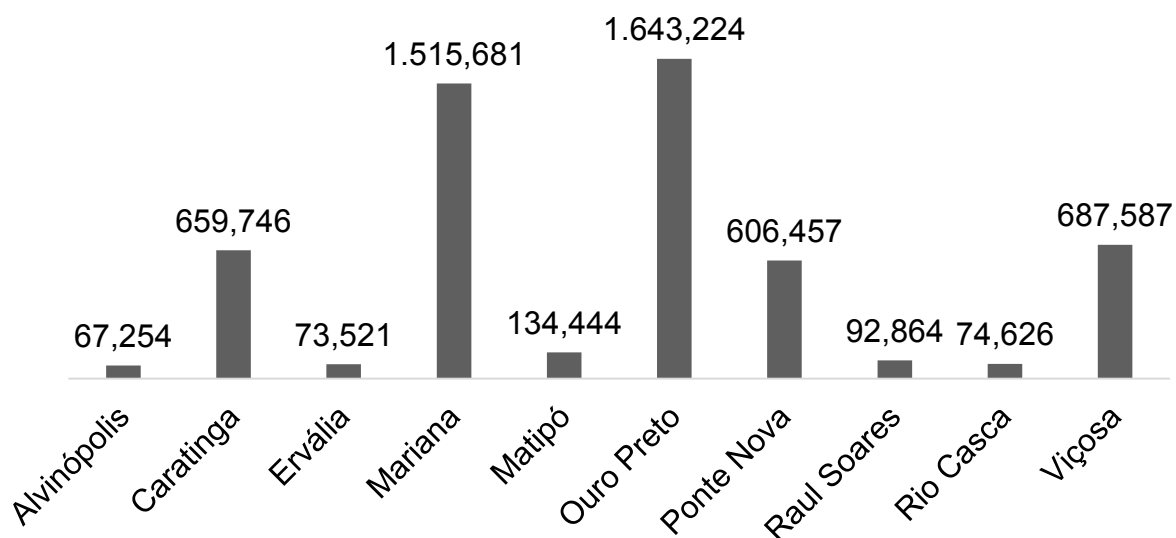


Figura 12 – Os dez municípios com os maiores valores de PIB nos serviços da administração pública, exceto os sociais (R\$ 1.000.000,00).

Fonte: (IBGE, 2014) .

Na Figura 13, estão apresentados os dados do PIB na indústria. Os municípios de Mariana e Ouro Preto se destacaram com uma diferença, em cerca de trinta vezes maior que os demais, colocando-os abaixo da média geral.

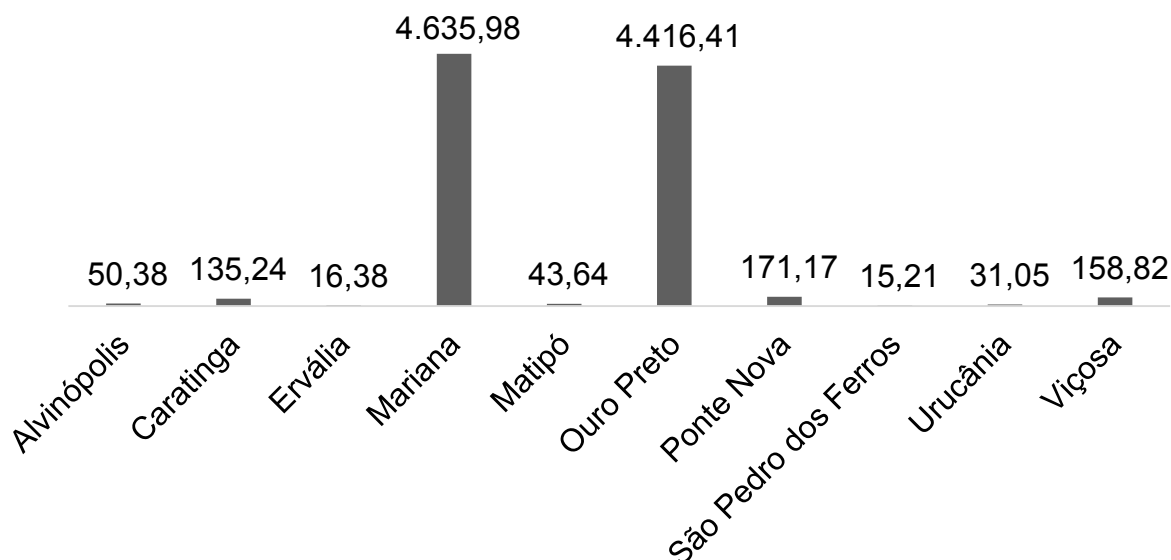


Figura 13 – Os dez municípios com os maiores valores de PIB na indústria (R\$1.000.000,00).

Fonte: (IBGE, 2014).

Na agropecuária ganharam destaque os municípios de Ervália e Santa Margarida com a injeção da cafeicultura e o município de Urucânia, impulsionado pela

suinocultura, fazendo com que os demais estivessem abaixo da média. Os dados do PIB na agropecuária estão apresentados na Figura 14.

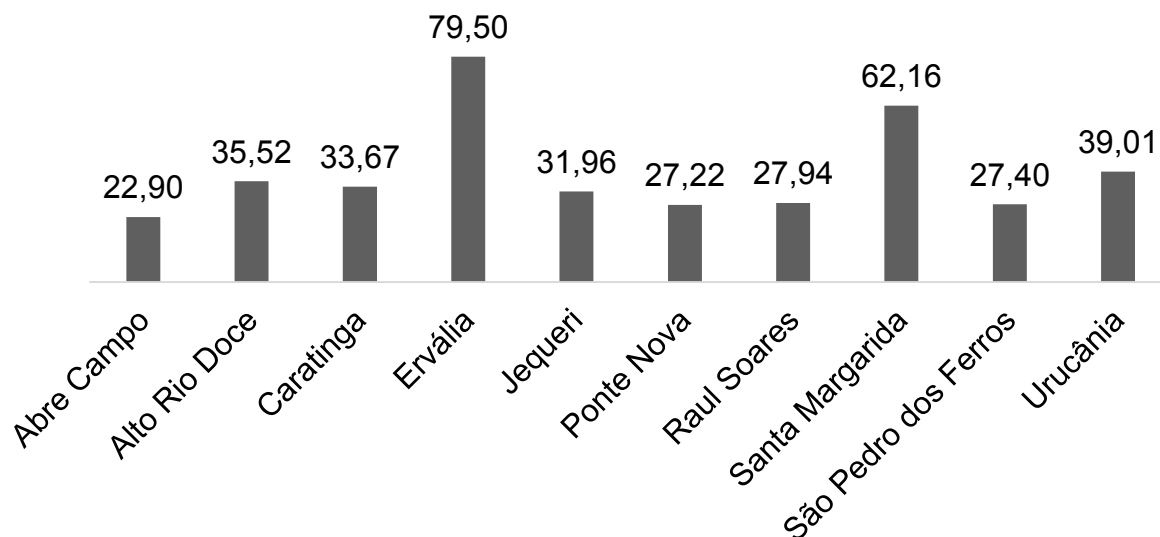


Figura 14 – Os dez municípios com os maiores valores de PIB na agropecuária (R\$ 1.000.000,00).

Fonte: (IBGE, 2014).

4.5 Atividade suinícola nos municípios da área de estudo

A suinocultura existente na área de estudo, de acordo com IGAM e IBGE, está distribuída nos municípios e representa uma atividade de geração de emprego e renda, tornando-a de importância socioeconômica, mas sem estar dissociada do viés ambiental, uma vez que gera resíduos potencialmente poluidores com riscos para o solo, a água e o ar. Neste sentido, é considerada pelos órgãos de controle ambiental com a devida importância para a saúde pública.

4.5.1 Estabelecimentos agropecuários e o rebanho suinícola

De acordo com Embrapa (2013), existiam no Brasil em 2006 mais de 1,5 milhão de estabelecimentos agropecuários com criação de suínos, com o total de 31,2 milhões de cabeças e receita bruta de R\$ 4,3 bilhões. Do total, apenas 123,1 mil tinham a suinocultura como principal atividade. Ainda segundo Embrapa (2013), os estabelecimentos agropecuários especializados (rebanho maior que cinquenta

animais), eram apenas 38,9 mil, mas, geraram 91,3% de toda a receita bruta com a venda de suínos no Brasil e representavam 66,5% do rebanho nacional naquele ano.

Segundo IGAM (2010) a área de estudo concentra importantes unidades de criação de suínos, às quais precisam ser submetidas à ações de controle e tratamento dos resíduos. A pecuária no ano de 2006 representava a atividade de 40% dos estabelecimentos e ocupava o equivalente a 53% da área. A agricultura, composta por lavouras temporárias, permanentes e horticultura, ocupava 41% da área, restando cerca de 6% para as atividades florestais e outras atividades menos relevantes (IGAM, 2010b).

Na Tabela 19 está apresentado o rebanho suinícola nos anos de 2006, 2012 e 2014, bem como o número de estabelecimentos agropecuários com sua respectiva área, nos quais existiam suínos dentre as atividades que eram desenvolvidas (BRASIL, 2016c). Com base na referida tabela pode-se ter uma ideia da evolução da atividade suinícola no período analisado. Por falta de dados disponíveis, não foi possível estabelecer o padrão de evolução dos estabelecimentos agropecuários, pois tais dados só deverão estar disponibilizados pelo IBGE a partir da publicação do próximo censo agropecuário.

Tabela 19 – Evolução do rebanho suinícola no período de 2006 a 2014

Ordem	Municípios	Estabelecimentos				
		Número total de suínos			agropecuários em 2006 com suínos	
		2006 ¹⁴	2012	2014	Número	Área (ha)
1	Abre Campo	11.425	14.421	30.182	11	119
2	Acaiaca	9.000	14.000	5.000	4	13
3	Alto Rio Doce	3.636	3.983	3.417	70	303
4	Alvinópolis	9.565	6.960	5.989	13	377
5	Amparo do Serra	14.560	13.042	13.350	13	16
6	Araponga	2.291	2.304	2.250	13	46
7	Barra Longa	1.820	1.980	1.100	7	219
8	Bom Jesus do Galho	272	303	317	5	363
9	Brás Pires	1.460	1.570	826	21	83
10	Cajuri	1.351	1.311	1.260	13	34
11	Canaã	2.214	2.640	2.580	6	25
12	Capela Nova	1.530	1.030	820	9	65
13	Caputira	1.590	1.695	1.500	3	5
14	Caranaíba	1.015	340	290	1	-
15	Catas Altas da Noruega	1.720	630	4.236	2	-

¹⁴ Censo agropecuário 2006

(continua)

Ordem	Municípios	Número total de suínos			Estabelecimentos agropecuários em 2006 com suínos	
		2006	2012	2014	Número	Área (ha)
16	Cipotânea	926	1.264	1.236	57	234
17	Coimbra	15.638	19.390	16.690	8	71
18	Córrego Novo	617	767	550	4	-
19	Desterro do Melo	607	692	616	1	-
20	Diogo de Vasconcelos	1.040	1.365	310	11	61
21	Dionísio	854	920	815	11	128
22	Divinésia	955	870	562	3	79
23	Dom Silvério	882	985	760	3	2
24	Dores do Turvo	1.155	1.325	572	4	10
25	Entre Folhas	384	351	450	7	13
26	Ervália	3.135	3.850	4.500	24	152
27	Guaraciaba	2.530	4.595	4.468	17	62
28	Itaverava	910	1.560	1.200	8	144
29	Jequeri	85.437	155.768	198.765	41	2.271
30	Lamim	625	260	160	-	-
31	Mariana	3.050	11.118	11.118	2	-
32	Matipó	5.350	7.179	7.100	2	-
33	Oratórios	24.470	44.958	46.404	6	173
34	Ouro Preto	2.035	7.840	7.840	27	397
35	Paula Cândido	1.938	2.165	1.952	12	32
36	Pedra Bonita	1.875	1.678	1.370	5	31
37	Pedra do Anta	3.277	3.176	2.850	27	34
38	Piedade de Ponte Nova	23.863	29.962	37.553	6	1.028
39	Pingo-d'Água	187	222	100	-	-
40	Piranga	20.791	14.300	15.200	57	1.082
41	Ponte Nova	64.380	117.984	117.114	22	918
42	Porto Firme	4.002	3.724	2.650	37	338
43	Presidente Bernardes	3.397	3.100	2.950	18	189
44	Raul Soares	14.947	10.770	15.899	24	272
45	Rio Casca	40.899	38.658	40.196	15	2.394
46	Rio Doce	1.680	2.763	2.016	4	12
47	Rio Espera	2.160	1.600	1.250	31	158
48	Sta. Cruz do Escalvado	12.555	29.789	25.137	2	-
49	Santa Margarida	2.940	3.047	2.700	11	204
50	Santana dos Montes	960	770	580	23	120
51	Sto. Antônio do Grama	8.392	16.748	4.198	12	694
52	São José do Goiabal	805	903	770	6	58

(continua)

Ordem	Municípios	Número total de suínos			Estabelecimentos agropecuários em 2006 com suínos	
		2006	2012	2014	Número	Área (ha)
53	São Miguel do Anta	5.020	3.178	2.950	4	71
54	São Pedro dos Ferros	1.782	1.552	195	11	28
55	Sem-Peixe	864	906	760	6	46
56	Senador Firmino	1.340	1.345	922	13	92
57	Senhora de Oliveira	2.237	2.640	2.684	7	101
58	Senhora dos Remédios	973	1.033	2.596	122	228
59	Sericita	1.778	1.652	1.252	3	4
60	Teixeiras	11.290	21.054	21.770	24	349
61	Urucânia	151.044	248.515	221.182	20	1.265
62	Vargem Alegre	234	410	385	3	11
63	Vermelho Novo	3.018	2.560	1.933	10	35
64	Viçosa	3.362	4.865	4.380	14	145
Total		606.039	902.335	912.727	976	15.404

Fonte: (BRASIL, 2016c).

Analisando a Tabela 19 pode-se verificar que houve evolução do rebanho em cerca de 50%, no geral, entre os anos de 2006 e 2014. Outro aspecto a ser considerado é a hipótese dos estabelecimentos agropecuários terem mantido suas atividades no período analisado. Neste sentido, é possível inferir que em 2014, a densidade de suínos em relação à área ocupada por tais empreendimentos que tinham à época a suinocultura dentre suas atividades, foi cerca de 60 cabeças ha⁻¹.

Assim, adotando-se o mesmo procedimento e tomando-se por base o ano de 2014, foram elencados 10 municípios com os maiores rebanhos que são apresentados na Figura 15, na qual pode-se verificar que Urucânia, Jequeri e Ponte Nova, nesta ordem, tinham os maiores rebanhos dentre os municípios analisados.

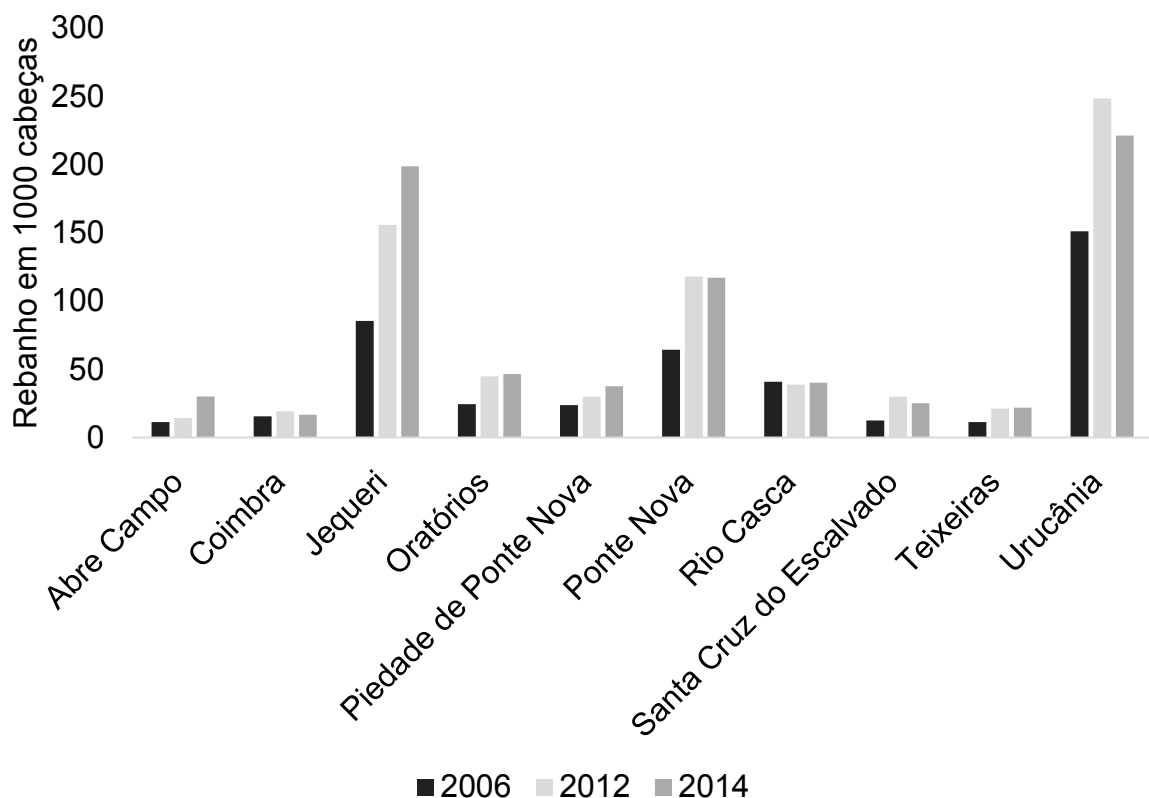


Figura 15 - *Ranking* dos dez municípios com maiores rebanhos suinícolas.
Fonte: (BRASIL, 2016c).

Com os dados apresentados na Figura 15, verifica-se também que houve o incremento positivo em média de cerca de 65%, indicando um aquecimento significativo na atividade, influenciado principalmente pelos municípios de Urucânia, Jequeri e Ponte Nova. Esta tendência de crescimento da suinocultura pode ter ocorrido devido à instalação de novas granjas, bem como o aumento do plantel por unidade granjeira, em decorrência do alto padrão de tecnificação que vem sendo implementado na região como um todo, tudo isso para atender à demanda de mercado, interno e externo, conforme projeções feitas em BRASIL (2013b).

Na Tabela 20 estão apresentados os 20 municípios com as maiores densidades de suínos. Verifica-se que os três municípios que detêm os maiores rebanhos ficam aquém daqueles que têm as maiores densidades.

Tabela 20 – Densidade suinícola de vinte municípios separados em ordem crescente

Ordem	Municípios	Número de suínos em 2014	Estabelecimentos agropecuários		Densidade cabeças ha ⁻¹
			Número	Área em ha	
1	Vermelho Novo	1.933	10	35	55
2	Dores do Turvo	572	4	10	57
3	Raul Soares	15.899	24	272	58
4	Paula Cândido	1.952	12	32	61
5	Teixeiras	21.770	24	349	62
6	Guaraciaba	4.468	17	62	72
7	Pedra do Anta	2.850	27	34	84
8	Jequeri	198.765	41	2.271	88
9	Canaã	2.580	6	25	103
10	Ponte Nova	117.114	22	918	128
11	Rio Doce	2.016	4	12	168
12	Urucânia	221.182	20	1.265	175
13	Coimbra	16.690	8	71	235
14	Abre Campo	30.182	11	119	254
15	Oratórios	46.404	6	173	268
16	Caputira	1.500	3	5	300
17	Sericita	1.252	3	4	313
18	Dom Silvério	760	3	2	380
19	Acaiaca	5.000	4	13	385
20	Amparo do Serra	13.350	13	16	834

Fonte: (BRASIL, 2016c).

Este cenário apresentado revela uma situação preocupante quanto à destinação dos resíduos gerados pela atividade suinícola, já que uma das alternativas, após o tratamento, é o uso destes resíduos em culturas, sejam perenes ou temporárias, como fertilizante orgânico, além da atuação como promotor da melhoria da qualidade físico-química e microbiológica dos solos. No entanto, para tal aplicação, deve ser levada em consideração a capacidade da planta em absorver os nutrientes para que não ocorra o acúmulo destes, vindo a comprometer o equilíbrio do sistema solo-água-planta (HIGARASHI; KUNZ; OLIVEIRA, 2007; SEGANFREDO, 2007). Neste sentido, a caracterização dos resíduos gerados pela atividade suinícola na AE é de extrema relevância para a quantificação da carga orgânica que é, de alguma maneira, disposta de forma pontual e, ou difusa, podendo vir a ter como destino final

as áreas ocupadas com culturas temporárias e, ou permanentes (PEREIRA, 2006; OLIVEIRA; TAVARES; COLDEBELLA, 2013; SANTOS, 2014).

Segundo Oliveira (2012b), a SAU no estado de Santa Catarina é usada para a aplicação de dejetos da suinocultura. Do total da área, é subtraída a Superfície Agrícola Útil necessária para a aplicação de dejetos como adubo orgânico, resultando no “Índice de Pressão Ambiental”, em ha. Na legislação vigente no Estado, a IN-11 FATMA estabelece o volume máximo de dejetos que pode ser usado como fertilizante orgânico nas propriedades produtoras (OLIVEIRA, 2012b).

Miranda (2007) apresenta dados sobre a densidade de suínos em vários países e demonstra o quanto é preocupante a concentração de animais numa mesma área. Os dados apresentados indicam que a União Europeia em 2003 tinha densidade de 37,67 suínos km⁻², no entanto a Holanda, Dinamarca e a Bélgica tinham 268, 299 e 216 suínos km⁻², respectivamente. Compara estes países com os Estados Unidos e Brasil, com 6,12 e 4,17 suínos km⁻². O autor chama a atenção para o fato destes dados não serem bons indicadores da pressão exercida sobre os recursos naturais e infere que a SAU é o critério mais adequado. Assim, ao levar-se em consideração o referido indicador, o autor destaca duas regiões da União Europeia: a região sudeste da Holanda e Renana do Norte-Westfália, na Alemanha, com 1.364 e 1.338 suínos km⁻² SAU⁻¹, respectivamente. O autor infere, ainda que o ideal é estabelecer-se relação entre o rebanho suinícola e a SAU de regiões específicas como mesorregiões ou, mesmo em bacia hidrográfica na qual é conhecida a área em que ocorre a exploração pecuária.

4.5.2 Superfície Agrícola Utilizada

De acordo com BRASIL (2016f), os municípios que compõem a AE possuem áreas cultivadas com culturas permanentes e, ou culturas temporárias, que são contabilizadas anualmente, contrapondo-se ao censo agropecuário que ocorre a cada dez anos. Dos sessenta e quatro municípios, apenas dois não possuíam atividade suinícola, conforme dados apresentados na Tabela 19.

O Instituto Nacional de Estatística de Portugal adota a SAU como unidade para dimensionar o total das áreas, em hectares, que são ocupadas com alguma atividade agrária. Na composição da SAU, são contabilizadas as terras aráveis, subdivididas

em culturas temporárias e pousio, horta familiar, culturas permanentes e pastagens permanentes (INE, 2009). Segundo Soares e Saldanha (2000), a SAU é composta pelas terras exploradas por determinada empresa rural, não importando se próprias ou arrendadas, ou sob qualquer condição legal.

Como o IBGE não adota a referida unidade, para efeito deste estudo, serão consideradas as Superfícies Agrícolas Utilizadas Temporárias e Permanentes (SAU_{TP}), levando-se em consideração as áreas de culturas temporárias e permanentes dos municípios inseridos na AE. Na Tabela 21 estão apresentados os dados referentes à densidade suinícola em relação à SAU_{TP}.

Tabela 21 – Densidade suinícola em relação à SAU_{TP}.

Ordem	Municípios	Suínos (2014)	SAU _{TP} (ha)	Suínos ha ⁻¹
1	Abre Campo	30.182	7.374	4,09
2	Acaiaca	5.000	305	16,39
3	Alto Rio Doce	3.417	4.265	0,80
4	Alvinópolis	5.989	1.637	3,66
5	Amparo do Serra	13.350	608	21,96
6	Araponga	2.250	4.684	0,48
7	Barra Longa	1.100	1.292	0,85
8	Bom Jesus do Galho	317	3.401	0,09
9	Brás Pires	826	758	1,09
10	Cajuri	1.260	1.960	0,64
11	Canaã	2.580	2.734	0,94
12	Capela Nova	820	1.592	0,52
13	Caputira	1.500	5.593	0,27
14	Caranaíba	290	866	0,33
15	Catas Altas da Noruega	4.236	578	7,33
16	Cipotânea	1.236	2.052	0,60
17	Coimbra	16.690	1.541	10,83
18	Córrego Novo	550	506	1,09
19	Desterro do Melo	616	1.435	0,43
20	Diogo de Vasconcelos	310	1.415	0,22
21	Dionísio	815	530	1,54
22	Divinésia	562	496	1,13
23	Dom Silvério	760	535	1,42
24	Dores do Turvo	572	887	0,64
25	Entre Folhas	450	1.336	0,34
26	Ervália	4.500	12.038	0,37
27	Guaraciaba	4.468	2.483	1,80
28	Itaverava	1.200	1.503	0,80

(continua)

Ordem	Municípios	Suínos (2014)	SAU _{TP} (ha)	Suínos ha-1
29	Jequeri	198.765	5.553	35,79
30	Lamim	160	830	0,19
31	Mariana	11.118	2.327	4,78
32	Matipó	7.100	8.046	0,88
33	Oratórios	46.404	563	82,42
34	Ouro Preto	7.840	2.152	3,64
35	Paula Cândido	1.952	2.437	0,80
36	Pedra Bonita	1.370	5.486	0,25
37	Pedra do Anta	2.850	1.163	2,45
38	Piedade de Ponte Nova	37.553	1.288	29,16
39	Pingo-d'Água	100	240	0,42
40	Piranga	15.200	5.228	2,91
41	Ponte Nova	117.114	5.155	22,72
42	Porto Firme	2.650	3.074	0,86
43	Presidente Bernardes	2.950	995	2,96
44	Raul Soares	15.899	6.727	2,36
45	Rio Casca	40.196	3.289	12,22
46	Rio Doce	2.016	160	12,60
47	Rio Espera	1.250	1.418	0,88
48	Santa Cruz do Escalvado	25.137	1.036	24,26
49	Santa Margarida	2.700	11.979	0,23
50	Santana dos Montes	580	813	0,71
51	Santo Antônio do Grama	4.198	1.562	2,69
52	São José do Goiabal	770	558	1,38
53	São Miguel do Anta	2.950	3.074	0,96
54	São Pedro dos Ferros	195	5.286	0,04
55	Sem-Peixe	760	785	0,97
56	Senador Firmino	922	1.398	0,66
57	Senhora de Oliveira	2.684	765	3,51
58	Senhora dos Remédios	2.596	4.728	0,55
59	Sericita	1.252	5.721	0,22
60	Teixeiras	21.770	1.848	11,78
61	Urucânia	221.182	3.404	64,98
62	Vargem Alegre	385	735	0,52
63	Vermelho Novo	1.933	4.570	0,42
64	Viçosa	4.380	4.173	1,05
Total		912.727	172.970	5,28

Fonte: (BRASIL, 2016c; BRASIL, 2016f).

Segundo BRASIL (2016f), a área cultivada com culturas temporárias em 2014 foi 96.426 há, e com culturas permanentes, 76.544 ha. Fazendo análise destes dados,

verifica-se que a situação de elevada densidade animal, é ainda pior quando se leva em consideração apenas a área de culturas temporárias, na qual, o milho ocupou 50.263 ha, ou seja, mais da metade do total. O milho, que é um dos componentes de maior peso na composição da ração, pode ser cultivado na própria propriedade, adotando-se um sistema integrado de produção, com o uso dos resíduos como fertilizantes. Mas, segundo Miranda (2007), a utilização dos resíduos como fertilizantes pode ser inviabilizada economicamente pela distância da granja à área cultivada, além de existirem limitações quanto ao uso destes em relação às características físico-químicas e micro-biológicas do solo (HIGARASHI; KUNZ; OLIVEIRA, 2007; KUNZ; HIGARASHI; OLIVEIRA, 2007; SEGANFREDO, 2007).

Outra observação a ser feita é o fato de só aparecer, dentre os dez municípios com as maiores áreas de SAU_{TP}, o município de Jequeri, em oitava posição, com densidade de 35,79 suínos ha⁻¹, reforçando o entendimento sobre a questão da insuficiência de culturas agrícolas passíveis de serem fertilizadas com os resíduos gerados diariamente nas suinoculturas da região.

Na Figura 16, está apresentado o mapa com os dados apresentados na Tabela 21. Destacam-se os municípios de Oratórios, Urucânia, Jequeri, Piedade de Ponte Nova, Santa Cruz do Escalvado, Ponte Nova, Amparo da Serra, Acaiaca, Rio Doce e Rio Casca, nesta ordem, com as maiores densidades em relação aos demais.

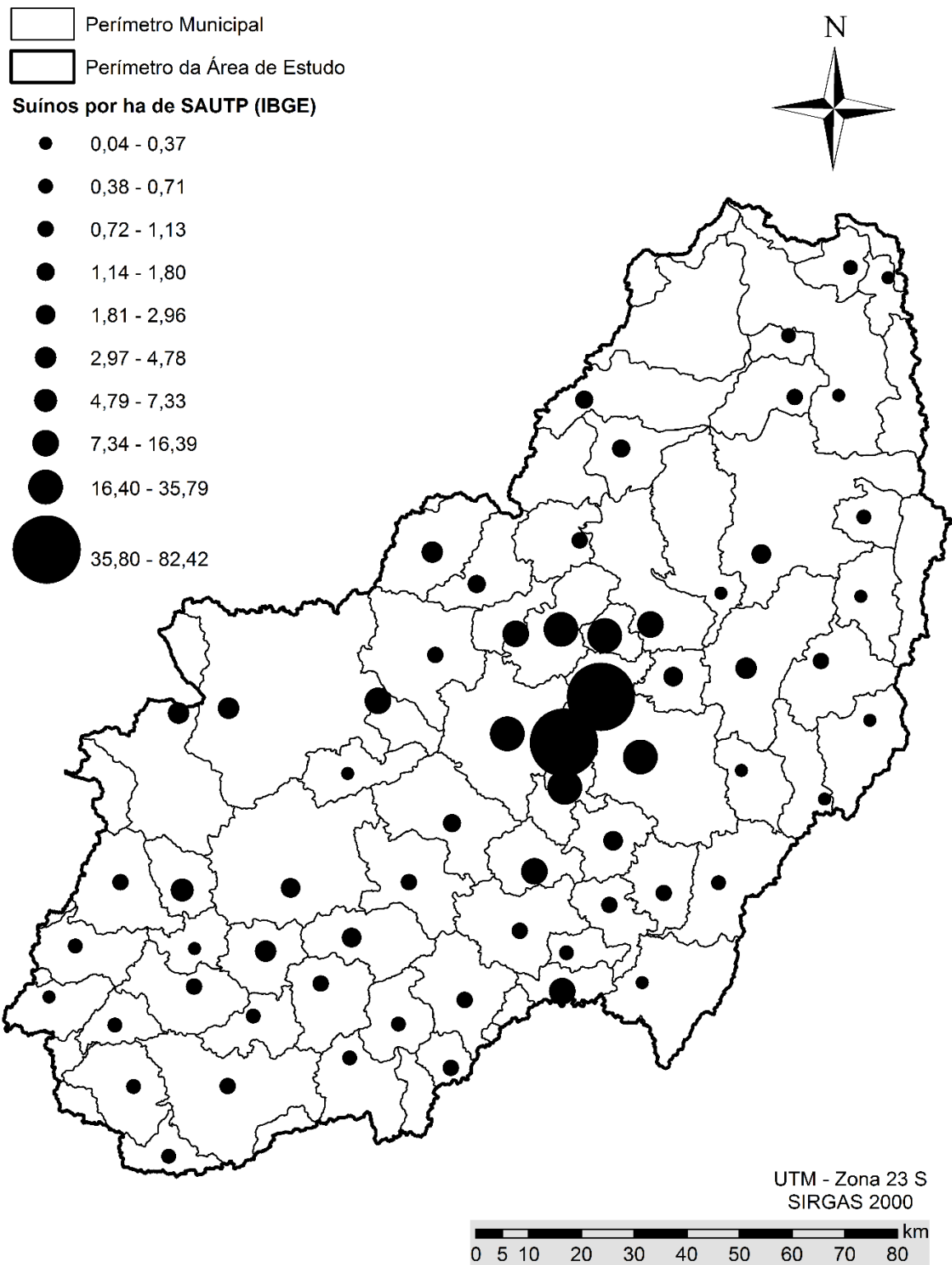


Figura 16 – Mapa dos municípios com a densidade suinícola em relação à SAUTP.

4.6 Rebanho suinícola por granja existente na área de estudo e a SAU_{TP}

No *ArcMap* foi criado um novo mapa dos perímetros municipais, da densidade suinícola em relação à SAU_{TP} e das granjas cadastradas no IMA. O referido mapa, que está apresentado na Figura 17, permite mostrar que existe coerência entre as informações do IBGE e do IMA, quanto à espacialização da suinocultura na AE, conferindo certo grau de confiabilidade aos dados oficiais utilizados.

Observa-se que existe maior concentração na região central, principalmente entre os municípios de Urucânia, Oratórios, Ponte Nova, Amparo da Serra, Jequeri, Santa Cruz do Escalvado e Piedade de Ponte Nova. Esta concentração, permite inferir que do ponto de vista socioeconômico e ambiental a geração de resíduos agroindustriais e urbanos, merece atenção especial, pois tais resíduos, conforme já mencionado, devem ser submetidos a sistemas de tratamento eficientes, pois do contrário, a contaminação do solo e das águas subterrâneas e superficiais é inevitável (HADLICH; SCHEIBE, 2007).

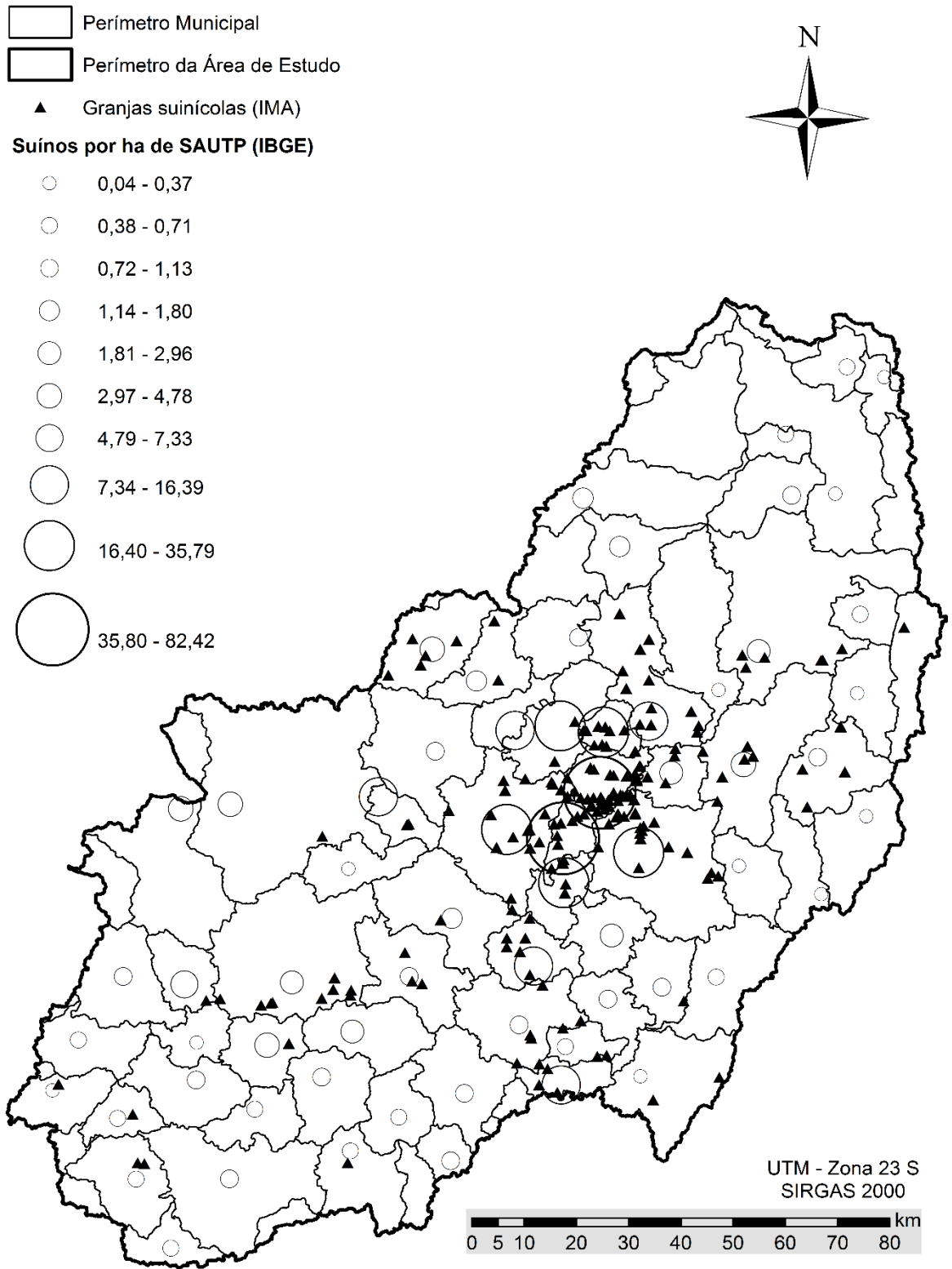


Figura 17 – Espacialização das granjas suinícolas na AE.

4.6.1 Estimativa dos resíduos suinícolas na área de estudo

Foi determinado o volume de ARS gerada diariamente. Neste sentido, os dados das granjas, possibilitaram estimar tal volume adotando-se o método proposto por Perdomo, Oliveira e Kunz (2003).

A partir da base de dados gerada com as informações contidas nos relatórios do IMA, foi possível quantificar as granjas que adotam um dos sistemas de produção. Nos relatórios do IMA constam dados que possibilitaram o cálculo dos quantitativos existentes nas granjas, por sistema de produção adotado.

Estão apresentados na Tabela 22 os dados com o total de granjas existentes na AE, com o rebanho por categoria e o volume de ARS estimado, de acordo com Perdomo, Oliveira e Kunz (2003). A distribuição da AR por sistema de produção existente na AE, está apresentado na Figura 18. Pode ser observada com base nesta figura que há predominância do sistema de UCC, no qual ocorrem todas as fases da vida produtiva do suíno.

Tabela 22 – Quantitativos da suinocultura na área de estudo.

SISP	GR (un)	MAT (un)	VAR (un)	OUT (un)	TOT (un)	PV (kg)	ARS (l d ⁻¹)
UPL	8	3.287	31	13.718	17.026	663.974	174.539
UCT	18	-	-	34.219	34.219	2.326.892	355.877
UCC	160	69.847	905	724.695	795.447	42.746.364	8.067.328
Total	186	73.134	936	772.632	846.692	45.737.230	8.597.745

SISP – Sistema de produção; GR – Granjas; MAT – Matrizes Suínas; VAR – Varrões; OUT – Outros; PV – Peso Vivo; ARS – Água Residuária Suinícola.

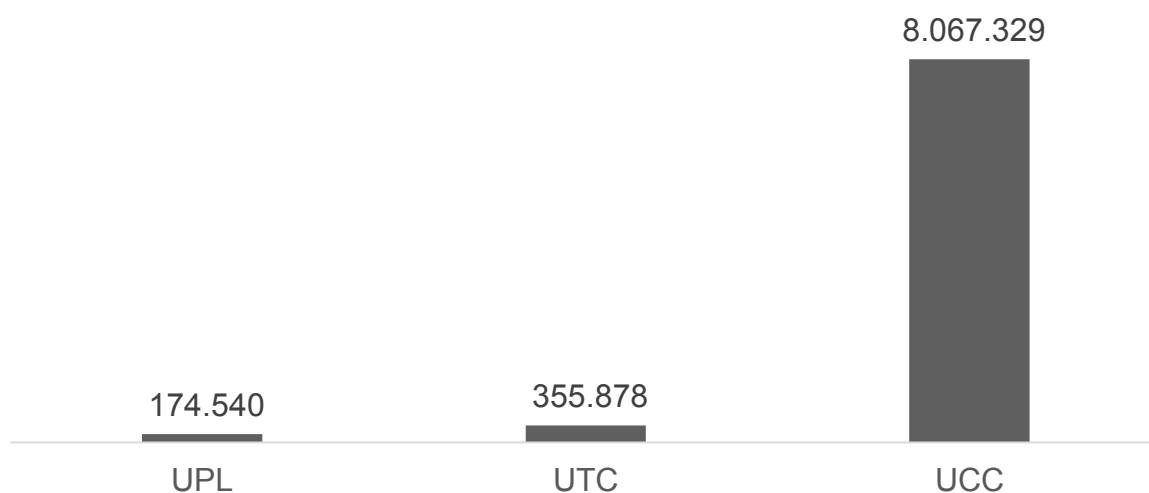


Figura 18 – Gráfico da ARS gerada por tipo de sistema de produção.

4.7 Equivalente Populacional da Suinocultura

Segundo Moreira (2014), países como a França, Alemanha e Holanda adotam técnicas semelhantes ao “equivalente habitante” como parâmetro para a cobrança pelo uso da água. Ainda segundo a autora a Holanda adota a unidade de carga poluente e a Alemanha a unidade tóxica ou de toxicidade, que correspondem a um habitante equivalente, entendida como Equivalente Habitante ou Equivalente Populacional, que representa a poluição “teoricamente” gerada por um habitante em um dia.

De acordo com Zenatti, Costa, Hermes, Vilvert e Dias (2015), uma tonelada de raízes de mandioca processada em uma fecularia tem um Equivalente Populacional de 200 a 300 habitantes, enquanto em uma casa de farinha, 150 a 250 habitantes. SEZERINO; BENTO; DECEZARO; MAGRI; PHILIPPI (2015) inferem que dentre as variáveis utilizadas em projetos de tratamento de água, para pequenas vazões, inferiores a 10000 l d^{-1} , o Equivalente Populacional é de 66 habitantes, considerando 150 l d^{-1} *per capita*. CANCELIER; SOTO; COSTELLI; LOPES; SILVA (2015) citam também o Equivalente Populacional como parâmetro para determinação da capacidade poluente dos dejetos suínos e citam Diesel, Miranda e Perdomo (2010) que comparam tal capacidade poluente com outras espécies, concluindo ser muito superior. O Equivalente populacional do suíno, de acordo com FIESC (1999) , *apud* Hadlich e Scheibe (2007), varia de 0,6 (para leitões) a 8,3 (para matrizes com leitões), equivalendo-se a uma média de 3,5 pessoas, para suínos de peso em torno de 61 kg.

Na Figura 19 está apresentado o gráfico com as cargas estimadas de DBO_5 , tanto da suinocultura, quanto da população residente na AE.

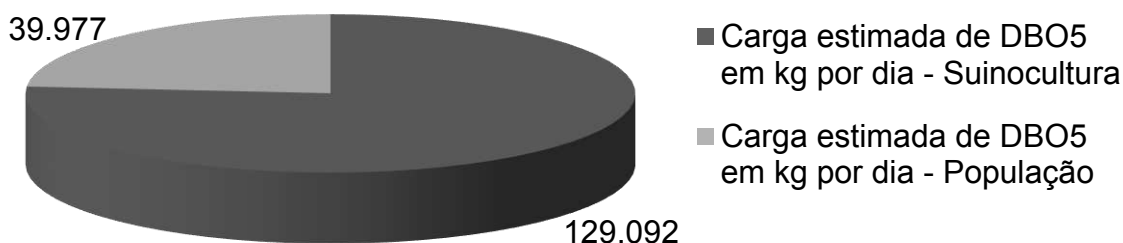


Figura 19 – Cargas estimadas de DBO_5 da suinocultura e população residente na área de estudo.

O EP calculado para o presente estudo está apresentado no gráfico da Figura 20.

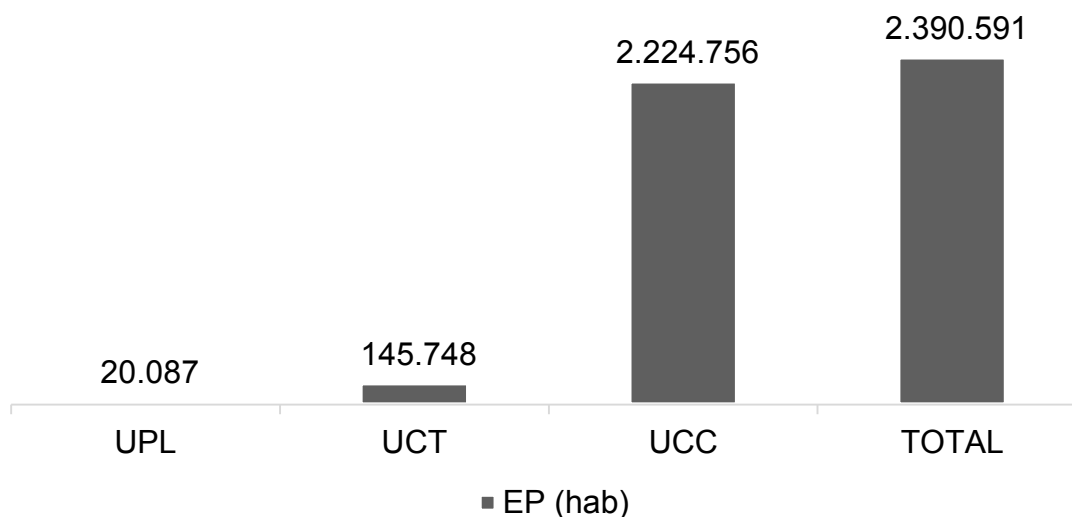


Figura 20 – Equivalente Populacional da suinocultura na área de estudo.

Analisando o gráfico apresentado na Figura 20, fica evidente o potencial poluidor da suinocultura na AE (2.390.591 habitantes), quando comparado com a população residente (740.311 habitantes), ou seja, a carga de DBO₅ da suinocultura corresponde a cerca de 3,3 vezes a carga de DBO₅ da população residente na AE. O EP da suinocultura da AE permite visualizar um panorama no qual se pode admitir a superioridade da carga de resíduos gerados pela suinocultura, quando comparada com a carga de resíduos gerados pela população residente na AE, levando-se em consideração a carga orgânica em termos de DBO₅. Neste sentido, o EP pode ser um bom indicador capaz de subsidiar a gestão pública nas tomadas de decisão.

4.8 Variáveis de qualidade da água

4.8.1 Estações de monitoramento do Projeto Águas de Minas

Na Figura 21 está apresentado o mapa com a espacialização das estações de monitoramento do PAM, adotadas como unidades amostrais das variáveis de

qualidade da água, para efeito deste estudo. No referido mapa, está apresentado também a rede hidrográfica dos principais corpos hídricos da bacia da AE.

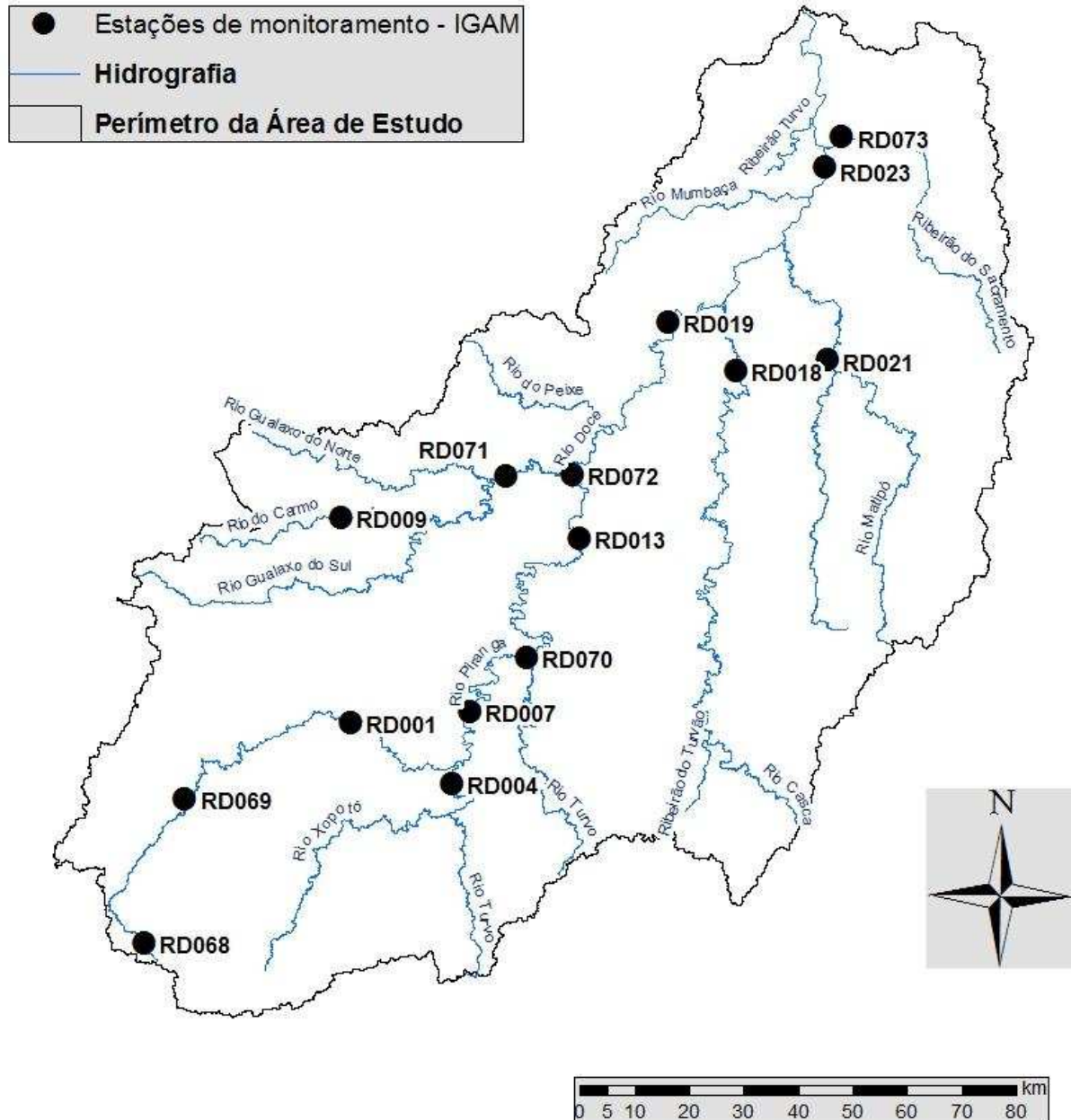


Figura 21 – Espacialização das estações de monitoramento do PAM.

4.8.2. Sub Bacias Hidrográficas da área de estudo

Na Figura 22 está apresentado o mapa com as quinze sub bacias espacializadas, às quais foram identificadas com o mesmo código das estações de monitoramento do PAM. Apresenta também, para ilustrar melhor, o mapa do MDE da

AE com as estações de monitoramento do PAM e a rede hidrográfica com os principais rios.

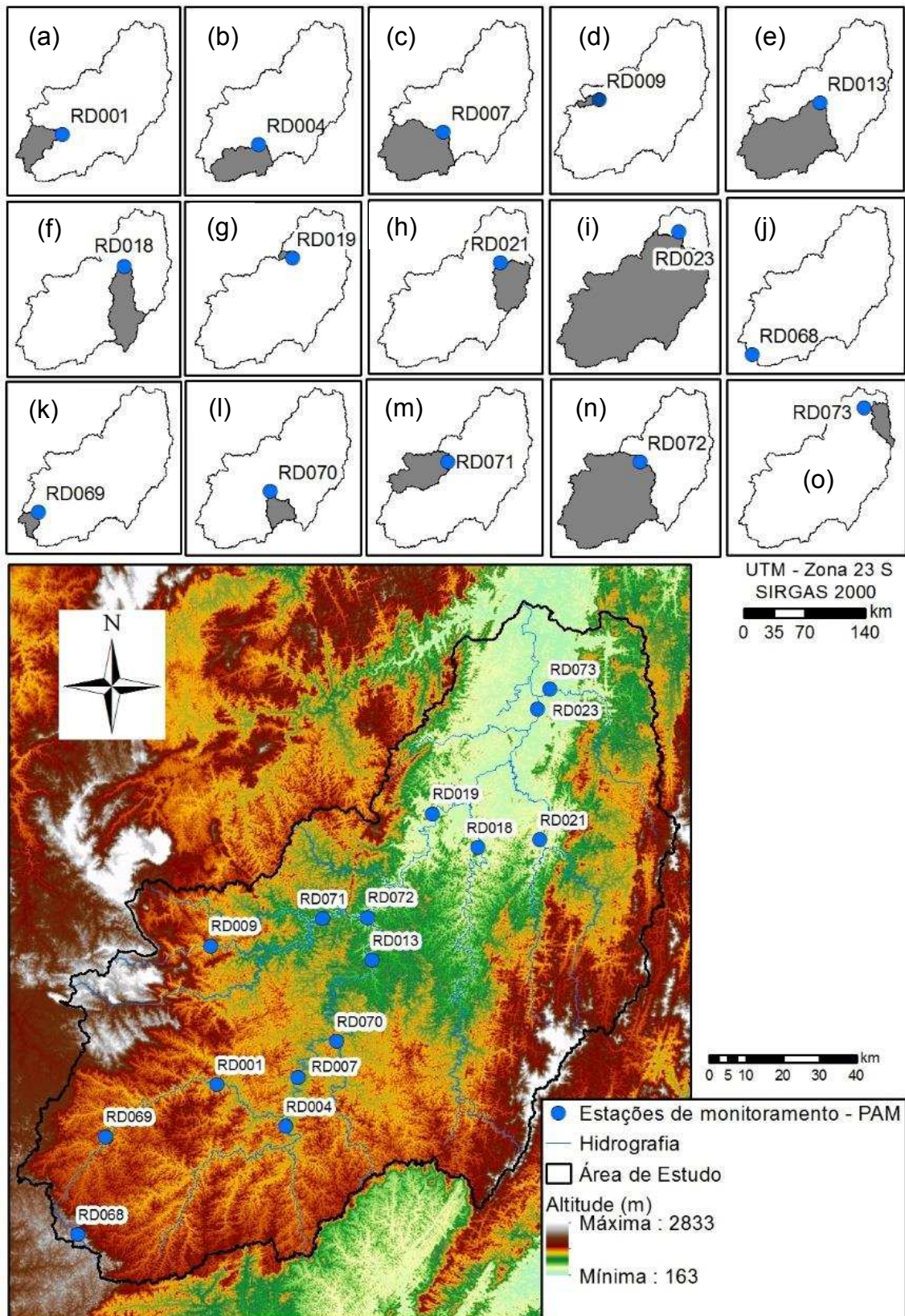
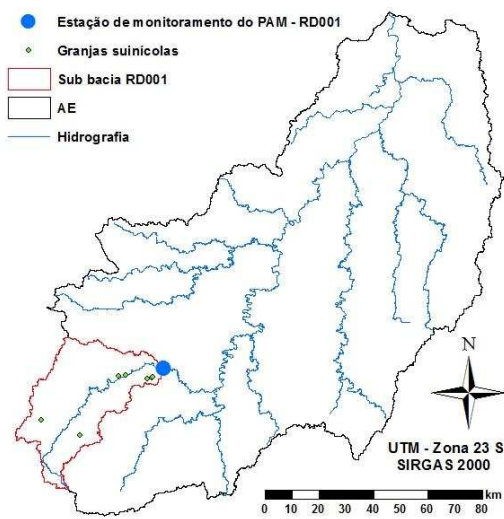
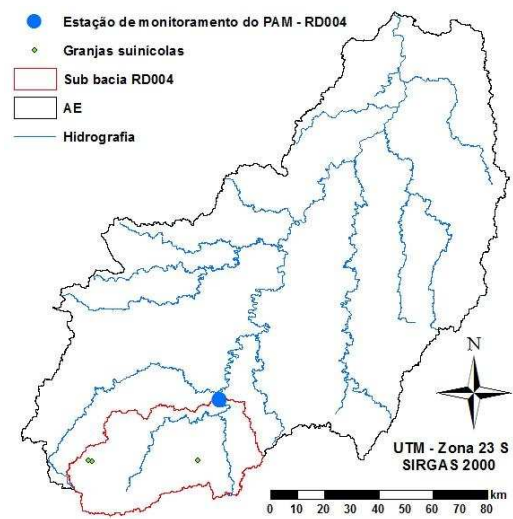


Figura 22 – Mapa das sub bacias de contribuição da área de estudo.

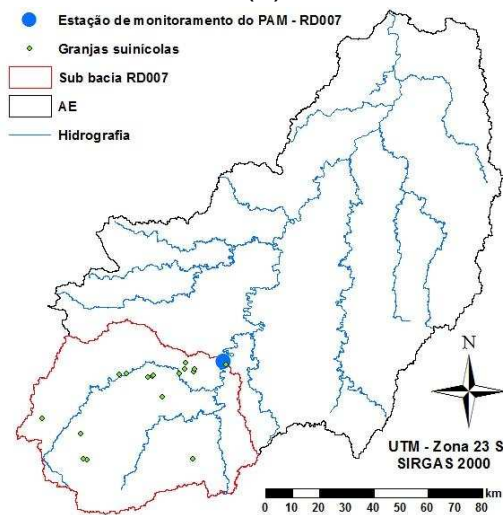
A qualidade da água de um corpo hídrico pode ser mensurada por meio de indicadores calculados a partir das variáveis de natureza química, física e microbiológica. Partindo deste princípio e levando-se em consideração as informações e dados disponibilizados pelo PAM/IGAM, foram adotadas as estações de monitoramento, às quais serviram como marco para a geração das referidas sub bacias hidrográficas da AE. Nas Figuras 23 (a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k, l, m, n, o), estão apresentados os mapas das sub bacias com as granjas suínícolas especializadas e referenciadas na AE.



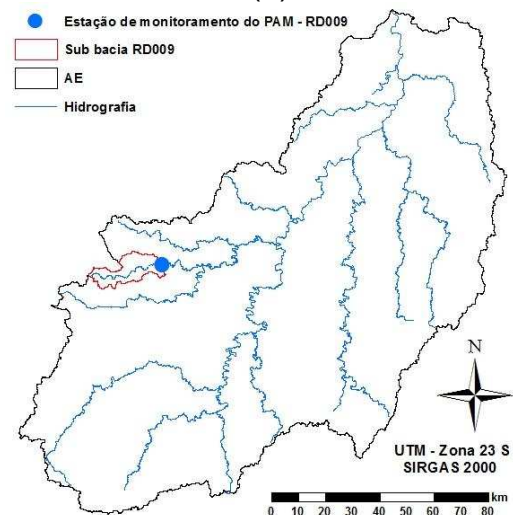
(a)



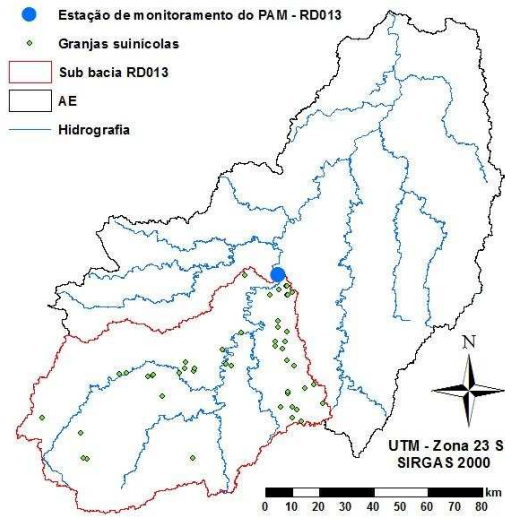
(b)



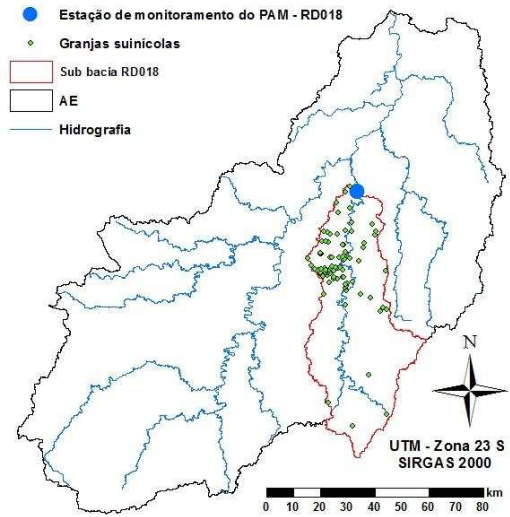
(c)



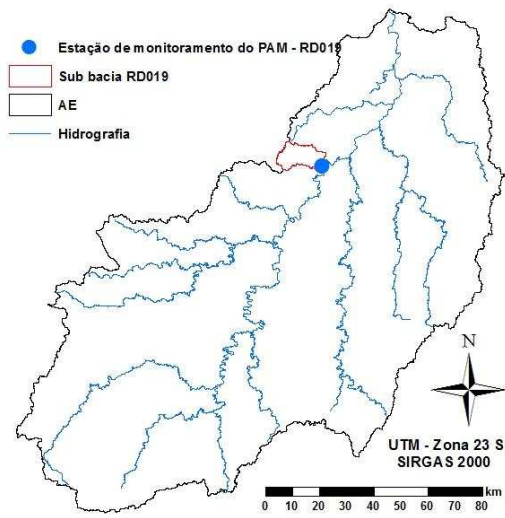
(d)



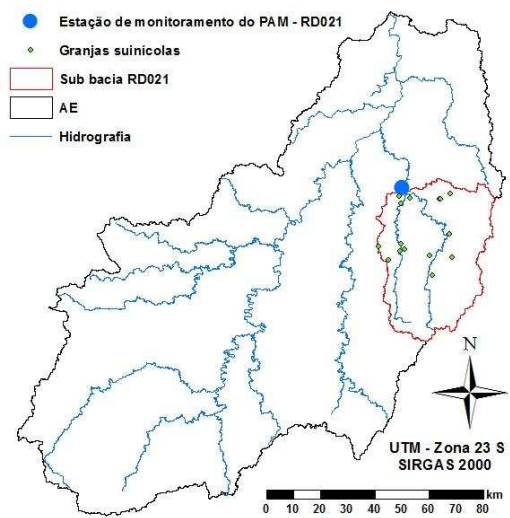
(e)



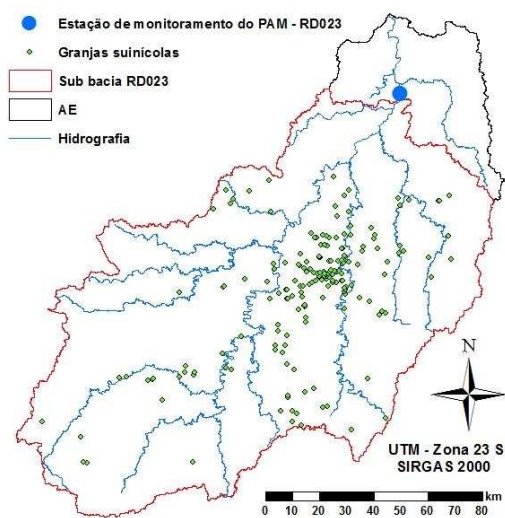
(f)



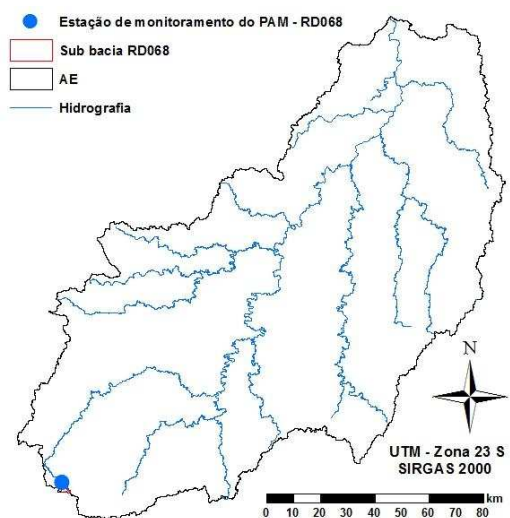
(g)



(h)



(i)



(j)

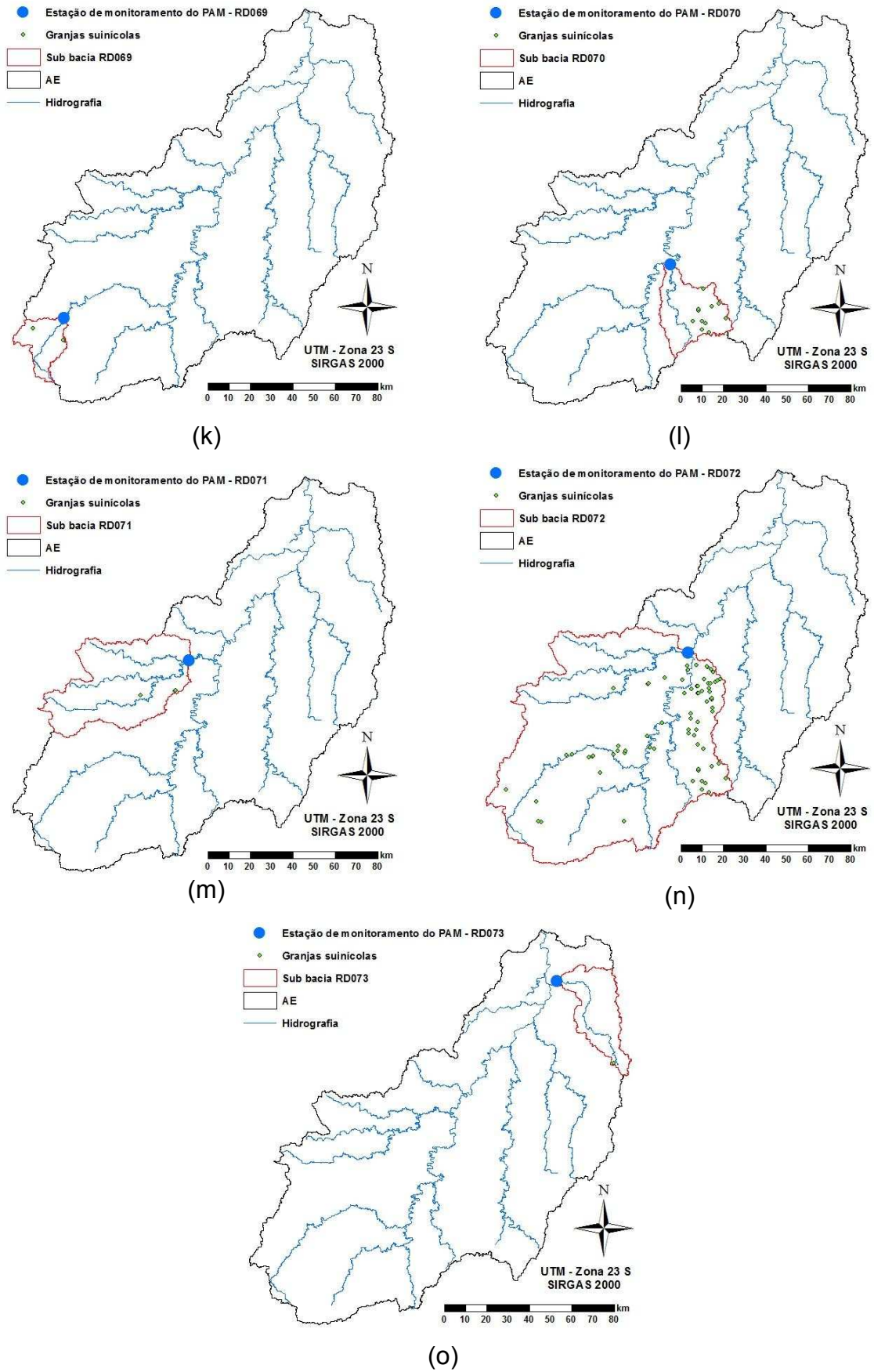


Figura 23 – Mapas das sub bacias com a espacialização das granjas suinícolas.

Na Tabela 23 estão apresentados os dados do rebanho suinícola com o volume de ARS e área de cada sub bacia.

Tabela 23 – Sub bacias e suas granjas suinícolas

Ordem	Sub Bacia	Área (km ²)	Granjas (un)	Matrizes (un)	Suínos (un)	ARS (l d ⁻¹)	Densidade Suínos km ⁻²
1	RD001	1.392,16	7	1.837	19.415	212.173,5	13,94
2	RD004	2.049,76	3	144	1.193	16.632,0	0,58
3	RD007	4.253,26	17	4.120	38.446	475.860,0	9,03
4	RD009	193,04	0	0	0	0	0
5	RD013	6.220,21	47	13.122	147.862	1.617.375,8	23,77
6	RD018	2.399,90	85	39.178	468.455	4.516.531,0	195,19
7	RD019	125,98	0	0	0	0	0
8	RD021	1.894,37	16	5.669	50.486	654.769,5	26,65
9	RD023	15.921,58	185	72.999	845.370	8.582.153,3	53,09
10	RD068	8,28	0	0	0	0	0
11	RD069	438,89	2	57	337	6.583,5	0,76
12	RD070	842,73	11	2.227	16.395	304.434,5	19,45
13	RD071	2.142,62	3	117	9.839	107.966,3	4,59
14	RD072	8.881,72	57	25.887	298.167	3.102.029,3	33,57
15	RD073	847,41	1	135	1.322	15.592,5	1,56
	AE	17.991,93	186	73.134	846.692	8.597.745,0	47,05

ARS – Água Residuária Suinícola

Os dados da Tabela 23 permitem inferir sobre a ocorrência de concentrações de suínos nas sub bacias RD018 e a RD023, com especial atenção para a RD018, uma vez que esta assume total independência das demais em relação à área de contribuição. Todo o *runoff* da sub bacia RD018 conflui para a estação de monitoramento RD018, podendo refletir bem a contribuição da suinocultura na carga residuária que chega nesta. A sub bacia RD073, apesar da baixa densidade, também apresenta independência tanto quanto a RD018. As sub bacias RD009, RD019 e RD068, não possuem granjas suinícolas instaladas, portanto, isentam-se da contribuição com AR da suinocultura.

4.8.3 Tabulação dos dados

Segundo Sperling (2014) o poluente pode atingir um corpo hídrico de duas formas, a pontual e a difusa. A pontual ocorre de maneira bem definida no espaço, como o caso das granjas suinícolas que despejam suas AR, tratada ou não, diretamente no rio, córrego ou ribeirão. Na difusa o poluente eflui de maneira espaçada, distribuída ao longo de determinada extensão do corpo hídrico, neste caso, dificultando a identificação da fonte geradora. Este último caso se aplica bem aos estabelecimentos agropecuários com suinocultura, dentre suas atividades, que utilizam a AR tratada ou não como adubo orgânico nas culturas agrícolas (REBELLATTO, 2013).

As concentrações dos poluentes nas águas podem sofrer influências de diversos eventos meteorológicos, como a precipitação que altera o regime das vazões, tornando-se desta maneira difícil a tarefa de quantificação e identificação da fonte poluidora (BRITES; GASTALDINI, 2007; FRAGA, 2015).

A avaliação da carga poluente de um corpo hídrico deve ser feita mediante levantamento de campo com a coleta de amostras, análises laboratoriais e medições das vazões, no entanto, caso não haja disponibilidade ou condições para alguns levantamentos, pode ser feita a complementação com dados da literatura. Adotando esta linha de pensamento para este estudo, foram coletados dados disponibilizados pelo PAM/IGAM, IMA e ANA, tornando possível o cálculo das cargas diárias encontradas em cada uma das estações de monitoramento do PAM para o período estudado (FRAGA, 2015).

4.9 Análise estatística

4.9.1 Análise visual da espacialização da área de estudo

Para melhor visualização e espacialização dos dados resultantes da análise, foi gerado um mapa no qual é apresentada a AE com as estações de monitoramento válidas e excluídas e a área de abrangência da análise estatística. Para a construção do referido mapa, foram determinadas as coordenadas dos vértices dos polígonos de

cada sub bacia e o arquivo gerado foi importado para o R, que gerou o mapa apresentado na Figura 24.

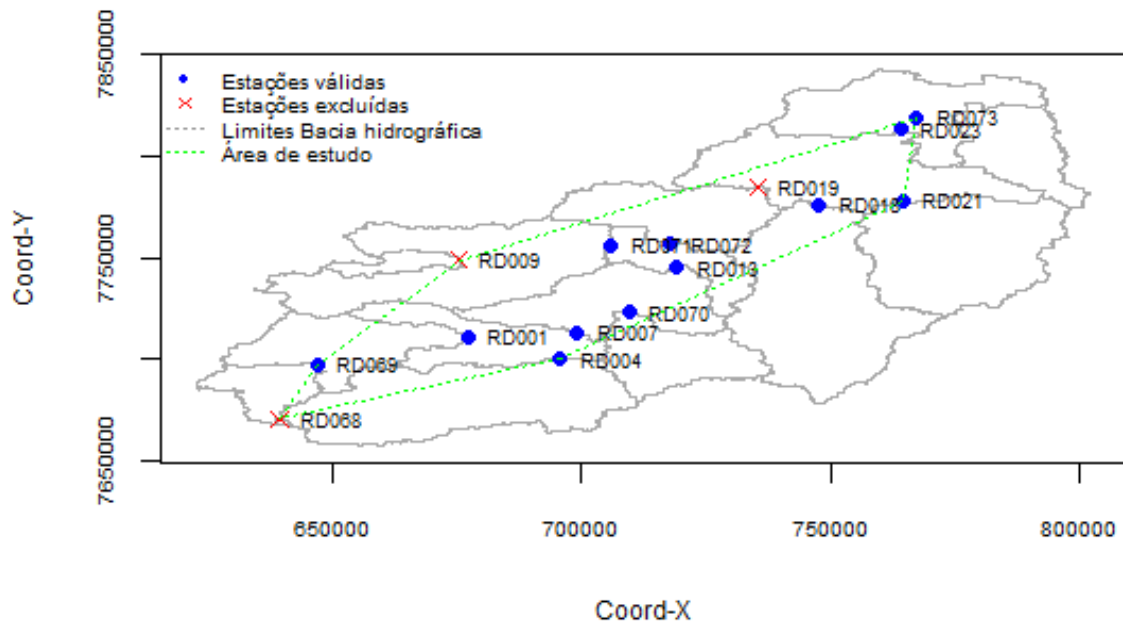
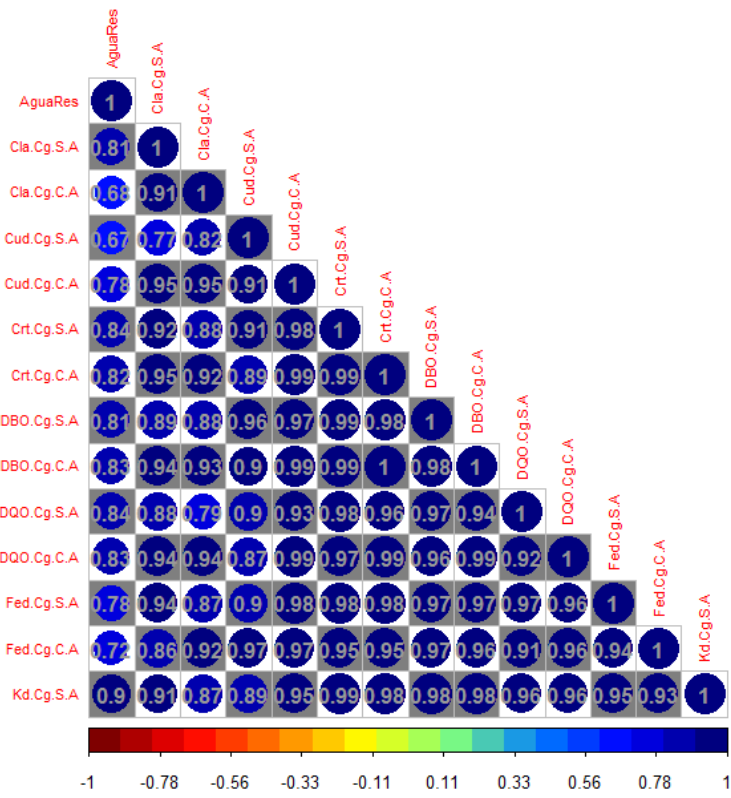


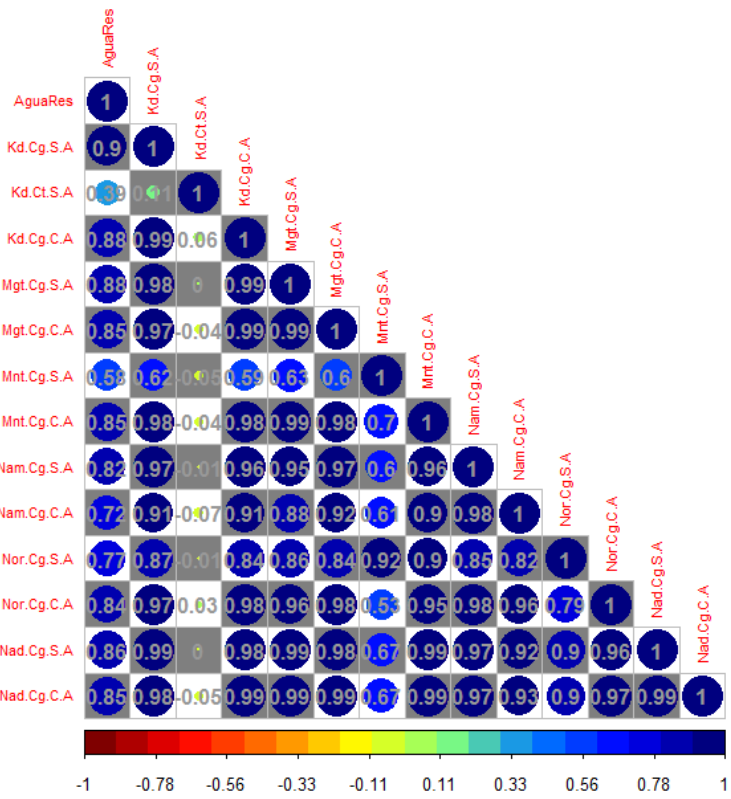
Figura 24 – Área de estudo com as estações de monitoramento válidas (Coord-Y: coordenadas Y e Coord-X: coordenadas X).

4.9.2 Análise preliminar pelo método da matriz de correlação

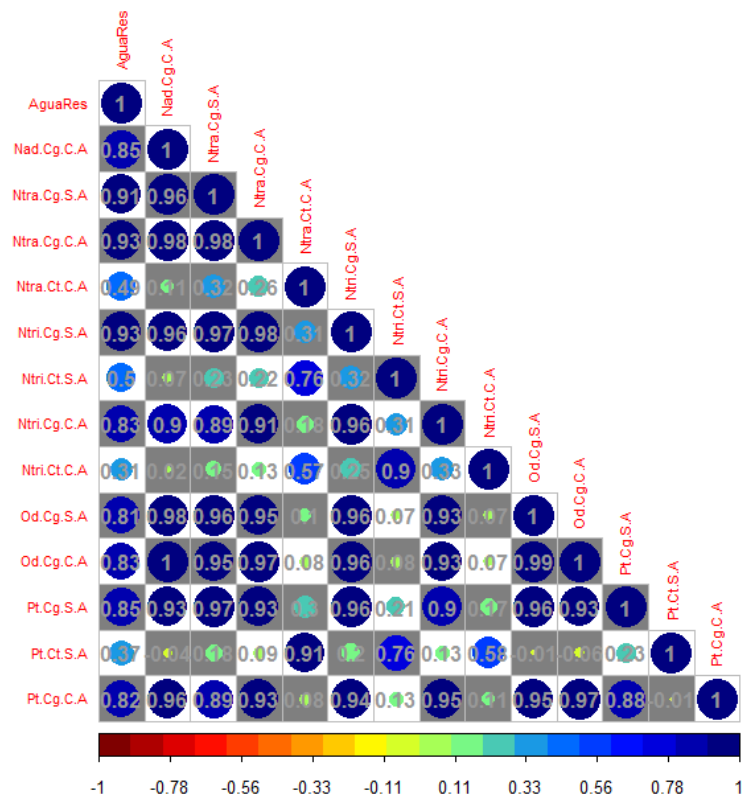
Nas figuras 25 (a, b, c, d), estão apresentadas as quatro etapas da matriz de correlação. Nas referidas figuras observa-se que o primeiro item de cada uma é a AR. Apesar do número de matrizes não aparecer nas figuras, este apresentou “r +1” em relação à AR. A escala colorida, facilita a interpretação da matriz, com a identificação mais rápida dos valores de “r” resultantes da análise.



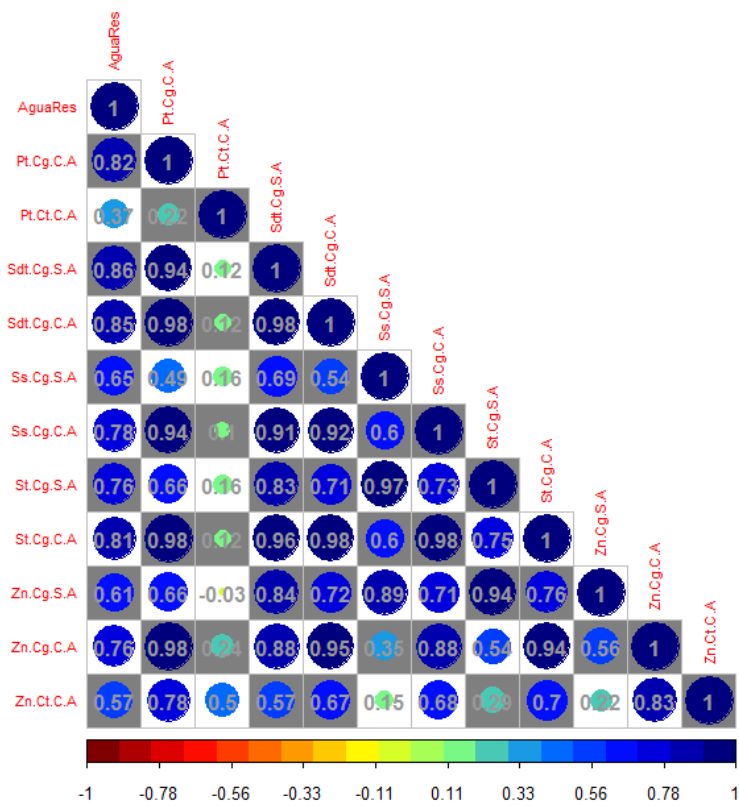
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 25 – Representação gráfica da matriz de correlação.

4.9.3 Random Forest

A aplicação do método *Random Forest* ocorreu em quatro estágios distintos, nos quais, as quarenta e oito variáveis previamente selecionadas foram submetidas ao processo de escolha aleatória daquelas variáveis que melhor explicaram o volume da ARS que foi estimada. Para cada estágio, foram sendo formadas novas árvores aleatórias com ramificações distintas, compostas aleatoriamente por variáveis OOB. O método calcula o erro de acordo com o número de árvores que devem ser formadas, mediante a abordagem padrão do procedimento de análise baseado no método *Random Forest* implementado no pacote *randomForest* (LIAW; WIENER, 2002), disponível para o ambiente R (TEAM, 2015).

A partir do segundo estágio no *Random Forest* gera-se o gráfico do ajuste do modelo de regressão, com o respectivo coeficiente de determinação, no qual são apresentados os valores dos volumes estimados da ARS, plotados, com os valores preditos, de maneira a facilitar a interpretação da evolução da análise e entender o quanto cada conjunto de variáveis pode, considerando o EOOB, explicar o volume da ARS estimada.

Na Figura 26 (a, b, c, d) estão apresentados, os relatórios com o tipo de análise (regressão), com o número sugerido de variáveis por amostra para o *start*, para o menor erro de EOOB, a média quadrática do erro e o quanto em percentagem o modelo é explicativo, para os estágios de 1 a 4.

Type of random forest: regression Number of trees: 500 No. of variables tried at each split: 16 Mean of squared residuals: 4.316418e+12 % Var explained: 30.98	Type of random forest: regression Number of trees: 50 No. of variables tried at each split: 7 Mean of squared residuals: 3.681299e+12 % Var explained: 41.13
--	--

(a)

(b)

Type of random forest: regression Number of trees: 15 No. of variables tried at each split: 4 Mean of squared residuals: 2.67742e+12 % Var explained: 57.19	Type of random forest: regression Number of trees: 30 No. of variables tried at each split: 3 Mean of squared residuals: 2.30729e+12 % Var explained: 63.1
---	--

(c)

(d)

Figura 26 – Relatórios gerados em cada estágio no *Random Forest*.

Na Figura 27 estão apresentados os gráficos com o número de árvores (*trees*) para o menor erro (*Error*) (27a) e os gráficos com o número de variáveis (m_{try} – parâmetro usado no método para eleger o número de variáveis testadas em cada divisão) para o menor EOOB (*OOB Error*) calculado (27b), para os estágios de 2, 3 e 4.

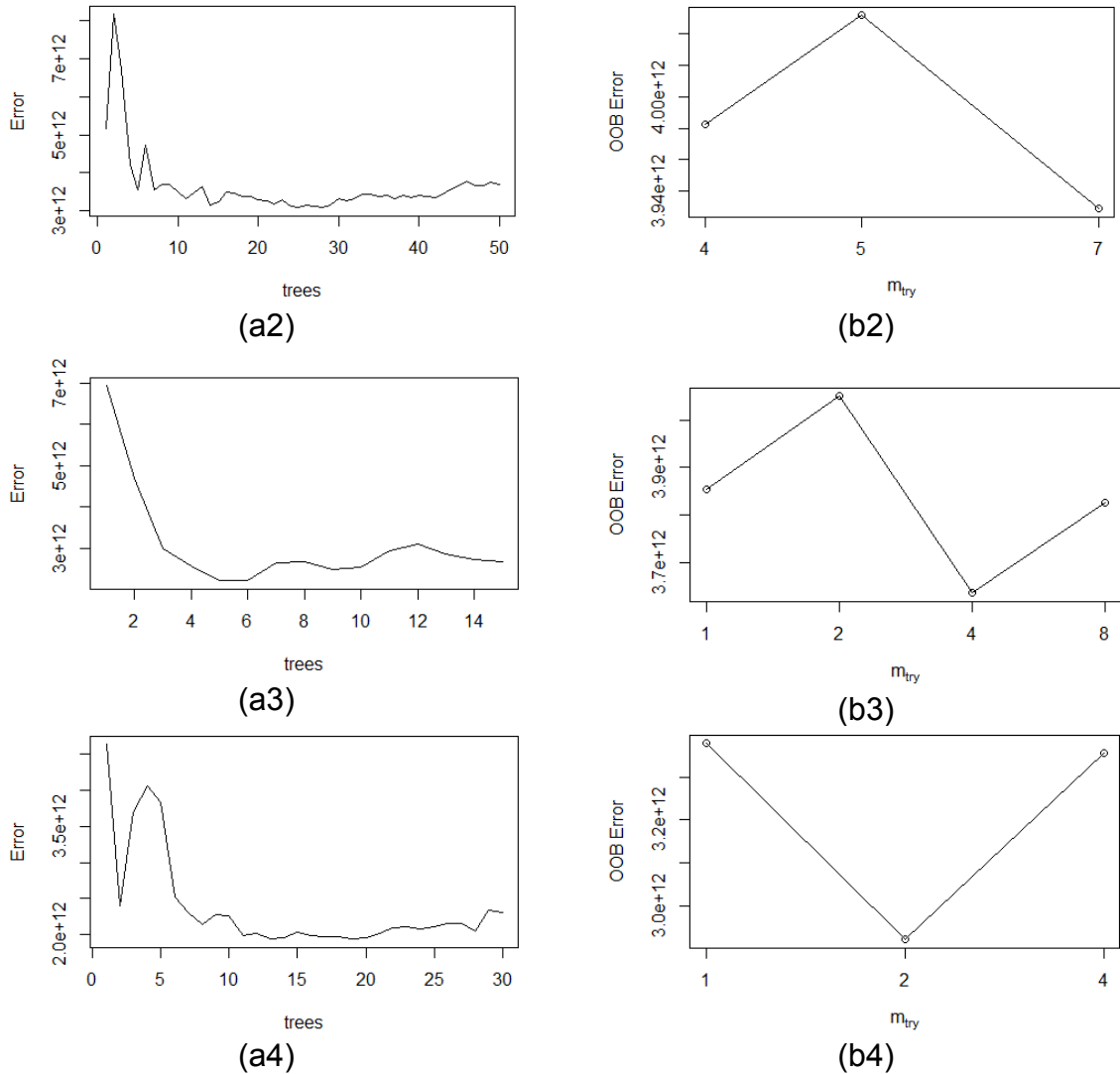
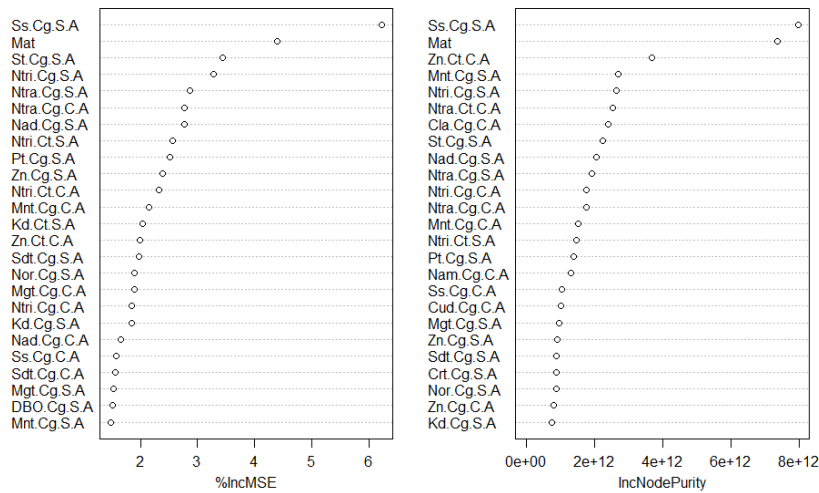
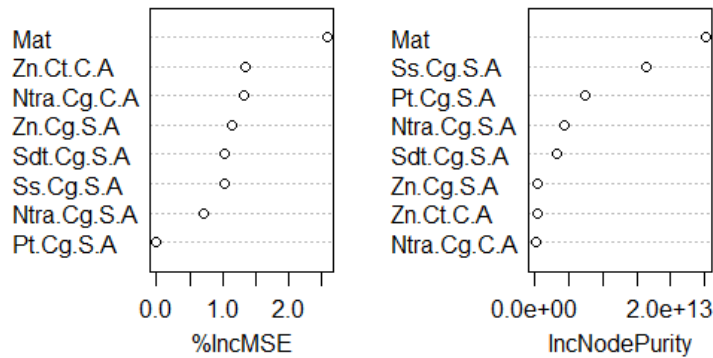


Figura 27 – Gráficos com os erros calculados para os estágios de 2 a 4.

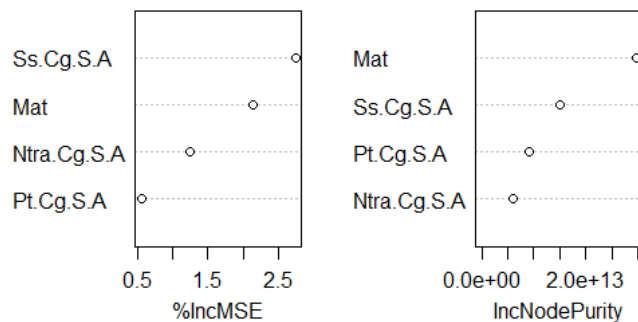
Na Figura 28 (a, b, c) estão apresentados os *rankings* das variáveis classificadas pela importância na análise, para os estágios de 2, 3 e 4.



(a)



(b)

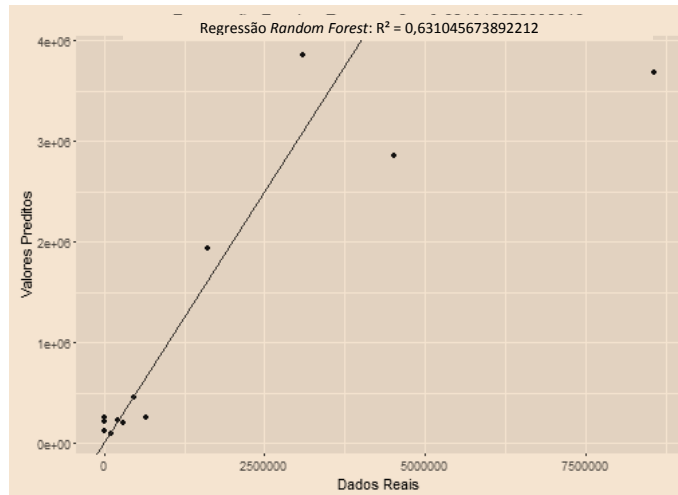


(c)

%IncMSE – parâmetro adotado na medição do incremento do erro médio quadrático em porcentagem para classificar a variável;
 IncNodePurity – parâmetro adotado na medição do grau de pureza da variável classificada.

Figura 28 – Gráficos com o *ranking* das variáveis classificadas pelo *Random Forest* nos estágios 2 a 4. As definições das variáveis podem ser conferidas nas tabelas 13 e 14.

Na Figura 29 estão apresentados os gráficos com o ajuste do modelo de regressão do *Random Forest* e os valores calculados dos coeficientes de



(c)

Figura 29 – Modelo de regressão do *Random Forest* ajustado, para os estágios de 2 a 4, com dados estimados (reais) e os valores preditos da Água Residuária Suinícola (ARS).

4.9.4 Análise espacial das variáveis selecionadas pelo *Random Forest*

Dentre as variáveis de qualidade das águas superficiais adotadas pelo PAM, neste estudo ficou evidenciado, pelos resultados das análises, que existem indícios de correlação entre algumas destas variáveis e o volume da ARS proveniente das granjas suinícolas instaladas na AE. O número de matrizes suínas foi incorporado aos dados das variáveis de qualidade da água que foram analisados pelo método *Random Forest* com o objetivo de validar os resultados encontrados, uma vez que a ARS foi estimada a com base no número de suínos existentes nas granjas da AE. Assim, no quarto estágio da análise pelo *Random Forest*, o número de matrizes aparece no topo do gráfico, confirmando a sua relação direta com a ARS, o que é bastante lógico. Portanto, para efeito de consideração das variáveis de qualidade da água, as matrizes suínas serão desconsideradas na presente discussão.

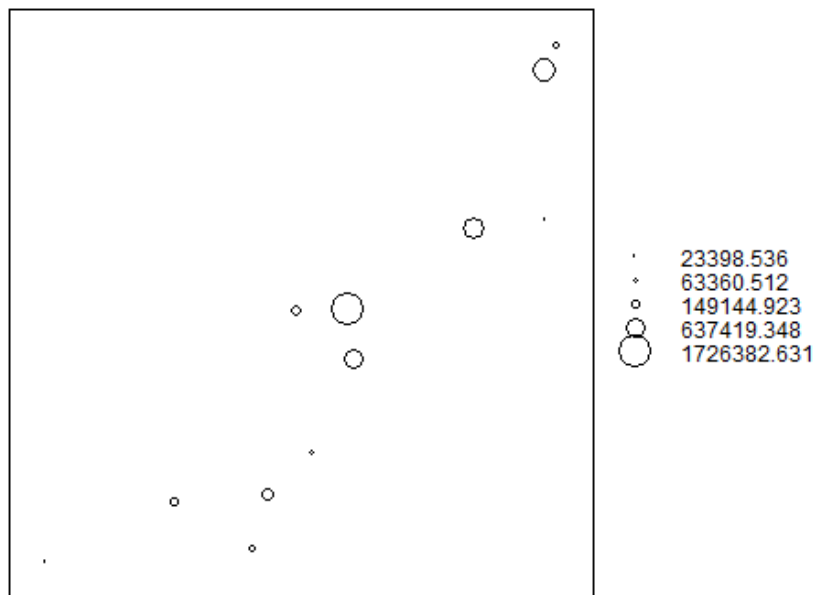
Diversos estudos apontam para o risco de contaminação ambiental pelos resíduos orgânicos gerados pela atividade suinícola, dentre outras espécies, a partir do desenvolvimento da atividade em escala industrial. Com o aumento da produção de dejetos e a falta de tratamento, o risco da contaminação dos mananciais hídricos tornou-se evidente, principalmente em regiões de concentração e intensa produção (PALHARES; CALIJURI, 2007; SOUZA; CARVALHO; CAMPOS; MATOS; FERREIRA, 2009). Segundo Palhares e Calijuri (2007), a suinocultura pode causar

impactos em todos os setores, atividades e compartimentos citados na legislação, justificando investigar de maneira profunda as interações desta atividade com o ambiente.

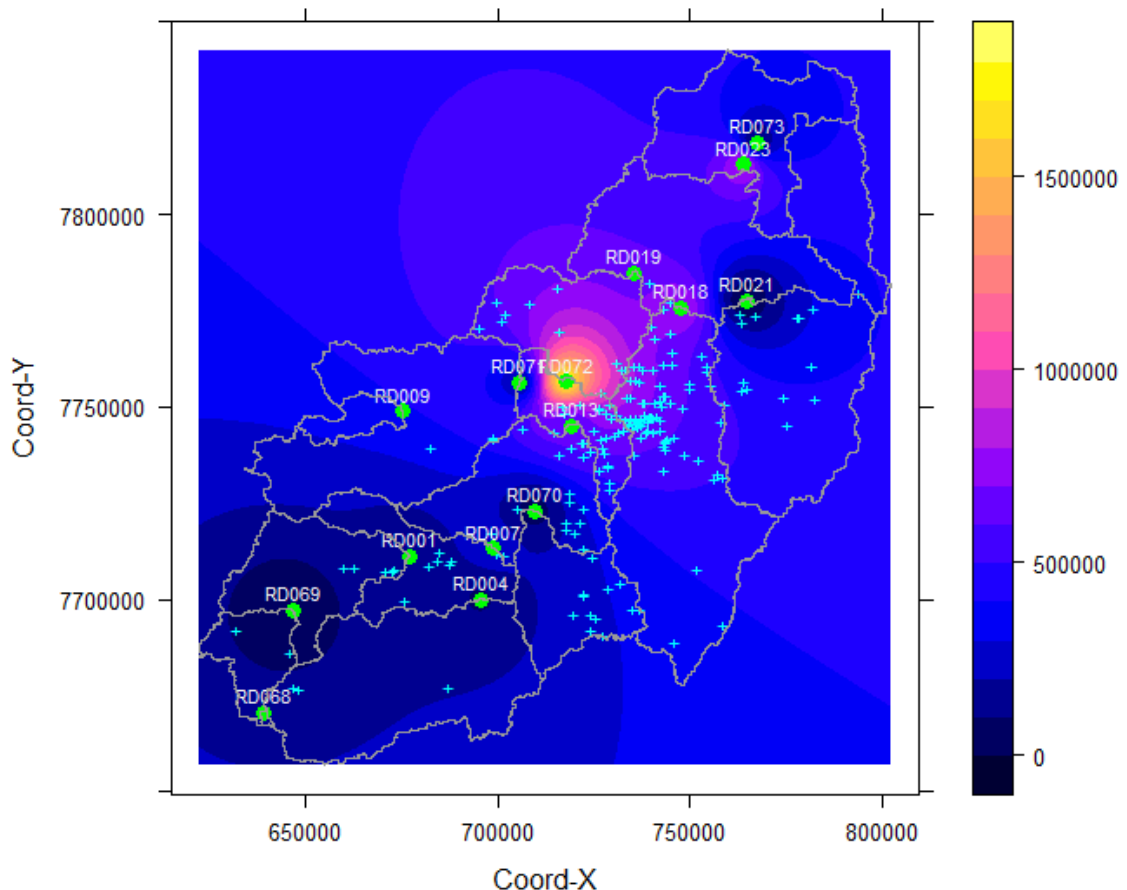
Segundo ANA (2016), o enquadramento dos corpos de água é um instrumento previsto na PNRH (Lei nº 9.433/1997), que estabelece metas de qualidade da água para atender aos usos preponderantes. O rio Doce ainda não tem enquadramento aprovado pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos. O que existe é uma proposta que foi apresentada no Plano Integrado de Recursos Hídricos-Doce, à qual ainda encontra-se em estudo. No entanto para efeito dos estudos atuais, enquanto não é definido o enquadramento, deverá ser adotado para as águas superficiais a Classe 2, conforme Resolução CNRH nº 91/2008. No mesmo documento, fica estabelecido, ainda, que a legislação vigente, Resolução CONAMA nº 357/2005 e Deliberação Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01/2008, servem de base para o estabelecimento dos limites para as águas de Classe 2. No Apêndice B estão apresentados os referidos limites (ANA, 2016a).

Para a análise espacial e exploratória das variáveis que foram classificadas pelo *Random Forest*, adotou-se a estratégia da interpolação dos dados para a elaboração de mapas nos quais são mostradas as áreas de abrangência de cada uma das variáveis de qualidade da água que estejam correlacionados com o volume da ARS. No quarto estágio o *Random Forest* classificou as variáveis sólidos em suspensão, fósforo total e nitrato, todas no período seco, com as médias das cargas em kg d⁻¹.

Na Figura 30 (a e b) estão apresentados o gráfico da análise exploratória e o mapa da espacialização da variável Ss.Cg.S.A, que refere-se à média da carga em kg d⁻¹ dos sólidos em suspensão no período seco, à qual aparece no topo do gráfico indicando-a como sendo a de maior importância (vide Figura 28c) na análise utilizando o *Random Forest*. Tal variável sugere a presença de material suspenso em maior quantidade, principalmente nas sub bacias RD072 e RD013, seguidas da RD023 e RD018. Segundo Sperling (2014) sólidos em suspensão têm como fonte águas residuárias urbanas e industriais. Matos (2006) *apud* Souza, Carvalho, Campos, Matos e Ferreira (2009), refere-se a resíduos animais como agroindustriais.



(a – média da carga em kg d^{-1} de sólidos em suspensão no período seco Ss.Cg.S.A).



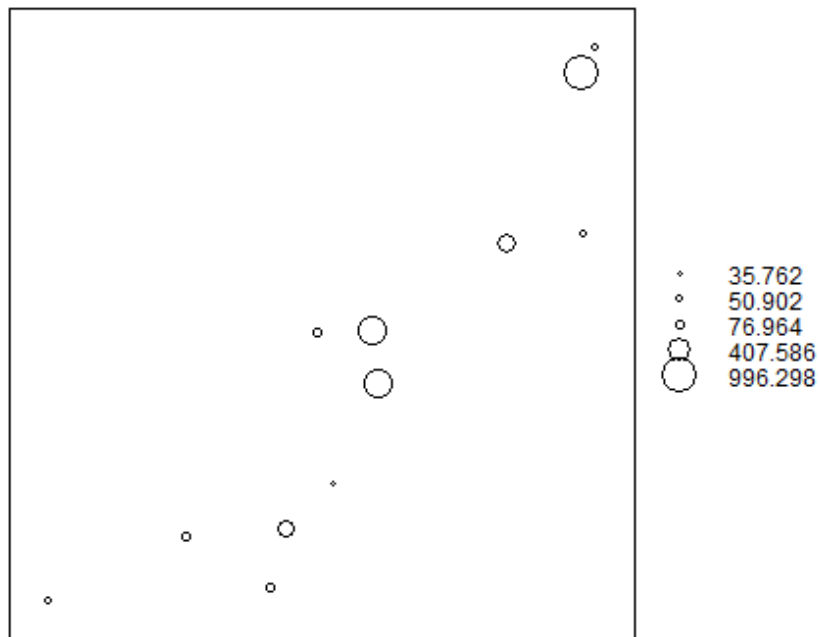
(b – média da carga em kg d^{-1} de sólidos em suspensão no período seco Ss.Cg.S.A. Coord-Y: coordenada Y e Coord-X: Coordenada X).

Figura 30 - Mapa interpolado via IDW e gráfico da análise exploratória da variável de qualidade da água classificada pelo *Random Forest* no quarto estágio.

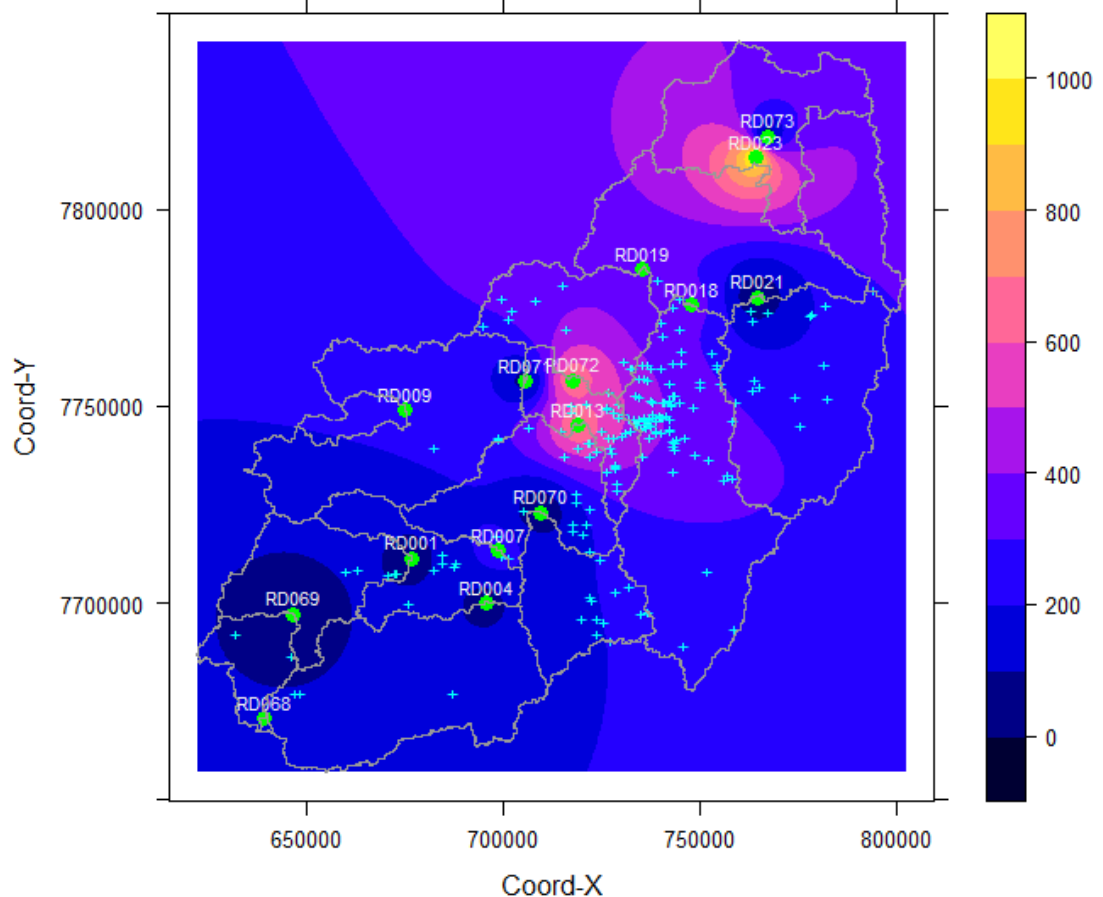
Hadlich (2004), infere que resíduos e efluentes gerados em confinamentos animais atingem a rede de drenagem e incrementam o nível de sólidos suspensos, afetando a coloração da água, seja pelo resíduo sólido em si ou pelo estímulo à produção de algas decorrente do aumento de nutrientes na água. Segundo Pereira (2006), os resíduos suínos possuem elevada concentração de sólidos em suspensão, podendo representar potencial fonte de poluição.

Na Figura 31 (a e b) estão apresentados o gráfico da análise exploratória e o mapa da espacialização da variável Pt.Cg.S.A que refere-se à média de carga em kg d^{-1} de fósforo total no período seco, à qual aparece em segundo lugar no gráfico de importância (vide Figura 28c). O fósforo está entre os principais componentes poluentes dos dejetos suínos (PEREIRA, 2006; PALHARES; CALIJURI, 2007).

Segundo Farage, Matos, Silva e Borges (2010), estudos realizados em corpos hídricos por Rodríguez (2001), Stacciarini (2002) e Cruz (2003) revelaram maiores concentrações de fósforo em períodos de estiagem, contrariando seus resultados e os encontrados por Barros (2008) para os rios Pomba e o Turvo Sujo, respectivamente. Às altas concentrações, no período seco, os autores atribuíram a baixa vazão, enquanto para o período chuvoso, o *runoff* das áreas urbanas e rurais, que proporcionaram o carreamento de excrementos animais e outros materiais orgânicos para o leito dos corpos de água, foi possivelmente o responsável pelas concentrações mais elevadas. Sperling (2014) atribui às águas residuárias, tanto urbanas, quanto industriais, a condição de fonte de fósforo para a poluição das águas.



(a - média da carga em kg d^{-1} de fósforo total no período seco Pt.Cg.S.A).

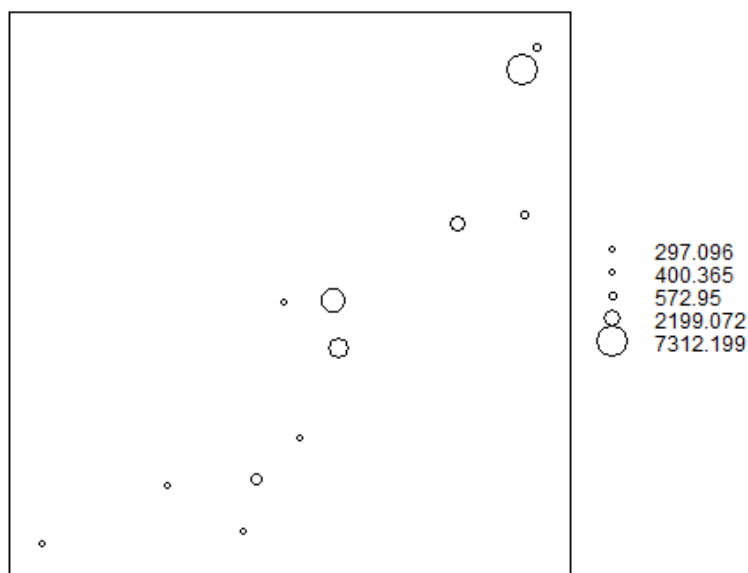


(b - média da carga em kg d^{-1} de fósforo total no período seco Pt.Cg.S.A. Coord-Y: coordenada Y e Coord-X: Coordenada X).

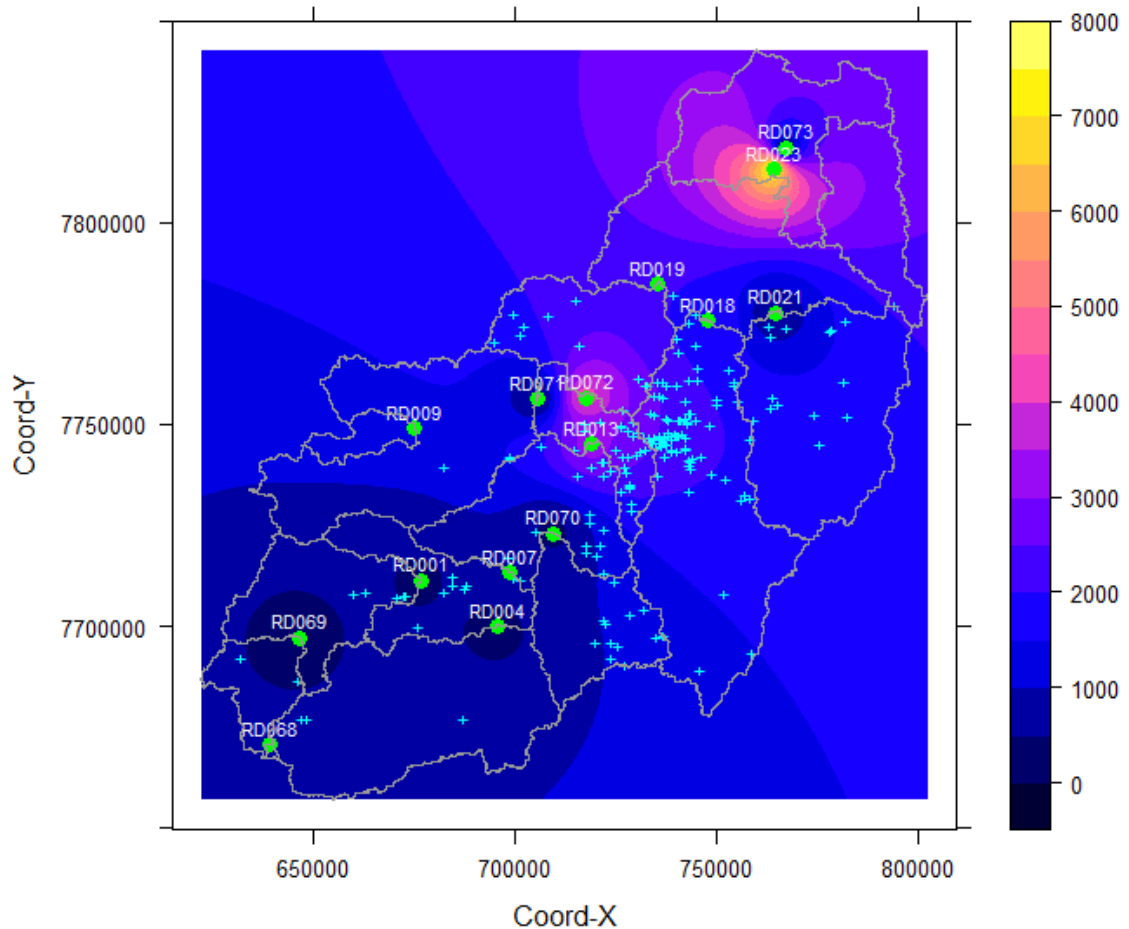
Figura 31 - Mapa interpolado via IDW e gráfico da análise exploratória da variável de qualidade da água classificada pelo *Random Forest* no quarto estágio.

Na Figura 32 (a e b) estão apresentados o gráfico da análise exploratória e o mapa da espacialização da variável da variável Ntra.Cg.S.A que refere-se à média da carga em kg d^{-1} de nitrato no período seco. Esta aparece no gráfico de importância em terceiro lugar (vide Figura 28c). De acordo com Pereira (2006), se ocorrer o lançamento direto de resíduos suínos, sem o devido tratamento, pode ocorrer, dentre outros fatores, a contaminação da água potável com amônia e nitratos. A mesma autora infere, ainda, que a prática da fertirrigação, deve ser bem manejada, caso contrário, pode incorrer no acúmulo de sais e nitratos, além do sódio e o fósforo no solo, podendo vir a ser transportado para os cursos de água pelo escoamento superficial.

A maior parte da amônia presente na urina dos animais pode ser oxidada à nitrato a partir de processos de nitrificação (PALHARES; CALIJURI, 2007). Os dejetos gerados por suínos, dentre outros animais, elevam os níveis de fosfatos e de nitratos nas águas do corpo receptor. Os nitratos que são a forma oxidada do nitrogênio amoniacal se formam em ambiente aquáticos bem oxigenados (HADLICH, 2004). Segundo Sperling (2014), os excrementos animais estão entre as fontes antropogênicas do nitrato.



(a – média da carga em kg d^{-1} de nitrato no período seco Ntra.Cg.S.A).



(b – média da carga em kg d^{-1} de nitrato no período seco Ntra.Cg.S.A. Coord-Y: coordenada Y e Coord-X: Coordenada X).

Figura 32 - Mapa interpolado via IDW e gráfico da análise exploratória da variável de qualidade da água classificada pelo *Random Forest* no quarto estágio.

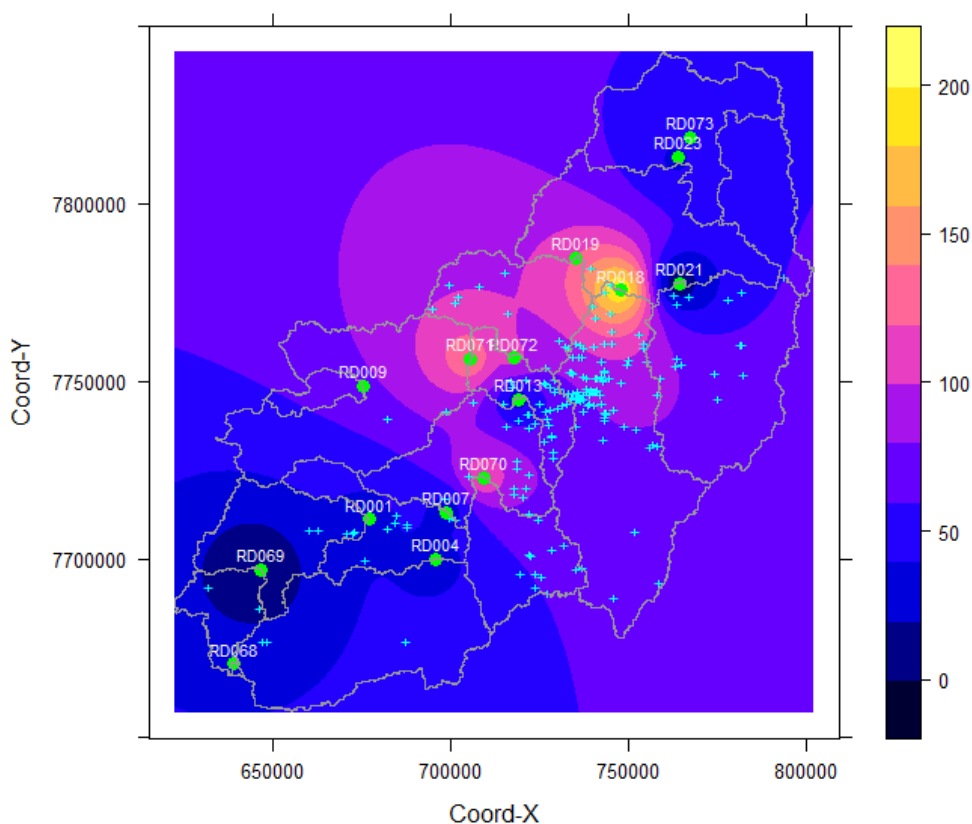
De acordo com a DN 01/2008 COPAM e CERH-MG (2008), os limites para sólidos em suspensão totais, fósforo total (ambiente lótico) e nitrato, são 100 mg l^{-1} , $0,1 \text{ mg l}^{-1}$ e 10 mg l^{-1} , respectivamente. Levando-se em consideração que para o cálculo da carga das referidas variáveis foi tomada por base a concentração, pode-se afirmar que para sólidos em suspensão totais, dentre as estações de monitoramento do PAM, na RD018 (192 mg l^{-1}), RD071 (136 mg l^{-1}) e RD072 (103 mg l^{-1}), ocorreram violações dos limites para o período analisado.

Os resultados observados, podem ter sido influenciados, principalmente, pelas águas residuárias urbanas e rurais. As sub bacias RD071 e RD072, têm as maiores densidades urbanas que estão localizadas mais próximas das estações de monitoramento.

A sub bacia RD071 tem os municípios de Mariana (45 hab km⁻²) (vide Tabela 17), Ouro Preto (56 hab km⁻²) e Barra Longa (16 hab km⁻²), que, apesar de não ser tão denso, está sobre a estação.

A sub bacias RD072 tem o município de Ponte Nova (122 hab km⁻²) (vide Tabela 17) mais próximo, com a segunda maior densidade populacional dos municípios da AE. À montante da estação RD072, está a estação RD013 localizada imediatamente após a sede municipal de Ponte Nova, porém, esta apresentou concentração de sólidos em suspensão relativamente baixa (34 mg l⁻¹). É possível que tal discrepância tenha sido influenciada pelo acúmulo que ocorre na estação RD072, uma vez que esta encontra-se à jusante das demais e recebe a contribuição das sub bacias RD009 e RD071, nas quais encontram-se os municípios de Mariana e Ouro Preto, onde predomina a atividade de mineração.

Na RD018 existe a maior densidade suínola de todas as sub bacias (195 Suínos km⁻²) (vide Tabela 23). Na Figura 33 está apresentado o mapa com a espacialização da concentração de sólidos em suspensão, no qual fica confirmada a predominância desta variável na sub bacia RD018.



(Coord-Y: coordenada Y e Coord-X: Coordenada X).

Figura 33 – Mapa interpolado via IDW da concentração em mg l⁻¹ dos sólidos em suspensão no período seco (Ss.Ct.S.A).

Para a variável fósforo total a estação RD018 (0,129 mg l⁻¹) foi a única em que ocorreu violação de limite no período seco. Quanto ao nitrato, não ocorreu violação em nenhuma das estações, porém, vale salientar que as estações RD018 (0,957 mg l⁻¹) e a RD070 (0,981 mg l⁻¹), foram as que apresentaram maiores concentrações.

Tais resultados podem ter sido influenciados pelas contribuições de AR urbana e rural. Conforme já mencionado, a sub bacia RD018 tem a maior densidade suinícola.

Quanto à sub bacia RD070, tem, dentre os municípios, Viçosa (241 hab km⁻²) (vide Tabela 17), com a maior densidade populacional da AE, além de Cajuri (49 hab km⁻²) (vide Tabela 17), Coimbra (66 hab km⁻²) (vide Tabela 17) e Paula Cândido (35 hab km⁻²) (vide Tabela 17). Destaca-se que o curso do rio Turvo, é relativamente curto, quando comparado, por exemplo, com o Piranga, o que pode favorecer à chegada mais rápida da carga orgânica. Neste sentido, levando-se em consideração que no período seco ocorre menor *runoff*, pode-se admitir que o volume de AR da suinocultura possa estar contribuindo com as cargas de sólidos em suspensão, fósforo total e nitrato analisadas, principalmente na sub bacia RD018.

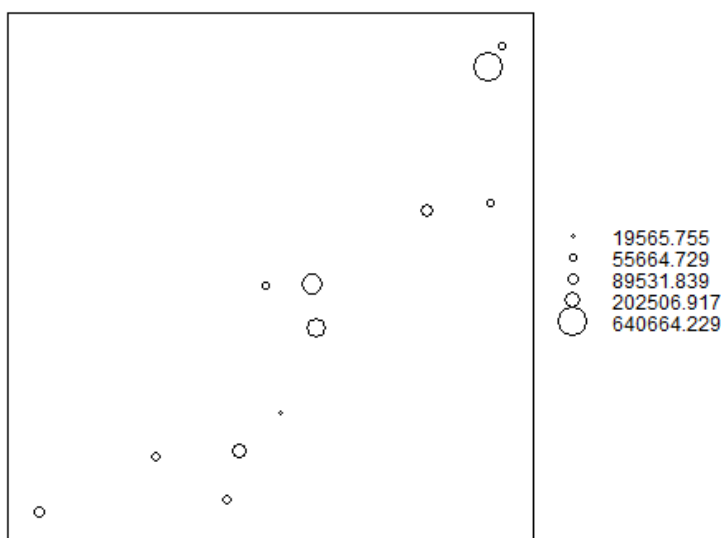
Nos estágios anteriores os valores do R² apresentaram-se mais baixos, com 0,5718 e 0,4113, no terceiro e no segundo estágios, respectivamente (MORIASI; ARNOLD; VAN LIEW; BINGNER; HARMEL; VEITH, 2007; CARDOSO, 2010; GUEDES; SILVA; ELESBON; RIBEIRO; MATOS; SOARES, 2012). Para uma avaliação mais abrangente, mesmo com o R² menor, levou-se em consideração outras variáveis que podem melhorar a análise e apresentar maiores subsídios para as conclusões do presente estudo.

Nas Figuras 34, 35, 36 e 37, estão apresentadas as variáveis que foram classificadas no terceiro estágio. Adotando-se o mesmo critério, de acordo com a DN 01/2008 COPAM e CERH-MG (2008), os limites estabelecidos para as variáveis sólidos dissolvidos totais e zinco total, são 500 mg l⁻¹ e 0,18 mg l⁻¹, respectivamente. Para estas variáveis, não ocorreu violação dos limites em nenhuma das estações.

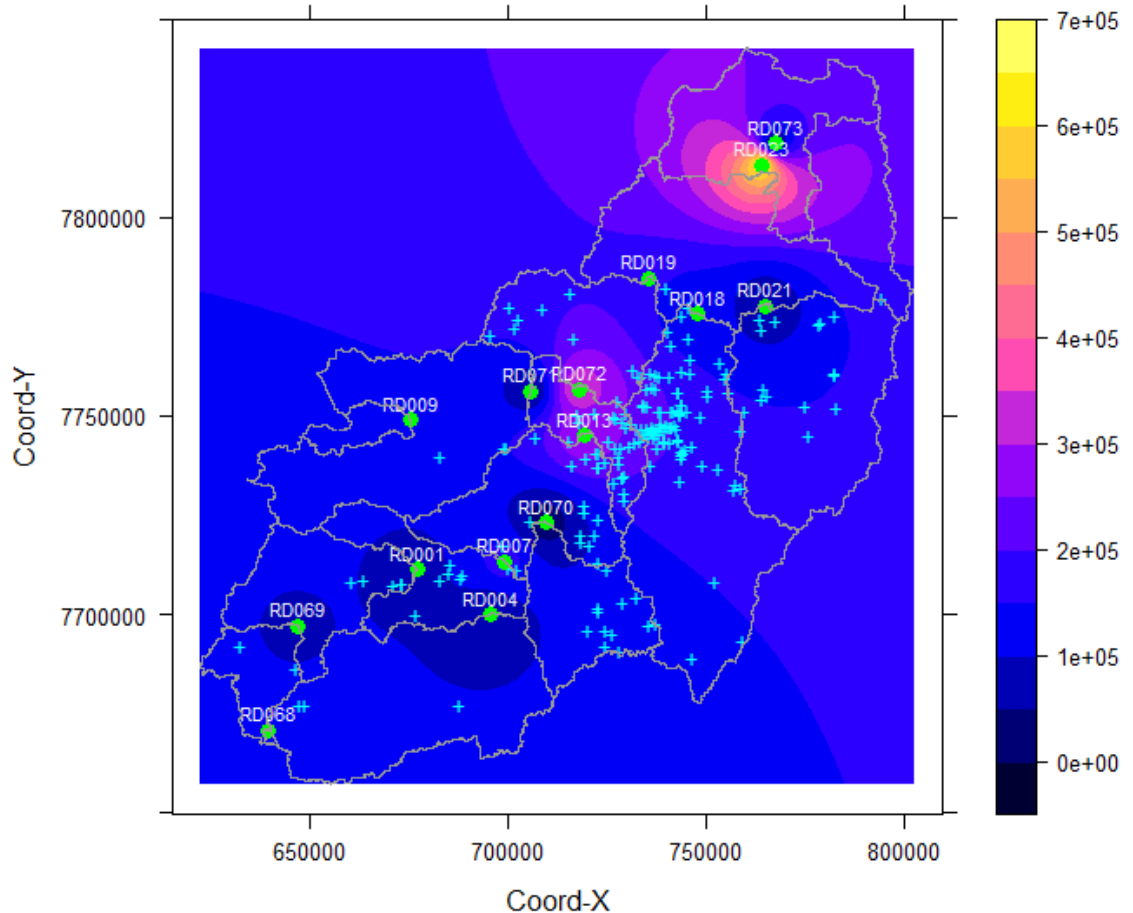
Na figura 34 (a e b) estão apresentados o gráfico da análise exploratória e o mapa da espacialização da variável Sdt.Cg.S.A que refere-se à média das cargas de sólidos dissolvidos totais no período seco, que apresentaram-se mais elevadas nas sub bacias RD023, RD072 e RD013, nesta ordem. Entretanto, quando são avaliadas as concentrações da mesma variável, observa-se que as sub bacias RD009 (92 mg l⁻¹) e RD018 (52 mg l⁻¹) detêm os maiores valores. Esta condição pode ter sido

influenciada pelas vazões dos corpos hídricos, uma vez que a carga é resultante do produto da concentração pela vazão.

As primeiras (RD023 – 169,68 m³ s⁻¹ dia⁻¹, RD072 - 85,31 m³ s⁻¹ dia⁻¹ e RD013 97,23 m³ s⁻¹ dia⁻¹) estão localizadas nos rios Doce e Piranga, os quais detiveram as maiores vazões, no período analisado, e as demais (RD009 – 23,81 m³ s⁻¹ dia⁻¹ e RD018 – 22,54 m³ s⁻¹ dia⁻¹), nos rios do Carmo e Casca. Mais uma vez, a sub bacia RD018 aparece com indicação de carga orgânica superior, mesmo não tendo os maiores adensamentos populacionais. Quanto à sub bacia RD009, além da grande atividade de mineração, a exemplo da Samarco-Vale do Rio Doce, ainda conta com as cargas orgânicas dos municípios de Mariana e Ouro Preto.



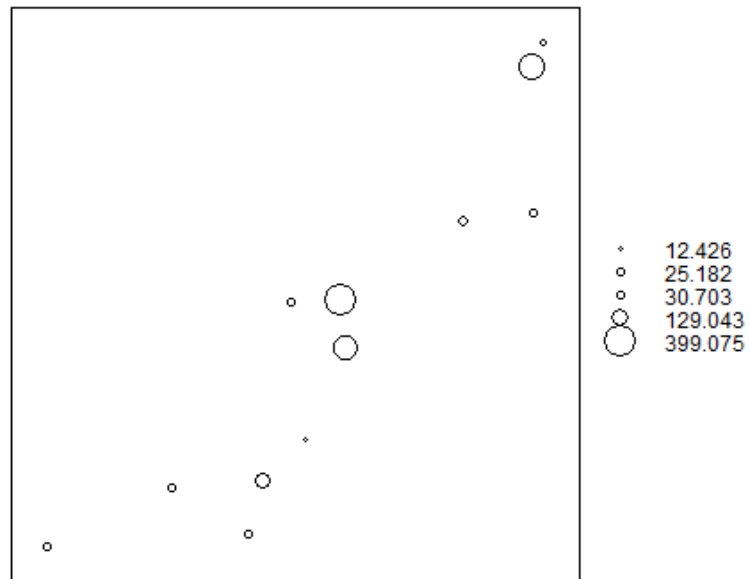
(a - média da carga em kg d⁻¹ de sólidos dissolvidos totais no período seco Sdt.Cg.S.A).



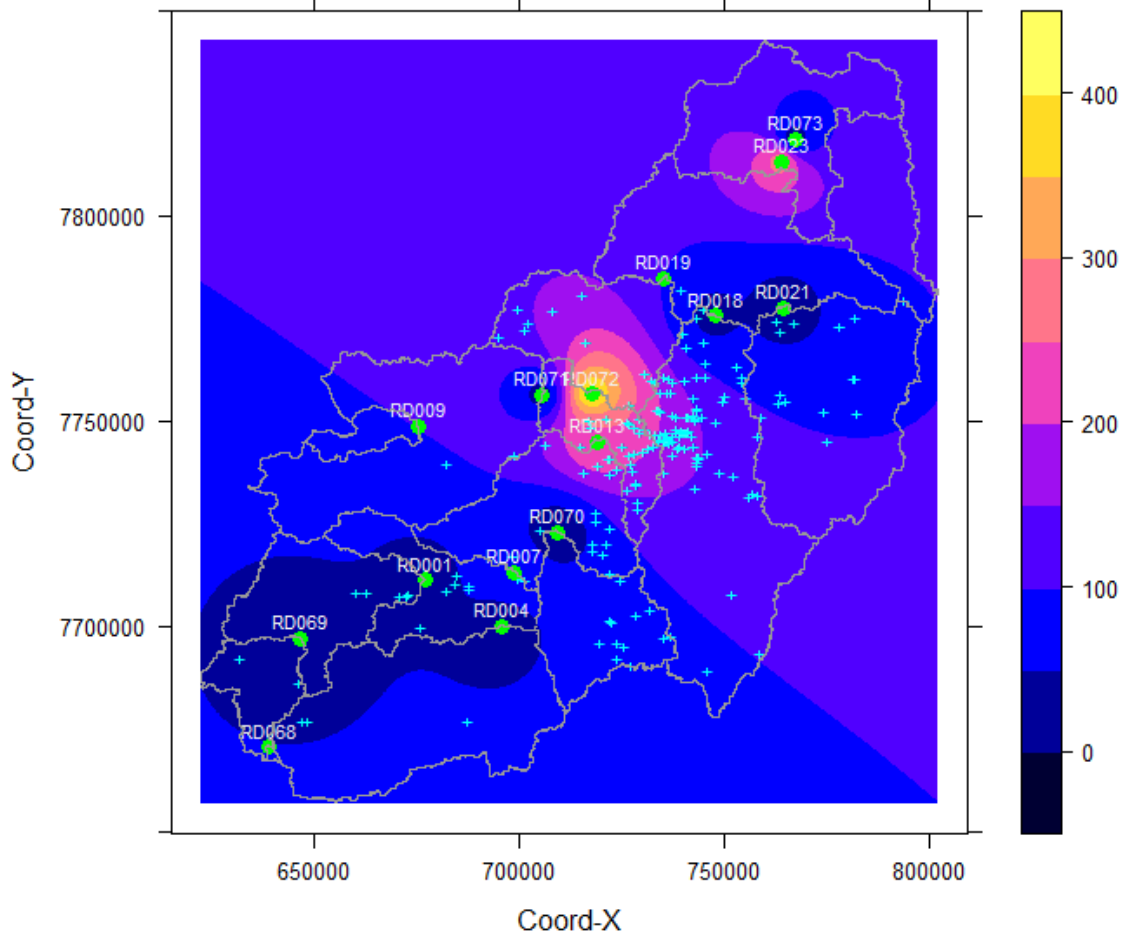
(b - média da carga em kg d^{-1} de sólidos dissolvidos totais no período seco Sdt.Cg.S.A. Coord-Y: coordenada Y e Coord-X: Coordenada X).

Figura 34 – Mapa interpolado via IDW e gráfico da análise exploratória da variável de qualidade da água classificada pelo *Random Forest* no terceiro estágio.

Nas Figuras 35 (a e b) e 36 (a e b) estão apresentados o gráfico da análise exploratória e o mapa da espacialização das variáveis Zn.Cg.S.A. e Zn.Ct.C.A., que referem-se às médias das cargas de Zinco total no período seco e às médias das suas concentração no período chuvoso. Diversos estudos indicam que, de maneira geral, resíduos orgânicos como águas residuárias podem conter altas concentrações de metais pesados, maiores às vezes que os solos agrícolas, e o uso contínuo destes resíduos podem contribuir com o aumento das quantidades totais de cobre, zinco, chumbo, cádmio, ferro e manganês.

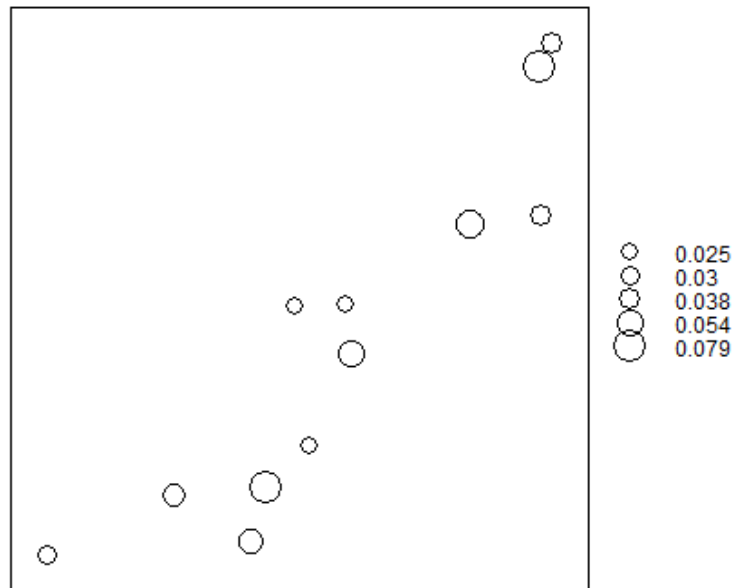


(a - média da carga em kg d^{-1} de zinco total no período seco Zn.Cg.S.A).

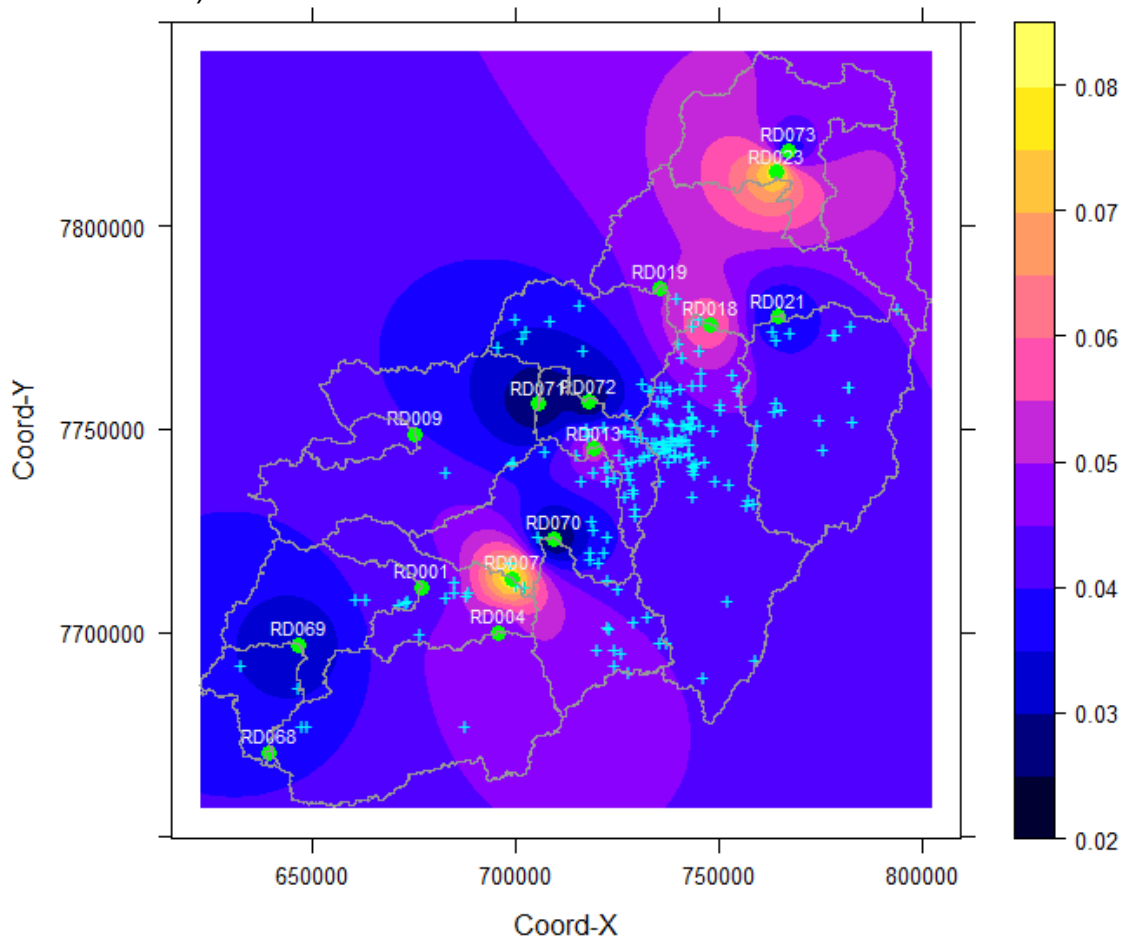


(b - média da carga em kg d^{-1} de zinco total no período seco Zn.Cg.S.A. Coord-Y: coordenada Y e Coord-X: Coordenada X).

Figura 35 - Mapa interpolado via IDW e gráfico da análise exploratória das variáveis de qualidade da água classificada pelo *Random Forest* no terceiro estágio.



(a - média da concentração em mg l^{-1} de zinco total no período chuvoso Zn.Ct.C.A).



(b - média da concentração em mg l^{-1} de zinco total no período chuvoso Zn.Ct.C.A. Coord-Y: coordenada Y e Coord-X: Coordenada X).

Figura 36 - Mapa interpolado via IDW e gráfico da análise exploratória das variáveis de qualidade da água classificada pelo *Random Forest* no terceiro estágio.

Chambers, Nicholson, Soloman e Unwin (2015), em estudos realizados na Inglaterra e no País de Gales, analisaram oitenta e cinco amostras de esterco animal, encontraram as maiores concentrações de zinco e cobre nos resíduos de suínos e aves. Segundo os autores, a fonte destes metais é a ração animal em grande parte. As cargas foram calculadas para quadriculas de 5 km², utilizando SIG, para a análise dos metais Zn (até 3,3 kg ha⁻¹), Cu (até 2,2 kg ha⁻¹), Ni (até 0,08 kg ha⁻¹), Cr (até 0,064 kg ha⁻¹) e Pb (até 0,073 kg ha⁻¹) em solos agrícolas dos referidos países. Os metais analisados tiveram como fonte o estrume de suínos, em especial nas áreas de East Anglia e Humberside, pois estas possuem as maiores concentrações de indústrias suínas.

Nas fases inicial e crescimento dos suínos, o cobre e o zinco são adicionados à ração com a finalidade de promover o crescimento dos animais, pois é nesta fase em que mais ocorrem distúrbios gastrointestinais, causados às vezes por *Escherichia coli*, principalmente em leitões. As concentrações sugeridas podem ser da ordem de 2.400 mg kg⁻¹ e 250 mg kg⁻¹, para o zinco e o cobre, respectivamente. Apesar de serem administradas concentrações, às vezes, superiores às requeridas pelo sistema fisiológico dos suínos, a maior parte é excretada via dejeções, podendo chegar a 72-80% e 92-96%, para o cobre e o zinco, respectivamente (GIROTTI, 2007; MIRANDA, 2009; AGNESE, 2011; SEGAT, 2012; SANTOS, 2014).

De acordo com Cristiani (1997) *apud* Simioni (2001), suínos que receberam suplementação de zinco na ração, excretaram 22,5 vezes mais zinco que os animais que não receberam a mesma dieta alimentar. Santos (2014), ao analisar amostras de rações para suínos, destinadas às fases terminação e creche (leitões), encontrou teores de zinco que variaram de 128 a 135 mg Zn kg⁻¹ e de 314 a 3.900 mg Zn kg⁻¹ de ração, respectivamente.

Existem sete UPL instaladas na AE. Na Figura 37 estão apresentadas estas unidades com suas localizações e quantidades de animais.

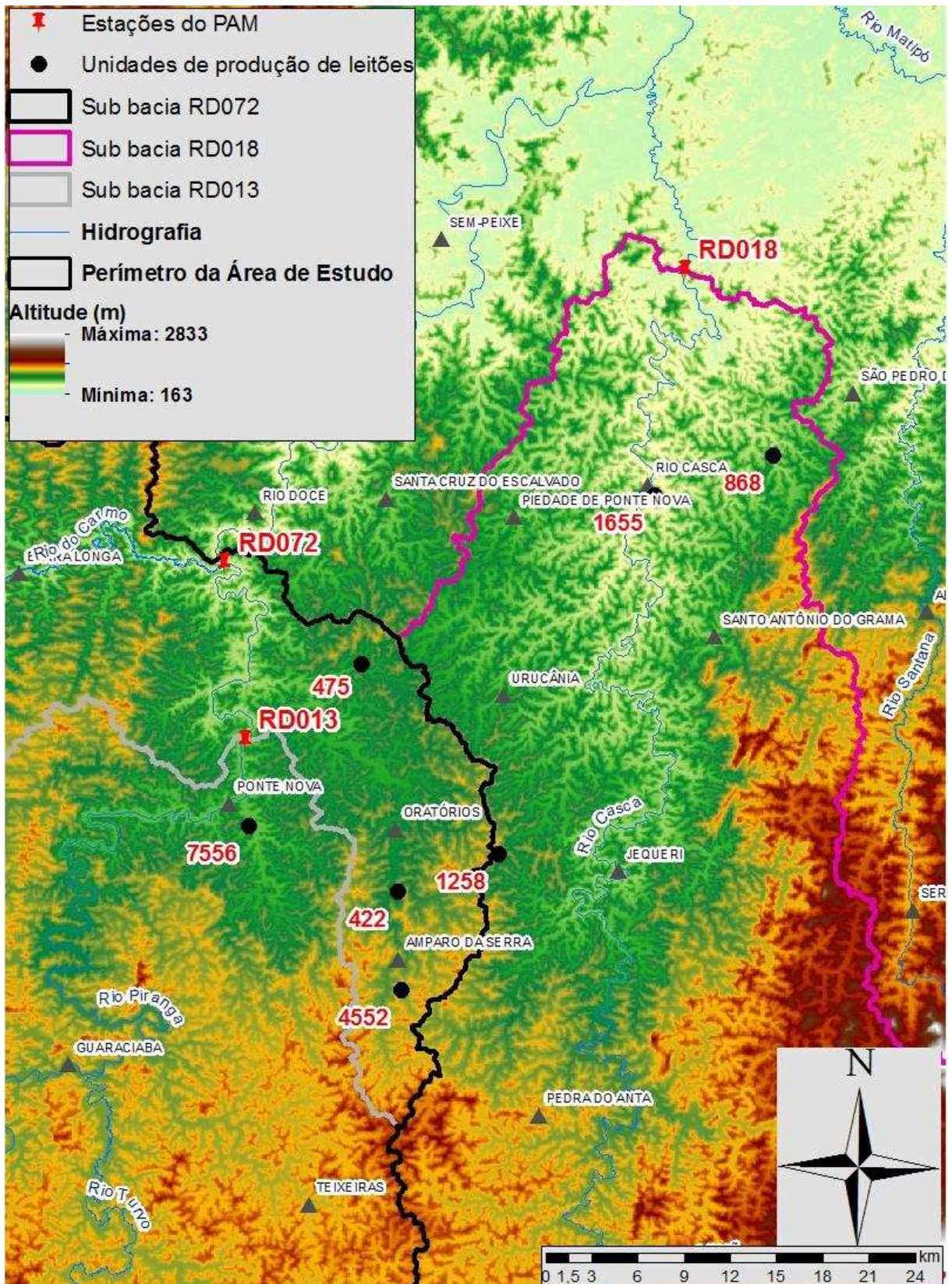
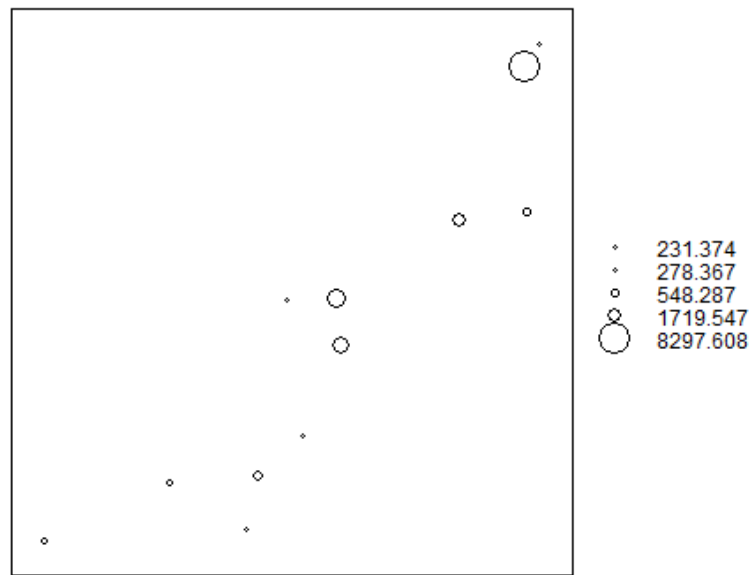


Figura 37 – Espacialização das UPL nas sub bacias RD013, 018 e 072.

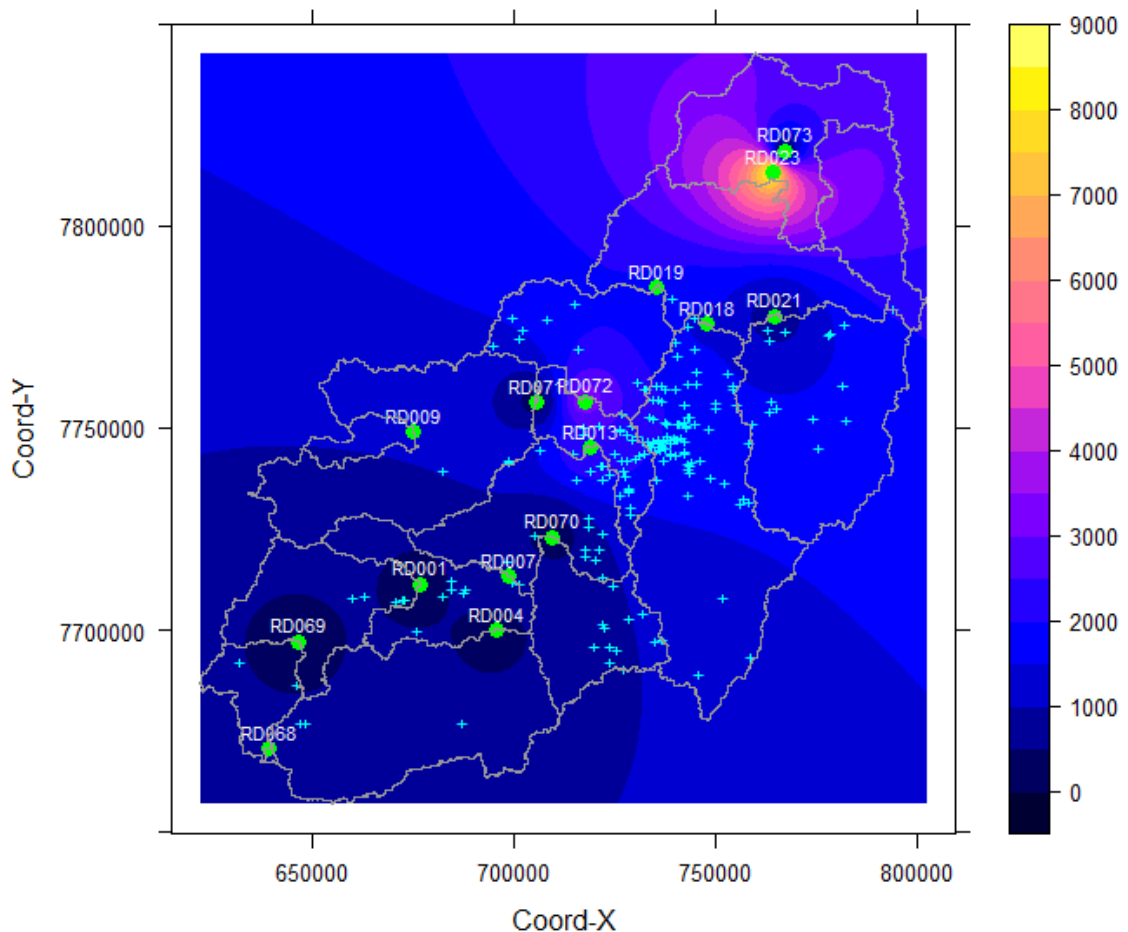
À montante da estação RD013 encontra-se uma UPL com 7.556 animais, instalada num vale que tem sua calha encontrando-se com o rio Piranga à jusante da sede municipal de Ponte Nova. Outras três com 4.552, 422 e 475 animais, localizam-se no vale vizinho e portanto não contribuem para a estação RD013, indo somar à estação RD072, à jusante da RD013. As demais estão na área de contribuição da sub bacia RD018 com 1258, 1655 e 868 animais cada uma.

Nestas sub bacias, as cargas médias no período seco foram 245 kg dia⁻¹ (RD013), 39 kg dia⁻¹ (RD018) e 399 kg dia⁻¹ (RD072) de Zinco total. Como o rio Casca possui menor vazão que o Piranga e Doce, é possível que tal divergência possa estar ocorrendo por esta razão, uma vez que as concentrações encontradas foram 0,050 mg l⁻¹ (RD013), 0,031 mg l⁻¹ (RD018) e 0,034 mg l⁻¹ (RD072). Em valores percentuais pode-se observar que as concentrações das estações RD018 e RD072 correspondem a 62 e 68% da RD013, assim como o número de suínos das mesmas correspondem a 50 e 72%, respectivamente, mostrando certa tendência relacional entre suínos e Zinco total.

Na Figura 38 (a e b) estão apresentados o gráfico da análise exploratória e o mapa da espacialização da variável Ntra.Cg.C.A., que fazem referência à média da carga de nitrato no período chuvoso. Ao ser adotado o mesmo critério, verifica-se que apesar da sub bacia RD023 parecer ter a carga bem superior às demais, é a sub bacia RD018 (0,846 mg l⁻¹) que apresenta a maior concentração, contra a RD023 (0,493 mg l⁻¹). Quanto às demais, só a sub bacia RD009 (0,630 mg l⁻¹) foi a que mais se aproximou. Neste sentido, seguindo a mesma linha de raciocínio, estas diferenças podem ter sido influenciadas pelas contribuições das águas residuárias urbanas e rurais, e em especial a AR da suinocultura na sub bacia RD018.



(a - média da carga em kg d⁻¹ de nitrato no período chuvoso Ntra.Cg.C.A).



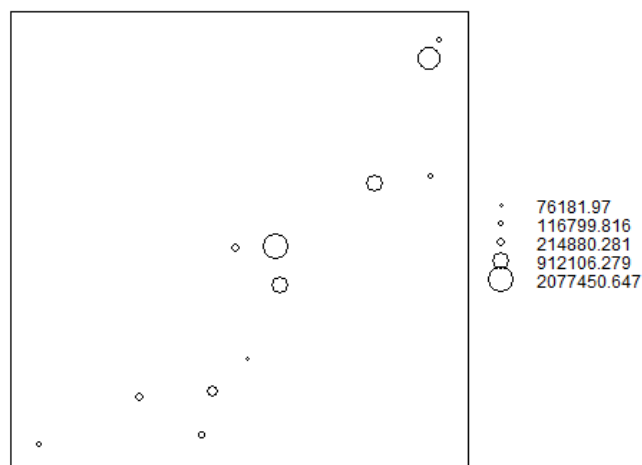
(b - média da carga em kg d⁻¹ de nitrato no período chuvoso Ntra.Cg.C.A. Coord-Y: coordenada Y e Coord-X: Coordenada X).

Figura 38 - Mapa interpolado via IDW e gráfico da análise exploratória da variável de qualidade da água classificada pelo *Random Forest* no terceiro estágio.

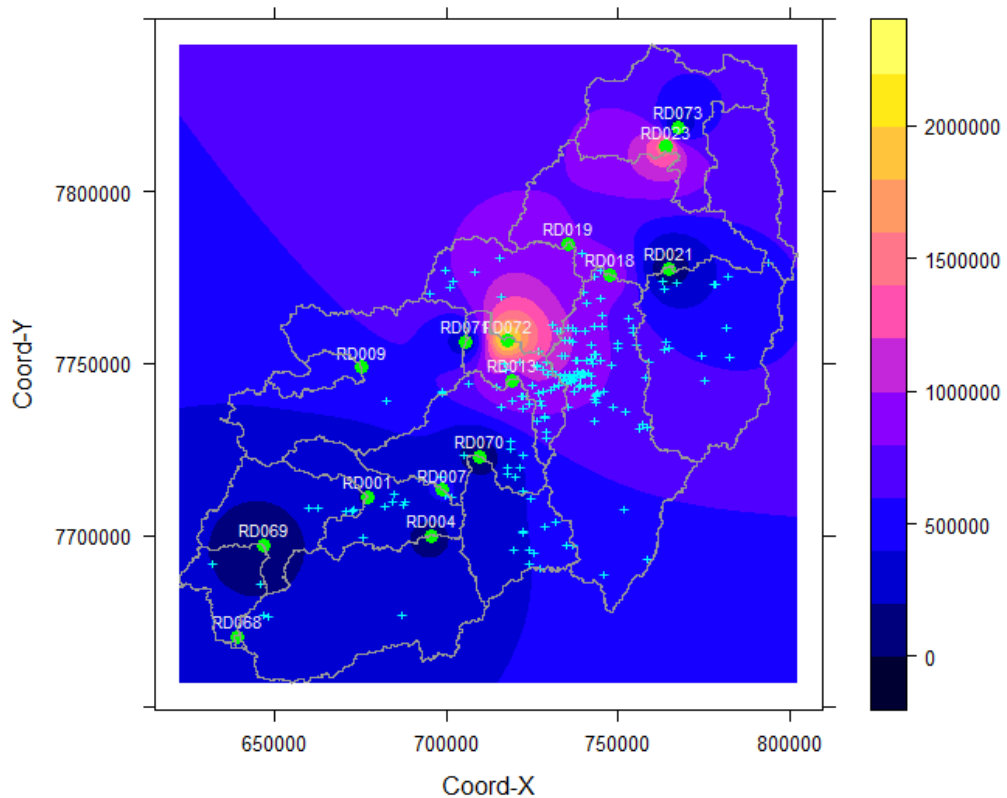
Nas Figuras 39 e 40, estão apresentadas algumas das variáveis classificadas no segundo estágio pelo *Random Forest*. Na Figura 39 (a e b) estão apresentados o gráfico da análise exploratória e o mapa da espacialização da variável St.Cg.S.A., que faz referência à média da carga de sólidos totais no período seco, que aparece no gráfico de importância das variáveis no segundo estágio. Os sólidos totais representam todos os contaminantes orgânicos e inorgânicos da água, exceto os gases dissolvidos, servindo como parâmetro para identificar as alterações nos padrões de qualidade (SPERLING, 2014).

Neste sentido, levando-se em consideração que tal variável pode representar a contribuição da AR da suinocultura para a qualidade da água dos corpos hídricos da AE, pode inferir-se que apesar das sub bacias RD013 (943.768,81 kg dia⁻¹), RD018 (901.552,09 kg dia⁻¹), RD023 (1.553.908,72 kg dia⁻¹) e RD072 (2.077.450,64 kg dia⁻¹) apresentarem as maiores cargas, quando são relacionadas às concentrações para o mesmo período, verifica-se que as sub bacias RD018 (243,26 mg l⁻¹) e RD072 (144,52 mg l⁻¹) superam as demais (RD013 72,81 mg l⁻¹ e RD023 78,62 mg l⁻¹).

Tal situação pode ter ocorrido pelo que já foi argumentado em relação às vazões dos corpos hídricos e às contribuições das AR urbanas e industriais, em especial a AR da suinocultura na RD018. Além disso, por se tratar de período seco, as granjas suinícolas, apresentam-se como contribuições pontuais.

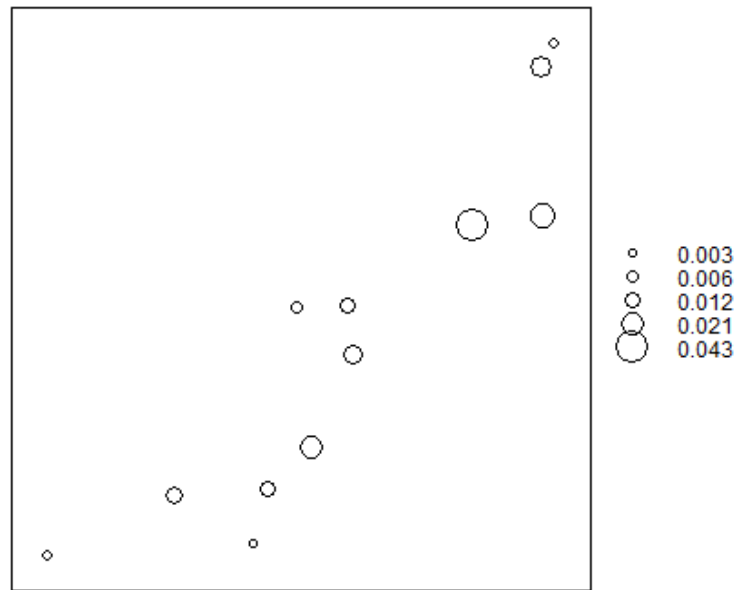


(a - média da carga em kg d⁻¹ de sólidos totais no período seco St.Cg.S.A).

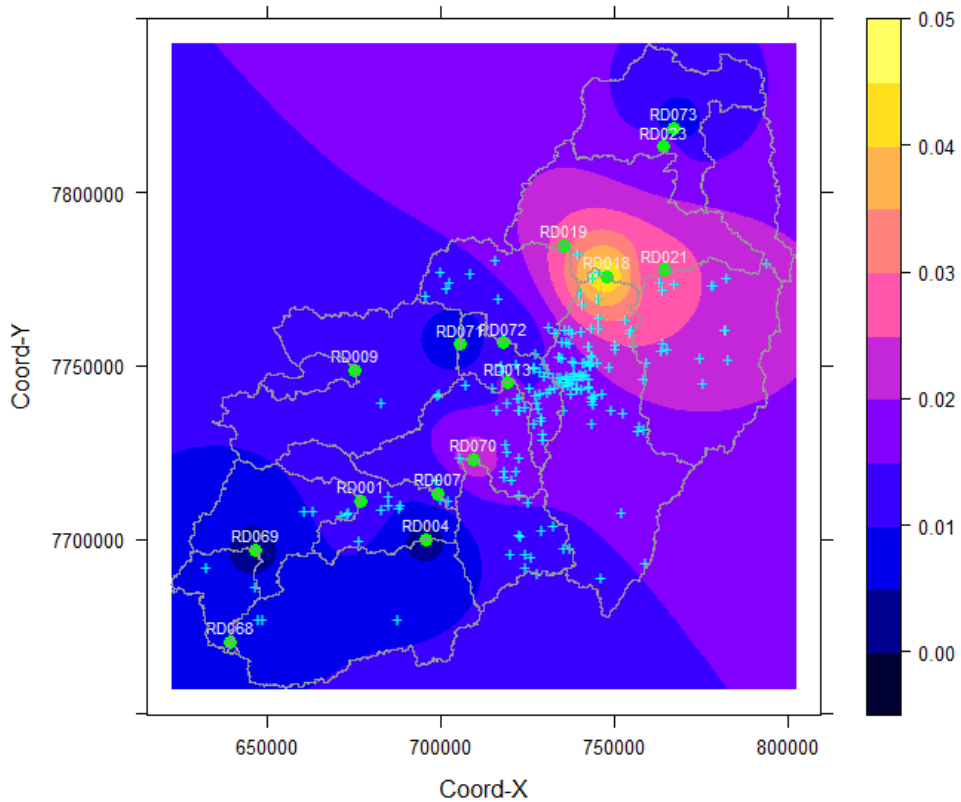


(b - média da carga em kg d^{-1} de sólidos totais no período seco St.Cg.S.A. Coord-Y: coordenada Y e Coord-X: Coordenada X).
 Figura 39 - Mapa interpolado via IDW e gráfico da análise exploratória da variável de qualidade da água classificada pelo *Random Forest* no segundo estágio.

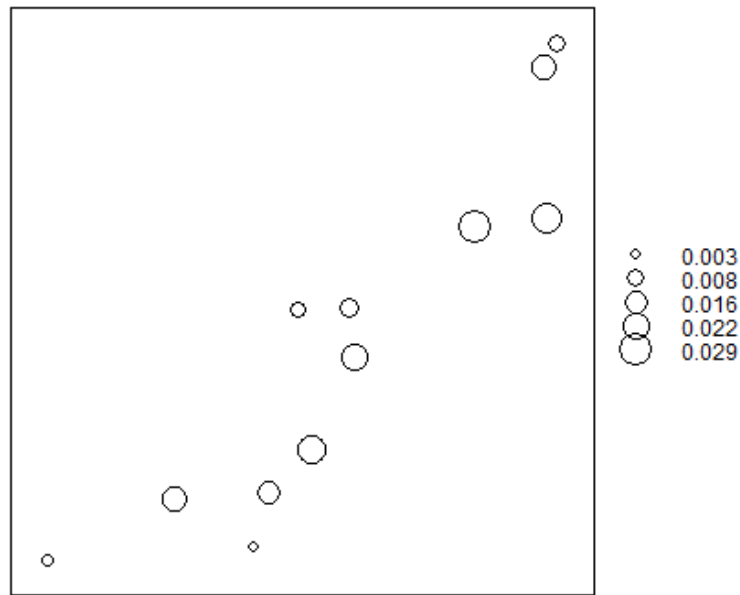
Na Figura 40 (a, b, c e d) estão apresentados o gráfico da análise exploratória e o mapa da espacialização das variáveis Ntri.Ct.S.A. e Ntri.Ct.C.A., que referem-se às médias das concentrações de nitrito nos períodos seco e chuvoso, retratando bem a predominância desta variável na sub-bacia RD018.



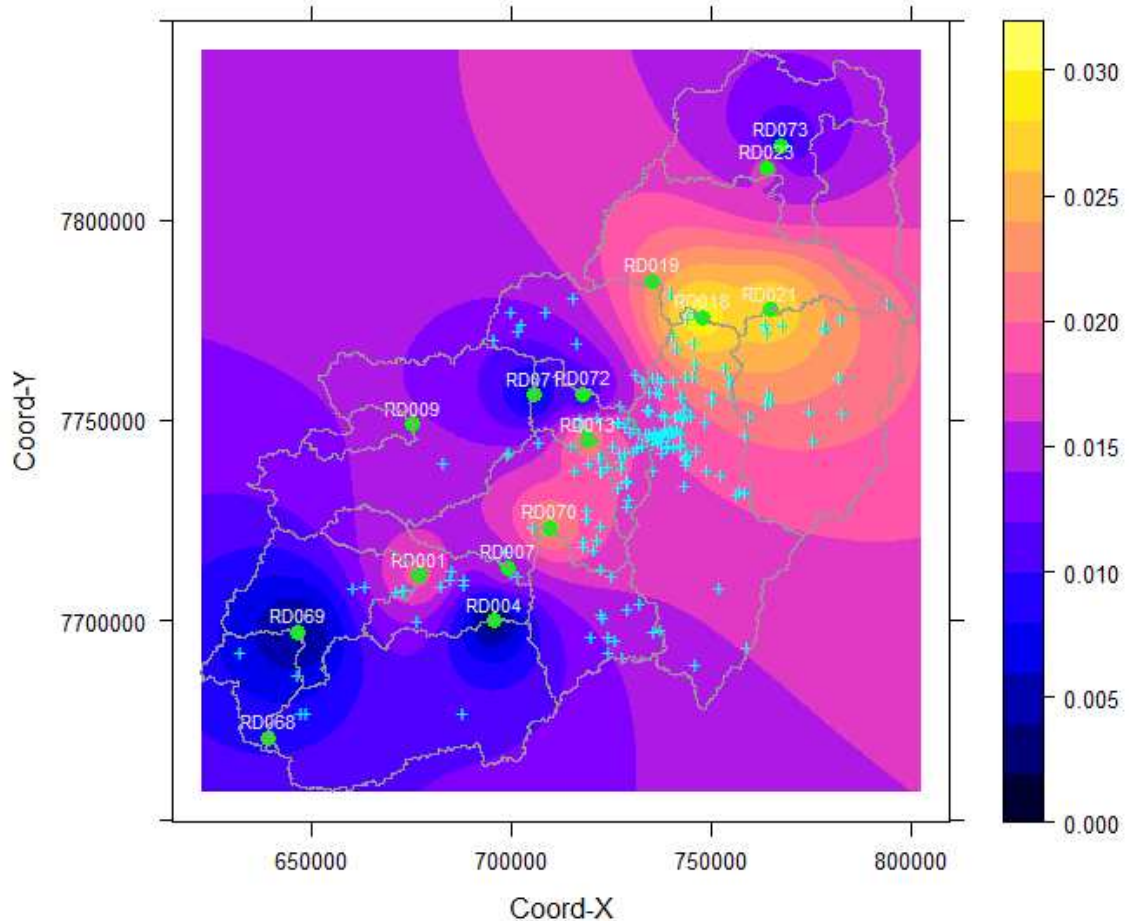
(a - média da concentração em mg l^{-1} de nitrito no período seco Ntri.Ct.S.A).



(b - média da concentração em mg l^{-1} de nitrito no período seco Ntri.Ct.S.A. Coord-Y: coordenada Y e Coord-X: Coordenada X).



(c - média da concentração em mg l⁻¹ de nitrito no período chuvoso Ntri.Ct.C.A).



(d - média da concentração em mg l⁻¹ de nitrito no período chuvoso Ntri.Ct.C.A. Coord-Y: coordenada Y e Coord-X: Coordenada X).

Figura 40 - Mapa interpolado via IDW e gráfico da análise exploratória de duas das variáveis de qualidade da água classificadas pelo *Random Forest* no segundo estágio.

Sabendo-se que o nitrito representa a penúltima fase da conversão do nitrogênio orgânico, no gráfico que está apresentado na Figura 41, observa-se resumidamente a tendência de decaimento do nitrogênio nas sub bacias com as características de presenças das maiores cargas orgânicas na AE. Como parâmetro, para nesta discussão, foi incluído também o nitrato, que já foi discutido no presente estudo.

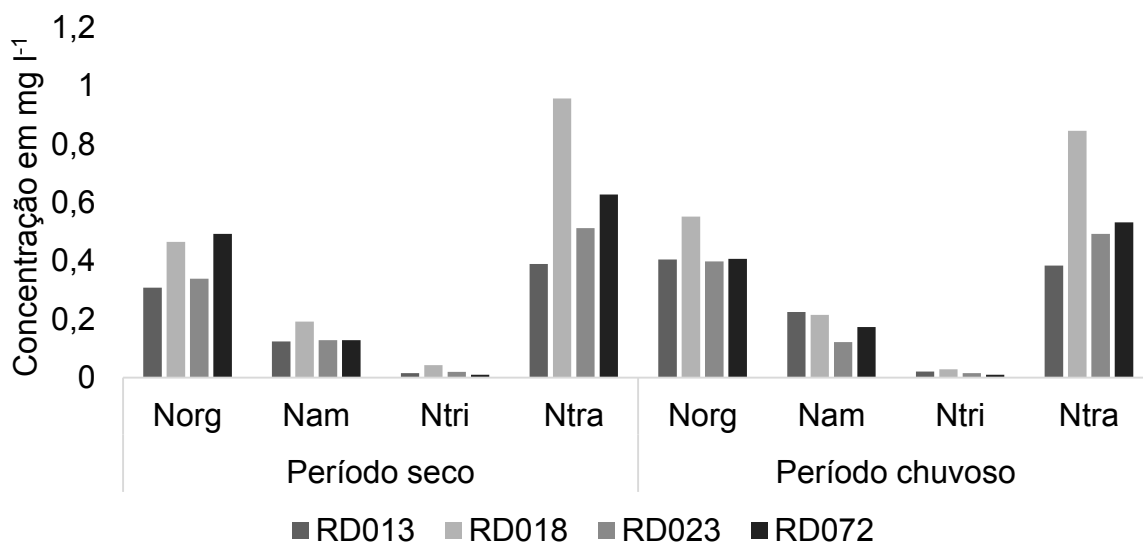


Figura 41 – Concentrações das formas de Nitrogênio orgânico, amoniacal, Nitrito e nitrato (Norg, Nam, Ntri e Ntra).

De acordo com FEAM (2015):

As principais fontes de consumo de recursos hídricos, originários do setor produtivo (indústria, mineração, serviços e agropecuária) e das aglomerações urbanas, em termos de abastecimento doméstico, são também as principais atividades potencialmente poluidoras desses recursos (FEAM, 2015, p. 1).

A resolução número 430, de 13 de maio de 2011 do CONAMA, estabelece que o responsável por fonte potencial ou efetivamente poluidora dos recursos hídricos, é obrigado a apresentar a Declaração de Carga Poluidora, referente ao ano anterior, até o dia 31 de março do corrente ano.

Buscando identificar outras fontes poluidoras dos corpos hídricos da AE, foi elaborado um mapa, que está apresentado na Figura 42, com a espacialização dos declarantes dos anos de 2012 e 2013, disponibilizados em planilha acessível no *site* da FEAM (FEAM, 2016). Estão apresentados na tabela do Apêndice C os cinquenta e oito declarantes, identificados pelas suas Razões Sociais, por ano. Nas tabelas do Apêndice D, estão apresentados os dados das cargas geradas e tratadas, dos

municípios com o total de declarantes e as variáveis com as cargas totais e médias para os anos de 2012 e 2013.

Dentre as variáveis declaradas, apenas sólidos suspensos totais, nitrato e nitrogênio amoniacal são analisadas no presente estudo, no entanto, parece não ter afetado significativamente os valores totais, principalmente das sub bacias RD023 e RD072, às quais receberam contribuições das principais fontes que estão localizadas nos município de Mariana e Ouro Preto, onde se encontram as minerações da Samarco-Vale do Rio Doce. Nos anos de 2012 e 2013, para estes municípios, foram declarados $3.368.373,6 \text{ m}^3 \text{ mês}^{-1}$ e $5.257.150,83 \text{ m}^3 \text{ mês}^{-1}$, ou seja, 97,64 e 97,68% dos totais declarados, respectivamente.

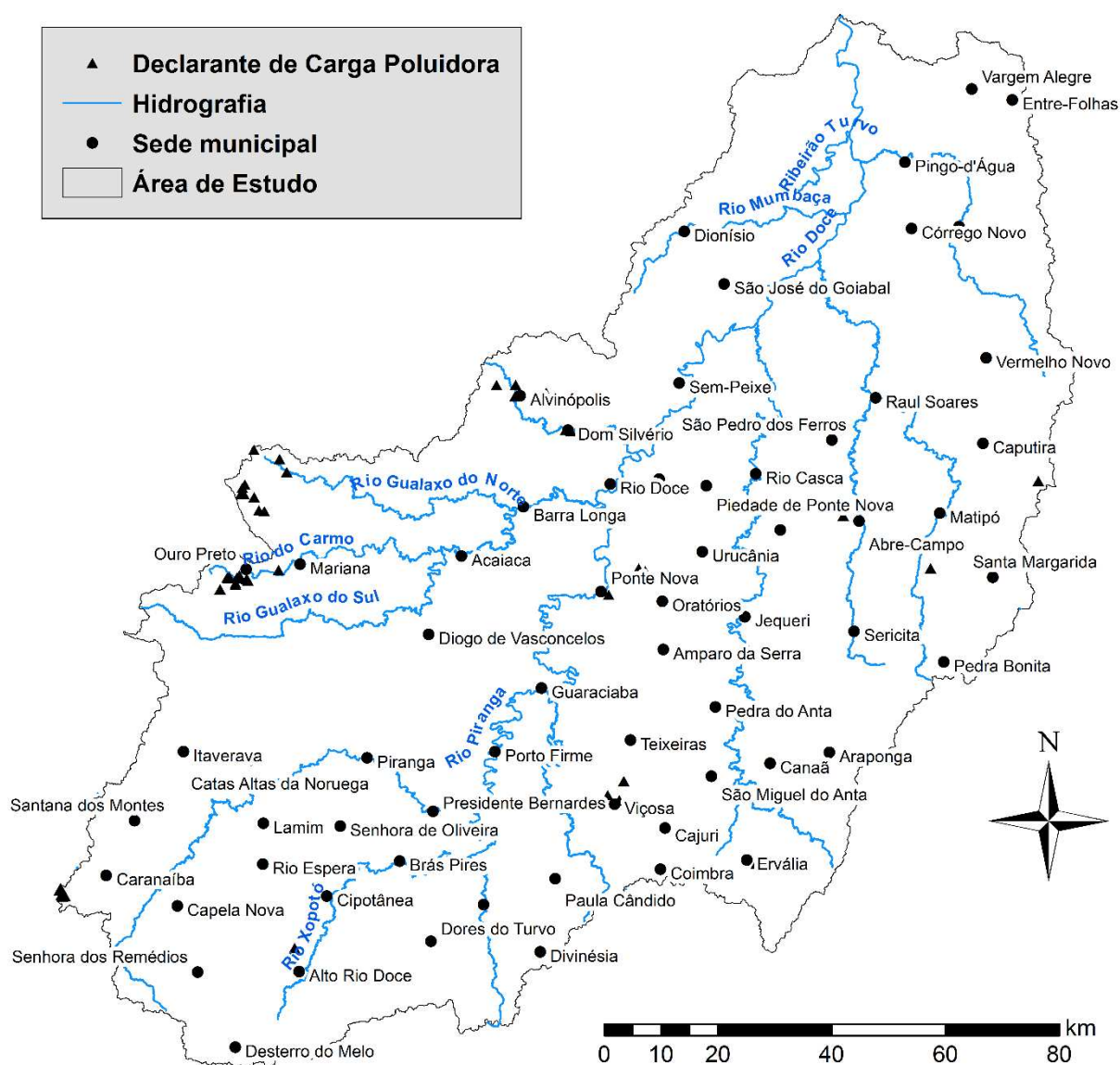


Figura 42 – Mapa da espacialização dos declarantes de carga poluidora nos anos 2012 e 2013.

Fonte: (FEAM, 2016).

5 CONCLUSÕES

A análise dos resultados permitem inferir que os resíduos da atividade suinícola na área de estudo estão contribuindo para a alteração da qualidade das águas superficiais.

O uso do SIG se mostrou eficiente e com a devida robustez para a construção de mapas que serviram de base para a análise dos dados disponíveis e que possibilitaram a avaliação da qualidade das águas superficiais da área de estudo. Além disso, possibilitou redesenhar a área de estudo, que pode contribuir para mudanças geopolíticas, futuras do mapa atual, caso seja considerada a inclusão das sedes de dois municípios (Entre Folhas e Vargem Alegre), com a ampliação da sua área superficial em 419,53 km².

Apesar da complexidade dos dados, o método de classificação *Random Forest*, foi capaz de processá-los, analisá-los e gerar resultados estatisticamente aceitáveis, levando-se em conta, a correlação das variáveis classificadas com o volume da ARS, gerada pela atividade suinícola na área de estudo.

A aplicação da modelagem espacial via o método do inverso da distância ponderada (IDW) possibilitou a produção de razoáveis mapas interpolados que foram aplicados com eficiência na análise dos dados e apresentam-se como instrumentos para a tomada de decisão na gestão dos recursos hídricos da bacia DO1-MG.

O “Equivalente Populacional” associado à Superfície Agrícola Utilizada, Temporária e Permanente, são parâmetros norteadores, de fácil acesso e com a manipulação de dados simplificada, constituindo uma ferramenta útil para a gestão ambiental de bacias hidrográficas que tenha atividades impactantes de natureza orgânica.

Os métodos adotados no presente estudo, podem, desde que haja disponibilidade de dados, ser replicados em outras bacias hidrográficas que apresentem condições semelhantes, quanto aos aspectos socioeconômicos e ambientais.

De modo geral a metodologia adotada no presente estudo pode ser útil para os atores envolvidos na gestão pública dos recursos hídricos em bacias hidrográficas no que tange à qualidade da água.

REFERÊNCIAS

ABPA. **Cenário de Carnes 2014-2015**. Brasília, 2015. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/camaras_setoriais/Aves_e_suinicos/25RO/Cen%C3%A1rio%20Carnes%202014%202015.pdf> Acesso em: 05 jul. 2016

_____. **Relatório Anual 2016**. Brasília, 2016. Disponível em: <<http://abpa-br.com.br/setores/avicultura/publicacoes/relatorios-aneais/2016>> Acesso em: 05 jul. 2016.

AGNESE, T. M. F. D. **Avaliação da concentração de metais pesados em dejetos líquidos de suínos, no município de Capitão, RS, Brasil**. 2011. 1 - 57 f. - Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, Santa Cruz do Sul, RS.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES, G.; LEONARDO, J.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ANA. **Encarte Especial sobre a Bacia do Rio Doce: Rompimento da Barragem em Mariana/MG**. Brasília, 2016a. Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos - SRP.

_____. **HidroWeb Sistema de Informações Hidrológicas**. Brasília, 2016b, Disponível em: < <http://hidroweb.ana.gov.br/default.asp> >. Acesso em: 05 Mar. 2016.

ARAÚJO et al. Avaliação de sistema de tratamento de dejetos suínos instalado no Estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, v. 16, n. 7, p. 745-753, 2012.

AUGUSTO, F. O. Engenharia Ambiental Conceitos, Tecnologia e Gestão. In: CALIJURI, M. D. C.; CUNHA, D. G. F. (Eds.). **Sistemas de Informações Geográficas Aplicados à Engenharia Ambiental**. ed. Rio de Janeiro: Elsevier: Rio de Janeiro: Elsevier, 2013. cap. 25, p. 643 - 667.

BIELENKI, J. C.; BARBASSA, A. P. **Geoprocessamento e recursos hídricos: aplicações práticas**. São Carlos: EdFUSCar, 2012.

BIVAND, R. S.; PEBESMA, E.; GÓMEZ-RUBIO, V. **Applied Spatial Data Analysis with R**. 2. ed. 2013. 405 p.

BRAGA, B. **Introdução à engenharia ambiental**. 2. ed. , 9. reimp. ed. São Paulo : Prentice Hall: 2002. 318 p.

BRASIL. **Plano integrado de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Doce: relatório executivo**. Brasília: Agência Nacional das Águas - ANA: 99 p. 2013a.

_____. **Projeções do Agronegócio: Brasil 2012/2013 a 2022/2023**. MAPA. Brasília, 2013b: Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/projecoes%20-%20versao%20atualizada.pdf>. Acesso em 30 abr. 2014.

_____. **Projeções do Agronegócio: Brasil 2014/2015 a 2024/2025 - Projeções de Longo Prazo**. MAPA. Brasília, 2015: Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/PROJECOES_DO_AGRONEGOCIO_2025_WEB.pdf>. Acesso em 20 Out. 2015.

_____. **Censo Demográfico**. IBGE. Brasília, 2016a: Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?z=t&o=25&i=P&c=1378>> Acesso em 20 Jul. 2016.

_____. **Índice de Desenvolvimento Humano Municipal - IDHM**. IBGE. Brasília, 2016b: Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em 01 Ago 2016.

_____. **Pesquisa Pecuária Municipal**. IBGE. Brasília, 2016c: Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br>. Acesso em: 18 Jul 2016.

_____. **Pesquisa Trimestral do Abate de Animais**. IBGE. Brasília, 2016d: Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?z=t&o=24&i=P&c=1093>>. Acesso em: 14 Jul. 2016.

_____. **População residente, por sexo e situação do domicílio**. IBGE. Brasília, 2016e: Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/protabl.asp?c=202&z=t&o=25&i=P>>. Acesso em 26 Jul 2016.

_____. **Produção Agrícola Municipal**. IBGE. Brasília, 2016f: Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/protabl.asp?c=202&z=t&o=25&i=P>>. Acesso em 26 Jul 2016.

BREIMAN, L.; CUTLER, A. **Random Forests**. 2004, Disponível em: <https://www.stat.berkeley.edu/~breiman/RandomForests/cc_software.htm>. Acesso em: 28 Set. 2016.

BRIGANTE, J.; ESPÍNDOLA, E. L. G. **Limnologia fluvial: um estudo no rio Moji-Guaçu**. Ed. RiMa: 2003. 278 p.

Brites, A. P. Z.; GASTALDINI, M. D. C. C. Avaliação da Carga Poluente no Sistema de Drenagem de Duas Bacias Hidrográficas Urbanas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 12 n. 4, p. 211 - 221, 2007.

CANCELIER et al. Avaliação da produção de biogás de dejetos de suínos utilizando a metodologia de superfície de resposta. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 20, p. 209-217, 2015.

CARDOSO, M. A. G. **Previsão Hidroclimática para o Gerenciamento do Banhado do Taim**. 2010. 165 f. - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

CHAMBERS et al. Heavy metal loadings from animal manures to agricultural land in England and Wales. **Ramiran**, v. 98, p. 475-483, 2015.

CONAB. **Perspectivas para a agropecuária: Safra 2015/2016 Produtos de Verão**. Brasília: Sumac Gepin. 2015. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>> Acesso em: 05 jul. 2016. 130 p.

COPAM; CERH-MG. **Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 05 de maio de 2008**. CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL; CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DE MINAS GERAIS: 1 - 28 p. 2008.

COSTA NETO, P. L. D. O. **Estatística**. 6. Reimpressão, 1986. ed. Edgar Blücher Ltda. São Paulo., 1977. 265 p.

DIAS et al. Viabilidade econômica do uso do biogás proveniente da suinocultura, em substituição a fontes externas de energia. **Energia na Agricultura**. 2013, v. 28, n. 3, p. 155-164.

DIESEL, R.; MIRANDA, C. R.; PERDOMO, C. C. **Coletânea de tecnologias sobre dejetos suínos**. Concórdia, 2002: EMBRAPA/Suíños e Aves e Extensão - EMATER/RS 2002.

ECOPLAN; LUME. **Plano de Ação de Recursos Hídricos da Unidade de Planejamento e Gestão DO1 PARH PIRANGA**: 1 - 125 p. 2010.

EMBRAPA. **Caracterização da Suinocultura no Brasil a partir do Censo Agropecuário 2006 do IBGE**. Concórdia, SC: Embrapa Suínos e Aves: 154 p. 2013.

FARAGE et al. Determinação do índice de estado trófico para fósforo em pontos do rio Pomba. **Engenharia na agricultura**, v. 18, n. 4, p. 322-329, 2010.

FEAM. **Relatório de avaliação das declarações de carga poluidora: ano base 2013**. GEDEF e DGQA. Belo Horizonte, 2015: Belo Horizonte, MG: 1 - 39 p.

_____. **Planilhas de declaração de carga poluidora - anos base 2012 e 2013**. GEDEF e DGQA. Belo Horizonte, MG 2016. Disponível em <http://www.feam.br/index.php?option=com_content&task=view&id=38&Itemid=51>. Acesso em 15 Out. 2016.

FERREIRA, E.; ALMEIDA, M. Sistema de Cálculo da Qualidade da Água (SCQA) Estabelecimento das Equações do índice de Qualidade das Águas (IQA). **Programa Nacional do Meio Ambiente–PNMA II**, 2005.

FLORENZANO, T. G. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

FRAGA, M. D. S. **Modelagem da qualidade da água do rio Piracicaba visando a avaliação de sua capacidade de autodepuração**. 2015. 90 f. - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2015.

FREIRE et al. **Avaliação de Desempenho de Classificadores de Ciclos Hidrológicos em Reservatórios de Água na Região Amazônica**. XXXIV Congresso da Sociedade Brasileira de Computação – CSBC 2014. Brasília, DF 2014.

GIROTTI, E. Cobre e zinco no solo sob uso intensivo de dejetos líquidos de suínos. **Cobre e zinco no solo sob uso intensivo de dejetos líquidos de suínos**, 2007.

GOMES, V. S. P. S. **Análise Estatística Multivariada Aplicada a Dados Hidrogeológicos**. 2013. 129 f. - Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, 2013.

GUEDES et al. Aplicação da análise estatística multivariada no estudo da qualidade da água do Rio Pomba, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 5, p. 558-563, 2012.

HACHMANN et al. Resíduos de aves e suínos: Potencialidades. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 8, n. 5, 2014.

HADLICH, G. M. Poluição hídrica na bacia hidrográfica do rio Coruja-Bonito (Braço do Norte, SC) e suinocultura: uma perspectiva sistêmica. 2004.

HADLICH, G. M.; SCHEIBE, L. F. Dinâmica Físico-Química de Águas Superficiais em Região de Intensa Criação de Suínos: Exemplo da Bacia Hidrográfica do Rio Coruja-Bonito, Município de Braço do Norte, SC. **Geochimica Brasiliensis**, p. 245 - 260, 2007.

HASTIE, T. J.; TIBSHIRANI, R. J.; FRIEDMAN, J. H. **The elements of statistical learning: data mining, inference, and prediction**. 2. ed. Stanford, California: Springer, 2008. 1 - 758 p.

HELENA, B.; PARDO, R.; VEGA, M.; BARRADO, E.; FERNANDEZ, J. M.; FERNANDEZ, L. Temporal evolution of groundwater composition in an alluvial aquifer (Pisuerga River, Spain) by principal component analysis. **Water research**, v. 34, n. 3, p. 807-816, 2000.

HIGARASHI, M. M.; KUNZ, A.; OLIVEIRA, P. A. V. D. Redução da carga de poluentes - Sistemas de tratamento. In: SEGANFREDO, M. A. (Ed.). **Gestão Ambiental na Suinocultura**. Brasília, DF: Embrapa Informação Técnica, 2007. cap. 5, p. 302.

IBGE. **Contas Regionais do Brasil 2013**. Rio de Janeiro, 2014, Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br/estadosat/temas.php?sigla=mg&tema=contasregionais2013> >. Acesso em: 10 Ago. 2016.

_____. **Estimativas de população para 1º de julho de 2015**. Rio de Janeiro, 2015, Disponível em: < http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2015/estimativa_tcu.shtm >. Acesso em: 26 Jul. 2016.

IGAM. **Estudos de Caracterização dos Recursos Hídricos no Estado de Minas Gerais - Relatório 1**. Instituto Mineiro de Gestão das Águas - IGAM. Belo Horizonte, 184 p. 2007.

_____. **Monitoramento da Qualidade das Águas Superficiais na Bacia do Rio Doce em 2009**. Instituto Mineiro de Gestão das Águas - IGAM. Belo Horizonte, 276 p. 2010a.

_____. **PARH PIRANGA - Plano de Ação de Recursos Hídricos da Unidade de Planejamento e Gestão DO1, 2010**. Instituto Mineiro de Gestão das Águas IGAM. Belo Horizonte. 125 p. 2010b.

_____. **Monitoramento da qualidade das águas superficiais de Minas Gerais em 2013: resumo executivo**. SEMAD. Instituto Mineiro de Gestão das Águas - IGAM: Belo Horizonte: 68 p. 2014a.

_____. **Relatórios de Qualidade das Águas Superficiais do Estado de Minas Gerais do período de 1997 a 2015**. Instituto Mineiro de Gestão das Águas - IGAM: Belo Horizonte 2014b.

IMA. **Cadastro e Georeferenciamento de Produtor**. Sistema de Cadastro e Georeferenciamento de Defesa Sanitária Animal (GeoDSA) Instituto Mineiro de Agropecuária, Belo Horizonte 2015.

INE, P. **Recenseamento Agrícola 2009: Análise dos Principais Resultados**. INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA, I. P.: 62 p. 2009.

_____. **Inquérito à Estrutura das Explorações Agrícolas 2013**. INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA, I. P. Lisboa: Portugal: 56 p. 2014.

KUNZ, A.; HIGARASHI, M. M.; OLIVEIRA, P. A. V. D. Redução da carga de poluentes - A questão dos nutrientes. In: SEGANFREDO, M. A. (Ed.). **Gestão Ambiental na Suinocultura**. Brasília, DF: Embrapa Informação Técnica, 2007. cap. 4, p. 302.

LANDEIRO, V. L. **Introdução ao uso do programa R**. Manaus, Am: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia 2011.

LIAW, A.; WIENER, M. **Classification and Regression by randomForest**. *R News* **2(3)**, 18-22. 2002.

MACHADO, C. J. S.; FERREIRA, J. A.; RITTER, E. **A Poluição das Águas Doces: Integrando a Gestão dos Resíduos Sólidos na Gestão dos Recursos Hídricos**. Rio de Janeiro: Interciência: Gestão de Águas Doces, 2004. 179 p.

MATOS, A. T. D. **Poluição ambiental: impactos no meio físico**. 1. ed. Universidade Federal de Viçosa: 2011. 260 p.

MATTOS, A. R. **Índice de Qualidade de Águas para Bacia do Rio das Velhas Aspectos Metodológicos e Avaliação Qualitativa do Ambiente**. 1998. 280 f. - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1998.

MEDEIROS, A. C. **Obtenção do IQA para avaliação da qualidade da água em rios dos municípios de Abaetetuba e Barcarena (PA)**. 2012. 150 f. - Universidade Federal do Pará, Pará, 2012.

MIELE et al. **TIPOLOGIA DE SUINOCULTORES NAS REGIÕES SUL E CENTRO-OESTE DO BRASIL**. Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural. 52. Goiânia: Goiás: 20 p. 2014.

MIRANDA, A. P. **Suínos em diferentes fases de crescimento alimentados com milho ou sorgo: desempenho, digestibilidade e efeitos na biodigestão anaeróbia**. 2009. 123 f. - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP, 2009.

MIRANDA, C. R. D. Aspectos ambientais da suinocultura brasileira. In: SEGANFREDO, M. A. (Ed.). **Gestão Ambiental na Suinocultura**ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. cap. 1, p. 302.

MOREIRA, A. R. **Mecanismos alternativos de cobrança pelo uso de recursos hídricos para assimilação de efluentes**. 2014. 73 f. - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa MG, 2014.

MORIASI et al. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. **Transactions of the ASABE**, v. 50, n. 3, p. 885-900, 2007.

NAGHETTINI, M.; PINTO, É. J. D. A. **Hidrologia estatística**. CPRM - Serviço Geológico do Brasil, Superintendência Regional de Belo Horizonte: Ernesto von Sperling, José Márcio Henriques Soares, 2007. 552 p.

OECD; FAO. **OECD-FAO Agricultural Outlook 2015**. p.148. 2015

OLIVEIRA, M. M. D. **Estudo da Inclusão de Compartimentos em Biodigestores Model Canadense**. 2012. 118 f. - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2012.

OLIVEIRA, P. A. V. D. **Produção de Suínos em Sistemas Sustentáveis**. Congresso Brasileiro de Produção Animal Sustentável - II ANISUS. Chapecó SC: Embrapa Suínos e Aves, Concórdia, 250 p. 2012.

_____; TAVARES, J. M. R.; COLDEBELLA, A. **Modelo Matemático par estimar a produção de dejetos, nitrogênio total e fósforo, na produção de suínos**. Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - COMBEA 2013. 42. Fábrica de Negócios - Fortaleza - CE - Brasil 2013.

PALHARES, J. C. P.; CALIJURI, M. D. C. Caracterização dos afluentes e efluentes suinícolas em sistemas de crescimento/terminação e qualificação de seu impacto ambiental. **Ciência Rural**, v. 37, p. 502-509, 2007.

PEBESMA, E. J. Multivariable geostatistics in S: the gstat package. **Computers & Geosciences**, v. 30, n. 7, p. 683-691, 2004.

PERDOMO, C. C.; DE OLIVEIRA, P. A. V.; KUNZ, A. Metodologia sugerida para estimar o volume e a carga de poluentes gerados em uma granja de suínos. **Embrapa Suínos e Aves. Comunicado Técnico**, 2003.

PEREIRA, E. R. **Qualidade de água em sistemas de produção e de tratamento de efluentes de suínos e seu reuso no ambiente agrícola**. Piracicaba - SP: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz: 130 p. 2006.

PETERSON et al. Patterns of spatial autocorrelation in stream water chemistry. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 121, n. 1-3, p. 571-596, 2006.

PHILIPPE, F. X.; NICKS, B. Review on greenhouse gas emissions from pig houses: Production of carbon dioxide, methane and nitrous oxide by animals and manure. **Agriculture, Ecosystems and Environment - ELSEVIER**, 2014.

PIMENTA, S.; FERNANDES, L.; MINHOTO, M. A Evolução da Estrutura das Explorações Agrícolas e das Características dos Produtores da Região Alentejo nos Últimos 25 Anos. 2014, **Anais**. APDR-Actas do 20 Congresso da Associação Portuguesa de Desenvolvimento Regional Renaissance of the Regions of Southern Europe, 2014.

PINHEIRO et al. Geoprocessamento aplicado à gestão dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do Rio Macaé-RJ. **Anais... Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. 14. INPE**. Natal - RN: 4247- 4254 p. 2009.

PNUD. **Valores e Desenvolvimento Humano**. Brasília, 2010: Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento: 318 p. 2010.

_____. **Relatório de Desenvolvimento Humano 2015 - O trabalho como motor do desenvolvimento humano**. New York, 2015. Disponível em

<http://www.pnud.org.br/HDR/arquivos/RDHglobais/hdr2015_ptBR.pdf> Acesso em: 01 Ago. 2016. 1 - 310 p.

POVOA, L. V.; MANZIONE, R. L.; WENDLAND, E. C. **Rotinas para Análises Geoestatísticas Utilizando a Linguagem R: um exemplo com dados agro-ambientais**. Simpósio de Geoestatística Aplicada em Ciências Agrárias. 2. Faculdade de Ciências Agronômicas - UNESP - Botucatu 2011.

REBELLATTO, A. **Avaliação agrônômica de fertilizantes sólidos e fluidos a base de dejetos suínos e aves**. 2013. 116 f. - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages SC, 2013.

REIS, L. F. R.; BRANDÃO, J. L. B. Impactos ambientais sobre rios e reservatórios. In: CALIJURI, M. D. C.; CUNHA, D. G. F. (Eds.). **Engenharia ambiental: conceitos, tecnologia e gestão**. ed. Rio de Janeiro, 2013: Elsevier, 2013. cap. 11, p. 247 - 268.

RICARDO, C. M. **Avaliação econômica de biodigestor de fluxo tubular, com sistema de recirculação, no tratamento de dejetos de suínos**. 2013. 72 f. - Universidade Federal de Lavras. 2013. Disponível em: <<http://repositorio.ufla.br/handle/1/410>> Acesso em: 17 Out. 2014.

RODRIGUES, D. B. B.; MENDIONDO, E. M. Bacias Hidrográficas: Caracterização e Manejo Sustentável. In: CALIJURI, M. D. C.; CUNHA, D. G. F. (Eds.). **Engenharia ambiental: conceitos, tecnologia e gestão**. ed. Rio de Janeiro, 2013: Elsevier, 2013. cap. 3, p. 47 - 74.

SANTOS, A. D. P. D. **SRTM - Aplicações em estudos hidrológicos usando ferramentas de geoprocessamento**. HIDROTEC: 1 - 25 p. 2008.

SANTOS, R. C. D. **Cobre, Zinco, Manganês e Sódio em Rações , Dejetos Líquidos de Suínos e Solos de Áreas de Uso Agrícola**. Porto Alegre RS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014. 146 p.

SAUER et al. Mindful in a random forest: Assessing the validity of mindfulness items using random forests methods. **Personality and Individual Differences**, v. 81, p. 117-123, 2015.

SCHERER, E. E.; NESI, C. N.; MASSOTTI, Z. Atributos químicos do solo influenciados por sucessivas aplicações de dejetos suínos em áreas agrícolas de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2010.

SEGANFREDO, M. A. uso de dejetos suínos como fertilizantes e seus riscos ambientais. In: SEGANFREDO, M. A. (Ed.). **Gestão Ambiental na Suinocultura**. 1. ed. EMBRAPA INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA, 2007. cap. 6, p. 149 - 176.

SEGAT, J. C. **Avaliação ecotoxicológica do uso de dejetos de suínos em solos de Santa Catarina**. 2012.f. - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz2012.

SEZERINO et al. Experiências brasileiras com wetlands construídos aplicados ao tratamento de águas residuárias: parâmetros de projeto para sistemas horizontais. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 20, p. 151-158, 2015.

SILVA, L. P. D. Bacia Hidrográfica. In: SILVA, L. P. D. (Ed.). **Hidrologia: engenharia e meio ambiente** ed. Elsevier: Rio de Janeiro, 2015a. cap. 5, p. 57 - 76.

_____. Estrutura Institucional e Marcos Legais em Hidrologia, Recursos Hídricos e Meio Ambiente. In: _____. (Ed.). **Hidrologia: engenharia e meio ambiente** ed. Elsevier: Rio de Janeiro, 2015b. cap. 12, p. 291 - 302.

SIMIONI, J. **Avaliação dos riscos ambientais pela acumulação de Cu e Zn nos solos fertilizados com dejetos de suínos. 2001. 139p.** 2001.f. - Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas)–Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2001.

SOARES, J. D.; SALDANHA, A. N. K. **Indicadores econômicos propostos para a análise dos sistemas de produção e propriedades agropecuárias trabalhadas nas “Redes de Referências para a Agricultura Familiar” do estado do Paraná.** Seminário Estadual de Administração Rural. 5. e Seminário Sulbrasileiro de Administração Rural. 1. Itajá - SC, 2000. 1 - 16 p.

SOUSA, F. A. **Análise de fatores ambientais na criação de suínos em camas sobrepostas e produção de biogás.** 2014. 125 f. - Universidade Federal de Lavras, Disponível em: <<http://repositorio.ufla.br/handle/1/2971>> Acesso em: 12 Out 2014.

SOUZA et al. Caracterização de dejetos de suínos em fase de terminação. **Ceres**, v. 56, n. 2, 2009.

SOUZA, J. D. D.; SLUTER, C. R.; BRAGA, M. C. B. Modelo espaço-temporal em SIG para análise de qualidade da água em uma Bacia Hidrográfica. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 15, n. 2, 2009.

SPERANZA, E. A. **Métodos e ferramentas de interpolação para a geração de mapas georreferenciados para a tomada de decisão em Irrigação de Precisão.** 2008. 115 f. - Universidade de São Paulo, São Carlos SP, 2008.

SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 4. ed. Universidade Federal de Minas Gerais: Belo Horizonte, 2014. 472 p.

TEAM, R. C. **A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing.**, Vienna, Austria, 2014., Disponível em: < <http://www.R-project.org/> >. Acesso em: 10 Jun. 2016.

UNDP. **Human Development Report 2014 - Sustaining Human Progress: Reducing Vulnerabilities and Building Resilience.** New York, 2014. Disponível em <<http://www.pnud.org.br/arquivos/RDH2014.pdf>> Acesso em: 01 Ago. 2016. 1 - 239 p.

USDA. **Operation, Maintenance, and Safety Agricultural. Waste Management Field Handbook.** Washington, US, 2011. Disponível em: <<http://www.fas.usda.gov/databases/production-supply-and-distribution-online-psd2011>>. Acesso em 10 Ago. 2016.

_____. **Livestock and Poultry: World Markets and Trade.** 2016. Disponível em: <https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=https://apps.fas.usda.gov/PSDOnline/circulars/2016/12/Livestpck_poultry.pdf>. Acesso em 20 Dez. 2016

USGS. **SRTM 1 Arc-Second Global (30 meters).** United States Geological Survey, Disponível em: < <https://lta.cr.usgs.gov> >. Acesso em: 24 Out. 2016.

WEI, T.; SIMKO, V. **Visualization of a Correlation Matrix. Version 0.77.** 2016: Disponível em: <<https://github.com/taiyun/corrplot>> Acesso em 10 Set. 2016.

ZENATTI et al. Quantificação de açúcares redutores em hidrolisado do bagaço da mandioca para uso na produção de metano. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 4, p. 616-627, 2015.

APÊNDICE

Apêndice A.1 – Tabela demonstrativa das causas prováveis do agravamento da qualidade das águas superficiais da UPGRH DO1, apontadas nos relatórios anuais do PAM

Relatório/ano	Local de Referência	Causa
1997	Rio Casca	Não explicitado
1998	Rio Piranga	Zinco
1999	Rios Piranga, Casca e Matipó	DBO
2000	Rios Piranga e Casca	Zinco, fosfato, OD, DBO, sólidos em suspensão, turbidez, coliformes fecais e totais.
2001	Municípios de Piedade de Ponte Nova, Rio Casca, Jequerí e Urucânia	Coliformes fecais, fosfato total, turbidez e sólidos em suspensão
2002	Municípios de Piedade de Ponte Nova, Rio Casca, Jequerí e Urucânia.	Coliformes fecais e totais, fosfato total, turbidez e sólidos em suspensão
2003	RD023	Zinco
2004	RD023 (silvicultura suinocultura agropecuária)	Turbidez, cor, fosfato total, índice de fenóis, coliformes fecais e totais e manganês
2005	RD001, RD007 e RD013 (lançamento de esgoto sanitário, suinocultura, carga difusa, erosão e atividades minerárias)	Turbidez, coliformes termotolerantes, ferro e cobre dissolvidos e manganês total
2006	RD001 e RD013 (lançamento de esgoto sanitário, suinocultura, carga difusa, erosão, atividades minerárias e produção de aguardente)	Fósforo total, coliformes termotolerantes e totais, cobre e ferro dissolvidos
2007	RD013 (lançamento de esgoto sanitário, frigoríficos, suinocultura, atividades minerárias, cana de açúcar e produção de aguardente)	Turbidez, cor verdadeira, coliformes termotolerantes, ferro dissolvido e manganês total.
2008	RD013 (lançamento de esgoto sanitário, suinocultura, atividades minerárias, agricultura e frigoríficos)	Cor verdadeira, fósforo total, DBO, cianeto total, óleos e graxas, coliformes termotolerantes e manganês total.
2009	RD001, RD007 e RD013 (atividades minerárias, lançamento de esgoto sanitário, pecuária, silvicultura e suinocultura)	Coliformes termotolerantes, cor verdadeira, ferro dissolvido, manganês total, óleos e graxas, e chumbo total
2010		
2011		
2012		
Não há referências		

Fonte: (IGAM, 2014b).

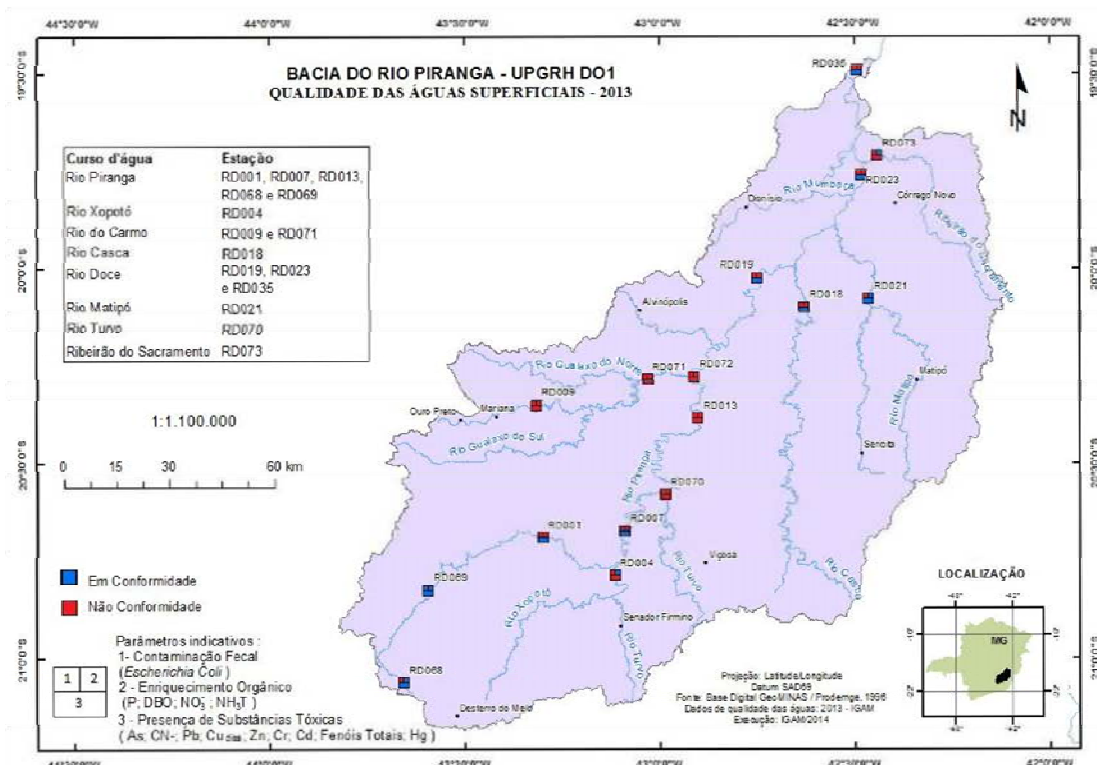


Figura A.1 – Mapa da qualidade das águas superficiais com os parâmetros indicativos, do ano de 2013.

Fonte: (IGAM, 2014a).

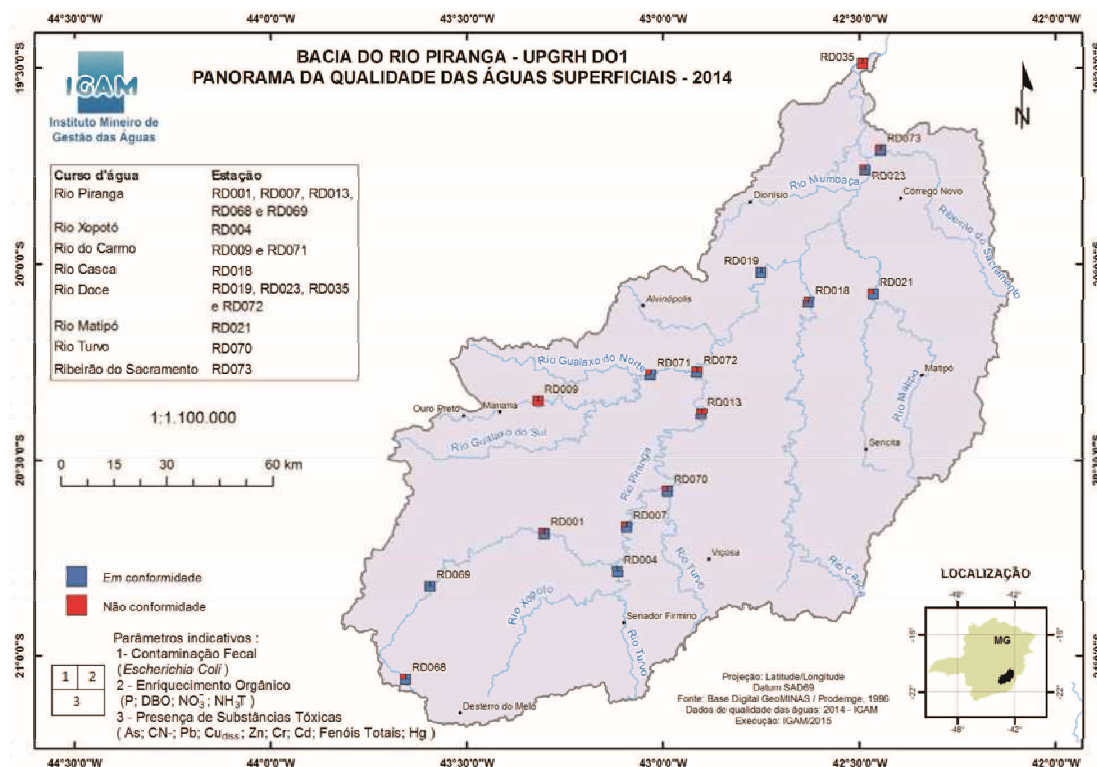


Figura A.2 – Mapa da qualidade das águas superficiais com os parâmetros indicativos, do ano de 2014.

Fonte: IGAM (2014a).

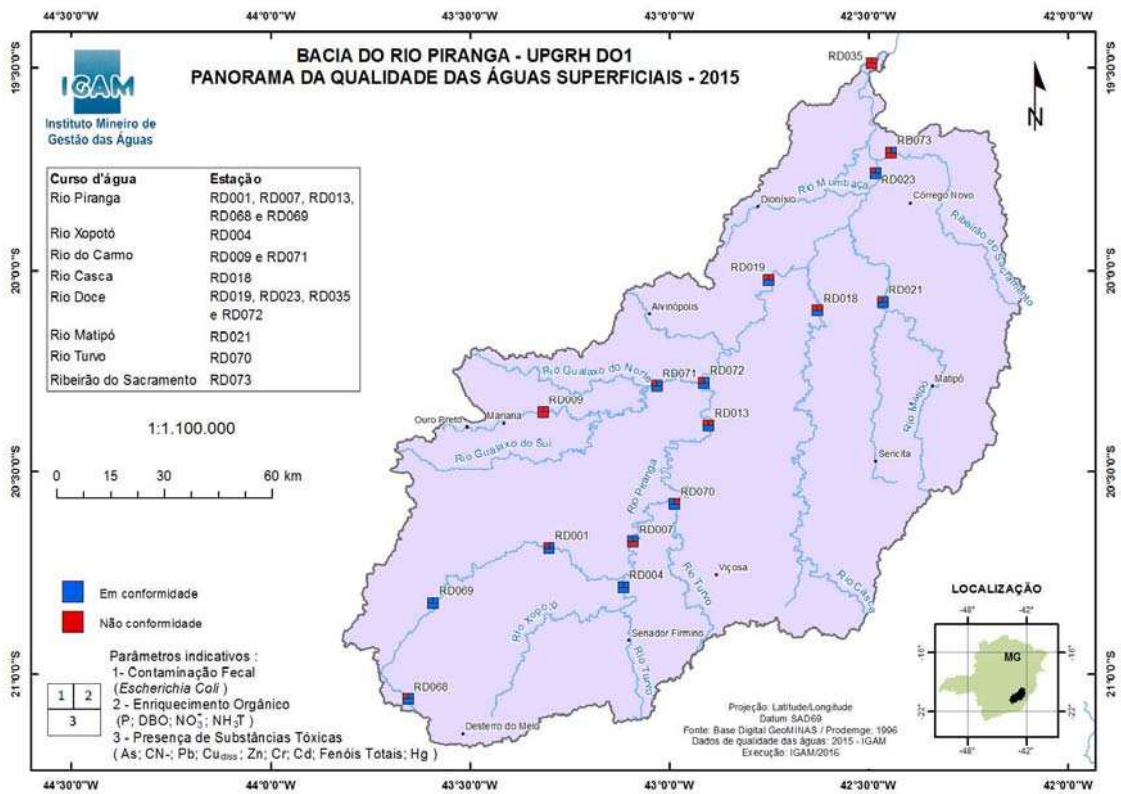


Figura A.3 – Mapa da qualidade das águas superficiais com os parâmetros indicativos, do ano de 2015.
Fonte: IGAM (2014a).

Apêndice B – Tabela da Deliberação Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01/2008

Parâmetro	LIMITE DN COPAM / CERH - 02/2008			Unidade de Medida
	Classe 1	Classe 2	Classe 3	
pH	6 a 9	6 a 9	6 a 9	
Turbidez	40	100	100	NTU
Cor Verdadeira	Cor Natural	75	75	UPt
Sólidos Dissolvidos totais	500	500	500	mg l ⁻¹
Sólidos em Suspensão totais	50	100	100	mg l ⁻¹
Cloreto total	250	250	250	mg l ⁻¹ Cl
Sulfato total	250	250	250	mg l ⁻¹ SO ₄
Sulfeto*	0,002	0,002	0,3	mg l ⁻¹ S
Fósforo total (ambiente lótico)	0,1	0,1	0,15	mg l ⁻¹ P
Nitrogênio Amoniacal total	3,7 p/ pH≤7,5	3,7 p/ pH≤7,5	13,3 p/ pH≤7,5	mg l ⁻¹ N
	2,0 p/ 7,5<pH≤8,0	2,0 p/ 7,5<pH≤8,0	5,6 p/ 7,5<pH≤8,0	
	1,0 p/ 8,0<pH≤8,5	1,0 p/ 8,0<pH≤8,5	2,2 p/ 8,0<pH≤8,5	
	0,5 p/ pH>8,5	0,5 p/ pH>8,5	1,0 p/ pH>8,5	
Nitrato	10	10	10	mg l ⁻¹ N
Nitrito	1	1	1	mg l ⁻¹ N
OD	>6	>5	>4	mg l ⁻¹
DBO	3	5	10	mg l ⁻¹
Cianeto Livre	0,005	0,005	0,022	mg l ⁻¹ CN
Fenóis totais (substâncias que reagem com 4-aminoantiprina	0,003	0,003	0,01	mg l ⁻¹ C ₆ H ₅ OH
Óleos e Graxas**	ausentes	ausentes	Ausentes	mg l ⁻¹
Substâncias Tensoativas (que reage com o azul de metileno)	0,5	0,5	0,5	mg l ⁻¹ LAS
Coliformes Termotolerantes	200	1000	4000	NMP 100 ml ⁻¹
Alumínio Dissolvido	0,1	0,1	0,2	mg l ⁻¹ Al
Arsênio total	0,01	0,01	0,033	mg l ⁻¹ As
Bário total	0,7	0,7	1	mg l ⁻¹ Ba
Boro total	0,5	0,5	0,75	mg l ⁻¹ B
Cádmio total	0,001	0,001	0,01	mg l ⁻¹ Cd
Chumbo Total	0,01	0,01	0,033	mg l ⁻¹ Pb
Cobre Dissolvido	0,009	0,009	0,013	mg l ⁻¹ Cu

Parâmetro	LIMITE DN COPAM / CERH - 02/2008			(continua) Unidade de Medida
	Cromo total	0,05	0,05	0,05
Ferro Dissolvido	0,3	0,3	5	mg l ⁻¹ Fe
Manganês total	0,1	0,1	0,5	mg l ⁻¹ Mn
Mercúrio total	0,2	0,2	2	µg l ⁻¹ Hg
Níquel total	0,025	0,025	0,025	mg l ⁻¹ Ni
Selênio total	0,01	0,01	0,05	mg l ⁻¹ Se
Zinco total	0,18	0,18	5	mg l ⁻¹ Zn
Clorofila <i>a</i>	10	30	60	µg l ⁻¹
Densidade de Cianobactéria	20000	50000	100000	cel ml ⁻¹

*Consideram-se como violação as ocorrências maiores que 0,5 mg l⁻¹ (limite de detecção do método analítico)

** Consideram-se como violação as ocorrências maiores que 15 mg l⁻¹

Fonte: ANA (2015)

Apêndice C – Tabela das empresas declarantes das cargas poluidoras dos anos base 2012 e 2013

Ord	Razão Social	Ano	Ord	Razão Social	Ano
1	Microvet Microbiologia Veterinaria Especial Ltda	2013	30	Companhia Vale do Rio Doce	2013
2	Microvet Microbiologia Veterinaria Especial Ltda	2013	31	Companhia Vale do Rio Doce	2013
3	Companhia Fabril Mascarenhas	2013	32	Companhia Vale do Rio Doce	2013
4	Microvet Microbiologia Veterinaria Especial Ltda	2012	33	Laticínios Porto Alegre Ind. e Comercio Ltda.	2013
5	Microvet Microbiologia Veterinaria Especial Ltda	2012	34	Companhia Vale do Rio Doce	2013
6	Rio Branco Alimentos S/A	2013	35	Companhia Vale do Rio Doce	2013
7	Samarco Mineracao SA - Mina Do Germano	2013	36	Companhia Vale do Rio Doce	2013
8	Samarco Mineracao SA - Mina Do Germano	2013	37	Companhia Vale do Rio Doce	2013
9	Samarco Mineracao SA – EBII	2013	38	Companhia Vale do Rio Doce	2013
10	Samarco Mineracao AS	2013	39	Novelis do Brasil Ltda.	2013
11	Samarco Mineracao AS	2013	40	Novelis do Brasil Ltda	2013
12	Industria de Forjados São Romão Ltda	2012	41	Novelis do Brasil Ltda	2013
13	bothânico hair cosmetic natural Ltda – ME	2012	42	Novelis do Brasil Ltda	2013
14	RCT- Serviços de Vulcanização	2013	43	Novelis do Brasil Ltda	2013
15	Centralbeton Ltda	2013	44	Novelis do Brasil Ltda	2013
16	Centralbeton Ltda	2013	45	Novelis do Brasil Ltda.	2013
17	Vale Manganes S.A.	2013	46	Novelis do Brasil Ltda.	2013
18	Cimento Tupi S/A	2013	47	Empresa Brasileira do Quartzo Ltda	2013
19	Cimento Tupi S/A	2013	48	Empresa Brasileira do Quartzo Ltda	2013
20	Cimento Tupi S/A	2013	49	Vermelho Mineracao Ind e Com Ltda	2013
21	Cimento Tupi S/A	2013	50	Vermelho Mineracao Ind e Com Ltda	2013
22	Cimento Tupi S/A	2013	51	Frigorifico Industrial Vale do Piranga SA	2013
23	Cimento Tupi S/A	2013	52	Bio Extratus Cosmetic Natural Ltda	2012
24	Cimento Tupi S/A	2013	53	RCT Servicos De Vulcanizacao Ltda	2012
25	Quartzito do Brasil LTDA	2013	54	Cimento Tupi S/A	2012
26	Ind. de Papeis e Embalagens Ponte Nova Ltda - ME	2013	55	Cimento Tupi S/A	2012
27	Comercial Irmãos Paiva Ltda.	2013	56	Pedramon Ltda	2012
28	Pedreira Eralia Ltda	2013	57	Pedreira Abre Campo Ind. e Comercio Ltda	2012
29	Bio Extratus Cosmetic Natural Ltda	2013	58	Pedreira Abre Campo Ind. e Comercio Ltda	2012

Fonte: FEAM (2016)

Apêndice D – Dados das Declarações de Carga Poluente dos anos de 2012 e 2013.

Tabela D.1 – Municípios com o número de declarantes de Carga Poluente

2012		2013	
Município	Declarantes	Município	Declarantes
Abre Campo	2	Alto Rio Doce	2
Alvinópolis	2	Alvinópolis	3
Caranaíba	9	Caranaíba	7
Dom Silvério	2	Ervália	1
Manhuaçu	1	Mariana	6
Mariana	4	Matipó	1
Matipó	1	Ouro Preto	20
Ouro Preto	16	Ponte Nova	3
Viçosa	3	Viçosa	4

Tabela D.2 – Volume da carga poluidora gerada e tratada por mês

Carga Poluidora	2012		2013	
	Gerada m ³ mês ⁻¹	Tratada m ³ mês ⁻¹	Gerada m ³ mês ⁻¹	Tratada m ³ mês ⁻¹
Total	3.449.466,47	3.447.846,47	5.381.887,14	5.282.144,63
Média	86.236,66	86.196,16	114.508,24	112.386,06

Tabela D.3 – Cargas declaradas, de algumas das variáveis geradas mensalmente

Variável	2012		2013	
	Total ton mês ⁻¹	Média ton mês ⁻¹	Total ton mês ⁻¹	Média ton mês ⁻¹
DBO	20,62	0,71	23,93	0,51
Fenóis Totais	0,56	0,02	0,33	0,01
Fluoreto Total	0,19	0,01	-	-
Fósforo Total	0,05	0,00	0,04	0,00
ABS / ATA / Detergentes	0,67	0,02	0,45	0,01
Boro Total	1,47	0,05	0,18	0,00
DQO	52,28	2,15	76,50	1,63
Sólidos Suspensos Totais	50,94	1,76	57,98	1,23
Manganês Dissolvido	1,00	0,03	1,51	0,03
Nitrato Total	1,47	0,05	1,04	0,02
Nitrogênio Amoniacal Total	0,45	0,02	0,25	0,01
Sólidos Sedimentáveis	1,12	0,04	8,04	0,17
Ferro Dissolvido	-	-	0,60	0,01

Fonte: FEAM (2016)