

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA

**APLICAÇÃO COMBINADA DE MODELO E ÍNDICE PARA
AVALIAÇÃO DE RISCO DE SEGURANÇA DA ÁGUA PARA
CONSUMO HUMANO: ESTUDO DE CASO DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO PITANGA (MG)**

RONY FELIPE MARCELINO CORRÊA

São Carlos

2024

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA

**APLICAÇÃO COMBINADA DE MODELO E ÍNDICE PARA
AVALIAÇÃO DE RISCO DE SEGURANÇA DA ÁGUA PARA
CONSUMO HUMANO: ESTUDO DE CASO DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO PITANGA (MG)**

RONY FELIPE MARCELINO CORRÊA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Urbana.

Orientação: Prof. Dr. Erich Kellner

Coorientador: Prof. Dr. Fábio Noel Stanganini

São Carlos

2024



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana

Folha de Aprovação

Defesa de Tese de Doutorado do candidato Rony Felipe Marcelino Corrêa, realizada em 03/06/2024.

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Erich Kellner (UFSCar)

Prof. Dr. Frederico Yuri Hanai (UFSCar)

Prof. Dr. Davi Gasparini Fernandes Cunha (EESC/USP)

Profa. Dra. Roseli Frederigi Benassi (UFABC)

Prof. Dr. Jorge Akutsu (UFSCar)

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela saúde e força para chegar na etapa final desse objetivo e por traçar meu Caminho com pessoas de bem que contribuem com minha jornada.

Aos meus pais, Roberto e Maria do Carmo, pelo apoio incondicional de sempre.

Ao meu orientador, prof. Dr. Erich, por ter aceito o desafio de me acolher com tanta humanidade, humildade e sabedoria em um momento tão complexo do meu doutorado. E também ao prof. Dr. Fábio por dar suporte e confiança para eu prosseguir com a parte de geotecnologias, por meio de sua coorientação na pesquisa.

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana, pelos ensinamentos ao longo do período de estudos.

Aos colegas e funcionários da UFSCar.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

CORRÊA, R.F.M. Aplicação combinada de modelo e índice para avaliação de risco de segurança da água para consumo humano: estudo de caso da bacia hidrográfica do ribeirão pitanga (MG). 2024. 170 p. Tese (Doutorado em Engenharia Urbana) – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos/SP, 2024

RESUMO

A segurança da água para consumo humano é um direito de todos, está relacionada diretamente com a qualidade de vida das pessoas e tem influência na saúde da população. A avaliação de risco da segurança da água é uma medida preventiva, recomendada pela Organização Mundial da Saúde, antecipando e mitigando problemas e reduzindo despesas de cunho corretivo para manter a qualidade da água. A presente pesquisa teve como objetivo aplicar de forma combinada modelo e índice de avaliação de risco de segurança da água para consumo humano realizando um estudo de caso na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Pitanga (BHRP) no Estado de Minas Gerais, municípios de Inconfidentes, Bueno Brandão e Ouro Fino. A fase metodológica da pesquisa foi dividida em 4 fases principais: (i) caracterização da área de estudo; (ii) avaliação de risco com o Índice de Poluição Não Pontual (PNPI); (iii) avaliação de risco com inspeção sanitária; (iv) análise dos resultados de avaliação de risco da água na BHRP. Como resultados, verificaram-se que os eventos perigosos que geram risco à segurança da água para consumo humano na BHRP estão relacionados à falta de proteção adequada da área e dos elementos de captação e armazenamento da água, permitindo acesso de animais e contaminação da água, à problema mecânico e estrutural, como entupimento e quebra de equipamentos, à lixiviação de contaminantes, e aos eventos de inundação, provocando problemas no abastecimento. A avaliação de risco por meio de inspeção sanitária e através da utilização de índice apresentaram-se satisfatória para o estabelecimento da priorização de risco da água para consumo humano na BHRP. A integração de outros métodos de avaliação de risco de segurança da água possibilitará aos gestores de recursos hídricos ter uma visão integrada da bacia hidrográfica contribuindo com a implementação de estratégias para garantir a segurança da água.

PALAVRAS-CHAVE: Recursos Hídricos, Saneamento Ambiental, Gestão de Risco, Sensoriamento Remoto, Geotecnologias.

CORRÊA, R.F.M Combined application of model and index to assess the safety risk of drinking water: case study of the pitanga river basin (MG). 2024. 170 p. Thesis (Doctorate in Urban Engineering) – Exact and Technology Sciences Center, Department of Civil Engineering, Postgraduate Program in Urban Engineering, Federal University of São Carlos, São Carlos/SP, 2024

ABSTRACT

The safety of water for human consumption is everyone's right, it is directly related to people's quality of life and has an influence on the health of the population. Water safety risk assessment is a preventive measure, recommended by the World Health Organization, anticipating and mitigating problems and reducing corrective expenses to maintain water quality. The aim of this research was to apply a combined model and index to assess the safety risk of water for human consumption, carrying out a case study in the Bacia Hidrográfica do Ribeirão Pitanga (BHRP) in the State of Minas Gerais, municipalities of Inconfidentes, Bueno Brandão and Ouro Fino. The methodological phase of the research was divided into 4 main phases: (i) characterization of the study area; (ii) risk assessment with the Potencial Non-Point Pollution Index (PNPI); (iii) risk assessment with health inspection; (iv) analysis of water risk assessment results at BHRP. As a result, it was found that the dangerous events that create a risk to the safety of water for human consumption in the BHRP are related to the lack of adequate protection of the area and elements for collecting and storing water, allowing animal access and water contamination, mechanical and structural problems, such as clogging and breakdown of equipment, leaching of contaminants, and flooding events, causing supply problems. Risk assessment through sanitary inspection and through the use of an index were satisfactory for establishing the risk prioritization of water for human consumption in the BHRP. The integration of other water security risk assessment methods will enable water resource managers to have an integrated view of the river basin, contributing to the implementation of strategies to ensure water security.

KEYWORDS: Water Resources, Environmental Sanitation, Risk Management, Remote Sensing, Geotechnologies.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Fases metodológicas da pesquisa	33
Figura 2. Mapa de localização da área de estudo no Sul de Minas Gerais, Brasil.	34
Figura 3. Mapa de classificação Koppen para a área de estudo	35
Figura 4. Aquisição de amostras para criação das regiões de interesse com SCP	39
Figura 5. Cálculo de NDVI com auxílio da calculadora raster do QGIS	40
Figura 6. Vetorização manual com auxílio de imagem do satélite CBERS 4A.	41
Figura 7. Materiais e procedimentos para aplicação do PNPI.....	42
Figura 8. Página inicial de software desenvolvido em dissertação de mestrado com modelo de avaliação de risco da água.	50
Figura 9. Representação dos principais resultados.....	52
Figura 10. Mapa de distribuição de moradores e de domicílios por setor censitário na BHRP.....	53
Figura 11. Rede de drenagem da BHRP gerados através do MDE totalizando 92,5 km	54
Figura 12. Ajuste da rede de drenagem: carta topográfica com vetor gerado pelo MDE (a); carta topográfica com vetor ajustado (b); imagem do CBERS 4A com vetor gerado pelo MDE (c); imagem do CBERS 4A com vetor ajustado (d).	55
Figura 13. Rede de drenagem da BHRP ajustada e atualizada.....	56
Figura 14. Mapa de localização da BHRP.....	57
Figura 15. Mapa hipsométrico da BHRP.....	58
Figura 16. Curso de água principal da BHRP	59
Figura 17. Caracterização de áreas com vegetação com NDVI	62
Figura 18. Caracterização de uso e ocupação do solo com SCP	64
Figura 19. Mapa de Uso do Solo do World Cover ESA.....	66
Figura 20. Mapa com áreas de agricultura vetorizadas manualmente.....	68
Figura 21. Mapa integrado de uso e ocupação do solo.....	70
Figura 22. Mapa pedológico da BHRP.....	72
Figura 23. Mapa de uso do solo integrado com valores de LCI estabelecidos para cada classe.....	74
Figura 24. Mapa de uso do solo Esa WorldCover com valores de LCI estabelecidos para cada classe.	75
Figura 25. Mapa de Uso do Solo Integrado relacionado à permeabilidade com valor normalizado entre 0 a 1.	77

Figura 26. Mapa de uso do solo Esa WorldCover relacionado à permeabilidade com valor normalizado entre 0 a 1.	77
Figura 27. Mapa de Uso do Solo Integrado corrigido correlacionando o uso do solo, permeabilidade e declividade da BHRP normalizado entre 0 a 1.	78
Figura 28. Mapa de uso do solo Esa WorldCover corrigido correlacionando o uso do solo, permeabilidade e declividade da BHRP normalizado entre 0 a 1.....	79
Figura 29. Cenário 1: PNPI para Uso e Ocupação do Solo Integrado com rede de drenagem sem ajuste.....	80
Figura 30. Cenário 2: PNPI para Uso e Ocupação do Solo com rede de drenagem ajustada.....	81
Figura 31. Cenário 3: PNPI para Uso e Ocupação do Solo da Esa WorldCover com rede de drenagem sem ajuste.....	82
Figura 32. Cenário 4: PNPI para Uso e Ocupação do Solo da Esa WorldCover com rede de drenagem ajustada.....	83
Figura 33. Comparação da variação do percentual de área na classificação do PNPI entre os cenários 1 e 2.....	85
Figura 34. Comparação da variação do percentual de área na classificação do PNPI entre os cenários 3 e 4.....	85
Figura 35. Setores censitário distribuídos na BHRP	87
Figura 36. Número de amostras por setor censitário da BHRP.....	88
Figura 37. Distribuição espacial do número de domicílios visitados em função da densidade populacional.....	89
Figura 38. Pesquisa de campo nos domicílios da BHRP.....	90
Figura 39. Avaliação de risco de segurança da água nos 64 domicílios	91
Figura 40. Avaliação de risco de segurança da água na BHRP no componente captação de água superficial: rios, nascentes, lagos.	93
Figura 41. Avaliação de risco de segurança da água na BHRP no componente captação de água subterrânea: poço escavado	95
Figura 42. Avaliação de risco de segurança da água na BHRP no componente captação de água subterrânea: poço tubular semiartesiano	96
Figura 43. Avaliação de risco de segurança da água na BHRP no componente reservatório de água bruta.....	97
Figura 44. Avaliação de risco de segurança da água na BHRP no componente operação e distribuição canalizada.....	98

Figura 45. Grau de risco percentual nos componentes avaliados na BHRP.....	101
Figura 46. Resultados para água superficial: rio; nascentes; lagos. (C1.1 - 1). Setor censitário 313060605000005 (Bairros da Grama e dos Bernardos).....	132
Figura 47. Gráfico dos resultados para água superficial: rio; nascentes; lagos. (C1.1 - 1). Setor censitário 313060605000005 (Bairros da Grama e dos Bernardos)	132
Figura 48. Resultados para água superficial: rio; nascentes; lagos. (C1.1 - 2). Setor censitário 313060605000005 (Bairros da Grama e dos Bernardos).....	133
Figura 49. Gráfico dos resultados para água superficial: rio; nascentes; lagos. (C1.1 - 2). Setor censitário 313060605000005 (Bairros da Grama e dos Bernardos)	133
Figura 50. Resultados para Armazenamento de água bruta: reservatório de água bruta. (C3.1). Setor censitário 313060605000005 (Bairros da Grama e dos Bernardos).....	134
Figura 51. Gráfico dos resultados para Armazenamento de água bruta: reservatório de água bruta. (C3.1). Setor censitário 313060605000005 (Bairros da Grama e dos Bernardos)	134
Figura 52. Resultados para Distribuição canalizada: operação e distribuição canalizada. (D1.1). Setor censitário 313060605000005 (Bairros da Grama e dos Bernardos).....	135
Figura 53. Gráfico dos resultados para Distribuição canalizada: operação e distribuição canalizada. (D1.1). Setor censitário 313060605000005 (Bairros da Grama e dos Bernardos)	135
Figura 54. Resultados para Água superficial: rio; nascentes; lagos. (C1.1 - 1). Setor censitário 313060605000009 (Bairro da Boa Ventura).....	136
Figura 55. Gráfico dos resultados para Captação de água superficial: rio; nascentes; lagos. (C1.1 - 1). Setor censitário 313060605000009 (Bairro da Boa Ventura).....	137
Figura 56. Resultados para manancial subterrâneo: poço escavado – poço caipira (C2.1 - 1). Setor censitário 313060605000009 (Bairro da Boa Ventura).....	137
Figura 57. Gráfico dos resultados para manancial subterrâneo: poço escavado – poço caipira (C2.1 - 1). Setor censitário 313060605000009 (Bairro da Boa Ventura).....	138
Figura 58. Resultados para manancial subterrâneo: poço escavado – poço caipira (C2.1 - 2). Setor censitário 313060605000009 (Bairro da Boa Ventura).....	138
Figura 59. Gráfico dos resultados para manancial subterrâneo: poço escavado – poço caipira (C2.1 - 2). Setor censitário 313060605000009 (Bairro da Boa Ventura).....	139
Figura 60. Resultados para água superficial: rio; nascentes; lagos. (C1.1 - 1). Setor censitário 313060605000010 (Bairros do Cambuzinho e Boa Vista dos Pedros)	141

Figura 61. Gráfico dos resultados para água superficial: rio; nascentes; lagos. (C1.1 - 1). Setor censitário 313060605000010 (Bairros do Cambuizinho e Boa Vista dos Pedros)	141
Figura 62. Resultados para água superficial: rio; nascentes; lagos. (C1.1 - 2). Setor censitário 313060605000010 (Bairros do Cambuizinho e Boa Vista dos Pedros)	142
Figura 63. Gráfico dos resultados para água superficial: rio; nascentes; lagos. (C1.1 - 2). Setor censitário 313060605000010 (Bairros do Cambuizinho e Boa Vista dos Pedros)	142
Figura 64. Resultados reservatório de água bruta (C3.1 - 1). Setor censitário 313060605000010 (Bairros do Cambuizinho e Boa Vista dos Pedros)	143
Figura 65. Gráfico para resultados reservatório de água bruta (C3.1 - 1). Setor censitário 313060605000010 (Bairros do Cambuizinho e Boa Vista dos Pedros)	143
Figura 66. Resultados para água superficial: rio; nascentes; lagos. (C1.1 - 1). Setor censitário 310910505000009 (Bairro das Furnas e Bairro dos Piquiras).....	145
Figura 67. Gráfico dos resultados para água superficial: rio; nascentes; lagos. (C1.1 - 1). Setor censitário 310910505000009 (Bairro das Furnas e Bairro dos Piquiras)	145
Figura 68. Resultados para água superficial: rio; nascentes; lagos. (C1.1 - 2). Setor censitário 310910505000009 (Bairro das Furnas e Bairro dos Piquiras).....	146
Figura 69. Gráficos dos resultados para água superficial: rio; nascentes; lagos. (C1.1 - 2). Setor censitário 310910505000009 (Bairro das Furnas e Bairro dos Piquiras).....	146
Figura 70. Resultados para manancial subterrâneo: poço escavado – poço caipira (C2.1 - 1). Setor censitário 310910505000009 (Bairro das Furnas e Bairro dos Piquiras).....	147
Figura 71. Gráfico dos resultados para manancial subterrâneo: poço escavado – poço caipira (C2.1 - 1). Setor censitário 310910505000009 (Bairro das Furnas e Bairro dos Piquiras).....	147
Figura 72. Resultados para manancial subterrâneo: poço escavado – poço caipira (C2.1 - 2). Setor censitário 310910505000009 (Bairro das Furnas e Bairro dos Piquiras).....	148
Figura 73. Gráfico dos resultados para manancial subterrâneo: poço escavado – poço caipira (C2.1 - 2). Setor censitário 310910505000009 (Bairro das Furnas e Bairro dos Piquiras).....	148
Figura 74. Resultados para reservatório de água bruta (C3.1). Setor censitário 310910505000009 (Bairro das Furnas e Bairro dos Piquiras).....	149
Figura 75. Gráfico dos resultados para reservatório de água bruta (C3.1). Setor censitário 310910505000009 (Bairro das Furnas e Bairro dos Piquiras).....	149

Figura 76. Resultados para água superficial: rio; nascentes; lagos. (C1. 1 - 1). Setor censitário 310910505000011 (Bairro Boa Vista dos Goes e Bairro Boa Vista dos Barbosas)	151
Figura 77. Gráfico dos resultados para água superficial: rio; nascentes; lagos. (C1.1 - 1). Setor censitário 310910505000011 (Bairro Boa Vista dos Goes e Bairro Boa Vista dos Barbosas)	151
Figura 78. Resultados para água superficial: rio; nascentes; lagos (C1.1 - 2). Setor censitário 310910505000011 (Bairro Boa Vista dos Goes e Bairro Boa Vista dos Barbosas)	152
Figura 79. Gráfico dos resultados para água superficial: rio; nascentes; lagos (C1.1 - 2). Setor censitário 310910505000011 (Bairro Boa Vista dos Goes e Bairro Boa Vista dos Barbosas)	152
Figura 80. Resultados para manancial subterrâneo: poço tubular semiartesiano (C2.2). Setor censitário 310910505000011 (Bairro Boa Vista dos Goes e Bairro Boa Vista dos Barbosas)	153
Figura 81. Gráfico dos resultados para manancial subterrâneo: poço tubular semiartesiano (C2.2). Setor censitário 310910505000011 (Bairro Boa Vista dos Goes e Bairro Boa Vista dos Barbosas)	153
Figura 82. Resultados para reservatório de água bruta (C3.1). Setor censitário 310910505000011 (Bairro.....)	154
Figura 83. Gráfico dos resultados para reservatório de água bruta (C3.1). Setor censitário 310910505000011 (Bairro Boa Vista dos Goes e Bairro Boa Vista dos Barbosas)	154
Figura 84. Resultados para água superficial: rio; nascentes; lagos (C1.1 - 1). Setor censitário 310910505000010 (Bairro Boa Vista dos Crispins e Bairro Piquiras Acima)	155
Figura 85. Gráfico dos resultados para água superficial: rio; nascentes; lagos (C1.1 - 1). Setor censitário 310910505000010 (Bairro Boa Vista dos Crispins e Bairro Piquiras Acima)	156
Figura 86. Resultados para água superficial: rio; nascentes; lagos (C1.1 - 1). Setor censitário 314600805000034 (Bairro dos Pitangas).....	158
Figura 87. Gráfico dos resultados para água superficial: rio; nascentes; lagos (C1.1 - 1). Setor censitário 314600805000034 (Bairro dos Pitangas)	158

Figura 88. Resultados para água superficial: rio; nascentes; lagos (C1.1 - 2). Setor censitário 314600805000034 (Bairro dos Pitangas).....	159
Figura 89. Gráfico dos resultados para água superficial: rio; nascentes; lagos (C1.1 - 2). Setor censitário 314600805000034 (Bairro dos Pitangas)	159
Figura 90. Resultados para água subterrânea: poço escavado - poço caipira (C2.1 – 1). Setor censitário 314600805000034 (Bairro dos Pitangas)	160
Figura 91. Gráfico dos resultados para água subterrânea: poço escavado - poço caipira (C2.1 – 1). Setor censitário 314600805000034 (Bairro dos Pitangas).....	160
Figura 92. Resultados para água subterrânea: poço escavado - poço caipira (C2.1 – 2). Setor censitário 314600805000034 (Bairro dos Pitangas)	161
Figura 93. Gráfico dos resultados para água subterrânea: poço escavado - poço caipira (C2.1 – 2). Setor censitário 314600805000034 (Bairro dos Pitangas).....	161
Figura 94. Resultados para operação e distribuição canalizada (D 1.1). Setor censitário 314600805000034 (Bairro dos Pitangas)	162
Figura 95. Gráfico dos resultados para operação e distribuição canalizada (D 1.1). Setor censitário 314600805000034 (Bairro dos Pitangas).....	162
Figura 96. Caixa de armazenamento de água bruta sem tampa, próxima ao solo e a estrada, com alto risco da água para consumo humano.....	164
Figura 97. Captação de água para consumo humano é realizada de forma superficial e transportada por gravidade, sem tratamento, através de uma nascente localizada a montante do domicílio.....	165
Figura 98. A água é captada em um poço escavado localizado ao lado da residência. O poço está sem proteção na parte superior, o que pode provocar a entrada de contaminantes da água.....	166
Figura 99. Armazenamento de água bruta em recipiente desprotegido próximo de área de criação de animais sem estar devidamente cercada e protegida.....	167
Figura 100. Armazenamento de água bruta em recipiente desprotegido próximo à estrada com tráfego de veículos automotores e transeuntes.....	168
Figura 101. Água captada em poço caipira sem proteção adequada, permitindo acesso de animais e outras pessoas, estando expostos a contaminação	169
Figura 102. Área de captação de água bruta sem proteção, com danificação da tampa, sem proteção na área em volta, com presença de criação de animais, próxima à estrada.	170

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Matriz de priorização de riscos da água para consumo humano sugerida pela Organização Mundial da Saúde.....	29
Quadro 2. Pesos relativos normalizados para as variáveis do Índice de Poluição Não Pontual (PNPI).....	43
Quadro 3. Classes de risco para o PNPI.....	43
Quadro 4. Análise de risco referente aos componentes Captação de água superficial: rio; nascentes; lagos. (C1.1), Reservatório de água bruta (C 3.1) e Operação e Distribuição canalizada (D1.1) para o setor censitário 313060605000005.....	99
Quadro 5. Variáveis relacionadas à captação de água superficial: rio; nascentes; lagos. (C1.1).....	116
Quadro 6. Variáveis relacionadas à captação de água subterrânea: poço escavado (poço caipira) (C 2.1).....	118
Quadro 7. Variáveis relacionadas à captação de água subterrânea: poço tubular semi-artesiano (C 2.2)	120
Quadro 8. Variáveis relacionadas à captação de água subterrânea: poço tubular artesiano (C 2.3).....	121
Quadro 9. Variáveis relacionadas ao armazenamento de água bruta: reservatório de água bruta (C 3.1).....	122
Quadro 10. Variáveis relacionadas ao armazenamento de água bruta: reservatório de água de chuva (cisterna) (C 3.2)	123
Quadro 11. Variáveis relacionadas ao processo de tratamento: tratamento químico/físico (T 1.1).....	124
Quadro 12. Variáveis relacionadas ao armazenamento de água tratada: reservatório de água tratada (T 2.1).....	125
Quadro 13. Variáveis relacionadas à distribuição canalizada: operação e distribuição canalizada (D 1.1).....	126
Quadro 14. Variáveis relacionadas ao veículo transportador: caminhão pipa e outros (D 2.1).....	127
Quadro 15. Variáveis relacionadas à utilização de água bruta ou tratada: coleta de água (U 1.1).....	128
Quadro 16. Variáveis relacionadas à utilização de água bruta ou tratada: armazenamento e manuseio domésticos (U 1.2)	129

Quadro 17. Análise de risco referente aos componentes Captação de água superficial: rio; nascentes; lagos. (C1.1), Reservatório de água bruta (C 3.1) e Operação e Distribuição canalizada (D1.1) para o setor censitário 313060605000005.....	131
Quadro 18. Análise de risco referente aos componentes Captação de água superficial: rio; nascentes; lagos. (C1.1) e Captação de água subterrânea: poço escavado (C 2.1) para o setor censitário 313060605000009.....	136
Quadro 19. Análise de risco referente aos componentes Captação de água superficial: rio; nascentes; lagos. (C1.1) e Armazenamento de água bruta (C 3.1) para o setor censitário 313060605000010.....	140
Quadro 20. Análise de risco referente aos componentes Captação de água superficial: rio; nascentes; lagos. (C1.1), Captação de água subterrânea: poço escavado (C 2.1) e Armazenamento de água bruta (C 3.1) para o setor censitário 310910505000009.....	144
Quadro 21. Análise de risco referente aos componentes Captação de água superficial: rio; nascentes; lagos. (C1.1), Captação de água subterrânea: poço tubular semi-artesiano (C 2.2) e Armazenamento de água bruta (C 3.1) para o setor censitário 310910505000011.....	150
Quadro 22. Análise de risco referente aos componentes Captação de água superficial: rio; nascentes; lagos. (C1.1), Armazenamento de água bruta (C 3.1) e Distribuição canalizada (D1.1) para o setor censitário 310910505000010.....	155
Quadro 23. Análise de risco referente aos componentes Captação de água superficial: rio; nascentes; lagos. (C1.1), Captação de água subterrânea: poço escavado (C 2.1) e Distribuição canalizada (D1.1) para o setor censitário 314600805000034.....	157

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Matriz qualitativa e semiquantitativa de priorização de risco.	28
Tabela 2. Estimativa da produção de poluição difusa das classes da Corine Land Cover, resultante de uma consulta a especialistas. O quadro apresenta os valores médios da consulta e os respectivos desvios-padrão. Foi pedido aos especialistas que atribuíssem uma pontuação de 0 (poluição mínima) a 10 (poluição máxima).	44
Tabela 3. Coeficientes de escoamento superficial por classe de uso do solo (Corine Land Cover) e por classe de permeabilidade.	46
Tabela 4. Coeficientes de correção de declividade para o indicador ROI.....	48
Tabela 5. Caracterização Bacia Hidrográfica do Ribeirão Pitanga	58
Tabela 6. Caracterização Bacia Hidrográfica do Ribeirão Pitanga	69
Tabela 7. Caracterização Bacia Hidrográfica do Ribeirão Pitanga a partir do mapa integrado de uso e ocupação do solo	71
Tabela 8. Coeficientes para LCI adaptados de classes de uso do solo a partir da classificação europeia Corine Land Cover (CLC).....	73
Tabela 9. Coeficientes para aplicação do ROI para escoamento superficial por classe de uso do solo (classificação do Corine Land Cover) relacionado com a classe de permeabilidade (A: alta – D: baixa) do solo adaptado conforme Manual Técnico de Pedologia (IBGE, 2015).	76
Tabela 10. Coeficientes de correção de declividade para o indicador ROI.....	78
Tabela 11. Classes de risco potencial em percentual de área da BHRP para o PNPI considerando os cenários 1, 2, 3 e 4 para o mapa integrado de uso do solo.....	84
Tabela 12. Cálculos para estabelecer número de amostras por setor censitário na BHRP	87
Tabela 13. Identificação dos principais bairros da BHRP distribuídos pelos 8 setores censitários	88

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	17
2 JUSTIFICATIVA	19
3 HIPÓTESE E OBJETIVOS	20
4 REVISÃO DE LITERATURA	21
4.1 Recursos hídricos.....	21
4.2 Segurança da água para consumo humano	22
4.3 Estudos hidrogeomorfológicos em bacias hidrográficas	24
4.4 Gestão e avaliação de risco.....	25
4.5 Avaliação de risco em diferentes áreas de aplicação.....	26
4.6 Métodos de avaliação de risco da segurança da água.....	28
4.7 Avaliação de risco da segurança da água em bacias hidrográficas	30
4.8 Índice de Poluição Não Pontual Potencial - PNPI.....	32
5 MATERIAIS E MÉTODOS.....	33
5.1 Caracterização da área de estudo.....	33
5.1.1 Área de Estudo	33
5.1.2 Hidrogeomorfometria da Bacia Hidrográfica.....	35
5.1.3 Ajuste e atualização da rede de drenagem.....	37
5.1.4 Classificação de uso e ocupação do solo	38
5.2 Avaliação de risco com o PNPI na BHRP.....	41
5.2.1 LCI – Land Cover Indicator (Indicador de Cobertura do Solo)	43
5.2.2 DI – Distance Indicator (Indicador de Distância).....	45
5.2.3 ROI – Run-Off Indicator (Indicador de Escoamento)	46
5.3 Avaliação de Risco da Água com Inspeção Sanitária na BHRP	48
5.3.1 Amostragem	48
5.3.2 Avaliação do Risco da Água para Consumo Humano	50
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	52
6.1 Fase1 - População na BHRP.....	52
6.2 Caracterização Hidrogeomorfométrica.....	54
6.2.1 Rede de Drenagem.....	54
6.2.2 Caracterização Hidrogeomorfométrica da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Pitanga	56
6.3 Fase 3 - Mapeamento de Uso e Ocupação do Solo	61

6.4 Fase 4 - Aplicação do PNPI.....	73
6.4.1 Ajuste do LCI	73
6.4.2 Ajuste do ROI.....	75
6.4.3 Resultados do PNPI.....	79
6.5 Fase 5 - Avaliação através de inspeção sanitária na BHRP	86
6.5.1 Tamanho da amostra.....	86
6.5.2 Aplicação do modelo	89
6.6 Aplicação dos instrumentos e características do abastecimento de água	101
7 CONCLUSÕES	103
REFERÊNCIAS	105
APÊNDICE A – LINGUAGEM PYTHON USADA NA CALCULADORA RASTER	114
APÊNDICE B – CARTA EXPLICATIVA APRESENTADA NOS DOMICÍLIOS ..	115
APÊNDICE C – MATRIZ PARA REFERÊNCIA DA AVALIAÇÃO EM CAMPO	116
APÊNDICE D – PLANILHA DE AVALIAÇÃO EM CAMPO	130
APÊNDICE E – AVALIAÇÃO DE RISCO POR SETOR CENSITÁRIO.....	131
APÊNDICE F – REGISTRO FOTOGRÁFICO DE ALGUNS CASOS NA AVALIAÇÃO	164

1 INTRODUÇÃO

A água é fundamental para a realização de qualquer atividade humana e, para cada tipo de uso, é necessário que certas características qualitativas sejam respeitadas. Obter água com qualidade para o abastecimento humano torna-se imperativo, uma vez que a água potável é de grande importância, não apenas pela capacidade de dessedentar, mas também pela possibilidade de, se contaminada, poder se tornar um veículo direto de vários agentes causadores de doenças graves (BRANCO, 1972).

A gestão eficiente dos recursos hídricos tem papel fundamental para impulsionar o crescimento econômico e redução da pobreza. A segurança da água para uso doméstico, produção de alimentos ou para fins recreativos é fundamental para a manutenção da saúde pública, uma vez que a água contaminada está ligada à transmissão de várias doenças (WHO, 2022).

A segurança da água está ligada diretamente à qualidade da água para o consumo humano, livre de contaminantes e segura para ser consumida, enquanto que a segurança hídrica é mais ampla e está relacionada à disponibilidade, gestão e resiliência dos recursos hídricos para diversos usos – agricultura, indústria e abastecimento humano – considerando tanto a qualidade como a quantidade. (BRASIL, 2012; CIRILO, 2015; MARENGO *et al.*, 2015; WHO, 2017).

Aspectos relacionados à conservação dos recursos hídricos podem ser considerados um dos maiores desafios para o desenvolvimento sustentável: bacias hidrográficas estão sendo degradadas, vegetações sendo destruídas, várzeas sendo ocupadas e tributários sendo aterrados (CIRILO, 2015). Segundo Simedo *et al.*, (2018) a qualidade da água está relacionada ao manejo, conservação, uso e ocupação do solo das bacias hidrográficas.

O planejamento de uso e ocupação do solo, o manejo adequado do solo e dos recursos hídricos são essenciais para mitigação de impactos em bacias hidrográficas e redução de riscos da água (PEREIRA *et al.*, 2016).

Em bacias hidrográficas, aspectos relacionados às características culturais, econômicas, sociais e de uso e ocupação do solo podem colocar em risco a qualidade da água para consumo humano, tornando necessárias a identificação e a avaliação dos riscos potenciais para uma gestão mais eficiente dos recursos hídricos (BEUKEN *et al.*, 2008; CECCHI *et al.*, 2007).

A poluição oriunda da crescente urbanização, da expansão da agricultura e da industrialização, devido à grande quantidade de poluentes carregados pelas águas de

drenagem dessas áreas, é uma importante causa de degradação dos recursos hídricos no país (CHAVES, 2005).

As características da água bruta dependem das condições naturais e do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica, bem como do escoamento superficial, da perda de solo e da possível carga de poluentes gerada pelas atividades nela desenvolvidas (VON SPERLING, 2005).

O uso de modelos e de métodos de avaliação de risco da segurança da água auxilia na elucidação de áreas prioritárias para implementação de medidas de controle da qualidade da água para consumo humano (CORRÊA, 2020; MUNAFÒ *et al.*, 2005).

Desse modo, a avaliação de risco da segurança da água em bacias hidrográficas é procedimento fundamental para compreender quais áreas são prioritárias para implementação de medidas de controle de poluição e para garantir a segurança da água para consumo humano.

A presente pesquisa teve como proposta a aplicação combinada de um modelo conceitual com índice de avaliação de risco de segurança da água para consumo humano junto à Bacia Hidrográfica Ribeirão Pitanga, localizado na região sul do Estado de Minas Gerais, abrangendo os municípios de Inconfidentes, Bueno Brandão e Ouro Fino, já que apresenta elementos e características que permitiram a realização do presente estudo.

Esta tese foi dividida em 7 capítulos, sendo esta Introdução a primeira parte.

No segundo capítulo foram apresentadas as justificativas que embasaram esta pesquisa.

No terceiro capítulo foram apresentadas a hipótese e os objetivos a serem perseguidos.

O quarto capítulo contém a revisão bibliográfica, a qual aborda todo o referencial teórico considerado, procurando-se situar na fronteira do conhecimento. Nesta etapa foram analisadas as pesquisas desenvolvidas recentemente, visando a melhor definição dos temas e conceitos empregados na pesquisa.

No quinto capítulo, descreveu-se a área de estudo, assim como os materiais e métodos empregados. A área de estudo foi caracterizada nesse capítulo a fim de fornecer elementos e dados de entrada o uso integrado modelo de avaliação de risco de segurança da água.

O sexto capítulo apresenta os resultados e discussões da presente pesquisa. E, por fim, o sétimo capítulo apresenta as conclusões e considerações finais da presente pesquisa.

2 JUSTIFICATIVA

O acesso a água segura para o consumo humano é um direito de todos e fundamental para a saúde humana, entretanto eventos perigosos em bacias hidrográficas, relacionados à gestão de risco da água, afetam diretamente a segurança da água.

O Ministério da Saúde tem enfatizado cada vez mais a importância de adoção de medidas preventivas de avaliação de risco da água para o consumo humano. Porém nem todas empresas públicas e privadas de saneamento adotam essas medidas..

A identificação e avaliação de riscos de segurança da água em mananciais são essenciais para implementação de medidas protetivas, considerando a intensificação de pressões antrópicas, a alteração de bacias hidrográficas e a demanda crescente de água segura para consumo humano.

A avaliação de risco da segurança da água atua como uma medida preventiva eficiente que busca antecipar e mitigar o surgimento problemas, proporcionando a identificação de riscos desde a captação da água até o copo de água do consumidor final, diferentemente de outras formas de monitoramento que atuam com medidas reativas.

Para auxiliar a adoção de procedimentos de gestão de riscos relacionados à água, torna-se necessário estabelecer modelos de avaliação de risco que sejam de fácil compreensão, abranjam integralmente as bacias hidrográficas, e tenham aplicabilidade pelos setores públicos e privados. Experiências com procedimentos de avaliação de risco da água para consumo humano são incipientes no país, e muitas empresas de saneamento encontram dificuldade no seu desenvolvimento.

Para auxiliar e complementar procedimentos de inspeção sanitária em campo, e contribuir com uma análise mais robusta e abrangente, ferramentas de geoprocessamento podem ser conciliadas com outros tipos de modelos de avaliação de risco da segurança da água, como o modelo proposto por Corrêa (2020). Esse modelo foi criado para facilitar procedimento de avaliação de risco da segurança da água em pequenas comunidades, e é composto por um banco de dados indicando eventos perigosos potenciais distribuídos em componentes de Sistema e Soluções Alternativas de Abastecimento de Água (SSAAA).

Sendo assim, a presente pesquisa é justificada pela importância da aplicação combinada de um modelo com índice de avaliação de risco de segurança da água para consumo humano em bacia hidrográfica com características urbanas e rurais. Os resultados obtidos tendem a contribuir com o conhecimento científico e poderão auxiliar na tomada de decisões e desenvolvimento de políticas públicas de gestão integrada dos recursos hídricos para segurança da água para consumo humano em bacias hidrográficas.

3 HIPÓTESE E OBJETIVOS

A presente tese de doutorado tem como hipótese que a aplicação combinada de um modelo com um índice de avaliação de risco de segurança da água pode aprimorar a capacidade de conhecer, avaliar e gerenciar os riscos associados à água para consumo humano em bacias hidrográficas, considerando aspectos e características hidrogeomorfológicas, sanitárias e de uso e ocupação do solo.

Com a utilização dessa abordagem na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Pitanga em Minas Gerais, espera-se demonstrar que a aplicação combinada das ferramentas pode elucidar a compreensão mais abrangente dos fatores que interferem na segurança da água para consumo humano, e com isso contribuir com a gestão integrada dos recursos hídricos em determinada bacia hidrográfica e com a aplicação de programas para garantir água segura nos domicílios, auxiliando a implementação de medidas preventivas para proteção da saúde pública, fornecendo informações importantes para a tomada de decisões relacionada à qualidade da água.

A pesquisa tem como objetivo geral a aplicação combinada de modelo e índice de avaliação de risco de segurança da água para consumo humano realizando um estudo de caso na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Pitanga no Estado de Minas Gerais, municípios de Inconfidentes, Bueno Brandão e Ouro Fino.

Os objetivos específicos são:

- ✓ Realizar caracterização hidrogeomorfolométrica e mapeamento de uso e ocupação do solo na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Pitanga.
- ✓ Elaborar mapa integrado, combinando os diferentes instrumentos de geoprocessamento para garantia de maior precisão.
- ✓ Realizar avaliação de risco de segurança da água nos domicílios inseridos na área de estudo por meio de modelo conceitual de inspeção sanitária.
- ✓ Realizar avaliação de risco de segurança da água na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Pitanga utilizando índice com auxílio de geoprocessamento.
- ✓ Estabelecer os riscos potenciais da água para consumo humano.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Recursos hídricos

A disponibilidade de água em quantidade e qualidade é um aspecto fundamental para o desenvolvimento humano e as altas demandas de água são um desafio para a garantia da segurança hídrica (ANA, 2021).

Os mananciais de água possuem função estratégica e são essenciais para o desenvolvimento econômico, social e ambiental, sendo que estudos relacionados aos recursos hídricos são fundamentais para compreensão de suas demandas e para proposição de políticas de planejamento regional (TUNDISI, 2014).

Apesar dos recursos hídricos serem essenciais para as pessoas e suas economias, as necessidades básicas de água potável e saneamento em muitas partes do mundo ainda não são supridas de forma integral. Isso é reflexo da falha de políticas públicas, planejamento, gestão e tomada de decisões (LOUCKS; EELCO, 2017).

No Brasil, a demanda de água tem crescimento acelerado com destaque para o abastecimento das cidades, uso industrial e utilização para irrigação na agricultura, sendo que as maiores demandas ocorrem nos estados do Rio Grande do Sul, Minas Gerais, São Paulo e Bahia. Em São Paulo a maior demanda é para o abastecimento urbano, enquanto nos outros 3 estados predomina o uso na agricultura. Esta última corresponde a cerca de 50% de uso no país seguido pelo abastecimento humano com cerca de 23% do total. (ANA, 2022).

Algumas estratégias podem contribuir para melhorias da gestão hídrica. O uso conjunto de mananciais superficiais e subterrâneos, considerando alguns aspectos técnicos, pode evitar conflitos no uso da água e gerar benefícios econômicos (MATTIUZI; MARQUES, 2019).

Frente à alta demanda por água em diferentes setores de forma interdependente, torna-se fundamental que haja um desenvolvimento coordenado dos recursos hídricos por meio da Gestão Integrada dos Recursos Hídricos (GIRH). A GIRH é baseada no desenvolvimento coordenado e gestão de água, solo e recursos naturais com intuito de maximizar o bem-estar econômico e social de forma sustentável, considerando a água doce tem valor econômico e é um recurso finito e vulnerável, essencial à vida, ao desenvolvimento e meio ambiente (GWP, 2000).

O modelo de GIRH ganhou força e passou a ser adotado no país com a implantação da Lei nº 9.433/1997 e consequente desenvolvimento dos planos de recursos hídricos (BRASIL, 1997).

Os planos de recursos hídricos são planos diretores com objetivo de orientar a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), Lei das Águas, e gerenciamento dos recursos hídricos. O plano apresenta diretrizes para implementação da PNRH bem como programas e metas alinhados aos objetivos dessa política (BRASIL, 2022).

O Brasil avançou na GIRH por meio da definição de bacia hidrográfica como unidade de gestão e instituição dos Comitês de Bacias Hidrográficas (SILVA; HERREROS; BORGES, 2017).

Nesse sentido, o uso de metodologias capazes de mensurar os riscos de segurança da água para consumo humano em bacias hidrográficas tem potencial de contribuir com a GIRH e mitigar conflitos no uso da água.

4.2 Segurança da água para consumo humano

O acesso à água segura é direito de todos e essencial para a manutenção da vida. Dados da Organização Mundial da Saúde (OMS) e da Organização das Nações Unidas (ONU) mostram que esse direito básico não é atendido.

O conceito de segurança da água difere-se do conceito de segurança hídrica. A segurança da água está ligada diretamente à qualidade da água para o consumo humano, livre de contaminantes e segura para ser consumida, enquanto que a segurança hídrica é mais ampla e está relacionada à disponibilidade, gestão e resiliência dos recursos hídricos para diversos usos – agricultura, indústria e abastecimento humano – considerando tanto a qualidade como a quantidade. (BRASIL, 2012; CIRILO, 2015; MARENGO *et al.*, 2015; WHO, 2017).

A segurança da água é mais crítica principalmente em países em desenvolvimento. Estima-se que 90% de todas as águas residuais nesses países são lançadas sem nenhum tipo de tratamento em mananciais de água (CORCORAN *et al.*, 2010). Como isso, cerca de 1,8 bilhões de pessoas podem estar bebendo água contaminada com coliformes fecais, 2,2 bilhões não têm serviço de água potável gerenciado de forma segura e cerca de 4,2 bilhões não têm serviço de esgotamento sanitário (UNICEF & WHO, 2019).

Nesse cenário, a população mais vulnerável é diretamente impactada. No mundo todo, em média, 57% dos casos de diarreia em crianças menores de 5 anos pode ser atribuído aos aspectos do meio ambiente (WHO, 2017a).

Desse modo, a água impacta de forma significativa aspectos econômicos e sociais, e é responsável por grande quantidade de óbitos. A estimativa é de que mais de 50% dos

leitos hospitalares estão ocupados com enfermidades em decorrência da poluição hídrica, sendo que morrem mais pessoas em decorrência da poluição das águas do que por qualquer outra forma de violência no mundo (CORCORAN *et al.*, 2010).

O Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) número 6 da agenda 2030 tem como meta mudar essa realidade, abordando de forma específica questões relacionadas à água potável e ao saneamento com intuito de “garantir a disponibilidade e manejo sustentável da água e saneamento para todos” (UN - UNITED NATIONS, 2015).

No Brasil, cerca de 45% da população não tem atendimento com rede de esgoto, 15 % não tem atendimento com rede de água (SNIS, 2020), o que corroborou, no ano de 2019, com cerca de 273 mil internações por doenças de veiculação hídrica, sendo que, dessas internações, 30 % foram crianças de 0 a 4 anos (TRATA BRASIL, 2021).

Além dessas questões de saneamento básico, os crescentes eventos de desmatamento, de erosão, assoreamento, o uso de produtos químicos e o lançamento de efluentes em mananciais superficiais tem comprometido a segurança da água para consumo humano (Brasil, 2006).

No sul do estado de Minas Gerais, o uso e ocupação do solo tem impactado diretamente na qualidade dos mananciais de água. O tipo do solo, a declividade do terreno, as culturas empregadas são fortemente afetadas pela intensidade das chuvas que tem potencial de provocar erosão e conseqüente carreamento de partículas sólidas e nutrientes, arraste de insumos agrícolas e assoreamento dos corpos hídricos (ESPÍNDOLA; BRIGANTE; ELER, 2003).

Os mesmos autores complementam explicando que o assoreamento dos mananciais dessa região é agravado pela grande quantidade de estradas de terra, sem pavimentação, a qual aumenta a perda de solo e carreamento superficial.

Esse cenário apresentado impacta diretamente na qualidade da água. Uma água segura para a consumo humano deve estar livre de elementos nocivos à saúde (substâncias tóxicas e organismos patogênicos) e não deve possuir sabor, odor ou aparência desagradável, atendendo, conseqüentemente, aos padrões de potabilidade (TSUTIYA, 2004).

A Portaria GM/MS n° 888 (BRASIL, 2021) estabelece procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano, ressaltando a necessidade de manter avaliação do sistema de abastecimento sob a ótica dos riscos à saúde, levando em consideração a ocupação da bacia hidrográfica contribuinte ao manancial e a qualidade

da água distribuída conforme princípios de segurança da água recomendados pela Organização Mundial da Saúde (WHO, 2005, 2014, 2017, 2022).

A vigilância relacionada à água para consumo humano compreende um conjunto de ações adotadas por autoridades de saúde pública para garantir que a água fornecida à população atende as legislações vigentes no país (Brasil, 2006).

Portanto a segurança da água deve ter prioridade em pautas de políticas públicas e também em temas de pesquisa na área acadêmica, levando em consideração o uso e ocupação do solo e características hidrológicas e morfométricas das bacias hidrográficas.

4.3 Estudos hidrogeomorfológicos em bacias hidrográficas

As bacias hidrográficas são sistemas bem delimitados espacialmente, portanto são essenciais para avaliações de processos de degradação ambiental e são fundamentais como unidades de planejamento e gestão ambiental (CRISPIM; SOUZA, 2016; FREITAS, 2020).

A maneira em que o solo e os mananciais são geridos em determinado ponto de uma bacia pode impactar diretamente outro ponto dessa bacia. (LOUCKS; EELCO, 2017).

A relevância e importância das bacias hidrográficas está expressa em um dos princípios fundamentais da lei das águas, lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997, a qual define que “a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos” (BRASIL, 1997).

A bacia hidrográfica representa a unidade mais apropriada para estudos qualitativos e quantitativos dos recursos hídricos (PIRES; SANTOS; PRETTE, 2002) e pode ser definida como uma área de captação natural de água da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída (exutório), sendo composta basicamente por um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem (SILVEIRA, 1993).

A gestão de bacias hidrográficas evoluiu para uma abordagem de gestão de forma mais global, levando em consideração elementos biológicos, físicos e sociais. Nesse sentido, novas tecnologias contribuíram para uma abordagem mais abrangente e multidimensional, auxiliando assim os tomadores de decisão (WANG, G. *et al.*, 2016).

O conhecimento dos mecanismos que controlam as bacias hidrográficas, bem como sua rede de drenagem, é fundamental para a gestão sustentável dos recursos hídricos

(LOMBANA; MARTÍNEZ-GRAÑA, 2021). A caracterização física e hidrológica de bacias hidrográficas é imprescindível para compreender e avaliar sua dinâmica, possibilitando o planejamento ambiental de determinada área e propiciando a avaliação de mananciais e degradação potencial (LOUCKS; EELCO, 2017; SANTOS, J. E. B. DOS; MONTEIRO, 2019; SANTOS, G. O. *et al.*, 2018).

Uma série de pesquisas e contribuições feitas por geomorfologistas trouxeram compreensão de aspectos particulares referentes ao ciclo hidrológico, surgindo assim uma geomorfologia hidrológica e levando a uma falsa definição de geomorfologia. Nesse sentido, geomorfologia hidrológica pode ser definida como a interface entre hidrologia (ciência da água) e a geomorfologia (estudo das formas do relevo e seus processos causadores), ou seja, é a hidrologia das águas superficiais que interage com a geomorfologia (GREGORY, 2004).

As propriedades hidrogeomorfológicas de uma bacia hidrográfica podem ser obtidas tanto de forma manual quanto semiautomática, com auxílio de imagens de sensoriamento remoto, carta topográfica, Modelo Digital de Elevação (MDE), softwares de Sistema de Informações Geográficas (SIG) e seus complementos (ALVES SOBRINHO *et al.*, 2010; AYACHE *et al.*, 2018; BOSQUILIA *et al.*, 2015; CORREA *et al.*, 2017; MENDES, 2018; SENTURIÃO; ESQUERDO, 2012).

Estudos dessa natureza são possíveis graças aos conceitos sobre análise geomorfológica de bacias hidrográficas fornecidos por Horton (1945), servindo de base para Strahler (1957) propor método hierárquico de ordenamento de rios (GOODWIN; TARBOTON, 2004).

Desse modo, a caracterização hidrogeomorfológica envolve estudo referente à interface da geomorfologia e da hidrologia, e compreende etapa fundamental para o planejamento e avaliação de risco potencial de degradação em bacias hidrográficas.

4.4 Gestão e avaliação de risco

Os princípios e processos de como conceituar, avaliar e gerenciar riscos, dentro do campo científico da gestão de risco, foram estabelecidos há mais de 30 anos. Esse campo de atuação tem se tornado rotina nas engenharias, bem como nas organizações e empresas de diversos nichos como um instrumento para capturar, avaliar e planejar os riscos em seus projetos (SINHA, 2020).

A avaliação de risco é um processo que determina a natureza e extensão de um determinado risco, tornando-se fundamental para o estabelecimento de bases para o

desenvolvimento de políticas públicas e estratégias para o gerenciamento de risco (ROVINS *et al.*, 2015).

O gerenciamento de risco requer a identificação de todos os possíveis perigos e eventos perigosos, e uma avaliação de risco apresentada para eles (BARTRAM *et al.*, 2009; BEUKEN *et al.*, 2008; DAVISON *et al.* 2005; WHO, 2017b). Sendo assim, um dos aspectos mais importantes é a identificação precisa dos perigos potenciais e determinação de sua probabilidade de ocorrência de danos, ou seja, o nível de risco e qual medida tomar sobre ele (HSE, 2014).

De acordo com a “ABNT NBR ISO 31000:2018 – Gestão de Riscos” o “risco é normalmente expresso em termos de fontes de risco, eventos potenciais, suas consequências e suas probabilidades” (ABNT, 2018, p.17). Risco é a probabilidade de perigos identificados causarem danos, incluindo a magnitude e as consequências desse dano (WHO, 2017b).

Perigo é uma fonte de dano potencial (AS/NZS, 2004) que pode ocorrer ou ser introduzido em todo sistema de água (desde a captação até o consumidor) e pode ser definido como um agente físico, químico, biológico ou radiológico causador de algum risco à saúde pública (BARTRAM *et al.*, 2009; RASHON, 2009; WHO, 2017b; WHO, 2016).

Por sua vez, os eventos perigosos (ou fonte de perigo) são incidentes ou situações que podem levar à presença de um agente perigoso no sistema de abastecimento de água (MAHMUD *et al.*, 2007; RASHON, 2009; WHO, 2017b; WHO, 2016). Um evento pode ser certo ou incerto (AS/NZS, 2004); algo que é esperado, mas não ocorre, ou pode ser algo que não é esperado, mas ocorre (ABNT, 2018).

A identificação de eventos perigosos potenciais para avaliação de risco requer expertise da equipe responsável pela avaliação, caso não haja referências de variáveis ou modelos para subsidiar a análise. Modelos e ferramentas específicas para avaliação de risco auxiliam esse tipo de atividade, garantindo mais agilidade e eficácia no processo.

4.5 Avaliação de risco em diferentes áreas de aplicação

A avaliação de risco é realizada em pesquisas nas mais variadas atividades industriais e estudos acadêmicos em diversas áreas do conhecimento.

Roy *et al.* (2021) realizaram estudo para modelar e identificar perigo de alagamento, vulnerabilidade ambiental e identificação de zonas de risco em uma cidade

na Índia, com auxílio de SIG e de Processo Analítico Hierárquico (*Analytical Hierarchy Process – AHP*).

Para avaliar o risco de inundação em grande escala em bacias hidrográficas, Zhang *et al.* (2020) desenvolveram um método de sistema de índice e abordagem baseada em SIG. O maior desafio encontrado para aplicação desse modelo foi a disponibilidade e qualidade dos dados da área de estudo.

Varol; Şener; Şener (2021) avaliaram a qualidade da água para consumo humano e para irrigação na Turquia utilizando métodos de índice de qualidade da água combinados com SIG, determinando o risco potencial para a saúde humana.

Há outros exemplos no emprego da avaliação de risco em áreas diversas, tais como:

- ✓ Indústria marítima: avaliação de risco de colisão de navios e para avaliação de risco em operações de veículos subaquáticos autônomos, trazendo mais segurança na operação desses veículos (AYDIN *et al.*, 2021; CHEN *et al.*, 2021);
- ✓ Indústria ferroviária: monitoramento da infraestrutura ferroviária com avaliação de risco de falha em trilhos (JAMSHIDI *et al.*, 2017);
- ✓ Agropecuária: avaliação de risco do surgimento de espécies invasoras ervas daninhas e para avaliação de risco de introdução e disseminação de doenças infecciosas em animais (CATON *et al.*, 2018; SQUARZONI-DIAW *et al.*, 2021);
- ✓ Indústria nuclear: avaliação de risco cibernético de ativos digitais (EGGERS; LE BLANC, 2021);
- ✓ Indústria química: avaliação de risco de vazamento em tanque de armazenamento de petróleo e avaliação de risco para manutenção de dutos de gás natural (IKWAN; SANDERS; HASSAN, 2021; LI; HE; SHUAI, 2021);
- ✓ Saúde: avaliação do risco de quedas acidentais de pacientes em hospitais, avaliação de risco de emergência relacionada ao Covid-19, avaliação de risco de suicídio em pediatria e avaliação de risco para a saúde relacionado aos radionuclídeos no consumo de cogumelos (CHO *et al.*, 2020; MENG; XING, 2021; POSNER *et al.*, 2007; WANG, S. *et al.*, 2021);

Para auxiliar a avaliação de risco de contaminação da água em áreas extensas, o uso do SIG tem se tornado um instrumento essencial e auxiliado na compreensão dos riscos distribuídos em um espaço determinado.

4.6 Métodos de avaliação de risco da segurança da água

Diversas metodologias estão disponíveis e podem ser utilizadas em amplas áreas de estudo para a identificação e avaliação de risco, sendo que uma gama muito grande de ferramentas de geoprocessamento está disponível para isso. Entre elas, softwares de SIG (ex: QGIS e ArcGIS) têm sido amplamente aplicados na análise de risco (ROVINS *et al.*, 2015).

A avaliação de risco é uma análise completa para identificar coisas, situações, processos, etc., que podem causar algum tipo de dano. Após identificação de perigos potenciais, deve-se estabelecer qual a probabilidade de ocorrência de danos e gravidade do risco (HSE, 2014; SINHA, 2020).

Desse modo, para estudos de análise de risco da segurança da água, pode-se realizar a análise mediante caracterização e priorização de riscos utilizando-se a técnica “Matriz de Priorização de Risco”. A matriz (Tabela 1) foi originada das normas *Standards Australia e Standards New Zealand (AS/NZS, 2004)*, e adaptada por Corrêa (2020) a partir de matrizes apresentadas em Brasil (2012) e WHO (2017).

Tabela 1. Matriz qualitativa e semiquantitativa de priorização de risco.

Probabilidade de Ocorrência	Severidade da Consequência				
	Insignificante Peso 1	Baixa Peso 2	Moderada Peso 3	Grave Peso 4	Muito Grave Peso 5
Quase certo - Peso 5	5 (baixo)	10 (alto)	15 (alto)	20 (muito alto)	25 (muito alto)
Muito Frequente - Peso 4	4 (baixo)	8 (médio)	12 (alto)	16 (muito alto)	20 (muito alto)
Frequente - Peso 3	3 (baixo)	6 (médio)	9 (médio)	12 (alto)	15 (alto)
Pouco Frequente - Peso 2	2 (baixo)	4 (baixo)	6 (médio)	8 (médio)	10 (alto)
Raro - Peso 1	1 (baixo)	2 (baixo)	3 (baixo)	4 (baixo)	5 (baixo)

Score de Risco	<6	6-9	10-15	>15
Classificação de risco	Baixo	médio	Alto	Muito Alto

Análise de risco:

■ **Muito alto:** risco extremo e não tolerável; necessidade de ação imediata.

■ **Alto:** risco alto e não tolerável; necessidade de especial atenção.

■ **Médio:** risco moderado; necessidade de atenção.

■ **Baixo:** baixo risco e tolerável, controlável por meio de procedimentos de rotina.

Fonte: adaptado de BRASIL (2012) e WHO (2017) por Corrêa (2020).

A Matriz de Priorização de Riscos analisa a probabilidade de ocorrência do evento e a severidade das consequências, conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro 1. Matriz de priorização de riscos da água para consumo humano sugerida pela Organização Mundial da Saúde

SEVERIDADE DA CONSEQUÊNCIA		
<i>Descritor</i>	<i>Descrição</i>	<i>Peso</i>
Insignificante	Sem impacto detectável	1
Baixa	Pequeno impacto sobre a qualidade organoléptica da água e/ou baixo risco à saúde, que pode ser minimizado em etapa seguinte do sistema de abastecimento.	2
Moderada	Elevado impacto estético e/ou com risco potencial à saúde, que pode ser minimizado em etapa seguinte do sistema de abastecimento.	3
Grave	Potencial impacto à saúde, que não pode ser minimizado em etapa seguinte do sistema de abastecimento.	4
Muito grave	Elevado risco potencial à saúde, que não pode ser minimizado em etapa seguinte do sistema de abastecimento.	5
PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA		
<i>Descritor</i>	<i>Descrição</i>	<i>Peso</i>
Raro	Uma vez a cada cinco anos	1
Improvável	Uma vez por ano	2
Moderadamente Provável	Uma vez por mês	3
Provável	Uma vez por semana	4
Quase certo	Uma vez por dia	5

Fonte: adaptado de Brasil (2012) e WHO (2017) por Corrêa (2020).

Esse tipo de metodologia utiliza uma abordagem qualiquantitativa. A análise qualitativa de risco descreve-o usando termos descritivos pré-definidos, e são fornecidos rótulos não numéricos para parâmetro de entrada que geralmente representam uma faixa numérica (ex: baixa, moderada, raro, provável, etc.). A análise quantitativa calcula o risco de forma numérica, sendo atribuídos valores numéricos aos parâmetros de entrada (ROVINS *et al.*, 2015).

A utilização de SIG para análises de qualidade da água possibilita o mapeamento de indicadores de qualidade da água em bacias hidrográficas em grande escala, melhorando o monitoramento e auxiliando no cumprimento de padrões e regulamentações de gestão e controle de poluição hídrica, fornecendo também mais opções espaço-analíticas do que os monitoramentos convencionais (KHOUNI; LOUHICHI; GHRABI, 2021; KISTEMANN *et al.*, 2001; ZHANG *et al.*, 2020).

Em uma análise da qualidade das águas subterrâneas profundas, Ben Brahim; Boughariou; BourI (2021) utilizaram modelos de Índice de Qualidade da Água (IQA) e Lógica Fuzzy para avaliação da qualidade da água para consumo humano e irrigação e análise espacial em SIG.

Fernandes *et al.* (2021) utilizaram uma abordagem combinando SIG e análise de decisão multicritério ponderada pelo AHP, para análise de risco de contaminação da água em bacia hidrográfica, com o emprego de cinco critérios condicionantes: densidade

populacional; declividade; percentual de áreas queimadas, número Strahler; locais de lançamento de efluentes.

Cecchi *et al.* (2007) e Munafò *et al.* (2005) elaboraram e aplicaram método simplificado para avaliação de risco de contaminação da água por fontes de poluição difusa com uso de SIG.

A avaliação de risco da segurança da água com uso de SIG tem potencial de abranger áreas extensas, tais como bacias hidrográficas, permitindo avaliação integrada de risco da segurança da água auxiliando métodos de inspeção sanitária *in loco*.

4.7 Avaliação de risco da segurança da água em bacias hidrográficas

Em bacias hidrográficas, várias são as fontes de poluição que podem colocar em risco a segurança da água para consumo humano.

As fontes de poluição podem ser classificadas com relação a sua origem. A poluição pontual é individual e de fácil identificação, como por exemplo um local de descarte de efluente líquido contaminante. A fonte difusa, ou não pontual, é gerada em grandes áreas e de difícil identificação, como por exemplo a infiltração de agrotóxico no solo (BRK AMBIENTAL, 2019).

A poluição difusa está fortemente relacionada aos processos de urbanização, pois apresentam mudanças no uso da terra e afetam processos hidrológicos (XUE; WANG; ZHANG, 2022).

Esse tipo de poluição se tornou um grande efeito colateral provocado pela urbanização e avanço da agricultura – com aplicação indiscriminada de defensivos agrícolas e com irrigação e manejo agrícola inadequados. Esse tipo de poluição traz preocupação, principalmente em áreas de transição urbano-rurais que necessitam de uma avaliação diferenciada de poluição (MCCOY; CHAO; GANG, 2015; XUE; WANG; ZHANG, 2022).

Em bacias hidrográficas com deficiência em cobertura vegetal e com processos erosivos a poluição carregada para os mananciais superficiais pode ter contribuição significativa para a degradação da qualidade da água. A busca de modelos e metodologias para verificação de potenciais contaminantes da água tornam-se de suma importância (ANA, 2022).

Vários índices e modelos são utilizados para avaliação de risco de segurança da água, podendo ser citados alguns exemplos como: Ferramenta de Avaliação do Solo e da Água (*Soil & Water Assessment Tool - SWAT*); Programa de Simulação Hidrológica

(*Hydrological Simulation Program FORTRAN – HSPF*); modelo de Poluição de Fonte Não Pontual Agrícola Anualizada (*Annualized Agricultural Non-Point Source Pollution - AnnAGNPS*); Índice de Poluição não Pontual Potencial (*Potencial Non-point Pollution Index – PNPI*).

O SWAT é um modelo conceitual desenvolvido por Williams; Nicks; Arnold, (1985) que tem auxiliado gestores de recursos hídricos na avaliação da qualidade e quantidade de águas de mananciais superficiais e subterrâneos e prever impactos ambientais provocados por poluição difusa. O modelo não requer calibração, pois não é possível em bacias não monitoradas, usa dados que comumente estão disponíveis para grandes áreas, é eficiente e de monitoramento contínuo (ARNOLD, J.G.; SRINIVASAN, R.; MUTTIAH, R.S. WILLIAMS, 1998; ARNOLD; WILLIAMS, 1987; SWAT, 2022).

O HSPF é um programa robusto e altamente complexo, de domínio público, apoiado pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (*Environmental Protection Agency – EPA*) que contém um pacote para simulação hidrológica de bacias hidrográficas, incorporando análises de poluição não pontuais. É um modelo que abrange e integra variáveis de escoamento de contaminantes do solo com processos hidráulicos (EPA, 2022; SKAHILL, 2004).

O AnnAGNPS foi desenvolvido pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (*United States Department of Agriculture – USDA*) para projetar impactos de poluentes de fontes não pontuais de bacias hidrográficas predominantemente rurais, incluindo um modelo computacional de carga de poluentes em bacias hidrográficas para identificação de fontes de poluição e análise de risco (BINGNER; THEURER; YUAN, 2018; USDA, 2022).

O Índice de Poluição não Pontual Potencial (*Potencial Non-point Pollution Index – PNPI*) é uma ferramenta de SIG para avaliação da pressão global de uso diferentes uso do solo exercida sobre mananciais superficiais de água, utilizando-se de dados de entrada simplificados para análise em bacias hidrográficas (CECCHI *et al.*, 2007; MUNAFÒ *et al.*, 2005)

O PNPI se apresenta como um modelo prático e compacto para estudo de risco potencial da segurança da água em bacias hidrográficas composta por área urbana e rural com atividades de uso e ocupação do solo distintas.

4.8 Índice de Poluição Não Pontual Potencial - PNPI

A ferramenta utiliza-se da análise de multicritério, e para sua aplicação são necessários dados de uso da terra, mapas geológicos e MDE. O método utiliza 3 (três) indicadores, os quais são apresentados a seguir:

- ✓ Indicador de Cobertura do Solo (*Land Cover Indicator* - LCI): o indicador se refere à geração potencial de poluição difusa devido ao uso da terra.
- ✓ Indicador de Escoamento (*Run-off Indicator* – ROI): o indicador leva em consideração a mobilidade do poluente e possível infiltração em relação à inclinação do terreno, cobertura do solo e geologia.
- ✓ Indicador de Distância (*Distance Indicator* – DI): o indicador da distância hidráulica por meio de um coeficiente de despejo de poluição.

Para o cálculo do PNPI (equação 1), torna-se necessário normalizar os indicadores LCI, ROI e DI entre seus valores máximo e mínimo para variarem entre 0 e 1. Desse modo, o PNPI para cada célula da bacia hidrográfica é então calculado combinando os indicadores (MUNAFÒ, 2005; CECCHI, 2007):

$$PNPI = (4,8 \times LCI) + (2,6 \times DI) + (2,6 \times ROI) \quad (1)$$

O valor do PNPI é calculado para cada nó de uma grade representativa da bacia hidrográfica por meio de pesos definidos por avaliação de especialistas, sendo que quanto maior o PNPI maior o impacto. O resultado é expresso de forma sintetizada por meio de mapa, altamente comunicativo, destacando áreas com maior probabilidade de produzir poluição (MUNAFÒ, 2005).

O PNPI torna-se uma ferramenta adequada para aplicação em bacias hidrográficas brasileiras, principalmente onde não há banco de dados robusto com informações detalhadas sobre a bacia. Por outro lado, outros modelos mais sofisticados exigem uma gama maior de dados de entradas, o qual inclui ampla série histórica, além da necessidade de validação e calibração do modelo.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

Os procedimentos metodológicos (Figura 1) adotados na presente pesquisa são distribuídos pelas seguintes fases:

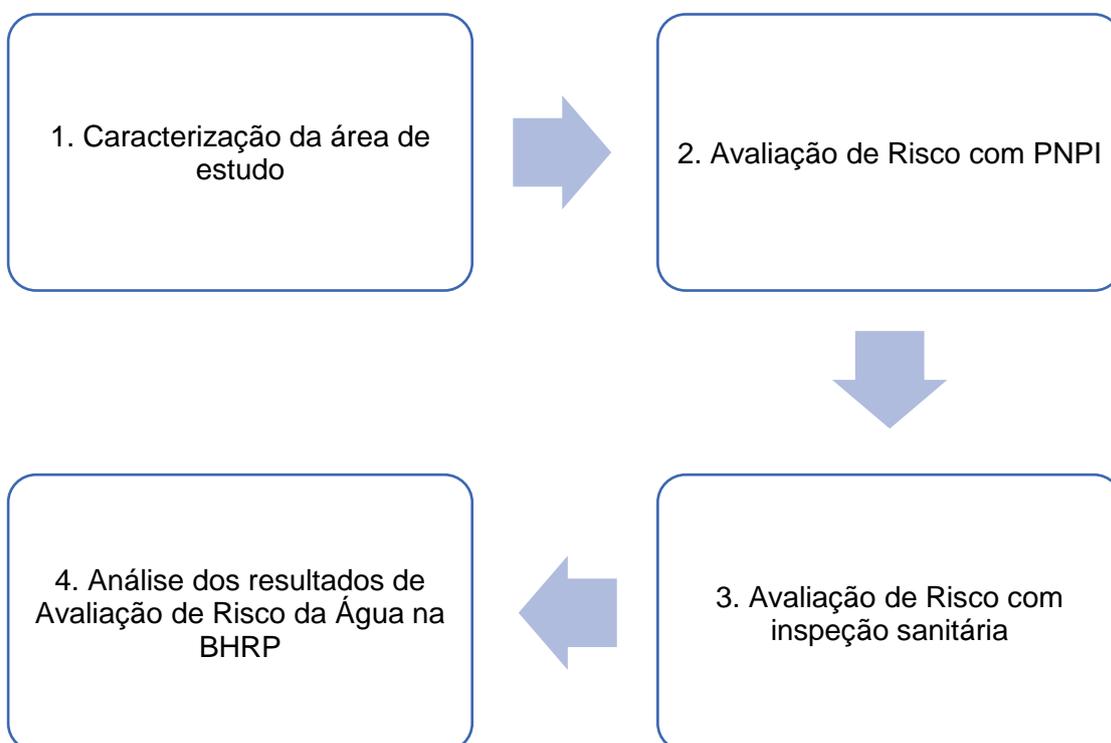


Figura 1. Fases metodológicas da pesquisa

5.1 Caracterização da área de estudo

5.1.1 Área de Estudo

A área de estudo compõe a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Pitanga (BHRP), a qual abrange os municípios de Inconfidentes, MG, Ouro Fino, MG e Bueno Brandão, MG (Figura 2), e está localizada na Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu. O Ribeirão Pitanga tem sua nascente no município de Bueno Brandão, sendo que esse curso d'água é responsável pelo abastecimento de água do município de Inconfidentes, MG.

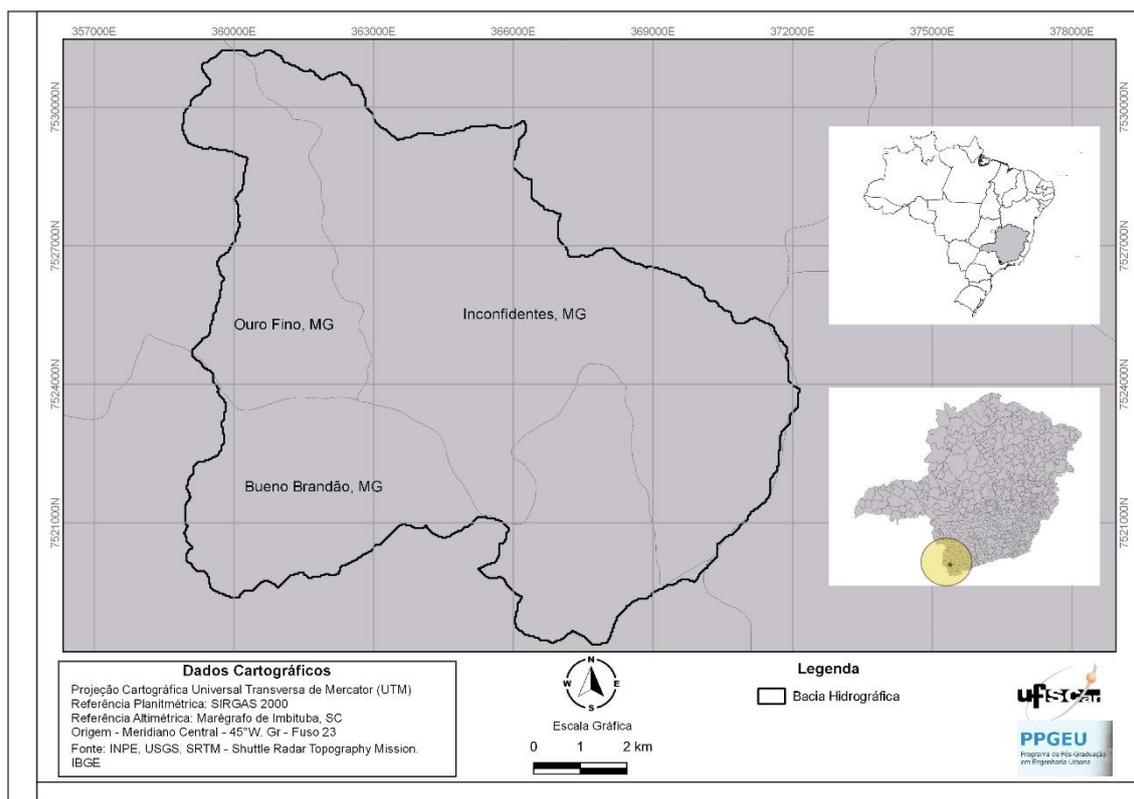


Figura 2. Mapa de localização da área de estudo no Sul de Minas Gerais, Brasil.

Fonte: autor (2022)

Inconfidentes, MG está localizado no extremo sul do estado de Minas Gerais, fazendo divisa territorial com os municípios de Ouro Fino, Bueno Brandão, Bom Repouso, Tocos do Moji e Borda da Mata. Tem população estimada em 7.387 pessoas (IBGE, 2021), está localizado a uma altitude média de 860m.

Atividades agropecuárias estão presentes no município desde o início do século passado com a criação de uma colônia agrícola de imigrantes estrangeiros em 1910 e com a implantação de um patronato agrícola em 1920 (IBGE, 2021) – hoje atual Instituto Federal do Sul de Minas, Campus Inconfidentes, MG.

Bueno Brandão tem uma população estimada de 10.982 habitantes (IBGE, 2022), com uma altitude média de 1184m.

Ouro Fino tem uma população estimada de 33.938 habitantes (IBGE, 2021). É uma das cidades mais antigas da região, povoada por volta de 1746 com a chegada dos bandeirantes no sul de Minas Gerais e leste de São Paulo (IBGE, 2021).

Os três municípios em que a área de estudo está inserida são de pequeno porte, sendo que as principais atividades econômicas da região estão relacionadas à agropecuária, com forte presença da agricultura familiar, e destaque à produção de café, à pecuária leiteira e de corte.

De acordo com a classificação Koppen (Figura 3), a área da bacia hidrográfica nos 3 municípios apresenta classificação Cwb (ALVARES *et al.*, 2013), com clima subtropical de altitude, inverno seco e verão ameno, e temperatura média do mês mais quente inferior a 22°C.

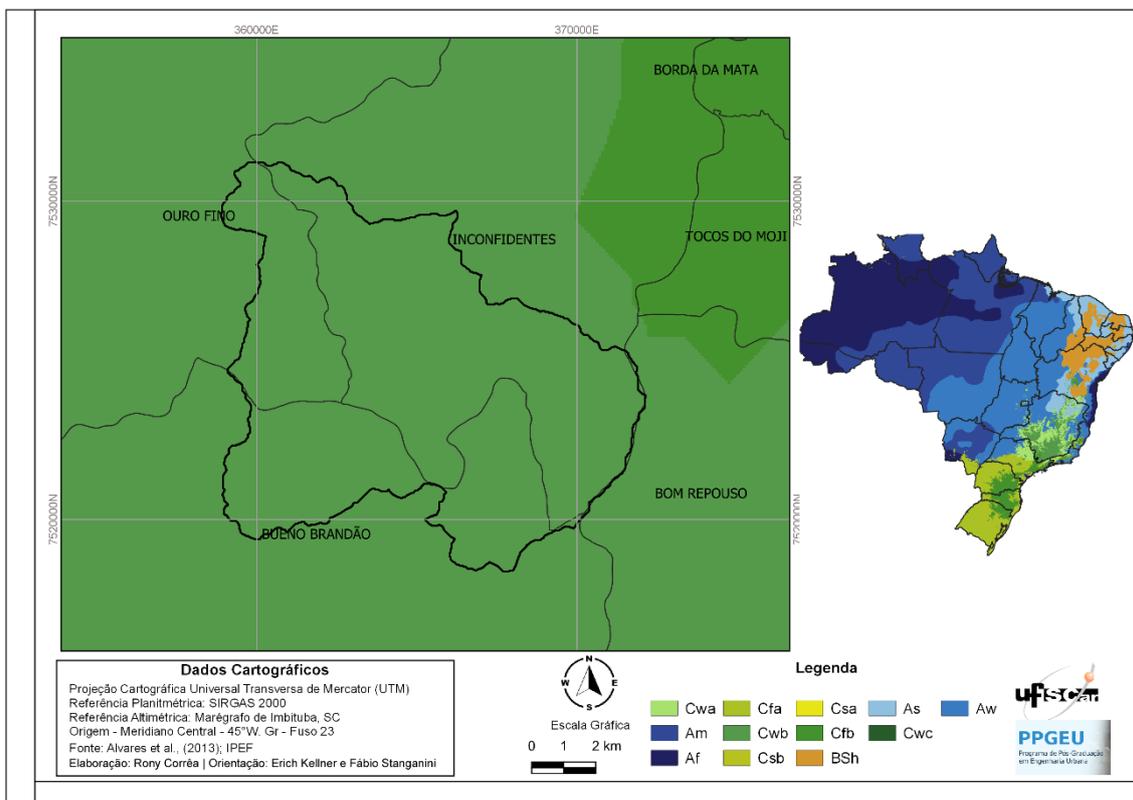


Figura 3. Mapa de classificação Koppen para a área de estudo
Fonte: elaborado pelo autor (2024) conforme dados de Alvares et al. (2013)

5.1.2 Hidrogeomorfometria da Bacia Hidrográfica

Para análise hidrogeomorfométrica foi utilizado MDE da área de estudo, processado através de imagens da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), obtido gratuitamente por meio do banco de dados geomorfométricos do Brasil do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Para o processamento do MDE, utilizou-se o software livre QGIS. O *plugin System for Automated Geoscientific Analyses* (SAGA) foi empregado para auxiliar as análises hidrogeomorfométricas, com as ferramentas *Terrain Analysis - Channels* (Análise do Terreno – Canais) e *Terrain Analysis – Hydrology* (Análise do Terreno – Hidrologia). Utilizou-se sistema geodésico de referência SIRGAS 2000, com projeção *Universal Transversa de Mercator* (UTM), zona 23 sul, para desenvolvimento dos mapas.

Os parâmetros hidrogeomorfológicos foram estabelecidos conforme metodologia indicada por Horton (1945), Miller (1953), Strahler (1952, 1957), Villela & Mattos (1975) com auxílio do software QGIS, os quais são apresentados a seguir:

- ✓ Perímetro, área, comprimento axial da bacia e nº de canais e seus comprimentos e hierarquia fluvial: para calcular esses parâmetros utilizaram-se ferramentas, complementos e procedimentos contidos no software QGIS;
- ✓ Densidade de drenagem: é definida como o comprimento cumulativo de todos os canais de uma bacia hidrográfica dividido pela área da mesma bacia. É um parâmetro muito importante para a rede de canais, determinando o espaçamento dos canais, comprimento das encostas, escala de comprimento máximo das falhas de encostas, entre outros (SLAYMAKER, 2004). O índice varia de 0,5 km/km², para bacias com drenagens ineficientes, a 3,5 km/km², para bacias com ótima drenagem (VILLELA; MATTOS, 1975). Utilizou-se a equação 2:

$$DD = \frac{L}{A} \quad (2)$$

Em que:

DD = densidade de drenagem (km/km²)

L = comprimento total de todos os canais (km)

A = área da bacia hidrográfica (km²)

- ✓ Índice de conformação: esse índice faz comparação da área da bacia com área de quadrado de lado igual ao comprimento axial. Quanto mais próximo de 1 maior a potencialidade de produção de picos de cheia (BARGOS, 2019). O índice é definido pela relação entre área e comprimento axial do eixo da bacia, conforme equação 3 apresentada a seguir:

$$Fc = \frac{A}{L^2} \quad (3)$$

Em que:

Fc= índice de conformação (adimensional)

A= área da bacia (km²)

L= comprimento do eixo da bacia - da foz ao ponto mais longínquo no espigão (km)

- ✓ Coeficiente de compacidade: O coeficiente de compacidade (K_c) é a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual da bacia. Coeficientes menores indicam bacias mais circulares, com menor tempo de concentração e maior probabilidade de picos de cheia (Bargos, 2019), conforme equação 4 a seguir:

$$K_c = 0,28 \times \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (4)$$

Em que:

P = perímetro da bacia (km)

A = área da bacia (km²)

$K_c = 1$: Bacia perfeitamente circular (adimensional)

$K_c < 1$: Bacia alongada (adimensional)

Quanto menor o coeficiente, mais circular é a bacia, menor o tempo de concentração e maior a tendência de haver picos de enchente.

- ✓ Índice de circularidade: de acordo com o índice de circularidade (equação 5), quanto mais próximo de 1,0, mais a bacia se aproxima da forma circular. O índice diminui à medida que a forma se torna alongada.

$$IC = 12,57 \times \frac{A}{P^2} \quad (5)$$

Em que:

IC = índice de circularidade < 1 (adimensional)

A = área da bacia (km²)

P = perímetro da bacia (km)

5.1.3 Ajuste e atualização da rede de drenagem

O vetor da rede de drenagem gerado de forma automática a partir do MDE apresenta algumas imprecisões durante a definição de caminhos preferenciais realizadas pelo algoritmo, o que resulta em vetores que não representam de forma precisa os canais de drenagem. Da mesma forma, a rede de drenagem apresentada em cartas topográficas também não representa com precisão a realidade devido às alterações naturais do relevo e às intervenções antrópicas ocorridas ao longo dos anos.

Desse modo, realizou-se ajuste e atualização do sistema de drenagem gerado na etapa anterior a fim de representar com mais precisão os vetores dos canais de drenagem presentes na BHRP.

Utilizaram-se os seguintes materiais:

- ✓ MDE, disponível pelo INPE, elaborado a partir de dados da SRTM;
- ✓ Carta Topográfica do IBGE, folha Ouro Fino SF-23-Y-B-I-3, primeira edição 1972, escala 1:50.000, Projeção Universal Transversa de Mercator, Datum vertical marégrafo Imbituba, SC, datum horizontal Córrego Alegre, MG.
- ✓ Imagens do satélite *China-Brazil Earth Resources Satellite (CBERS) 4A* Câmera Multiespectral e Pancromática de Ampla Varredura (WPM), ortorretificada, nível L4, do dia 10 de julho de 2021.
- ✓ Imagens de satélite de alta resolução disponíveis pelo Google Earth acessadas por meio do plugin do google no QGIS.

Para análise, realizou-se sobreposição da camada vetorial da rede de drenagem gerada a partir do MDE, da imagem geotiff da carta topográfica da região de estudo, das imagens fusionadas do satélite CBERS 4A com 2 metros de resolução espacial e de imagens de satélite de alta resolução do Google Earth.

Com a sobreposição foi possível verificar, corrigir e atualizar inconsistências na rede de drenagem apresentadas nos vetores obtidos a partir do MDE e carta topográfica da região de estudo.

Os procedimentos de ajuste foram realizados com método visual e manual, observando e corrigindo o posicionamento dos vetores dos canais de drenagem por meio da ferramenta vértice do QGIS com auxílio das imagens de satélite de alta resolução atualizadas.

5.1.4 Classificação de uso e ocupação do solo

Para os procedimentos de classificação, utilizou-se imagem da câmera WPM, nível L4 (imagem ortorretificada), com resolução de até 2m, satélite de sensoriamento remoto CBERS 4A, obtidas gratuitamente por meio do catálogo do INPE da Divisão de Geração de Imagens (INPE, 2019), e também imagens de alta resolução obtidas através do *Google Earth*.

Também foram obtidas imagens de uso e ocupação do solo do projeto *World Cover*, capitaneado pela Agência Espacial Europeia (*European Space Agency – ESA*),

com resolução de 10 m, elaboradas a partir de dados dos satélites *Sentinel-1* e *Sentinel-2* (ESA WORLD COVER, 2020).

As imagens do CBERS 4A foram processadas no QGIS a fim de gerar composição coloridas das bandas espectrais 2, 3 e 4 (resolução de 8m) e fusão da banda 0 (pancromática) para obter imagem com resolução de 2m utilizando a ferramenta *pansharpening*.

No mapeamento de uso e ocupação do solo foram utilizados os seguintes procedimentos: classificação semiautomática; geração Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index – NDVI*); aquisição de mapa de uso do solo da ESA; classificação manual.

Na classificação semiautomática, utilizou-se o *Semi-Automatic Classification Plugin* (SCP) no QGIS, o qual permite classificação e categorização de cobertura do solo de forma semiautomática, a partir de imagens de satélite, com utilização de algoritmos (QGIS, 2022). Para classificação, foram definidas Regiões de Interesse, conforme as categorizações de uso do solo (Figura 4), e utilizou-se o algoritmo de classificação *Minimum Distance* (mínima distância) após testes com *Maximum Likelihood* (máxima verossimilhança) e *Spectral Angle Mapping* (mapeamento por ângulo espectral). Por fim, as imagens *raster* classificadas foram vetorizadas e foi realizada mensuração de cada área classificada.

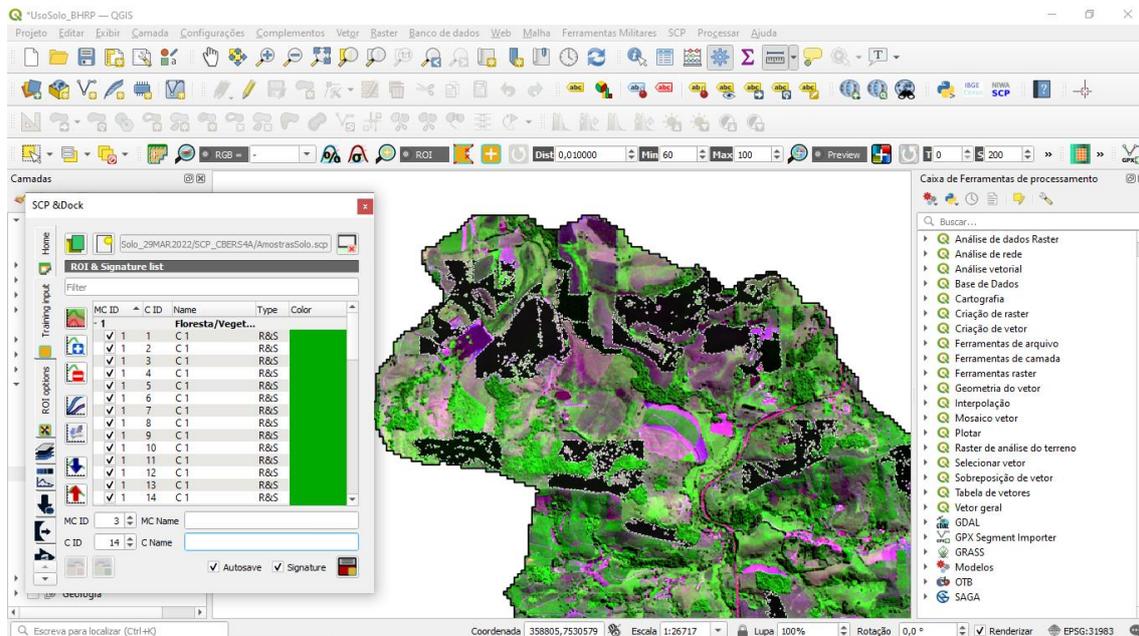


Figura 4. Aquisição de amostras para criação das regiões de interesse com SCP

Fonte: autor (2024)

Para a geração do NDVI utilizaram-se as bandas 3 (vermelho) e 4 (infravermelho próximo) do satélite CBERS 4A fusionadas com a banda 0 (pancromática) com resolução espacial de 2m. Para cálculo do NDVI utilizou-se a calculadora *raster* do QGIS (Figura 5) com a equação 6:

$$NDVI = \frac{(B4F - B3F)}{(B4F + B3F)} \quad (6)$$

Em que:

NDVI: *Normalized Difference Vegetation Index* - Índice de vegetação por Diferença Normalizada

B4F: Banda 4 do infravermelho próximo fusionada com 2 metros de resolução

B3F: Banda 3 do vermelho fusionada com 2 metros de resolução

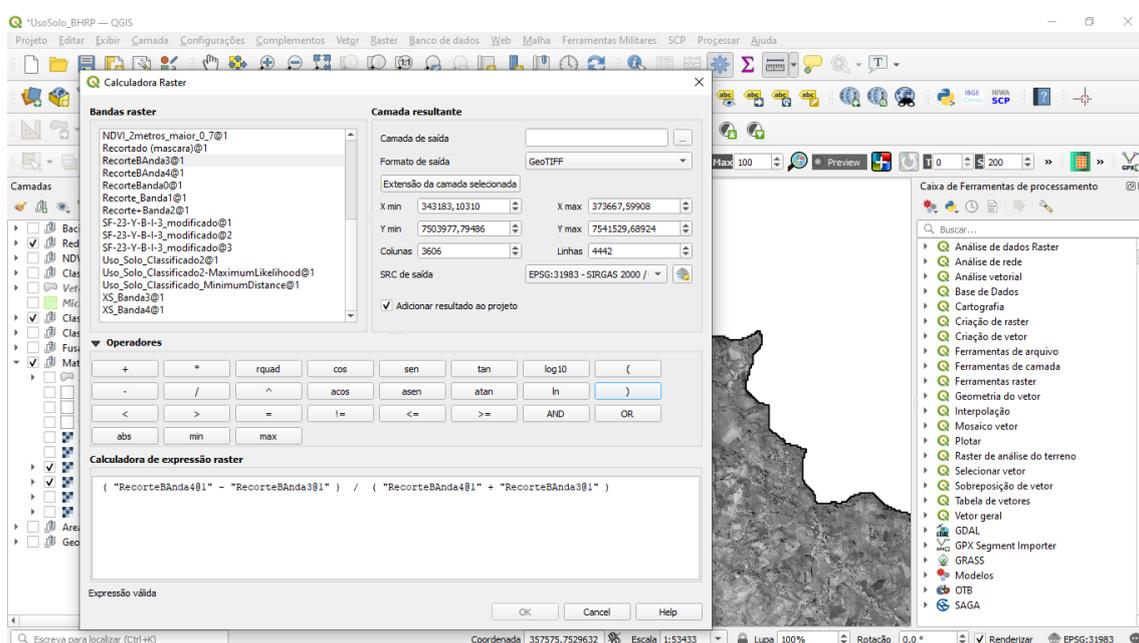


Figura 5. Cálculo de NDVI com auxílio da calculadora *raster* do QGIS

Fonte: autor (2024)

Após geração do NDVI, realizou-se a vetorização, a classificação e a mensuração das áreas em duas categorias: áreas com vegetação (árvores e arbustos) e áreas sem vegetação.

A imagem de cobertura do solo obtida pela ESA foi recortada para a área de estudo e vetorizadas para mensuração de cada categoria.

Observando-se a falta de precisão para delimitação das áreas de agricultura na bacia hidrográfica em estudo, realizou-se a vetorização manual de todas áreas de cultivo. O procedimento foi realizado observando e sobrepondo a vetorização com auxílio de imagens de composição colorida do CBERS 4A e de imagens de alta resolução do Google Earth (Figura 6).

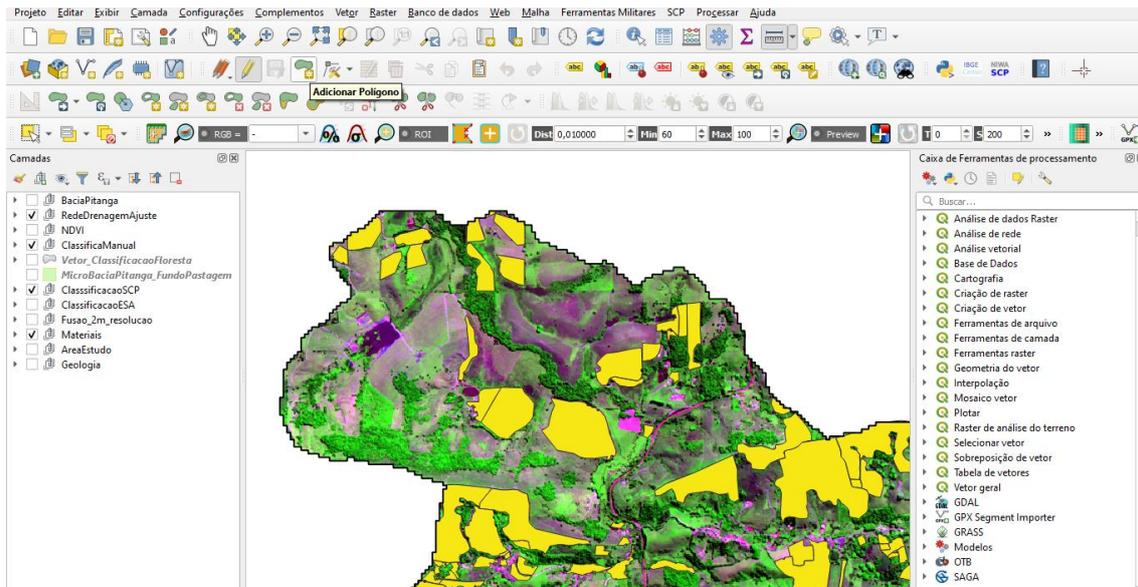


Figura 6. Vetorização manual com auxílio de imagem do satélite CBERS 4A.

Fonte: autor (2024)

Também foram vetorizados alguns pontos de interesse que não foram estabelecidos nos procedimentos anteriores, tais como: áreas de mineração, aterro controlado e área de captação de água de abastecimento público.

Após realização dos procedimentos mencionados anteriormente, gerou-se um mapa integrado de uso e ocupação do solo com a união dos vetores que mais se aproximavam da realidade de área de estudo, juntamente com a rede de drenagem gerada da BHRP.

5.2 Avaliação de risco com o PNPI na BHRP

Para aplicação do PNPI, realizou-se o geoprocessamento de imagens e dados, disponíveis na internet, utilizando o software livre QGIS Desktop 3.14.15. A aplicação é compreendida pelos materiais e produtos sintetizados pelo fluxograma (Figura 7) a seguir:

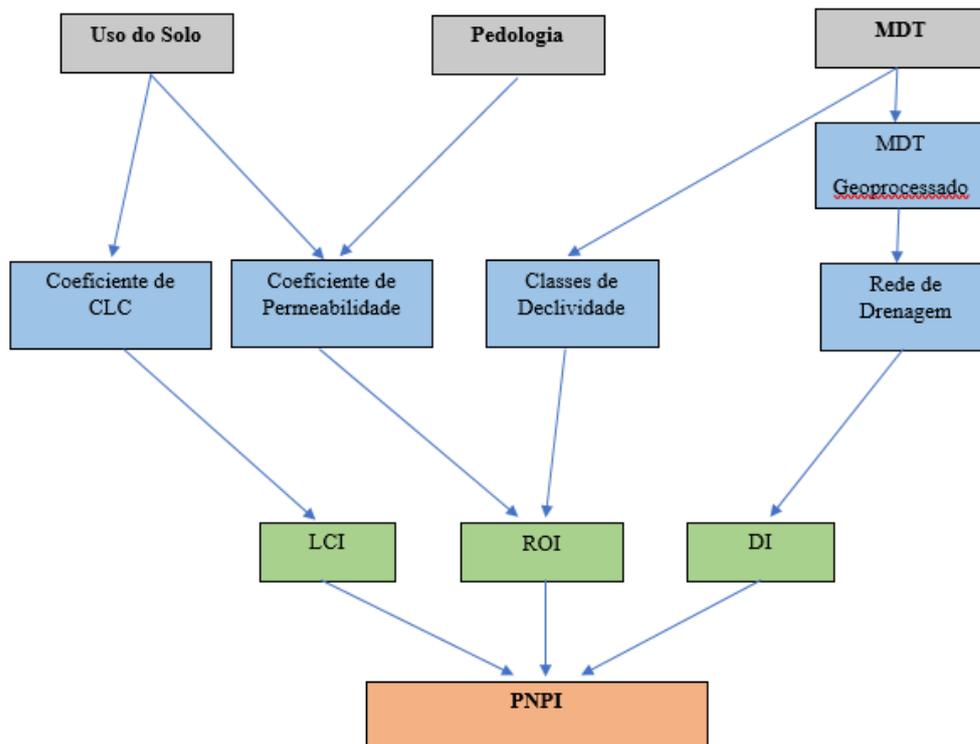


Figura 7. Materiais e procedimentos para aplicação do PNPI

Para o cálculo do PNPI (equação 7), torna-se necessário normalizar os indicadores LCI, ROI e DI entre seus valores máximo e mínimo para variarem entre 0 e 1. Desse modo, o PNPI para cada célula da bacia hidrográfica é então calculado combinando os indicadores (MUNAFÒ, 2005; CECCHI, 2007):

$$PNPI = (4,8 \times LCI) + (2,6 \times DI) + (2,6 \times ROI) \quad (7)$$

Em que:

PNPI (Potencial Non-point Pollution Index): adimensional variando em escala 0 a 10.

LCI (Land Cover Indicator): adimensional variando em escala 0 a 1.

DI (Distance Indicator): adimensional variando em escala 0 a 1.

ROI (Run-Off Indicator): adimensional variando em escala 0 a 1.

A equação foi aplicada na calculadora *raster* do QGIS, atribuindo os pesos normalizados conforme Quadro 2.

Quadro 2. Pesos relativos normalizados para as variáveis do Índice de Poluição Não Pontual (PNPI)

Indicador	Peso do Indicador (média)	Desvio padrão
LCI (Land Cover Indicator)	4,8	0,71
DI (Distance Indicator)	2,6	0,52
ROI (Run-Off Indicator)	2,6	0,71

Fonte: Cecchi (2007)

Após o cálculo, a camada *raster* resultante foi classificada utilizando a função “reclassificar por tabela” no QGIS, com as seguintes classes de risco, Quadro 3:

Quadro 3. Classes de risco para o PNPI

Classes de Risco	Potencial	Valores
1	Potencial muito baixo	$0 < \text{PNPI} \leq 4,5$
2	Potencial baixo	$4.5 < \text{PNPI} \leq 5.5$
3	Potencial moderado	$5.5 < \text{PNPI} \leq 6.5$
4	Potencial alto	$6.5 < \text{PNPI} \leq 7.5$
5	Potencial muito alto	$7.5 < \text{PNPI} \leq 10$

Fonte: Cecchi (2007)

Os valores percentuais para cada classe foram calculados utilizando o “*plugin* Análise de Dados *Raster*”: reporta camada *raster* de valor único.

Para o estudo, realizou-se avaliação para 4 tipos de cenários: (i) mapa de uso do solo integrado com rede de drenagem sem ajuste; (ii) mapa de uso do solo integrado com rede de drenagem ajustada; (iii) mapa de uso do solo da *Esa WorldCover* com rede de drenagem sem ajuste; (iv) mapa de uso do solo da *Esa WorldCover* com rede de drenagem ajustada. Esses mapas são apresentados com maiores detalhes no tópico 7.4.

5.2.1 LCI – Land Cover Indicator (Indicador de Cobertura do Solo)

Para criar o LCI tonou-se necessário fazer a correlação e adaptação das classes de uso do solo classificadas na presente pesquisa com as classes de uso do solo estabelecidas pelo sistema de classificação europeu *Corine Land Cover* (CLC), de acordo com pontuações dos estudos de Cecchi (2007), conforme apresentado no Tabela 2:

Tabela 2. Estimativa da produção de poluição difusa das classes da Corine Land Cover, resultante de uma consulta a especialistas. O quadro apresenta os valores médios da consulta e os respectivos desvios-padrão. Foi pedido aos especialistas que atribuísem uma pontuação de 0 (poluição mínima) a 10 (poluição máxima).

Classes do Corine Land Cover	Pontuação (valor médio adimensional)	Pontuação (desvio padrão adimensional)
Tecido urbano contínuo	8,22	2,22
Tecido urbano descontínuo	6,89	1,36
Unidades industriais ou comerciais	7,78	2,49
Redes rodoviárias e ferroviárias e terrenos associados	5,67	2,55
Zonas portuárias	7	3,10
Aeroportos	5,56	1,67
Áreas de extração de minerais	7,78	1,72
Áreas de descarte de resíduos sólidos	8,11	2,32
Canteiros de obras	7,22	2,54
Áreas verdes urbanas	2,33	1,66
Instalações esportivas e de lazer	3	1,66
Terra arável não irrigada	6,33	2,50
Terra permanentemente irrigada	8,89	2,03
Cultivo de arroz	7,67	1,80
Plantações de uva	7	2,24
Plantações de frutíferas	7,89	2,26
Cultivo de azeitonas	5,22	1,99
Pastagem	4	2,35
Culturas anuais associadas a culturas permanentes	7,44	2,24
Padrões de cultivo complexos	6,89	1,96
Terras ocupadas principalmente pela agricultura com áreas significativas de vegetação natural	5,67	1,94
Áreas agroflorestais	2,89	2,03
Floresta de folhosas	0,56	1,13
Floresta de coníferas	0,56	0,88
Floresta mista	0,44	0,88
Pastagens naturais	1,94	2,27
Terreno árido com vegetação rasteira	0,56	1,01
Vegetação esclerófila	0,22	0,44
Arbusto florestal de transição	0,78	1,09
Praias, dunas e areias	0,78	1,64
Rochas nuas	0	0

(continua)

(continuação)

Tabela 2. Estimativa da produção de poluição difusa das classes da Corine Land Cover, resultante de uma consulta a especialistas. O quadro apresenta os valores médios da consulta e os respectivos desvios-padrão. Foi pedido aos especialistas que atribuíssem uma pontuação de 0 (poluição mínima) a 10 (poluição máxima).

Áreas com pouca vegetação	0,89	1,96
Áreas queimadas	2,67	2,24
Geleiras e neve	0,11	0,33
Pântanos interiores	0,89	1,17
Turfeiras	1	1,5
Pântanos salgados	0,44	0,88
Salinas	0,43	1,13
Zona intertidal	0,43	1,13
Cursos de água	0,14	0,38
Corpos de água	0,88	1,81
Laguna	0,14	0,38
Estuários	0,43	1,13
Mar e oceano	0,14	0,38

Tornou-se necessário adaptar as classes de acordo com a equivalência das mesmas para a classificação de uso e ocupação do solo da BHRP, visto que há particularidades na classificação em diferentes regiões do mundo.

Os valores foram adicionados à tabela de atributos da camada vetorial de uso e ocupação do solo da BHRP no QGIS. Posteriormente a camada vetorial foi convertida em camada *raster* exportando a coluna referente ao LCI, sendo que os pixels das camadas foram atribuídos com os valores respectivos de cada área.

A camada *raster* foi normalizada com valores entre 0 a 1 com auxílio da “calculadora *raster*” do QGIS.

5.2.2 DI – Distance Indicator (Indicador de Distância)

O valor de DI refere-se a distância entre a rede hidrográfica da área de estudo, sendo que quanto mais longa for a distância, e conseqüente valor DI, mais baixo será o potencial de poluição dos mananciais. Sendo assim, o DI é determinado pela extensão normalizada entre o pixel *i* e o corpo hídrico mais próximo, considerando a seguinte função potencial estabelecida pela equação 8:

$$DI = e^{(-Dli \times k)} \quad (8)$$

Em que:

DI: indicador de distância, adimensional variando em escala de 0 a 1

Dli: distância do pixel *i* ao rio medido em número de células, adimensional variando em escala de 0 a 1;

K: constante adimensional com valor de 0,090533.

Para aplicar a equação, tornou-se necessário converter a camada vetorial da rede de drenagem para camada *raster* com tamanho de célula de 30m.

No cálculo do DI, utilizou-se a métrica *euclidean* pelo “*plugin r.grow.distance*” e aplicou-se a equação 8 com auxílio da calculadora *raster*. Os valores foram normalizados entre 0 a 1.

Os procedimentos foram realizados para a rede de drenagem gerada de forma automática, a partir do MDE, e também para a rede de drenagem ajustada e corrigida manualmente.

5.2.3 ROI – Run-Off Indicator (Indicador de Escoamento)

O ROI é um indicador que correlaciona o uso e ocupação do solo, pedologia, permeabilidade e declividade da região de estudo. Torna-se necessário identificar a classe de permeabilidade do solo em função do seu uso e, após isso, corrigir os valores em função da declividade da área de estudo.

Sendo assim, a elaboração do ROI foi dividida em duas etapas: estabelecimento da classe de permeabilidade do solo (i) e retificação do valor de acordo com a classe de declividade (ii).

Na 1ª etapa, como não há classificação de permeabilidade para a área de estudo, tornou-se necessário verificar o potencial de permeabilidade para os tipos pedológicos encontrados na BHRP. Desse modo, correlacionou-se os tipos de solo da BHRP com as classes de permeabilidade e coeficientes indicados de acordo com Cecchi (2017), conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3. Coeficientes de escoamento superficial por classe de uso do solo (Corine Land Cover) e por classe de permeabilidade.

Classes do <i>Corine Land Cover</i>	Classes de Permeabilidade			
	A	B	C	D
Tecido urbano contínuo	0,77	0,85	0,90	0,92
Tecido urbano descontínuo	0,57	0,72	0,81	0,86
Unidades industriais ou comerciais	0,89	0,90	0,94	0,94
Redes rodoviárias e ferroviárias e terrenos associados	0,98	0,98	0,98	0,98
Zonas portuárias	0,89	0,92	0,94	0,94
Aeroportos	0,81	0,88	0,91	0,93
Áreas de extração de minerais	0,46	0,69	0,79	0,84
Áreas de descarte de resíduos sólidos	0,46	0,69	0,79	0,84
Canteiros de obras	0,46	0,69	0,79	0,84
Áreas verdes urbanas	0,39	0,61	0,74	0,80

(continua)

(continuação)

Tabela 3. Coeficientes de escoamento superficial por classe de uso do solo (Corine Land Cover) e por classe de permeabilidade.

Instalações esportivas e de lazer	0,39	0,61	0,74	0,80
Terra arável não irrigada	0,70	0,80	0,86	0,90
Terra permanentemente irrigada	0,70	0,80	0,86	0,90
Cultivo de arroz	0,90	0,90	0,90	0,90
Plantações de uva	0,45	0,66	0,77	0,83
Plantações de frutíferas	0,45	0,66	0,77	0,83
Cultivo de azeitonas	0,45	0,66	0,77	0,83
Pastagem	0,30	0,58	0,71	0,78
Culturas anuais associadas a culturas permanentes	0,58	0,73	0,82	0,87
Padrões de cultivo complexos	0,58	0,73	0,82	0,87
Terras ocupadas principalmente pela agricultura com áreas significativas de vegetação natural	0,52	0,70	0,80	0,85
Áreas agroflorestais	0,45	0,66	0,77	0,83
Floresta de folhosas	0,36	0,60	0,73	0,79
Floresta de coníferas	0,36	0,60	0,73	0,79
Floresta mista	0,36	0,60	0,73	0,79
Pastagens naturais	0,49	0,69	0,79	0,84
Terreno árido com vegetação rasteira	0,49	0,69	0,79	0,84
Vegetação esclerófila	0,49	0,69	0,79	0,84
Arbusto florestal de transição	0,36	0,60	0,73	0,79
Praias, dunas e areias	0,76	0,85	0,89	0,91
Rochas nuas	0,77	0,86	0,91	0,94
Áreas com pouca vegetação	0,49	0,69	0,79	0,84
Áreas queimadas	0,77	0,86	0,91	0,94
Geleiras e neve	1,00	1,00	1,00	1,00
Pântanos interiores	1,00	1,00	1,00	1,00
Turfeiras	1,00	1,00	1,00	1,00
Pântanos salgados	1,00	1,00	1,00	1,00
Salinas	1,00	1,00	1,00	1,00
Zona intertidal	1,00	1,00	1,00	1,00
Cursos de água	1,00	1,00	1,00	1,00
Corpos de água	1,00	1,00	1,00	1,00
Laguna	1,00	1,00	1,00	1,00
Estuários	1,00	1,00	1,00	1,00
Mar e oceano	1,00	1,00	1,00	1,00

A: alta permeabilidade, D: baixa permeabilidade

Fonte: Cecchi (2017)

As classes de permeabilidade de solo foram correlacionadas aos respectivos usos de solo em seus limites. Para isso, utilizou-se o comando *Spatial Join* do QGIS, associando os atributos por local, entre as camadas vetoriais uso do solo e pedologia. Após a junção dos atributos, criou-se uma nova coluna na tabela de atributos da camada vetorial gerada com o nome permeabilidade. Foram atribuídos os respectivos valores de permeabilidade conforme sua pedologia, utilizando a função atribuir valor na tabela de atributos.

A camada vetorial com os valores de permeabilidade do solo foi convertida em *raster* selecionando a coluna de permeabilidade, com resolução de 30 m, com tipo de saída *float 32*.

Na 2ª etapa, realizou-se a retificação dos valores de permeabilidade em função da declividade.

A retificação foi realizada com a calculadora *raster* do QGIS, utilizando lógica booleana e linguagem Python (Apêndice A), onde foram somados os valores da camada *raster* de permeabilidade do solo com os coeficientes de correção indicados no Tabela 4.

Tabela 4. Coeficientes de correção de declividade para o indicador ROI

Classes de declividade (graus)	Coefficiente de correção
< 2°50'	0
2°50' - 3°41'	0,1
3°41' - 4°32'	0,2
4°32' - 5°23'	0,3
5°23' - 6°14'	0,4
6°14' - 7°05'	0,5
7°05' - 7°56'	0,6
7°56' - 8°47'	0,7
8°47' - 9°38'	0,8
9°38' - 10°29'	0,9
> 10°29'	1,0

Fonte: Cecchi (2007)

De acordo com Cecchi (2017), os valores retificados de ROI que ultrapassarem 1 devem ser considerados igual a 1. Para isso, utilizou-se a função “MIN ()” da linguagem Python para garantir que o resultado final não fosse maior que 1.

5.3 Avaliação de Risco da Água com Inspeção Sanitária na BHRP

5.3.1 Amostragem

Para avaliação de risco da água com inspeção sanitária nos domicílios da BHRP, realizou-se o cálculo do tamanho da amostra de domicílios presentes na área da bacia

conforme dados dos setores censitários dos 3 municípios. Como alguns setores censitários ultrapassam os limites da área de estudo, tornou-se necessário delimitar a área que cada setor está inserido dentro da BHRP e fazer o cálculo de domicílios específicos proporcionais para os setores censitários.

A área foi determinada através do cálculo das áreas dos vetores inseridos na bacia com auxílio do QGIS. Em seguida, calculou-se a quantidade de domicílios proporcionais com a equação 9:

$$DEPSCB = \frac{(AESC B \times TDSC)}{ATSC} \quad (9)$$

Em que:

DEPSCB: domicílios específicos proporcionais do setor censitário na bacia (domicílios)

AESC B: área específica do setor censitário na bacia (km²)

TDSC: total de domicílios do setor censitário (domicílios)

ATSC: área total do setor censitário (km²)

Com base no total de domicílios inseridos dentro da BHRP, calculou-se o tamanho da amostra, considerando um intervalo de confiança de 90%, conforme a equação 10 proposta por Sullivan (2003):

$$n = \frac{EDFF \times N \times p \times (1 - p)}{d^2 / Z_{1-\frac{\alpha}{2}}^2 \times (N - 1) + p \times (1 - p)} \quad (10)$$

Em que:

n : tamanho da amostra desejado (domicílios)

EDFF: efeito de design finito

N : tamanho total da população

p : proporção estimada da população

$(1 - p)$: proporção complementar (1 menos a proporção)

d : margem de erro

$Z_{1-\frac{\alpha}{2}}$: valor crítico da distribuição normal padrão para um intervalo de confiança de $1 - \frac{\alpha}{2}$, onde α é o nível de significância.

Para que o número de amostras fosse distribuído de forma proporcional dentro de cada setor censitário na BHRP, calculou-se o número de amostras para cada setor conforme a equação 11.

$$NASC = \frac{(DEPSCB \times n)}{TDEPSCB} \quad (11)$$

Em que:

NASC: número de amostras por setor censitário (domicílios)

DEPSCB: domicílios específicos proporcionais do setor censitário

n : tamanho da amostra

TDEPSCB: total de domicílios específicos proporcionais do setor censitário

Para que as amostras fossem distribuídas na BHRP, identificaram-se os bairros inseridos em cada setor e distribuíram-se as amostras dentro deles.

5.3.2 Avaliação do Risco da Água para Consumo Humano

Para avaliação do risco da água para o consumo humano, empregou-se modelo conceitual e software desenvolvido por Corrêa (2020) o qual realiza avaliação de risco da água para consumo humano por meio de inspeção sanitária em domicílios, desde a captação da água, em sistemas e soluções alternativas de abastecimento, até o consumo da água nas residências.

A Figura 8 ilustra a tela inicial do software desenvolvido por Corrêa (2020).



Figura 8. Página inicial de software desenvolvido em dissertação de mestrado com modelo de avaliação de risco da água.

Fonte: Corrêa (2020)

Para aplicação da ferramenta, tornou-se necessário realizar inspeção sanitária diretamente nos domicílios. Para a pesquisa, elaborou-se uma carta explicativa para ser apresentada aos moradores (Apêndice B), uma planilha matriz com todos elementos e variáveis a serem avaliadas (Apêndice C) e uma planilha para serem anotados e avaliados os riscos verificados nos sistemas e soluções alternativas de abastecimento de água (Apêndice D).

Os riscos eram identificados por meio de avaliação visual nas áreas de estudo e também eram anotadas informações passadas pelos moradores relacionadas ao uso da água no domicílio.

Os dados coletados foram analisados com auxílios do Excel e do software PSA Avalia (Corrêa, 2020).

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos, sendo dispostos segundo as fases dos levantamentos, conforme apresentadas pela Figura 9.

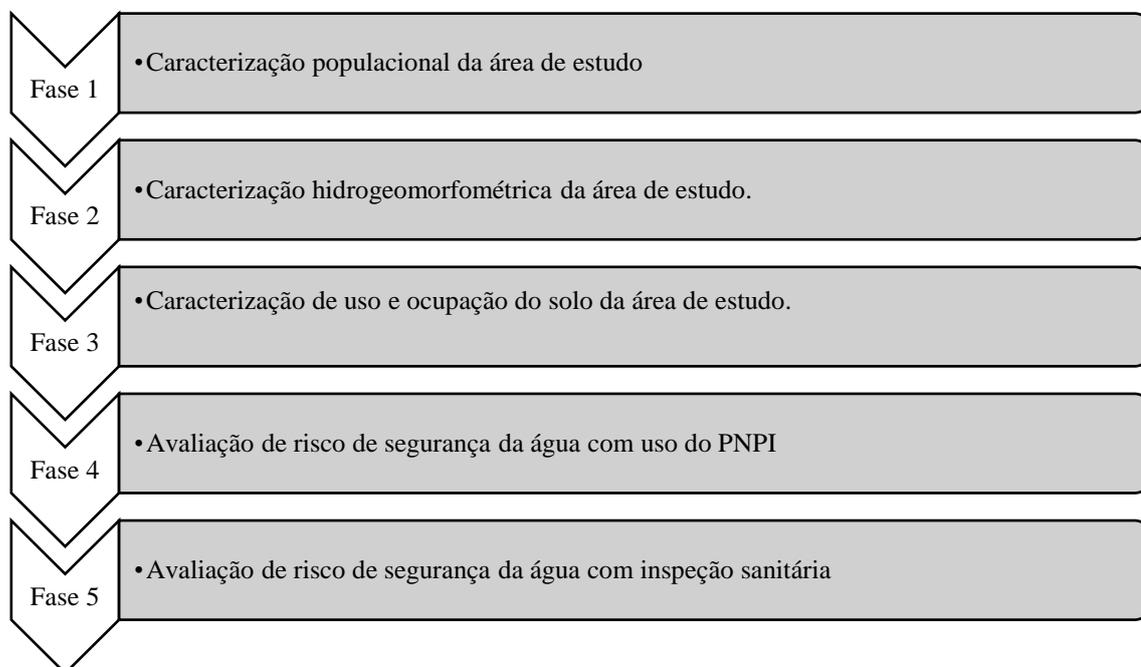


Figura 9. Representação dos principais resultados

6.1 Fase1 - População na BHRP

Na Figura 10 são apresentados o número total de moradores e a quantidade total de domicílios distribuídos pelos setores censitários dos três municípios na área da BHRP, totalizando 4.127 pessoas em 1.304 domicílios, de acordo com o censo do IBGE realizado em 2010.

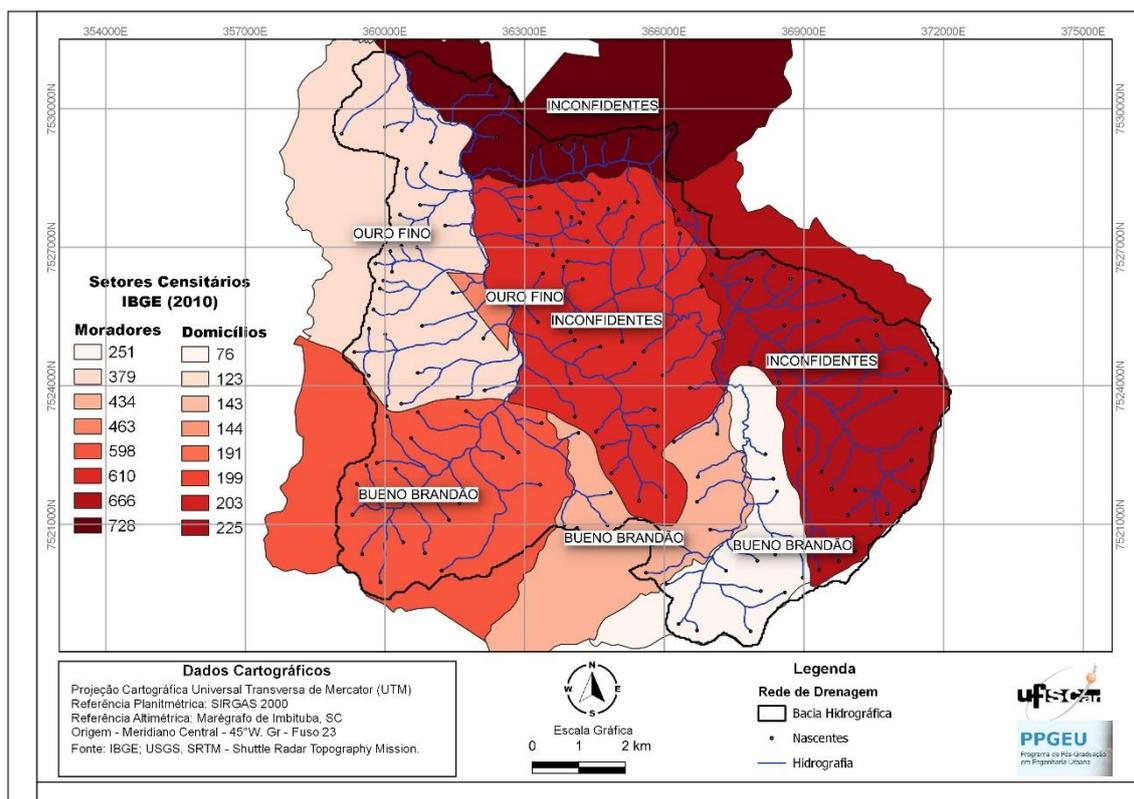


Figura 10. Mapa de distribuição de moradores e de domicílios por setor censitário na BHRP.

Fonte: autor (2024)

Observa-se, na Figura 10, que a maior concentração de pessoas está localizada na região nordeste e leste da BHRP, em áreas do município de Inconfidentes, MG. Porém grande parte dos domicílios e moradores desse setor estão fora da área delimitada pela bacia, estando fora também o Bairro Monjolinho, o qual apresenta elevada densidade populacional.

A área onde está localizada a nascente do curso de água principal, região sudeste, é a menos populosa, com 251 moradores em 76 domicílios.

Na parte centro-oeste da BHRP está localizado o menor setor censitário da bacia, porém com número elevado de moradores – 463 moradores e 144 residências. Este é o setor com maior densidade populacional e compreende o bairro Pinhalzinho dos Goes – localizado no limite entre os municípios de Inconfidentes e Ouro Fino.

Os três municípios em que a área de estudo está inserida são de pequeno porte, sendo que as principais atividades econômicas da região estão relacionadas à agropecuária com forte presença da agricultura familiar, com destaque à produção de café, e também à pecuária leiteira e de corte.

6.2 Caracterização Hidrogeomorfológica

A caracterização hidrogeomorfológica proposta na segunda fase de análise dos resultados foi constituída pela caracterização da rede de drenagem na bacia, e pela caracterização hidrogeomorfológica, conforme segue.

6.2.1 Rede de Drenagem

O geoprocessamento do MDE da área de estudo gerou a rede de drenagem da BHRP (Figura 11) com 92,5 km de comprimento total dos canais de drenagem, e com aproximadamente 45 pontos de nascente.

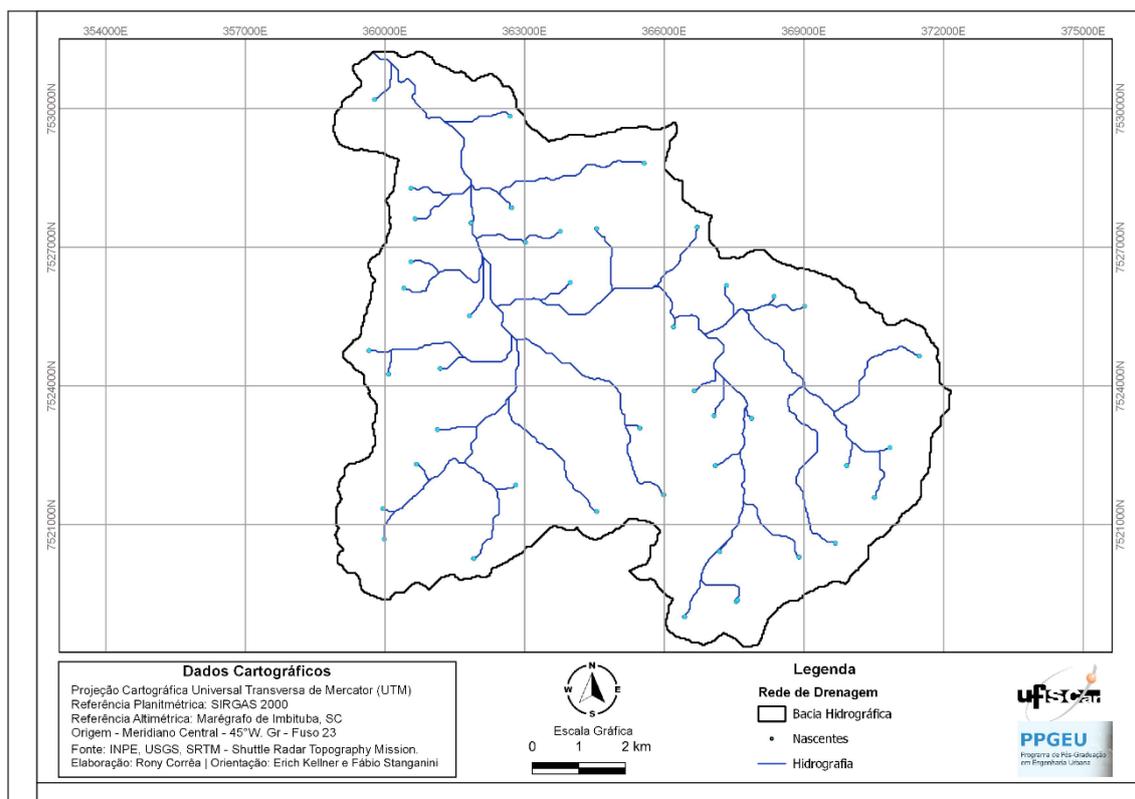


Figura 11. Rede de drenagem da BHRP gerados através do MDE totalizando 92,5 km

Fonte: autor (2024)

Após a geração da imagem, procedeu-se avaliação da rede de drenagem criada comparando a camada vetorial dos canais com a carta topográfica da região e com imagens de satélite de alta resolução.

Com a sobreposição do vetor da rede de drenagem gerado a partir do MDE da área de estudo, das imagens de satélite e da carta topográfica, foi possível verificar inconsistência no posicionamento dos vetores dos canais da BHRP e ajustá-los, conforme ilustrado no recorte de um determinado trecho da área de estudo na Figura 12.

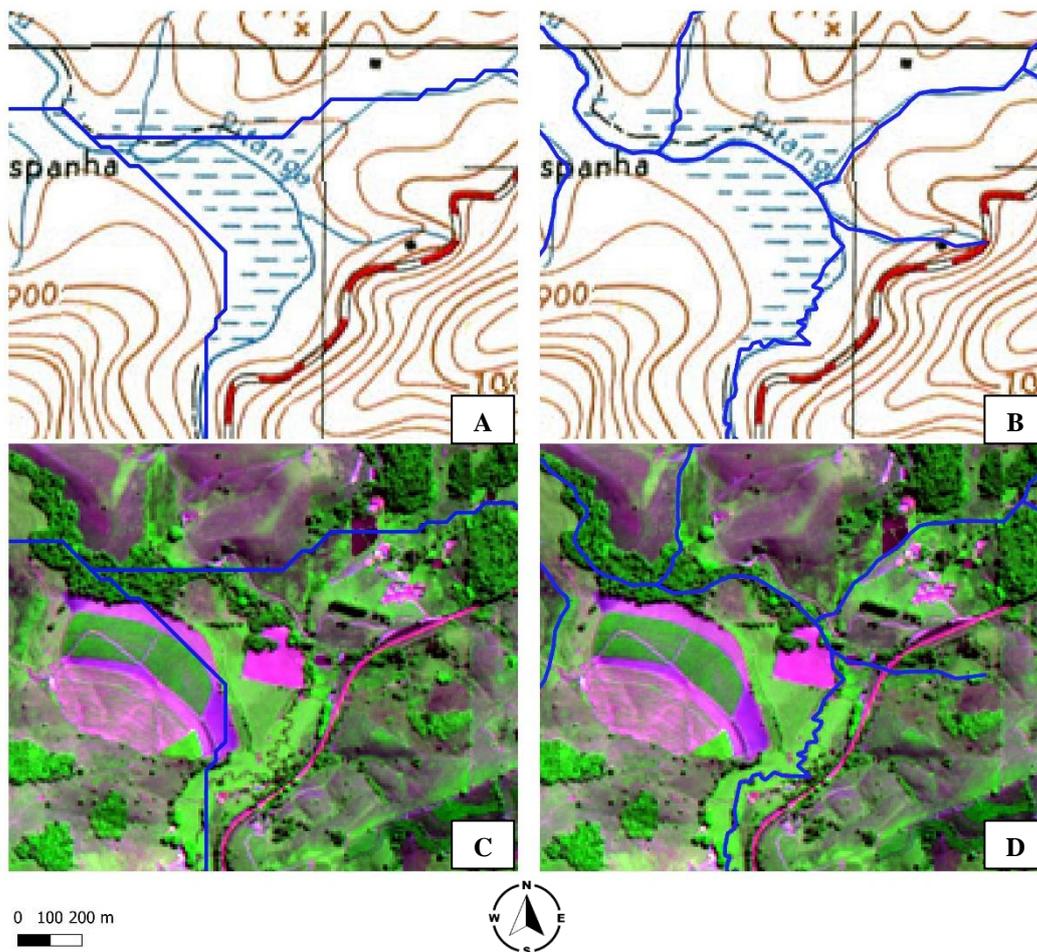


Figura 12. Ajuste da rede de drenagem: carta topográfica com vetor gerado pelo MDE (a); carta topográfica com vetor ajustado (b); imagem do CBERS 4A com vetor gerado pelo MDE (c); imagem do CBERS 4A com vetor ajustado (d).

Fonte: autor (2024)

Na Figura 12, imagens A e C, observa-se o vetor da rede de drenagem passando fora da área apontada pela carta topográfica, e pela mata ciliar e pelos meandros do Ribeirão Pitanga identificados por intermédio da imagem de satélite. Pode-se observar também que o ajuste possibilitou o estabelecimento de mais canais de drenagem que não foram gerados por meio do MDE, ilustrados pelas imagens B e D.

A utilização simultânea de cartas topográfica e de imagens de satélite contribuíram para verificar e corrigir as inconsistências no posicionamento geográfico dos canais de drenagem da BHRP. Foi possível observar que em alguns locais o curso de água foi alterado ao longo do tempo e não mais corresponde com exatidão o que é apresentado na carta topográfica. Nesse sentido, as imagens de alta resolução atuais foram de grande importância para as alterações e contribuíram de forma significativa com melhor precisão das informações de caracterização da área de estudo.

Os vetores obtidos pelo MDE foram eficazes para orientação do ajuste da rede de drenagem, uma vez que os vetores dos canais do rio principal foram traçados em toda extensão da bacia hidrográfica e apresentaram boa relação com o traçado apresentado pela carta topográfica. Entretanto ajustes foram necessários em toda rede de drenagem para fornecerem maior precisão.

Com o ajuste, o comprimento total dos canais passou de 92,5 para 215,3 km (aumento de 132%), o comprimento do rio principal passou de 21 km para 25 km (aumento de 19%) e o número de nascentes de 45 para 172 unidades (aumento de 282%). A ordem do rio principal também foi alterada passando de 4ª para 5ª ordem (Figura 13).

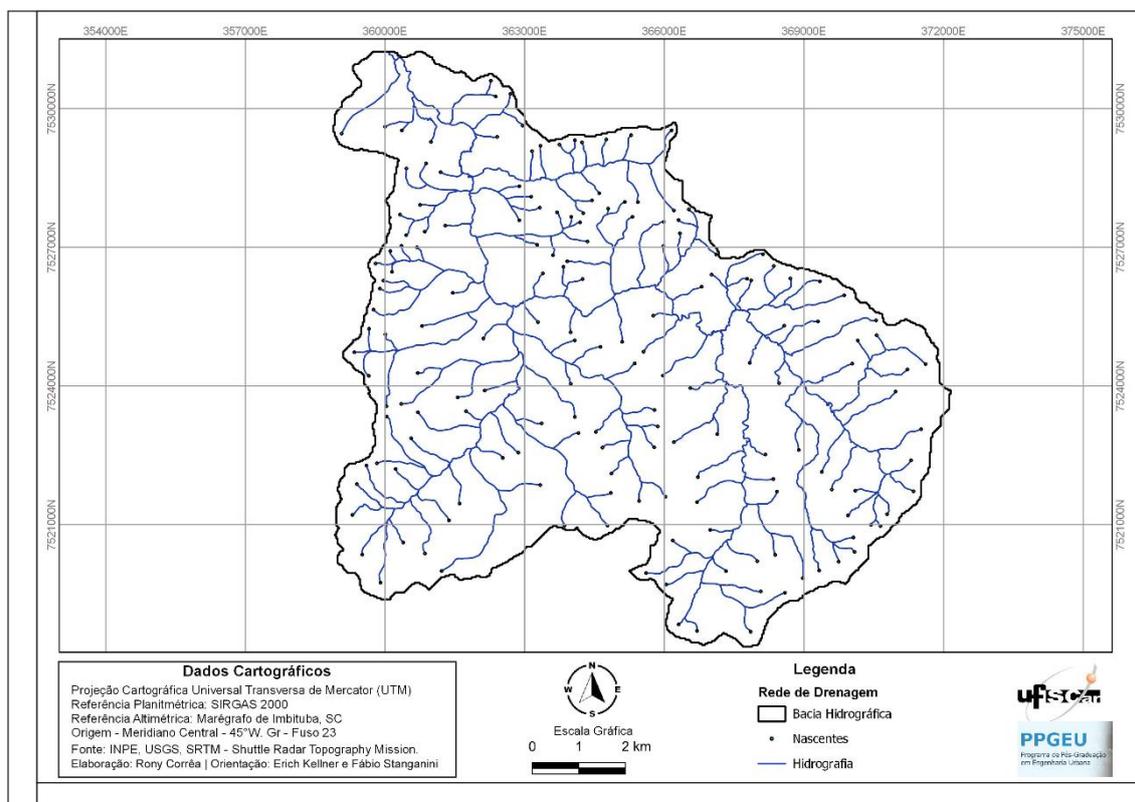


Figura 13. Rede de drenagem da BHRP ajustada e atualizada.

Fonte: autor (2024)

6.2.2 Caracterização Hidrogeomorfológica da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Pitanga

A BHRP está localizada nos municípios de Inconfidentes (52%), Bueno Brandão (31%) e Ouro Fino (17%), Estado de Minas Gerais (Figura 14), e faz parte da Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu que abrange os estados de Minas Gerais e São Paulo.

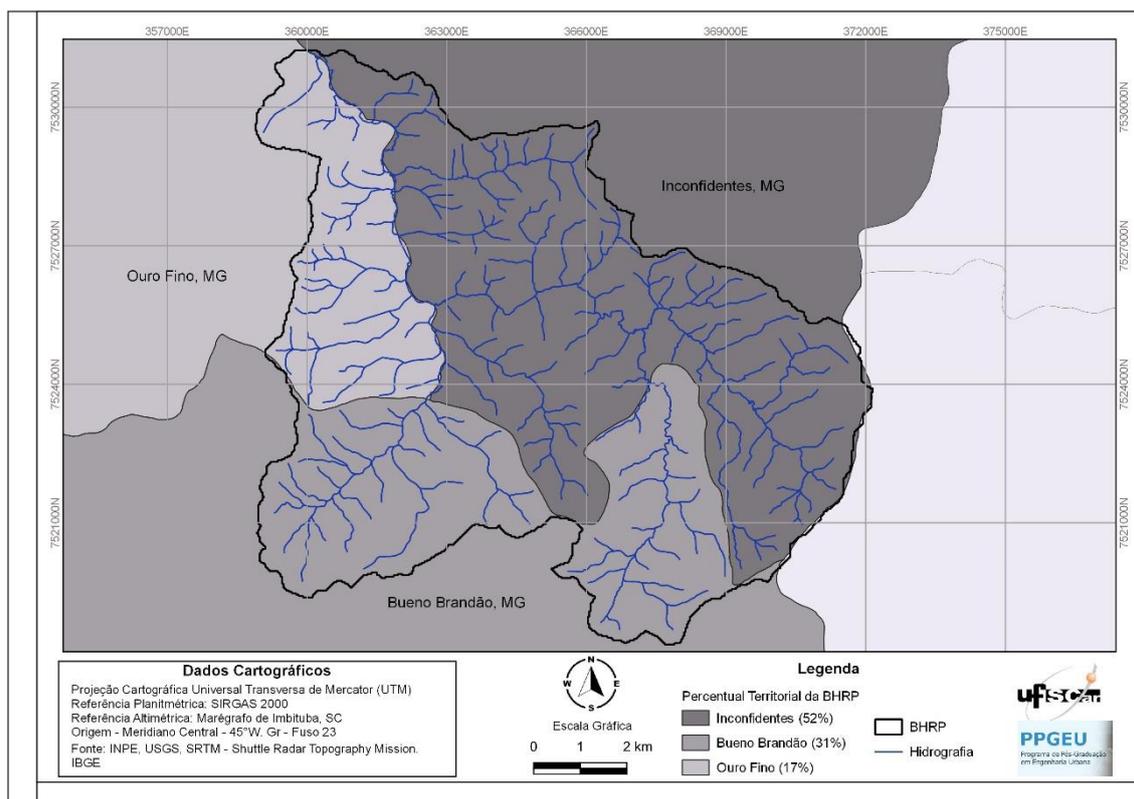


Figura 14. Mapa de localização da BHRP

Fonte: autor (2024)

A BHRP é classificada em 5ª ordem de acordo com a classificação Strahler (1952), com aproximadamente 172 nascentes, em uma área total de aproximadamente 105 km² e apresenta sua rede de drenagem, majoritariamente, com padrão dendrítico e com forma ramificada, com conjunto de sub-bacias que convergem em uma saída, e com comprimento total dos canais de 215,3 km. Padrões dendríticos são comuns em formações rochosas em folhelhos e siltitos, pois são rochas fracas que fornecem resistência litológica à erosão (GOODWIN; TARBOTON, 2004). A rede de drenagem pode ser compreendida como um conjunto de canais fluviais unidos, e o modo que a rede de drenagem é disposta no solo em planta é chamado de padrão de drenagem (TINKLER, 2004).

Com relação à altimetria, a atitude máxima da bacia é de 1510m, no município de Bueno Brandão, e a altitude mínima é de 854m entre os municípios de Inconfidentes e Ouro Fino, apresentando uma amplitude altimétrica elevada de 656 m (Figura 15).

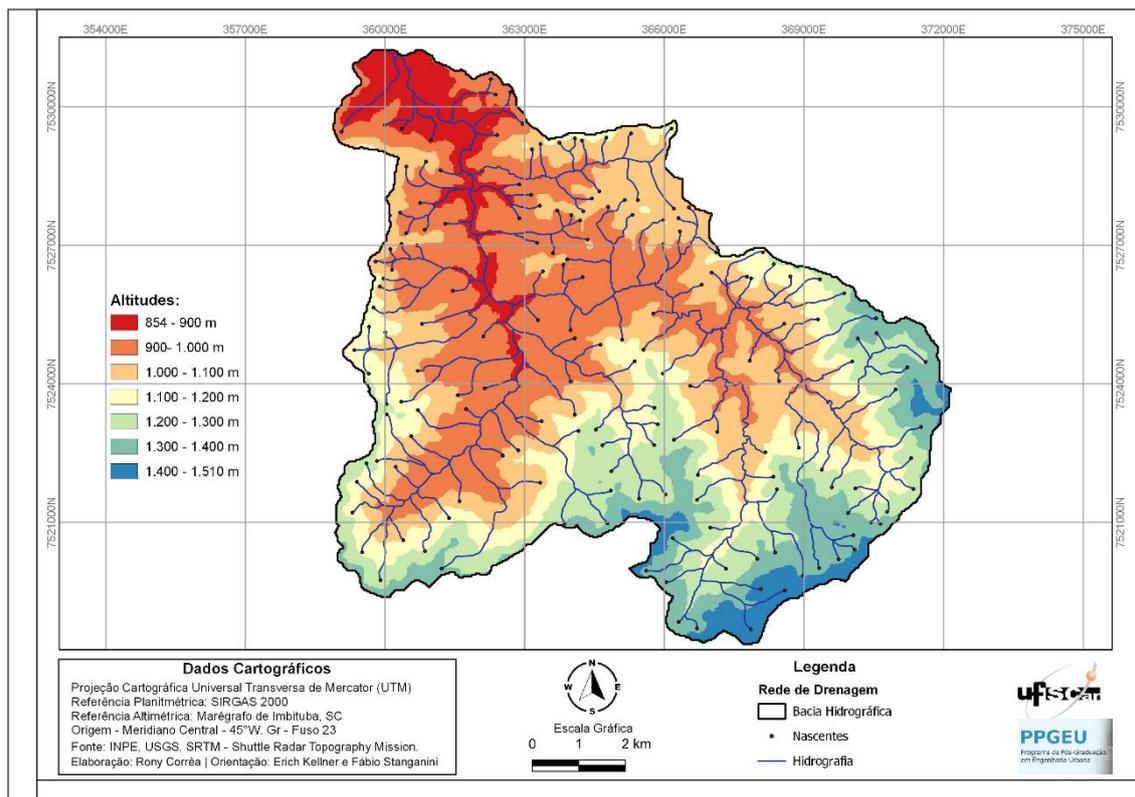


Figura 15. Mapa hipsométrico da BHRP

Fonte: autor (2024)

A elevada amplitude altimétrica indica que deve haver grande variação na temperatura média na BHRP, também influenciando no regime pluviométrico da bacia. Isso pode potencializar os impactos sobre os recursos hídricos, incidindo diretamente sobre o uso e ocupação do solo da região, como por exemplo na agricultura, na pecuária e na expansão urbana e rural.

A Tabela 5 apresenta de forma detalhada a caracterização hidrogeomorfológica da BHRP.

Tabela 5. Caracterização Bacia Hidrográfica do Ribeirão Pitanga

Perímetro (P)	68,4 km
Área (A)	105,64 km ²
Comprimento do Rio Principal	25 Km
Comprimento Axial da bacia; comprimento do eixo (Le)	15 Km
Coefficiente de compacidade (Kc)	1,86
Comprimento de todos canais (L)	215,3 Km
Densidade de drenagem (DD)	2 km/km ² (drenagem boa)
Índice de conformação (Fc)	0,47
Índice de circularidade (IC)	0,28
Cota máxima (Bacia)	1510 m

(continua...)

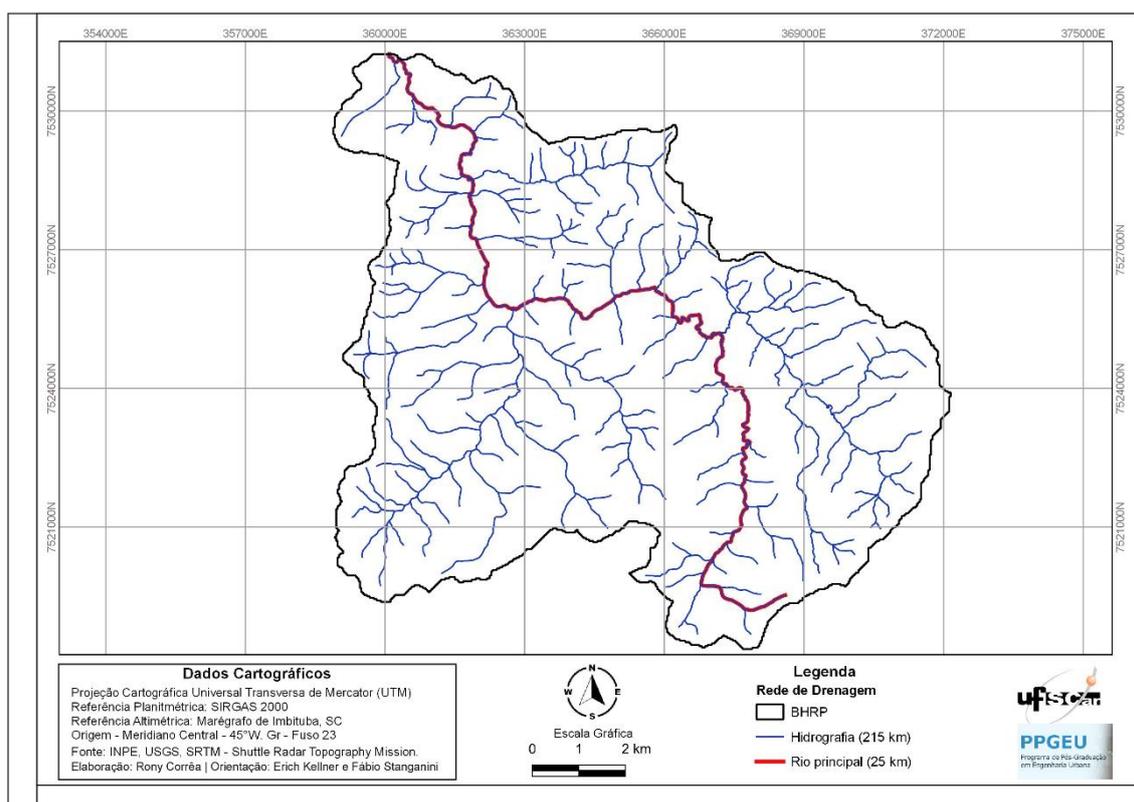
(continuação)

Tabela 5. Caracterização Bacia Hidrográfica do Ribeirão Pitanga

Cota mínima (Bacia)	854,5 m
Elevação média (Bacia)	1091 m
Cota mínima (Rio)	854,5 m
Cota máxima (Rio)	1300,8 m
Declividade média do rio (S)	0,021

Fonte: autor (2024)

A nascente do curso principal do Ribeirão Pitanga está localizada no município de Bueno Brandão, MG a uma altitude aproximada de 1500 m, e seu curso de água possui 25 km de distância desde sua nascente até a foz no Rio Mogi Guaçu com altitude aproximada de 854 m. A BHRP tem um comprimento axial de 15 km, e a soma de todos os canais de drenagem totalizam cerca de 215,3 km, conforme dados da Tabela 5 e Figura 16.

**Figura 16.** Curso de água principal da BHRP**Fonte:** autor (2024)

A BHRP possui densidade de drenagem de 2 km/km² (Tabela 5), indicando uma boa drenagem da bacia em estudo. O índice varia de 0,5 km/km², para bacias com drenagens ineficientes, a 3,5 km/km², para bacias com ótima drenagem (VILLELA; MATTOS, 1975).

Estudos indicam relação entre a densidade da drenagem com a litologia, e o tipo de rocha pode determinar o padrão de drenagem (Goodwin & Tarboton, 2004). Também está relacionada ao clima e às características físicas da bacia; o clima interfere no regime de vazão dos cursos de água e por meio de sua influência sobre a vegetação. Os valores baixos de drenagem podem estar relacionados a regiões com presença de rochas permeáveis e presença de chuvas de baixa intensidade (VILLELA; MATTOS, 1975).

Com relação à forma, a BHRP possui um coeficiente de compacidade de 1,86, índice de conformação de 0,46 e índice de circularidade de 0,28.

O coeficiente de compacidade maior que 1 (um) define bacias mais alongadas. Coeficientes próximo ou igual a 1 corresponde a uma bacia circular e mais susceptível a enchente; isto é, quanto menor o valor obtido, mais a bacia se aproxima de um círculo, menor se torna o tempo de concentração e maior a probabilidade de haver picos de cheia – a bacia tende a convergir o escoamento ao mesmo tempo para um trecho pequeno (BARGOS, 2019). A BHRP apresenta coeficiente de compacidade maior que 1, o que indica que a bacia não apresenta forma próxima de um círculo. E também apresenta forma ramificada, com conjunto de sub-bacias. Essas características reduzem a probabilidade de risco de picos de enchentes.

Quando se tem um índice de conformação próximo de 1, a forma da bacia se aproxima da forma de um quadrado. Desse modo o escoamento superficial tenderá a convergir para um mesmo ponto da bacia, logo o risco de pico de cheia torna-se mais alto (BARGOS, 2019). Sendo assim, observa-se que há risco médio de picos de cheia na BHRP.

O índice de circularidade é de 0,28, distante assim da unidade (valor 1), indicando que a forma da bacia não é circular e que há um menor risco de cheias em condições normais de pluviosidade.

A forma da bacia hidrográfica tem forte influência no regime de escoamento superficial, afetando diretamente o tempo de transformação da chuva em escoamento, e sobre o comportamento hidrológico da bacia. Grandes bacias hidrográficas apresentam características de forma similar a uma pera, ao passo que bacias menores tem grande variação em sua forma conforme geologia e geomorfologia da área (PALARETTI, [S.d.]; PORTO; FILHO; SILVA, 1999; VILLELA; MATTOS, 1975).

Cabe destacar que as ocorrências de inundação e enchentes devem ser analisadas com diversos outros fatores e variáveis para determinar sua suscetibilidade a esses

eventos. Esse tipo de ocorrência potencializa o risco de comprometer a qualidade da água para o consumo humano em bacias hidrográficas.

6.3 Fase 3 - Mapeamento de Uso e Ocupação do Solo

A caracterização de uso e ocupação do solo na BHRP foi realizada em duas etapas: (i) caracterização da área de estudo; (ii) e elaboração do mapa de uso e ocupação do solo integrado.

A primeira etapa consistiu na caracterização de uso e ocupação do solo por meio de NDVI, classificação semi-automática com o plugin SCP, processamento de mapa de cobertura do solo da ESA e classificação manual (Figuras 17, 18, 19 e 20).

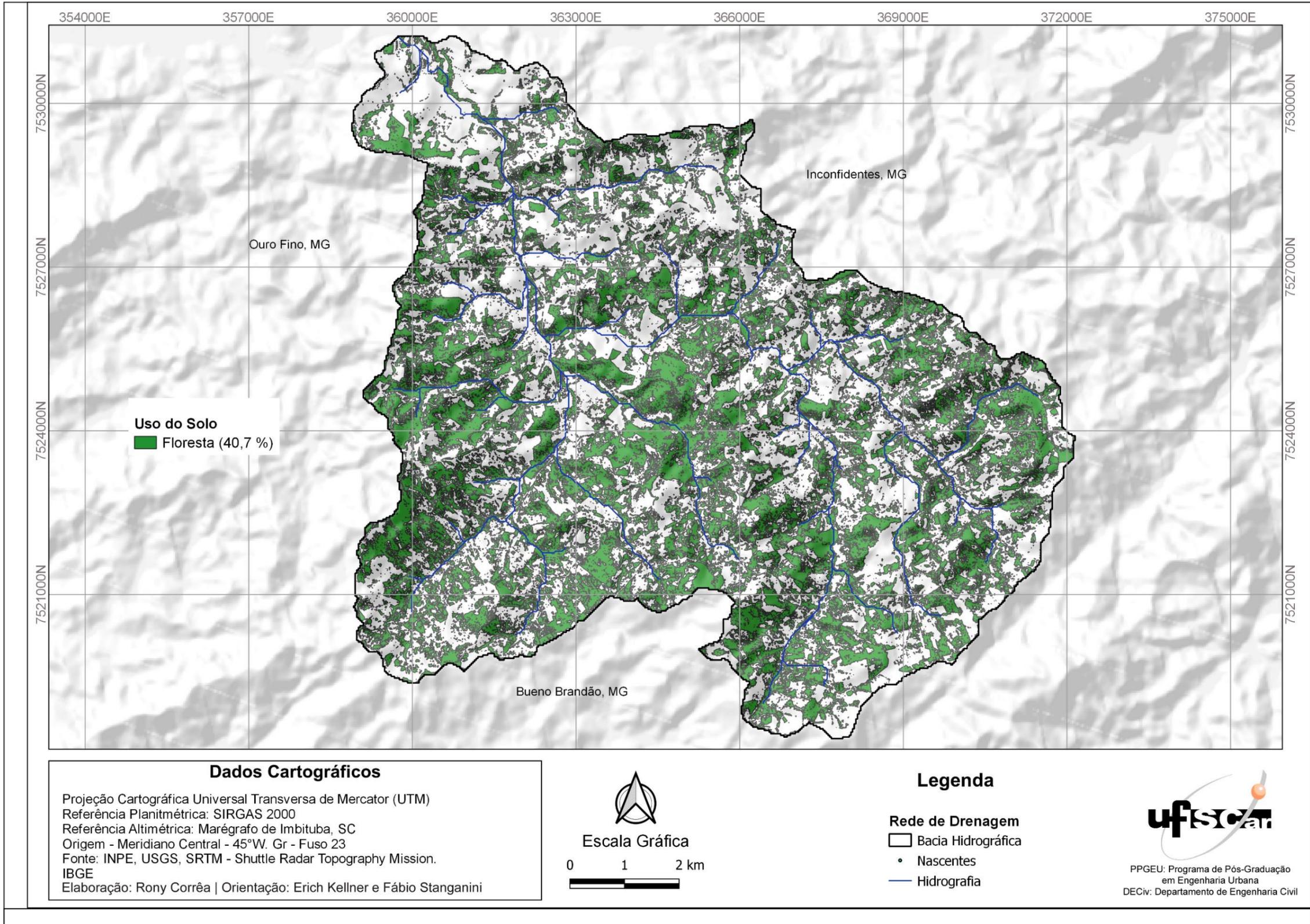


Figura 17. Caracterização de áreas com vegetação com NDVI
Fonte: autor (2024)

Na Figura 17, foram determinadas áreas com vegetação e áreas sem vegetação. Observou-se que a área de vegetação ocupa uma área de 43 km² da BHRP, o que corresponde 40,7% da área total.

Com o SCP a área foi caracterizada em 3 classes: floresta; bairros rurais/solo exposto; agricultura/pastagem (Figura 18).

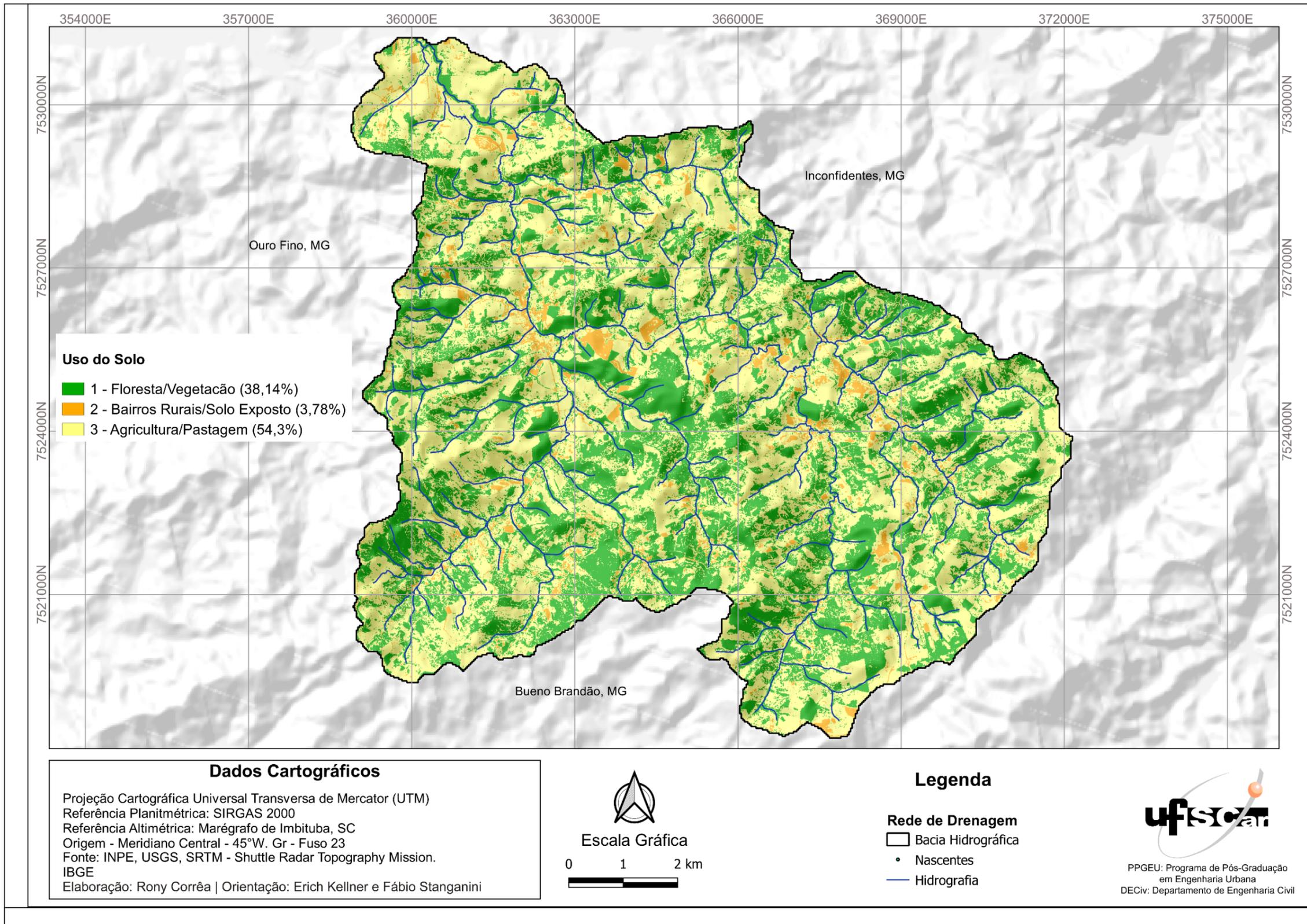


Figura 18. Caracterização de uso e ocupação do solo com SCP
Fonte: autor (2024)

Na classificação com SCP, a área de floresta abrange 40,3 km² da área total da BHRP, enquanto que agricultura/pastagem e bairros rurais/solo exposto abrangem 57,4 e 4 km² respectivamente.

Nesse tipo de classificação não foi possível obter precisão na diferenciação de agricultura com pastagem e bairros rurais com solo exposto. Portanto, as classes foram unidas.

Observa-se que a área de floresta caracterizada pelo SCP, 40,3 km², é semelhante à área de floresta caracterizada pelo NDVI, com 43 km² de área total.

O mapa de cobertura do solo, disponível pelo projeto *World Cover* da ESA, recortado para a área de estudo (Figura 19), apresenta 4 classes: floresta; pastagem; agricultura; bairros rurais.

Na classificação apresentada pelo projeto, a área de floresta compreende 39,1 km², a área de pastagem 59,05 km², a área de agricultura 6,6 km² e a área de bairros rurais 0,5 km².

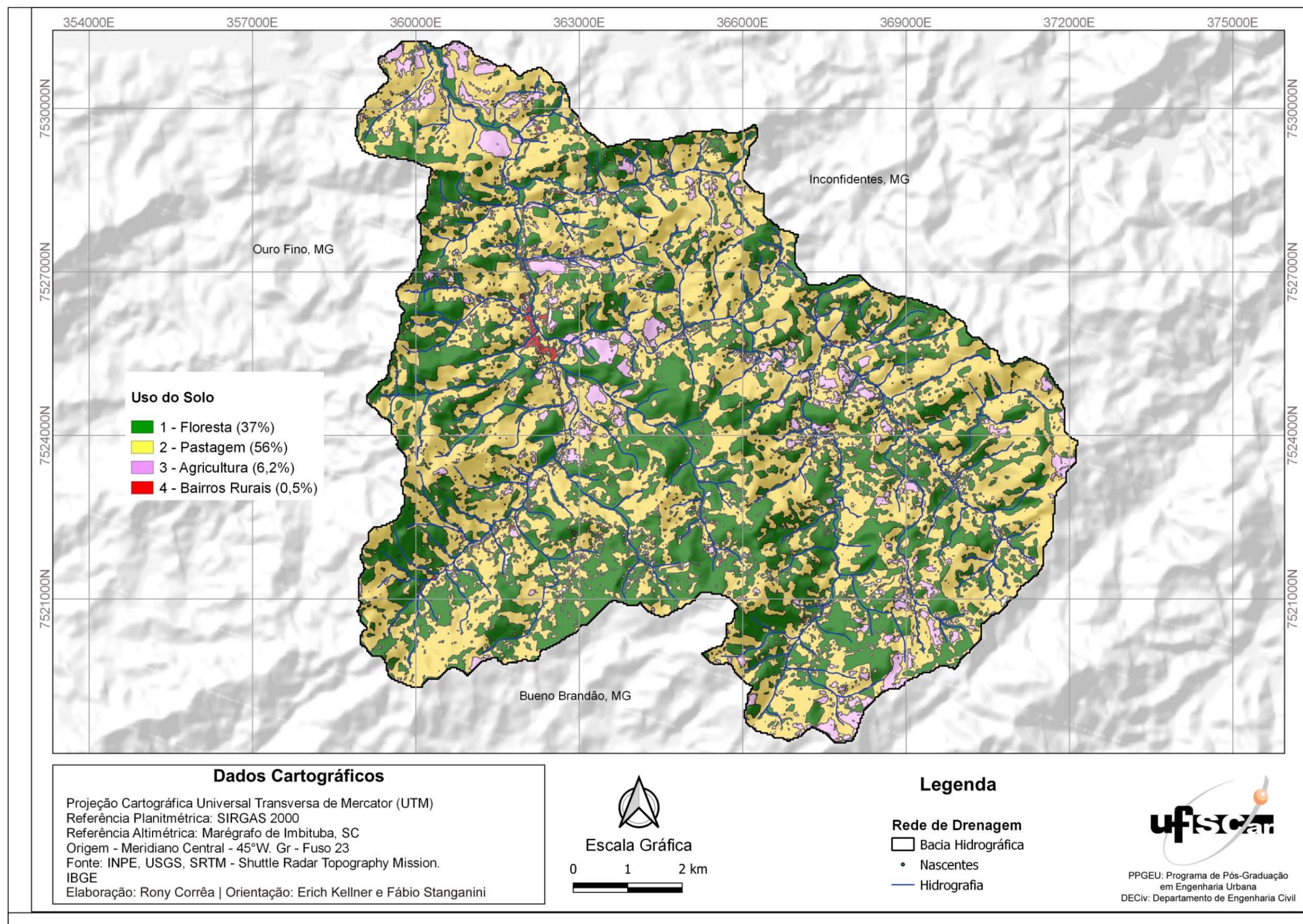


Figura 19. Mapa de Uso do Solo do World Cover ESA
Fonte: autor (2024)

Observam-se, no mapa apresentado na Figura 19, valores semelhantes para área de floresta e pastagem, em comparação com as caracterizações anteriores.

As caracterizações apresentadas nos mapas das figuras 17, 18 e 19 foram comparadas com imagens de satélite de alta resolução para a área de estudo. Das classes analisadas, apenas a caracterização da agricultura não conseguiu expressar um resultado satisfatório. Os métodos adotados não conseguiram distinguir área de agricultura de área de pastagem e áreas com vegetação e florestas.

Nesse sentido, tornou-se necessário realizar caracterização manual, com método visual, para áreas de agricultura. A Figura 20 apresenta a área de agricultura vetorizada manualmente com auxílio de imagens de satélite de alta resolução.

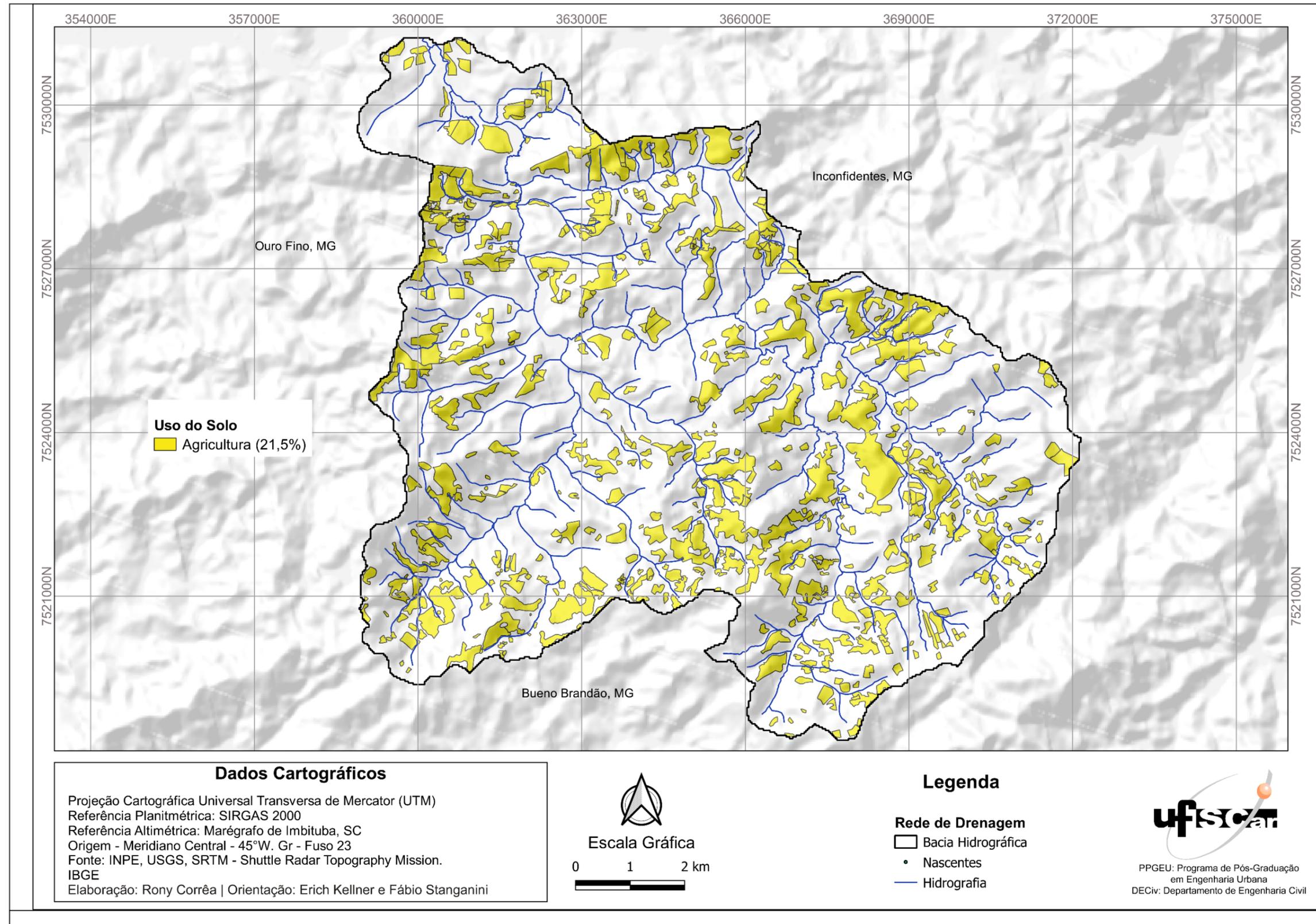


Figura 20. Mapa com áreas de agricultura vetorizadas manualmente.

Fonte: autor (2024)

Conforme apresentando na Figura 20, a área de agricultura caracterizada foi de 22,74 km², sendo que este valor não se aproxima dos valores encontrados com SCP e na caracterização da ESA.

A Tabela 6 apresenta a comparação da classificação de áreas com os diferentes métodos de caracterização.

Tabela 6. Caracterização Bacia Hidrográfica do Ribeirão Pitanga

<i>Variáveis</i>	<i>NDVI</i>		<i>Classificação SCP</i>		<i>Classificação ESA</i>		<i>Classificação Manual</i>	
	<i>Km²</i>	<i>%</i>	<i>Km²</i>	<i>%</i>	<i>Km²</i>	<i>%</i>	<i>Km²</i>	<i>%</i>
Agricultura	-	-	57,4	54,3	6,6	6,2	22,74	21,5
Floresta	43	40,7	40,3	38,14	39,1	37	-	-
Pastagem	-	-	-	-	59,05	56	-	-
Bairros Rurais	-	-	4	3,78	0,5	0,5	-	-
Áreas não calculadas	-	-	3,9	3,69	0,39	0,3	-	-

Fonte: autor (2024)

Na Tabela 6, observa-se que não houve discrepância nos valores percentuais para a área de floresta delimitada com diferentes métodos. Entretanto observa-se grande variação na caracterização de áreas de agricultura e pastagem, sendo que o algoritmo confundiu área de pastagem, agricultura e áreas com casas nos diferentes métodos de análise.

Considerando a análise dos diferentes métodos de classificação, a segunda etapa consistiu na classificação de uso e ocupação do solo de forma manual.

Sendo assim, foi gerado um mapa de uso e ocupação do solo (Figuras 21) integrando as classes caracterizadas nos diferentes métodos apresentados anteriormente, usando como referência imagens de satélite de alta resolução do CBERS 4A e disponíveis pelo Google Earth.

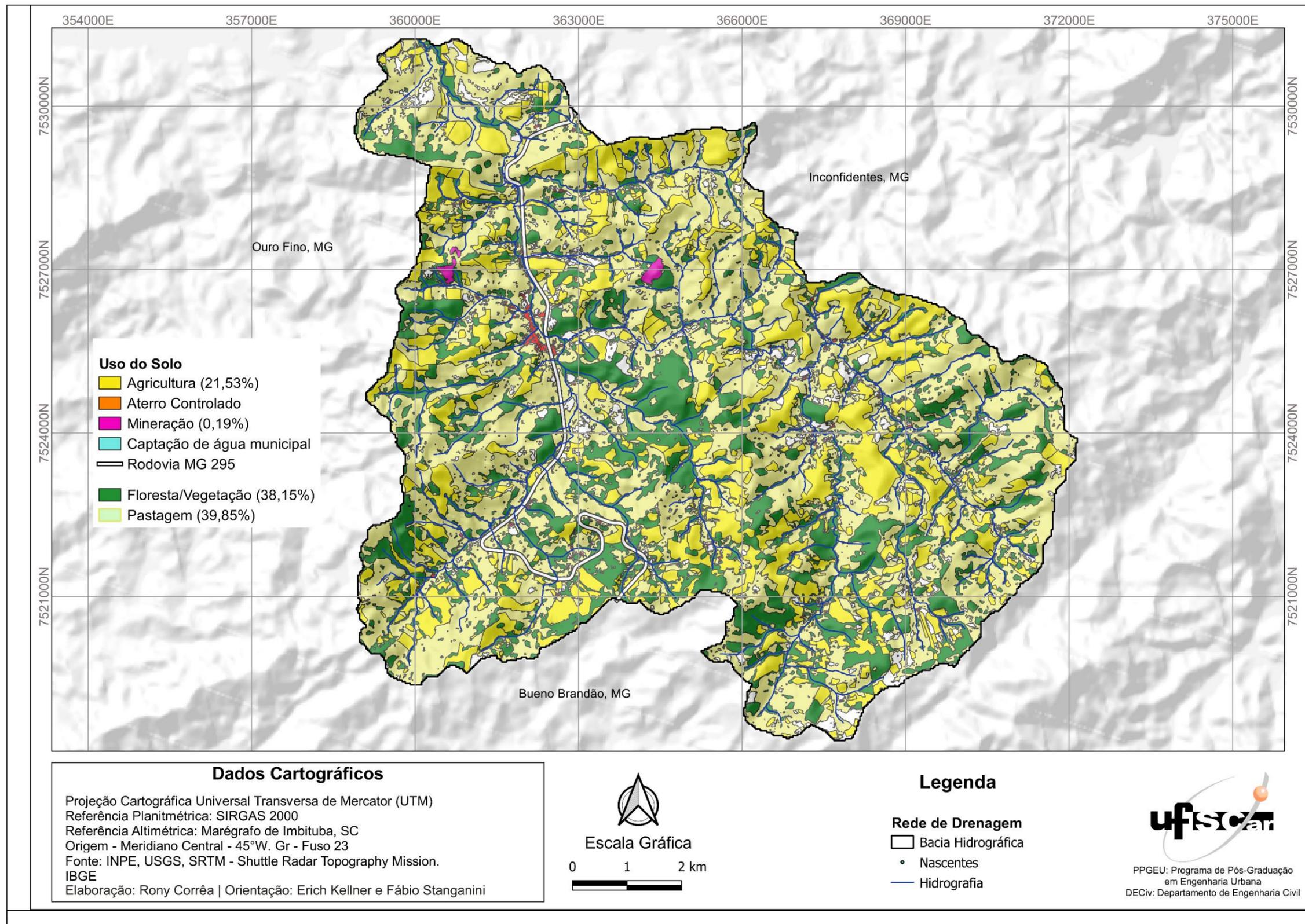


Figura 21. Mapa integrado de uso e ocupação do solo
Fonte: autor (2024)

Conforme caracterização apresentada no mapa integrado de uso e ocupação do solo, as áreas de cada classe apresentaram-se da seguinte forma (Tabela 7):

Tabela 7. Caracterização Bacia Hidrográfica do Ribeirão Pitanga a partir do mapa integrado de uso e ocupação do solo

<i>Variáveis</i>	<i>Mapa Integrado</i>	
	<i>Km²</i>	<i>%</i>
Agricultura	22,74	21,53
Floresta	40,3	38,15
Pastagem	42, 1	39,85
Mineração	0,2	0,19
Demais Classes	0,3	0,28

Fonte: autor (2024)

Observa-se que a agricultura está presente em toda extensão da bacia compreendendo cerca de 21 % da área total, enquanto que área de pastagem abrange cerca de 40% e área de floresta cerca de 38%. Há também na bacia a presença de um aterro controlado do município de Inconfidentes, MG e áreas que foram utilizadas para a exploração de minerais (ex: quartzo, feldspato, caulim). A bacia hidrográfica é de extrema importância para o município de Inconfidentes pois é nela que ocorre a captação de água para abastecimento municipal.

Na BHRP há predominância da agricultura familiar, com destaque à produção de café e hortifrutigranjeiros, em propriedades de pequena extensão.

De acordo Espíndola, Brigante e Eler (2003), a evolução do parcelamento das propriedades dessa região gerou novas categorias de proprietários, com extensão de terra cada vez menores, os quais foram herdando terras dos antigos fazendeiros e sitiantes. A demanda de solo para agricultura nessa região provocou retirada de vegetação que tinham função de proteção dos mananciais, inclusive há locais que a cultura é realizada bem próximo desses mananciais.

Os autores complementam que a agricultura tradicional, com revolvimento do solo, somado à declividade e à ausência de proteção de áreas vegetadas, aumenta o carreamento de poluentes e partículas sólidas para os rios, conseqüentemente agravando o assoreamento e contaminação da água por elementos químicos.

O mapa pedológico da área da BHRP (Figura 22) também foi gerado para compor o conjunto de dados e variáveis para avaliação de risco de contaminação da água. Os solos foram delimitados a partir do Banco de Dados de Informações Ambientais (BDiA) do IBGE.

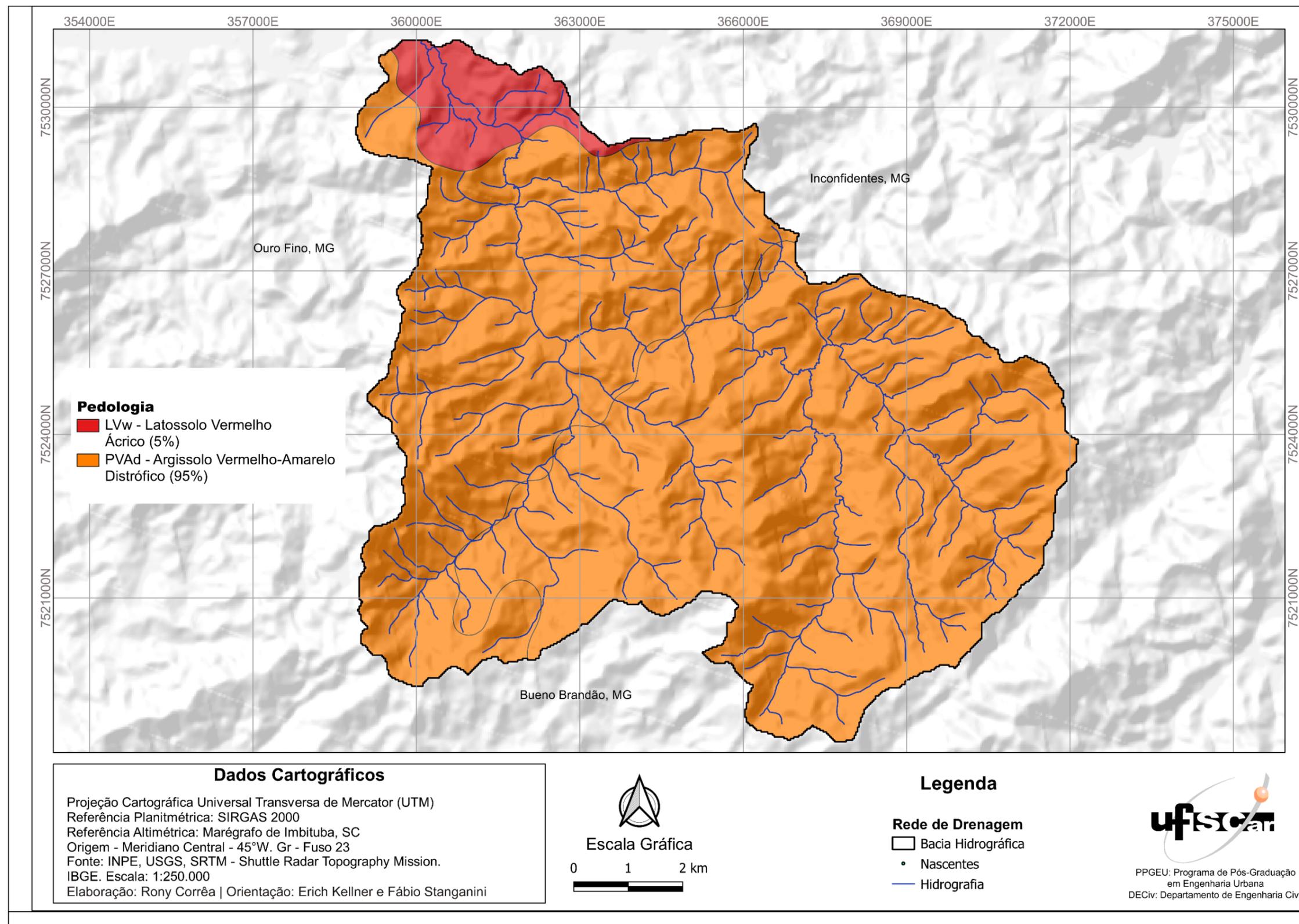


Figura 22. Mapa pedológico da BHRP
Fonte: autor (2024) adaptado de IBGE

Conforme Figura 22, na BHRP a presença de Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico (PVAd) é predominante, ocupando 95% da área total, enquanto que uma pequena parcela da área, cerca de 5%, localizada ao norte, é composta por Latossolo Vermelho Ácrico (LVw).

Os Argissolos são constituídos por material mineral com argila de atividade baixa ou alta, sendo que os PVAd são solos com saturação por bases < 50% na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (SANTOS, H. G. DOS *et al.*, 2018). Os argissolos vermelho-amarelos apresentam textura mais arenosa no horizonte superficial (A) do que no horizonte subsuperficial (B), que apresenta textura argilosa, sendo assim suscetível a erosão devido a essa condição física do horizonte superficial (REATTO *et al.*, 2004).

6.4 Fase 4 - Aplicação do PNPI

A aplicação do PNPI consistiu em proceder ao ajuste do LCI (Indicador de Cobertura do Solo), e do ROI (Indicador de Escoamento), conforme apresentado na sequência.

6.4.1 Ajuste do LCI

Para estabelecimento do LCI tornou-se necessário fazer a correlação das classes de uso do solo do CLC com a classificação realizada na BHRP, conforme apresentado na Tabela 8.

Tabela 8. Coeficientes para LCI adaptados de classes de uso do solo a partir da classificação europeia Corine Land Cover (CLC)

Classes de Usos do solo do CLC	Classes de Usos do solo na BHRP	LCI (0 – 1)
Culturas anuais associadas a culturas permanentes	Agricultura	0,744
Floresta mista	Floresta	0,044
Pastagens naturais	Pastagem	0,194
Área de extração mineral	Mineração	0,778
Área de descarte de resíduos sólidos	Aterro controlado	0,811
Tecido urbano descontínuo	Bairros rurais	0,689

Fonte: adaptado de Cecchi (2007)

Como pode-se observar na Tabela 8, as classes têm similaridades conforme características identificadas na BHRP.

A agricultura na bacia foi identificada de forma genérica, sendo que há presença de diversos tipos de culturas. O mesmo vale para a classe de floresta. Na identificação da

pastagem, observa-se características naturais diversificada da região contendo herbáceas, arbustos, espécies gramíneas e não-gramíneas. O aterro controlado presente na BHRP possui características de área de descarte de resíduos sem controle, com características de “lixão”. Os bairros rurais, devido ao espaçamento entre casas, possuem características similares a de tecido urbano descontínuo. Por fim, há presença de áreas de extração mineral na região comumente conhecidas como pedreiras.

Os valores de LCI foram atribuídos às células da camada *raster* normalizados entre 0 a 1, para o mapa de uso do solo integrado (Figura 23) e para o mapa de uso do solo da ESA World Cover (Figura 24).

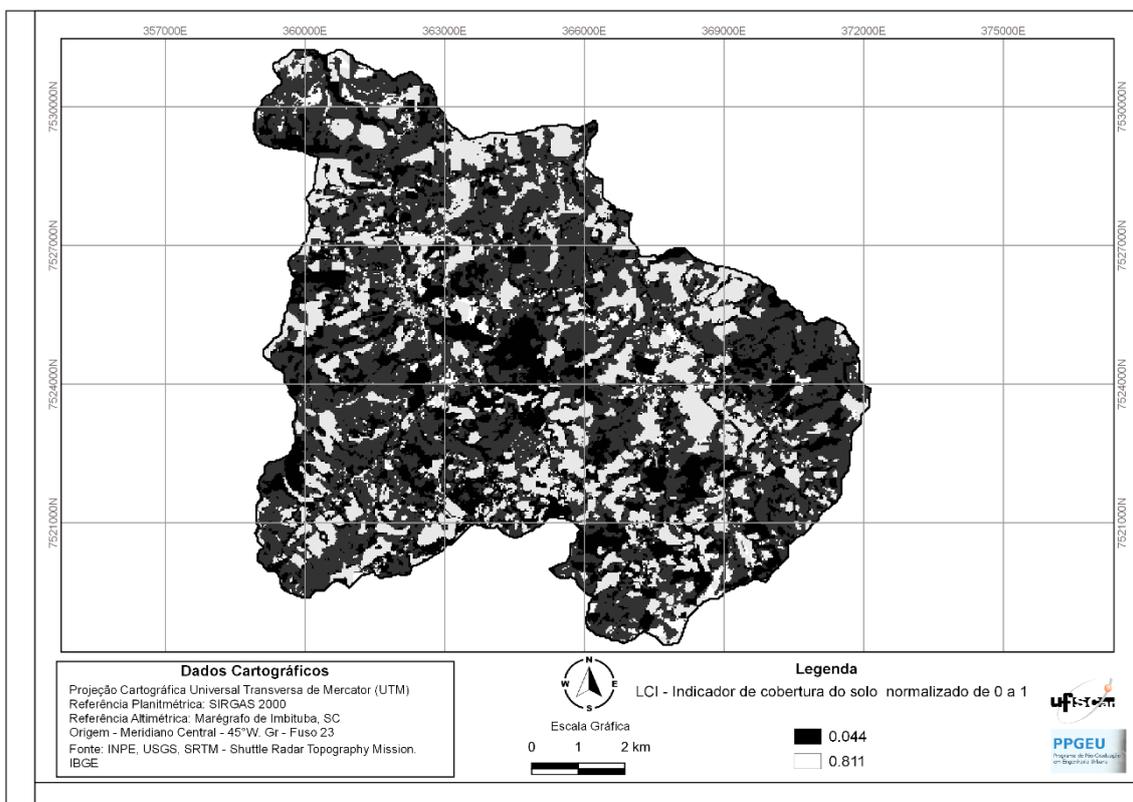


Figura 23. Mapa de uso do solo integrado com valores de LCI estabelecidos para cada classe.
 Fonte: autor (2024)

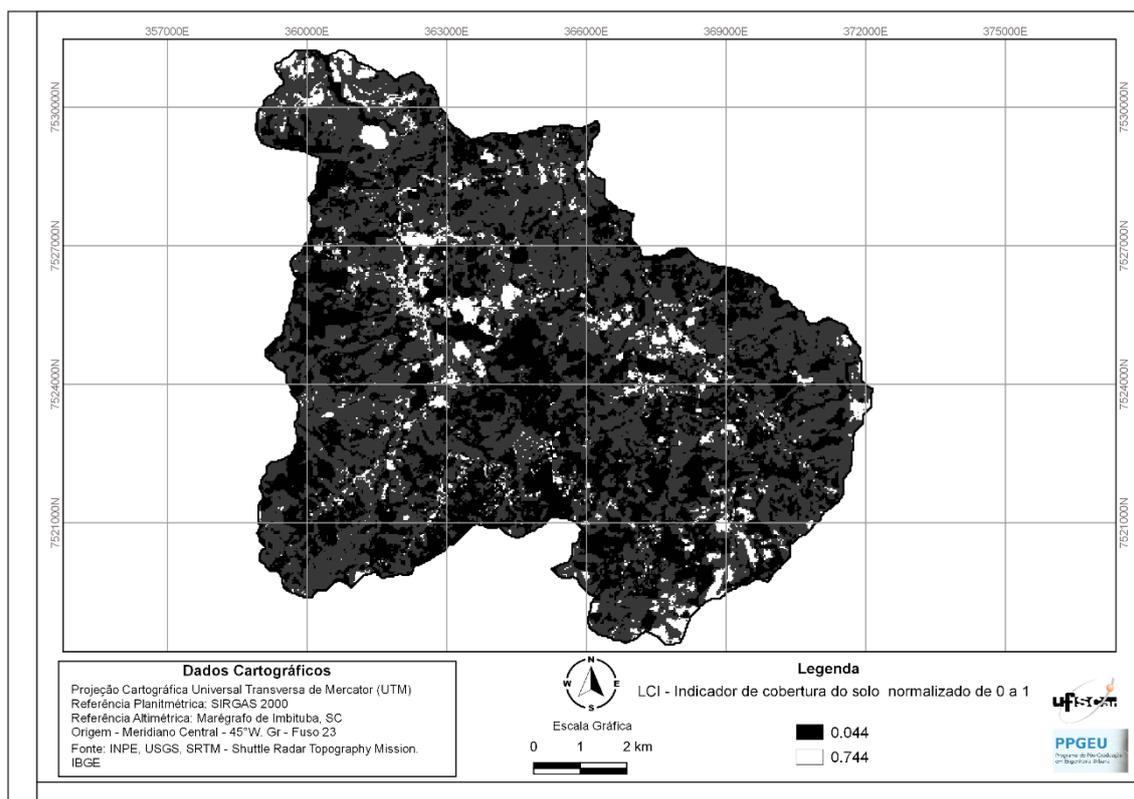


Figura 24. Mapa de uso do solo Esa WorldCover com valores de LCI estabelecidos para cada classe.
Fonte: autor (2024)

Nas figuras 23 e 24 é possível verificar os valores LCI atribuídos para cada classe, em uma escala de cor cinza, normalizada entre 0 e 1, onde a cor mais escura indica um valor de LCI mais baixo - com menor potencial - e a cor mais clara indica um valor de LCI mais alto - com maior impacto potencial para o PNPI.

6.4.2 Ajuste do ROI

Para estabelecer o ROI, é necessário fazer a classificação de permeabilidade da área de estudo, e determinar o coeficiente de permeabilidade para cada classe de uso do solo. Como não há um mapa de permeabilidade para a região da BHRP, torna-se necessário determinar as classes de permeabilidade com relação à característica pedológica da área.

Conforme mapa pedológico apresentado anteriormente na Figura 22, em 95% da BHRP há presença de Argissolo Vermelho-amarelo Distrófico (PVAd) e 5% de Latossolo Vermelho Ácrico (LVw). Para estabelecer a classe de permeabilidade dos 2 tipos solos da BHRP, consultou-se o Manual Técnico de Pedologia (IBGE, 2015). De acordo com o manual, o Latossolo Vermelho é acentuadamente drenado, sendo que a água é removida com rapidez do solo, sendo bastante porosos e bem permeáveis. O Argissolo Vermelho-

amarelo é classificado “bem drenado”, sendo que a água é removida do solo com facilidade, porém não com rapidez.

Desse modo, correlacionou-se os tipos de solo da BHRP com as classes de permeabilidade e coeficientes indicados de acordo com a Tabela 2 de Cecchi (2017), conforme apresentado na Tabela 9.

Tabela 9. Coeficientes para aplicação do ROI para escoamento superficial por classe de uso do solo (classificação do Corine Land Cover) relacionado com a classe de permeabilidade (A: alta – D: baixa) do solo adaptado conforme Manual Técnico de Pedologia (IBGE, 2015).

Classes de uso da terra da BHRP	Classes de permeabilidade dos solos (0 – 1)	
	A	B
	Latossolo vermelho ácrico (LVw)	Argissolo vermelho-amarelo distrófico (PVAd)
Agricultura	0,58	0,73
Floresta	0,36	0,60
Pastagem	0,49	0,69
Mineração	0,46	0,69
Aterro controlado	0,46	0,69
Bairros rurais	0,57	0,72

Fonte: adaptado de Cecchi (2007)

As classes de permeabilidade de solo, apresentados na Tabela 9, foram correlacionados aos respectivos usos de solo em seus limites geográficos. Para isso, utilizou-se o comando *Spatial Join* do QGIS, associando os atributos por local, entre as camadas vetoriais uso e ocupação do solo e pedologia. Após a junção dos atributos, criou-se uma nova coluna na tabela de atributos da camada gerada com o nome permeabilidade. Em seguida, foram atribuídos os respectivos valores de permeabilidade conforme sua pedologia, utilizando a função atribuir valor na tabela de atributos.

A camada vetorial com os valores de permeabilidade do solo foi convertida em *raster* selecionando a coluna de permeabilidade, com resolução de 30 m, com tipo de saída float 32, conforme figuras 25 e 26.

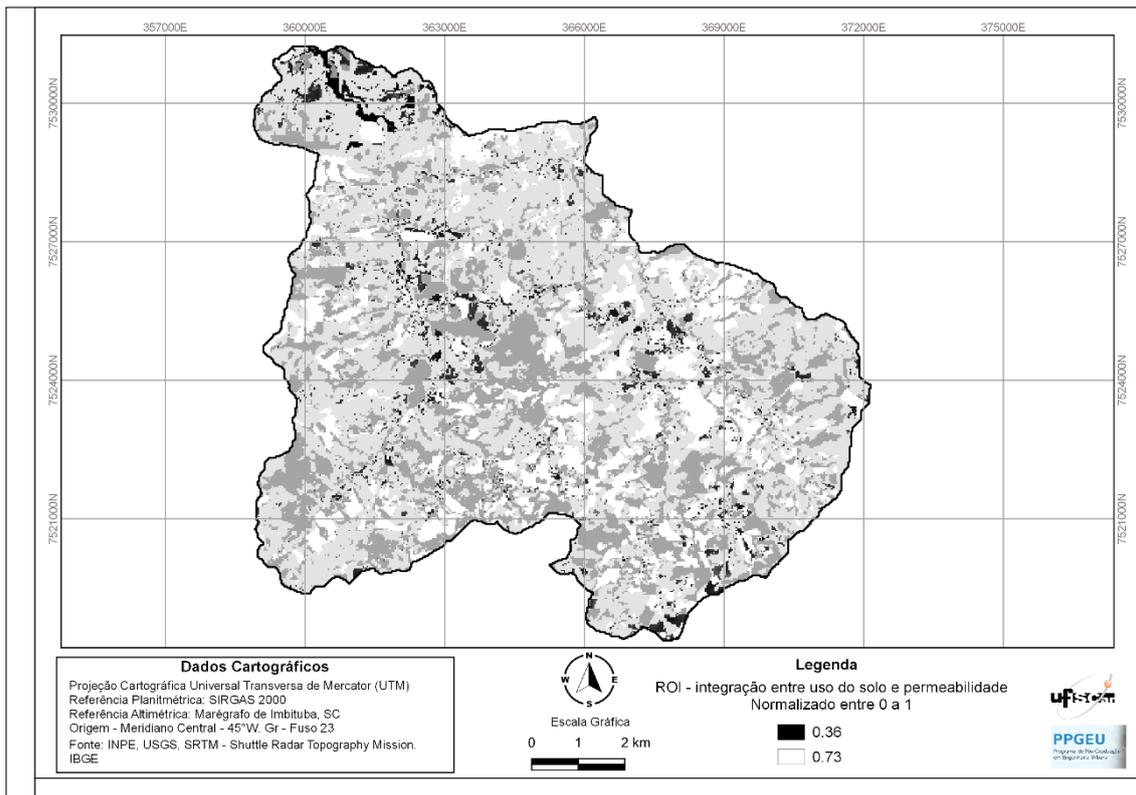


Figura 25. Mapa de Uso do Solo Integrado relacionado à permeabilidade com valor normalizado entre 0 a 1.

Fonte: autor (2024)

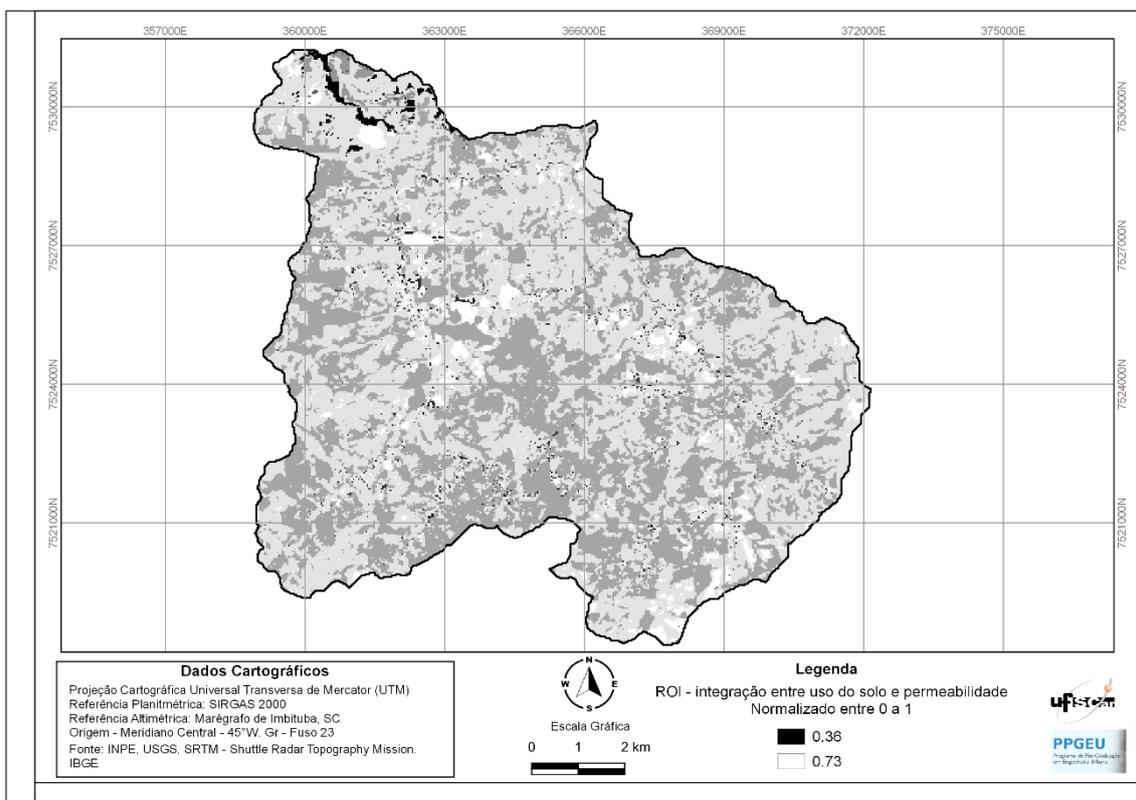


Figura 26. Mapa de uso do solo Esa WorldCover relacionado à permeabilidade com valor normalizado entre 0 a 1.

Fonte: autor (2024)

Na 2ª etapa, realizou-se a retificação dos valores de permeabilidade em função da declividade. A retificação foi realizada com a calculadora raster do QGIS, utilizando lógica Booleana e linguagem Python, onde foram somados os valores da camada *raster* de permeabilidade do solo com os coeficientes de correção indicados na Tabela 10.

Tabela 10. Coeficientes de correção de declividade para o indicador ROI

Classes de declividade (graus)	Coefficiente de correção
< 2°50'	0
2°50' - 3°41'	0,1
3°41' - 4°32'	0,2
4°32' - 5°23'	0,3
5°23' - 6°14'	0,4
6°14' - 7°05'	0,5
7°05' - 7°56'	0,6
7°56' - 8°47'	0,7
8°47' - 9°38'	0,8
9°38' - 10°29'	0,9
> 10°29'	1,0

Fonte: Cecchi (2007)

As Figuras 27 e 28 apresentam as camadas *raster* retificadas para ROI.

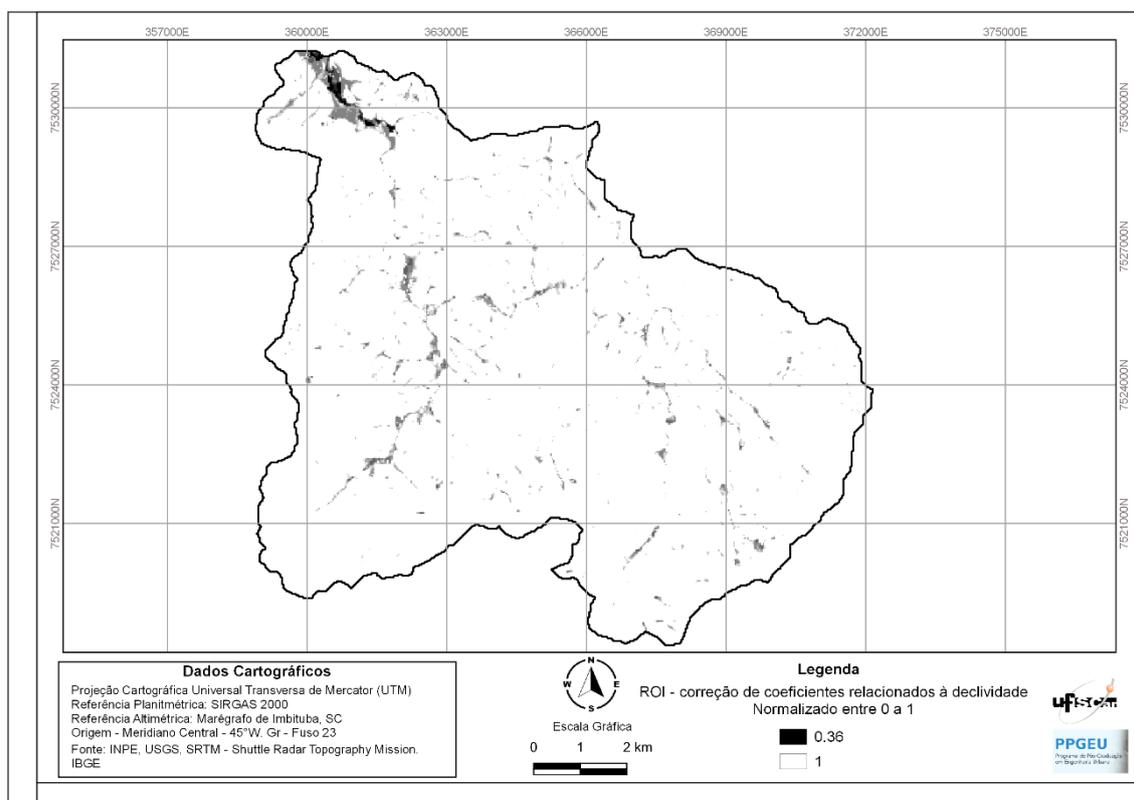


Figura 27. Mapa de Uso do Solo Integrado corrigido correlacionando o uso do solo, permeabilidade e declividade da BHRP normalizado entre 0 a 1.

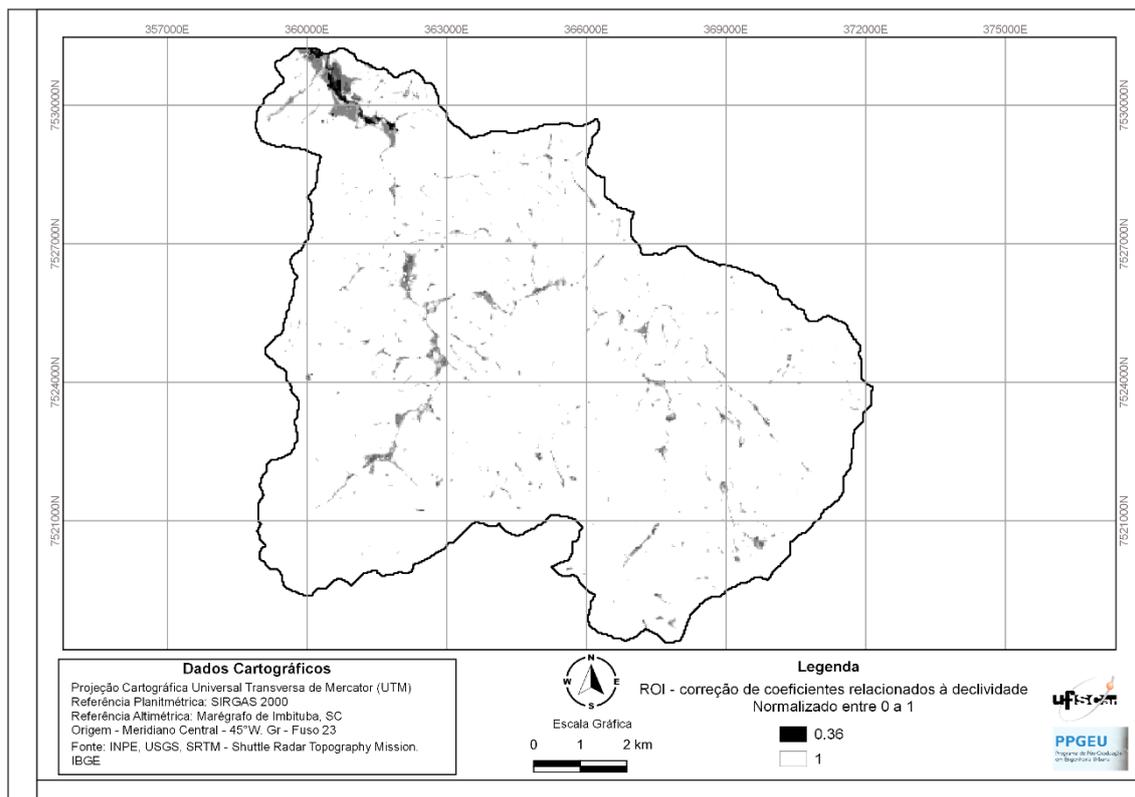


Figura 28. Mapa de uso do solo Esa WorldCover corrigido correlacionando o uso do solo, permeabilidade e declividade da BHRP normalizado entre 0 a 1.

Observa-se nas Figuras 27 e 28 que os valores de ROI se aproximaram de 1 na maior parte da BHRP. Na região noroeste na BHRP encontram-se mais pontos com o coeficiente mais baixo. Isso se deve ao fato de naquela região estar presente solo de permeabilidade mais alta e declividade moderada, apresentando valores menores de ROI.

6.4.3 Resultados do PNPI

A seguir, serão apresentados os resultados para os 4 cenários de aplicação do PNPI, são eles: (i) mapa de uso do solo integrado com rede de drenagem sem ajuste; (ii) mapa de uso do solo integrado com rede de drenagem ajustada; (iii) mapa de uso do solo da *Esa WorldCover* com rede de drenagem sem ajuste; (iv) mapa de uso do solo da *Esa WorldCover* com rede de drenagem ajustada, Figuras 29, 30, 31 e 32.

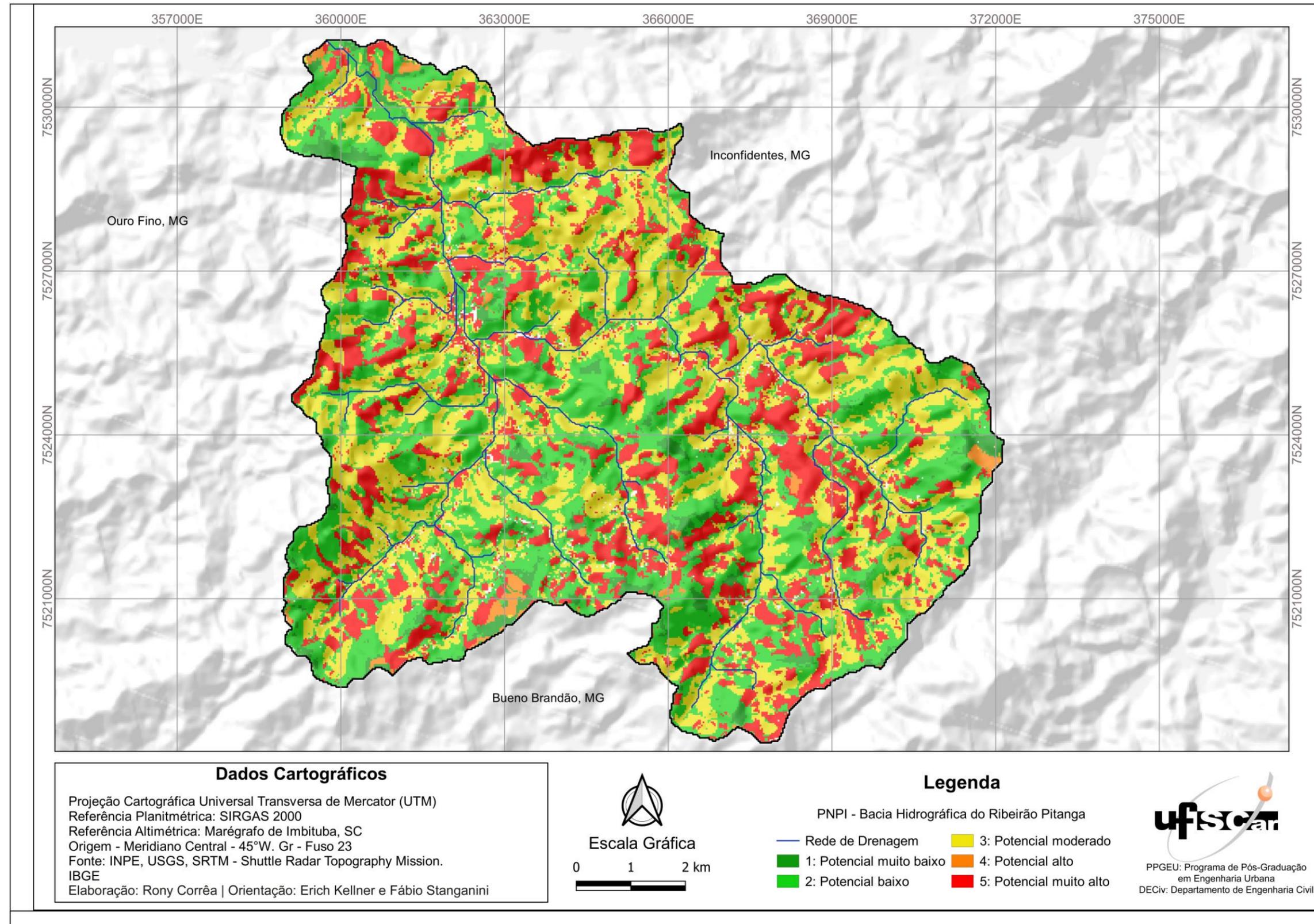


Figura 29. Cenário 1: PNPI para Uso e Ocupação do Solo Integrado com rede de drenagem sem ajuste
 Fonte: autores (2024)

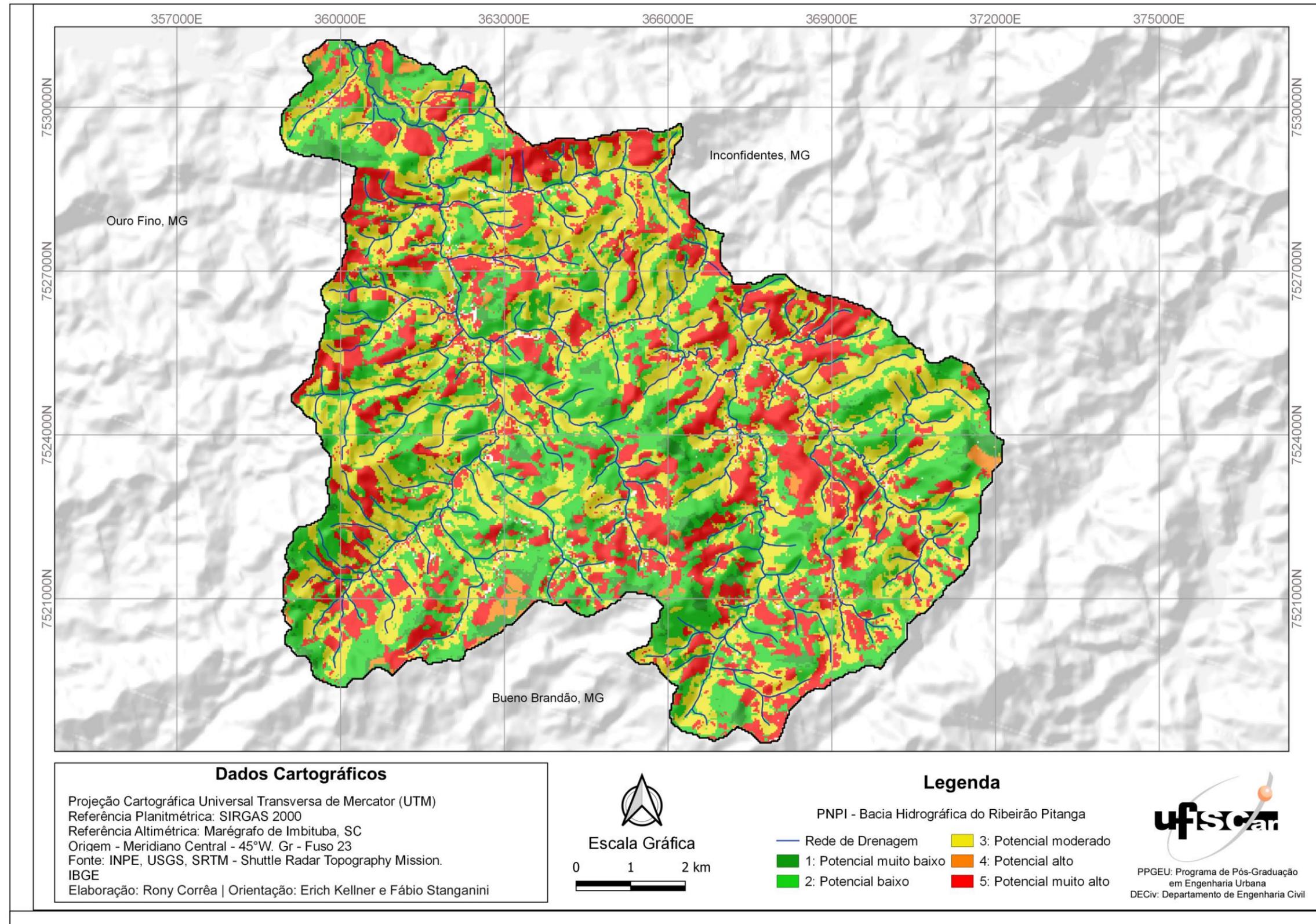


Figura 30. Cenário 2: PNPI para Uso e Ocupação do Solo com rede de drenagem ajustada
Fonte: autores (2024)

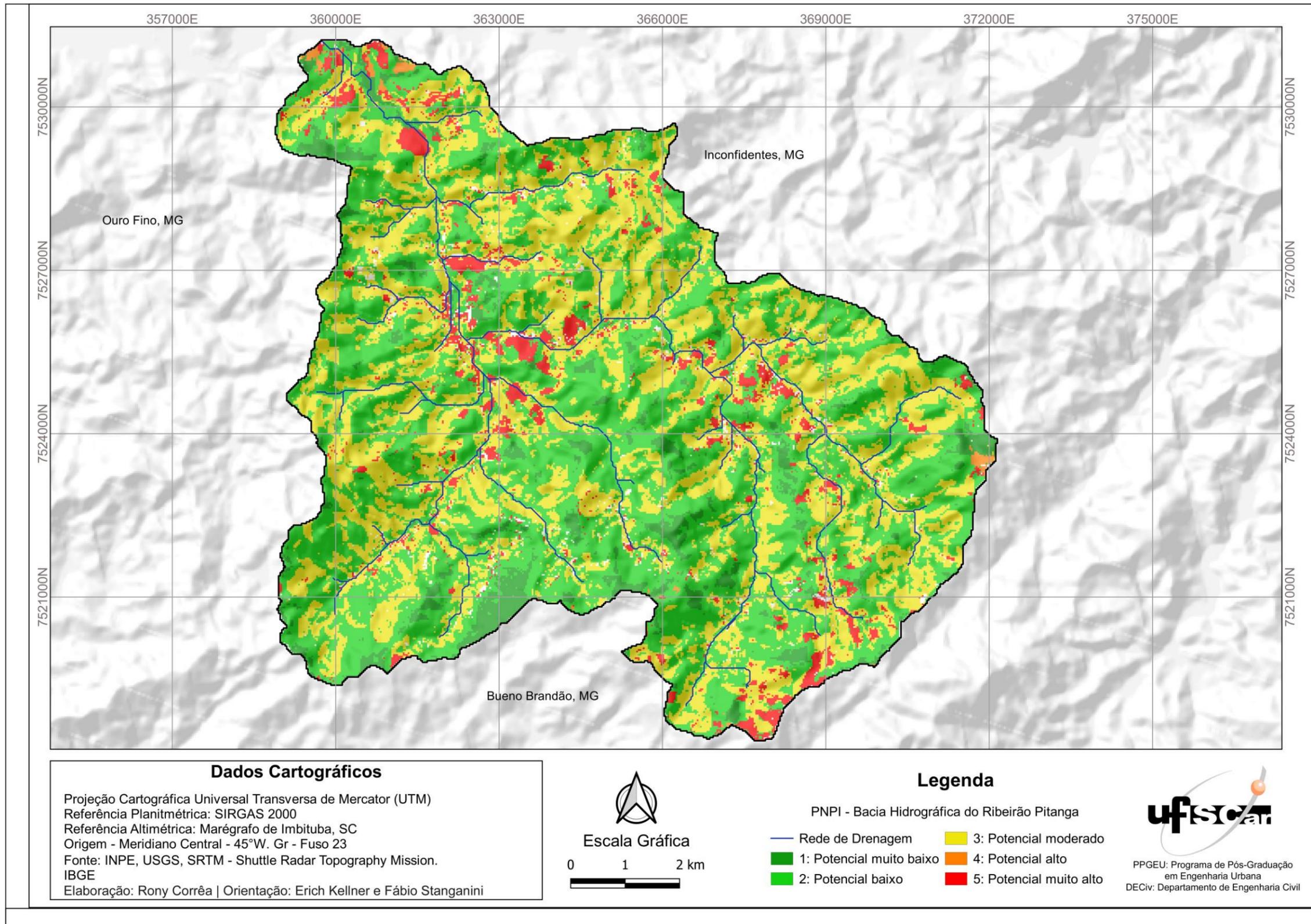


Figura 31. Cenário 3: PNPI para Uso e Ocupação do Solo da Esa WorldCover com rede de drenagem sem ajuste
Fonte: autores (2024)

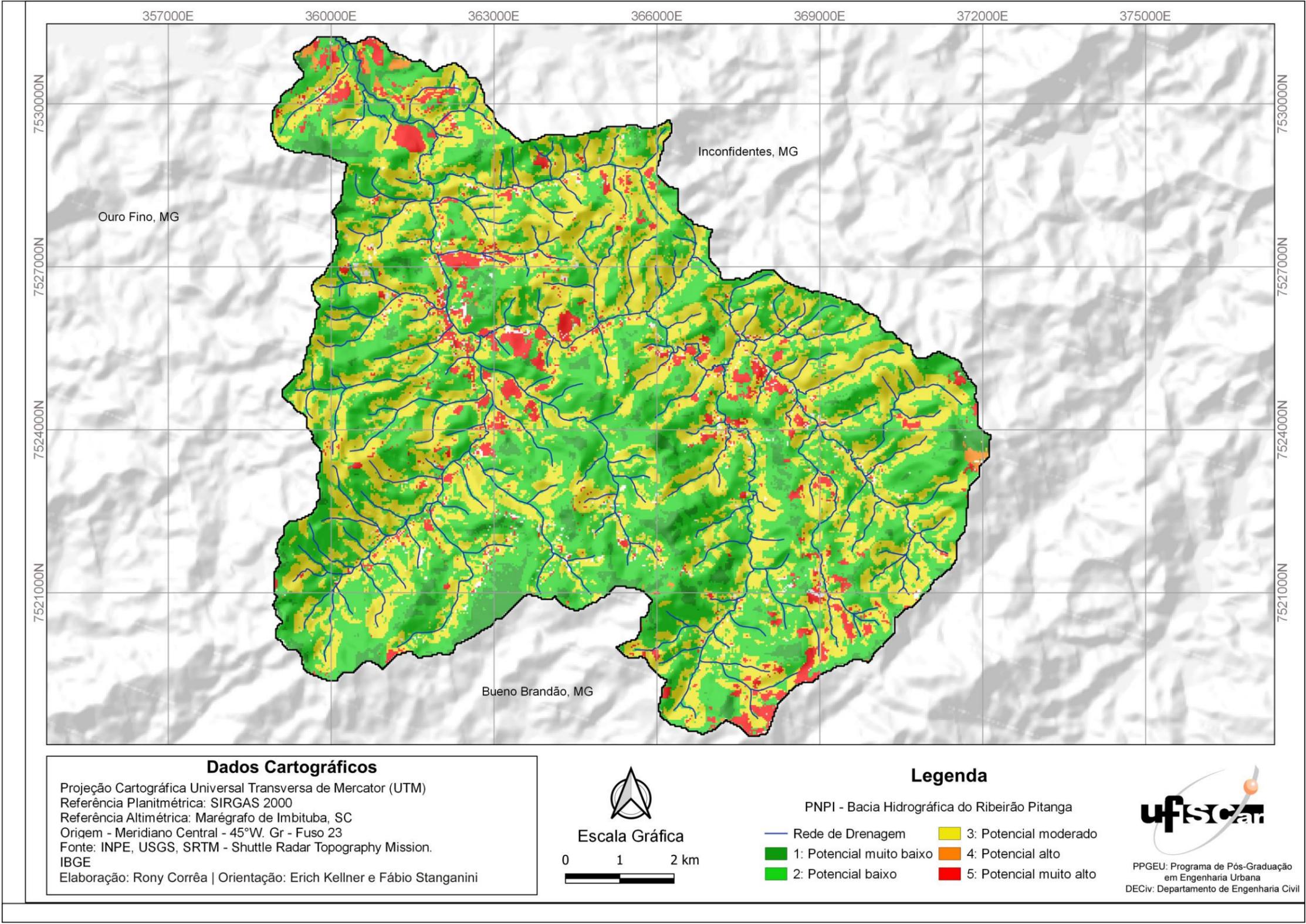


Figura 32. Cenário 4: PNPI para Uso e Ocupação do Solo da Esa WorldCover com rede de drenagem ajustada
Fonte: autores (2024)

Conforme figuras 29, 30, 31 e 32, no cenário 1 observa-se maior presença de potencial de risco muito baixo e baixo principalmente em áreas afastadas da rede de drenagem sem ajuste, enquanto no cenário 2 percebe-se um aumento no potencial de risco moderado, alto e muito alto, considerando que a rede de drenagem com ajuste possui maior densidade, com mais canais de drenagem. Esse efeito também pode ser verificado entre os cenários 3 e 4.

Comparando-se os cenários 1 e 2 com os cenários 3 e 4, verifica-se que nesses houve diminuição expressiva de áreas com potencial de risco moderado, alto e muito alto. Isso se deve ao fato de o mapa do uso do solo da *Esa World Cover*, cenários 3 e 4, apresentar áreas menores de agricultura.

A comparação entre os 4 cenários é apresentada de forma detalhada no Tabela 11.

Tabela 11. Classes de risco potencial em percentual de área da BHRP para o PNPI considerando os cenários 1, 2, 3 e 4 para o mapa integrado de uso do solo

PNPI	Cenário 1 (%)	Cenário 2 (%)	Cenário 3 (%)	Cenário 4 (%)
Potencial muito baixo	10	4	14	5
Potencial baixo	40	36	51	49
Potencial moderado	26	37	29	40
Potencial alto	2	1	1	0
Potencial muito alto	21	22	5	5

Cenário 1: Mapa Integrado de Uso e Ocupação do Solo com rede de drenagem sem ajuste.

Cenário 2: Mapa Integrado de Uso e Ocupação do Solo com rede de drenagem ajustada.

Cenário 3: Mapa de Uso e Ocupação do Solo da *Esa World Cover* com rede de drenagem sem ajuste.

Cenário 4: Mapa de Uso e Ocupação do Solo da *Esa World* com rede de drenagem ajustada.

Na Figura 33 é possível comparar os cenários 1 e 2 representando, respectivamente, a rede de drenagem sem ajuste e ajustada.

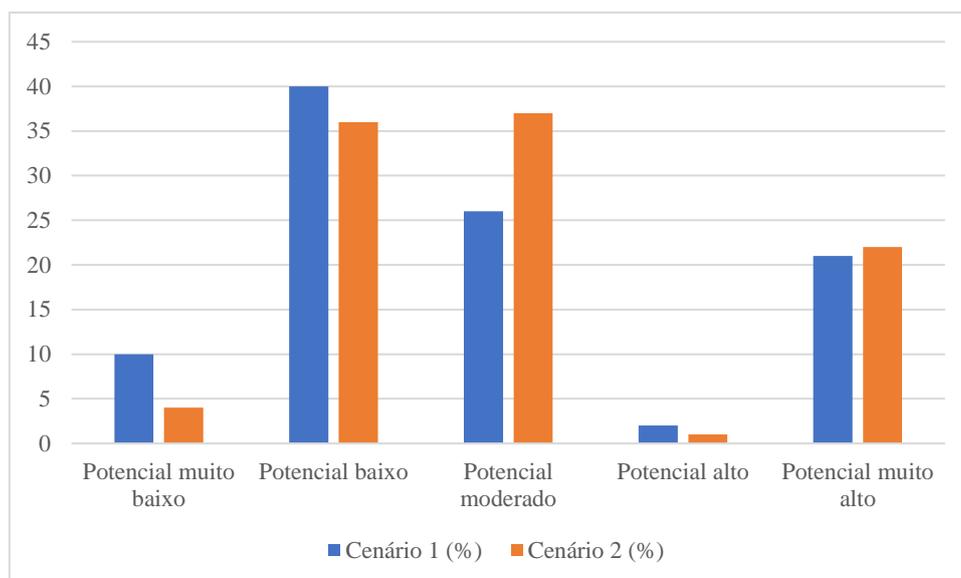


Figura 33. Comparação da variação do percentual de área na classificação do PNPI entre os cenários 1 e 2

Na Figura 33 é possível verificar variação percentual de área na BHRP para o potencial muito baixo (6%), potencial baixo (4%) e potencial alto (1%), e aumento no potencial moderado (11%) e muito alto (1%).

A Figura 34 apresenta a variação para os cenários 3 e 4.

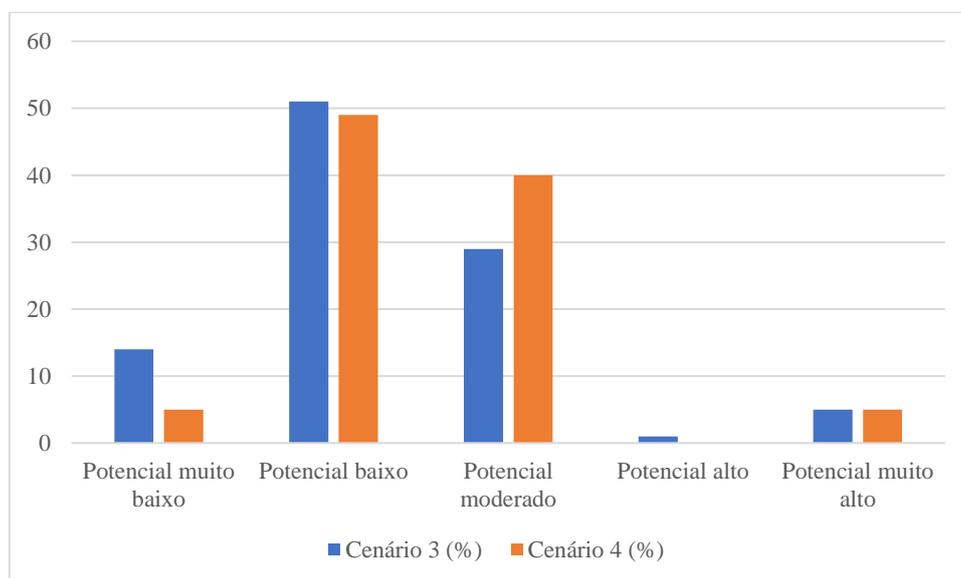


Figura 34. Comparação da variação do percentual de área na classificação do PNPI entre os cenários 3 e 4

Para os cenários 3 e 4, também é possível verificar variações percentuais para potencial muito baixo (9%), potencial baixo (2%), potencial moderado (11%) e potencial alto (1%). Para o potencial muito alto houve estabilidade na alteração dos cenários.

As alterações nos potenciais de risco nos cenários 1, 2, 3 e 4 ocorreram devido ao aumento da densidade da rede de drenagem, aumentando os mananciais de recursos hídricos na BHRP e conseqüentemente aumentando o risco da segurança da água.

Comparando-se o cenário 2 com o cenário 4, observa-se que no cenário 2 há 17% a mais de área com risco muito alto em relação ao cenário 4. Isso ocorre porque a classificação de uso e ocupação do solo da *Esa WorldCover* não consegue definir com precisão todas as áreas de agricultura.

Considerando os resultados, evidencia-se que é necessário realizar ajuste da rede de drenagem gerada de forma automática para que a avaliação de risco reflita a realidade da bacia hidrográfica. Da mesma forma, o mapa de uso e ocupação do solo deve ser realizado de modo a identificar com maior precisão as classes contidas na bacia.

6.5 Fase 5 - Avaliação através de inspeção sanitária na BHRP

A inspeção sanitária consistiu em visitar in loco um número estatisticamente significativo de domicílios, aplicando nessa amostra de domicílios o modelo proposto, cujos resultados estão apresentados na seqüência.

6.5.1 Tamanho da amostra

O número da amostra calculado foi de 64 domicílios da BHRP. Para a distribuição da amostra de forma proporcional na BHRP, estabeleceu-se a área de cada setor censitário (Figura 35).

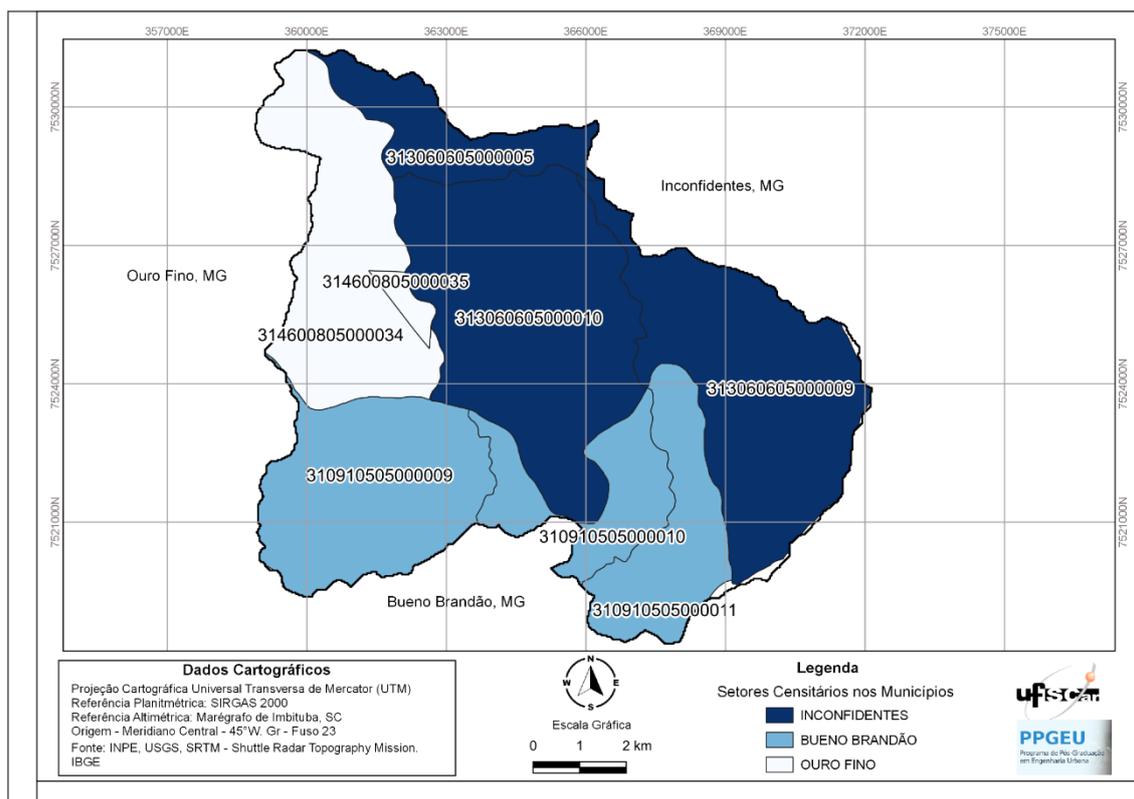


Figura 35. Setores censitário distribuídos na BHRP

A tabela 12 apresenta os resultados para tamanho da amostra nos setores censitários da BHRP.

Tabela 12. Cálculos para estabelecer número de amostras por setor censitário na BHRP

Município	Código Setor Censitário (Figura 1)	ATSC (Km ²)	TDSC	AESCB (Km ²)	DEPSCB (Figura 2)	NASC (Figura 3)
Inconfidentes	313060605000010	2640,033	191	2640,033	191	13
	313060605000009	2729,556	203	2148,111	160	11
	313060605000005	2247,897	225	704,520	71	5
Bueno Brandão	310910505000009	2602,687	199	1654,675	126	9
	310910505000011	1042,114	76	901,477	66	5
	310910505000010	1389,216	143	719,010	74	5
Ouro Fino	314600805000035	87,877	144	87,877	144	10
	314600805000034	2585,662	123	1665,345	79	6
Total			1.304		911	64

ATSC: Área Total do Setor Censitário (km²)

TDSC: Total Domicílios do Setor Censitário (domicílios)

AESCB: Área Específica do Setor Censitário na Bacia (Km²)

DEPSCB: Domicílios Específicos Proporcionais do Setor Censitário na Bacia (domicílios)

NASC: Número de amostras por setor censitário (domicílios)

O mapa na Figura 36 apresenta o número de amostras distribuído por cada setor censitário.

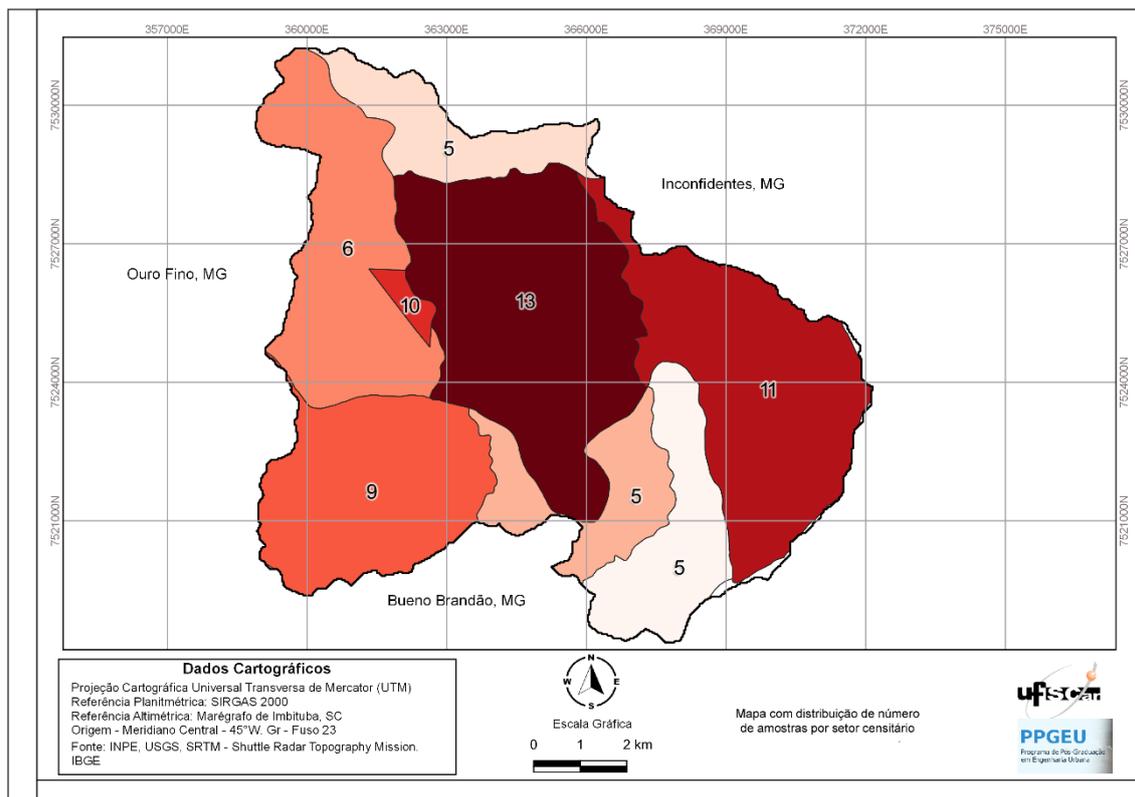


Figura 36. Número de amostras por setor censitário da BHRP

O número de amostras de cada setor censitário foi distribuído pelos principais bairros rurais existentes na BHRP, conforme Tabela 13.

Tabela 13. Identificação dos principais bairros da BHRP distribuídos pelos 8 setores censitários

Município	Código Setor Censitário	NASC	Bairros	Número de domicílios amostrados
Inconfidentes	313060605000010	13	1. Bairro do Cambuizinho	7
			2. Bairro Boa Vista dos Pedros	6
	313060605000009	11	3. Bairro Boa Ventura	11
	313060605000005	5	4. Bairro dos Bernardos	2
			5. Bairro da Grama	3
Bueno Brandão	310910505000009	9	6. Bairro das Furnas	5
			7. Bairro Piquiras	4
	310910505000011	5	8. Bairro Boa Vista dos Goes	3
			9. Bairro Boa Vista dos Barbosas	2
Ouro Fino	310910505000010	5	10. Bairro Boa Vista dos Crispins	2
			11. Bairro Boa Vista dos Vicentes	3
	314600805000035	10	12. Bairro Pinhalzinho dos Goes	10
	314600805000034	6	13. Bairro dos Pitangas	6
Totais		64		64

O mapa da figura 37 apresenta os bairros rurais indicados nos setores censitários e ilustra a distribuição das amostras pelos bairros.

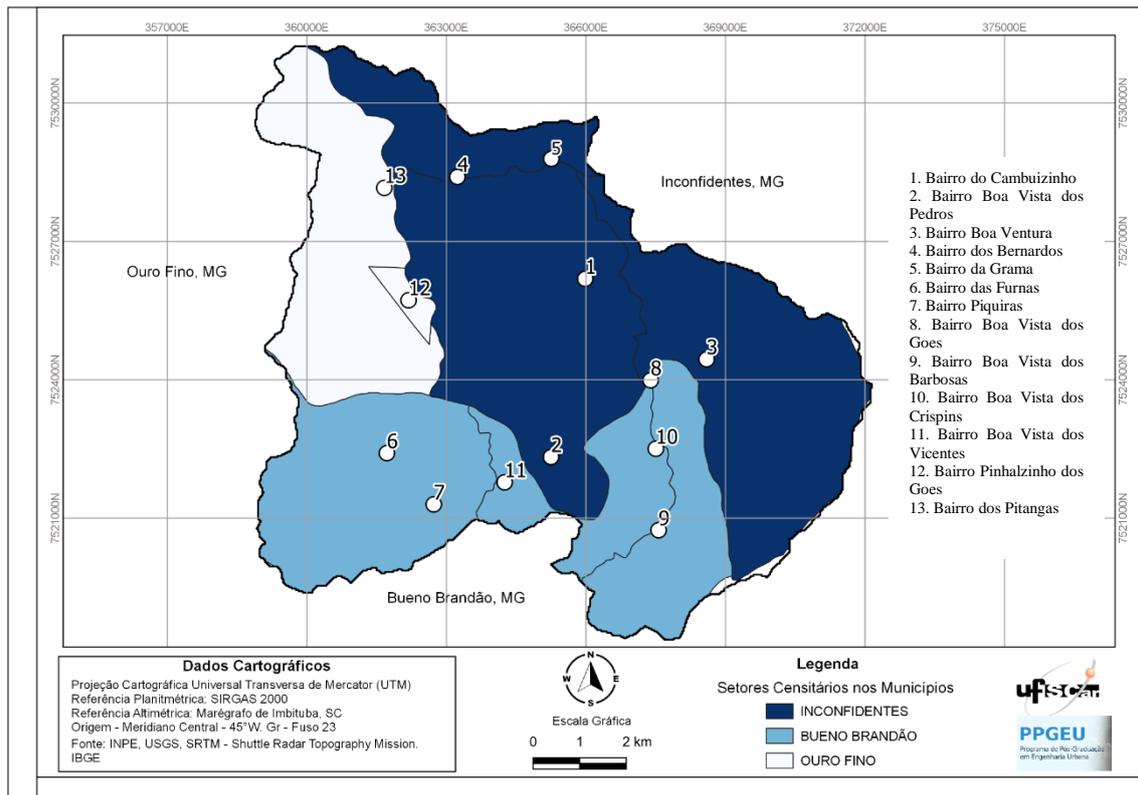


Figura 37. Distribuição espacial do número de domicílios visitados em função da densidade populacional

6.5.2 Aplicação do modelo

A avaliação foi realizada diretamente nos domicílios dos bairros rurais (Figura 38).



Figura 38. Pesquisa de campo nos domicílios da BHRP

Na avaliação amostral de 64 domicílios (Figura 39), 61 foram avaliados e não foi possível realizar a avaliação de 3 domicílios, localizados no Bairro Boa Vista dos Vicentes, devido ao difícil acesso às casas e à dificuldade de entrar em contato com os moradores.

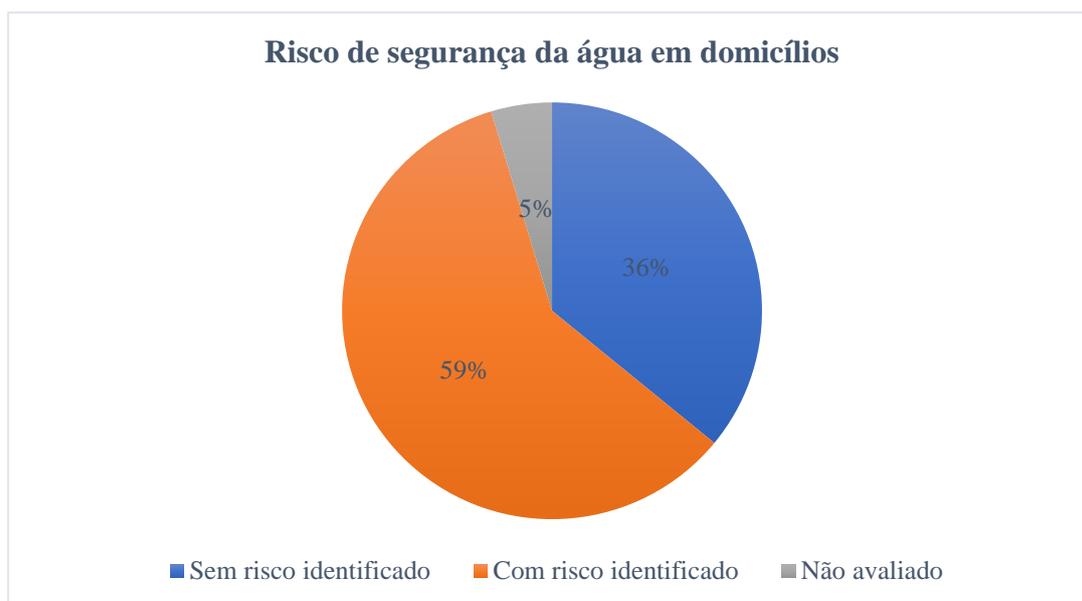


Figura 39. Avaliação de risco de segurança da água nos 64 domicílios

Do total dos domicílios amostrados, 59% havia presença de risco de segurança da água, 36% não foi identificado riscos no local e 5% não foi possível avaliar.

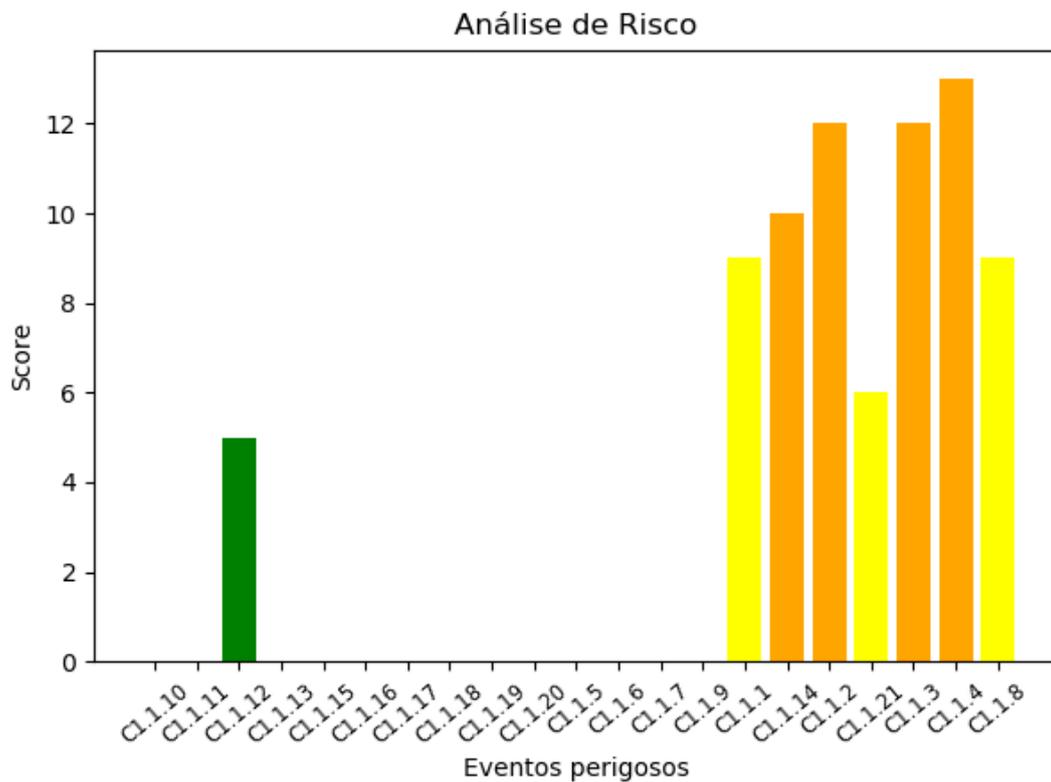
Foram realizadas avaliações de risco para cada setor censitário e também para a BHRP. Os dados foram analisados por meio de planilha do Microsoft Excel e por meio do software PSA Avalia. Os resultados de avaliação de risco para os setores censitários encontram-se no Apêndice E juntamente com a apresentação de parte do registro fotográfico da avaliação no Apêndice F.

A avaliação da BHRP realizada por meio do software é apresentada nas Figuras de 40 a 44, distribuídas por componentes de abastecimento de água.

Resultados - Avaliação Sistema - C1.1 (1)

Resultados: C1.1 - Água superficial: rios; nascentes; lagos

Evento Perigoso	Classificação de risco	Score	Medidas de Controle
C1.1.1	< MÉDIO >	9.0	Firmar acordo com os usuários para não permitir uso de substâncias perigosas perto da fonte (APP)
C1.1.2	< ALTO >	12.0	Comunicar órgãos responsáveis.
C1.1.3	< ALTO >	12.0	Melhorar ou providenciar cercamento do local.
C1.1.4	< ALTO >	13.0	Fixar placa de sinalização.
C1.1.5	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.6	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.7	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.8	< MÉDIO >	9.0	Colibir defecação a céu aberto na comunidade; verificar distância de fossas; restringir quintais com animais perto da fonte (APP); cercar devidamente o
C1.1.9	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.10	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.11	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.12	< BAIXO >	5.0	Estabelecer medidas de alerta e prevenção
C1.1.13	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.14	< ALTO >	10.0	Promover proteção adequada do local
C1.1.15	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.16	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.17	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.18	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.19	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.20	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.21	< MÉDIO >	6.0	Estabelecer medidas de alerta e prevenção



Resultados - Avaliação Sistema - Ca1.1 (2)

Resultados: Ca1.1 - Água superficial: rios; nascentes; lagos (2)

Evento Perigoso	Classificação de risco	Score	Medidas de Controle
C1.1.22	< MÉDIO >	6.0	Realizar manutenção preventiva, inspeções regulares e manter equipamentos reservas.
C1.1.23	< MÉDIO >	9.0	Estabelecer medidas de alerta e emergência; garantir medidas de economia de água.
C1.1.24	< BAIXO >	5.0	Analisar e coibir atividades degradadoras do solo em torno da fonte; recuperar áreas de preservação permanente (APP)
C1.1.25	< BAIXO >	5.0	Realizar prevenção e fiscalização; estabelecer medidas de alerta e prevenção
C1.1.26	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.27	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.28	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.29	< MÉDIO >	8.0	Assegurar que a área de captação esteja protegida de fontes poluidoras.
C1.1.30	< ALTO >	12.0	Realizar prevenção e fiscalização; garantir medidas de proteção ou tecnologias que assegurem a qualidade da água
C1.1.31	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica

Salvar (.PDF)
Sair

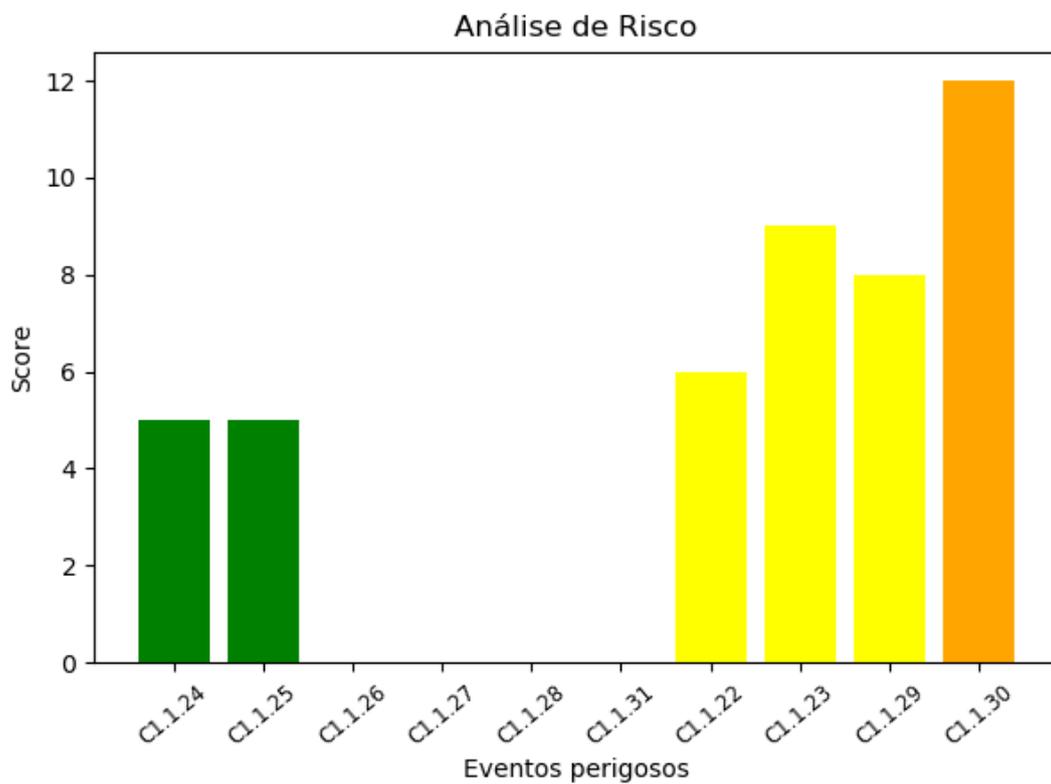


Figura 40. Avaliação de risco de segurança da água na BHRP no componente captação de água superficial: rios, nascentes, lagos.

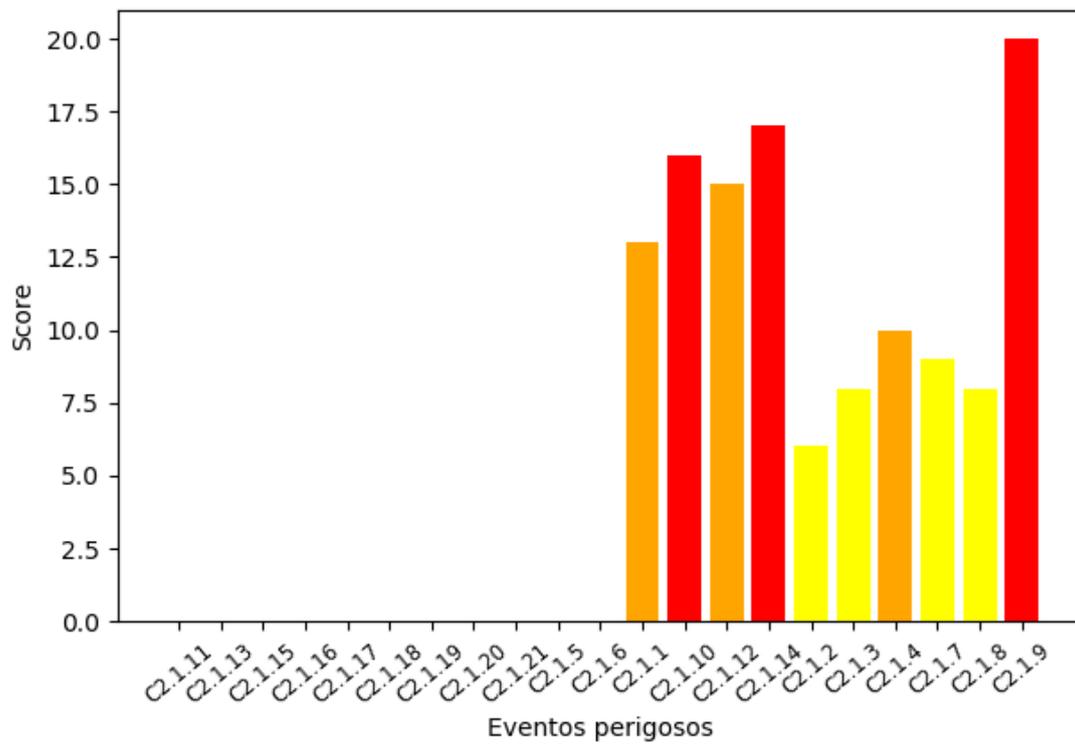
Resultados: C2.1 - Manancial subterrâneo: poço escavado (poço caipira)

Evento Perigoso	Classificação de risco	Score	Medidas de Controle
C2.1.1	< ALTO >	13.0	Promover proteção adequada para impedir a contaminação
C2.1.2	< MÉDIO >	6.0	Garantir a drenagem adequada do local e reparar possíveis rachaduras
C2.1.3	< MÉDIO >	8.0	Assegurar que o poço esteja acima do nível de inundação; estabelecer drenagem e programa de emergência.
C2.1.4	< ALTO >	10.0	Realizar educação comunitária; garantir higienização na hora de coleta e desinfecção de equipamentos e torneiras.
C2.1.5	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C2.1.6	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C2.1.7	< MÉDIO >	9.0	Garantir o fechamento hermético do poço.
C2.1.8	< MÉDIO >	8.0	Construir proteção de concreto (1 - 2 m)
C2.1.9	< MUITO ALTO >	20.0	Garantir proteção adequada do local
C2.1.10	< MUITO ALTO >	16.0	Fixar placas de sinalização; melhorar condições e proteção da fonte.
C2.1.11	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C2.1.12	< ALTO >	15.0	Tampar o poço adequadamente e/ou reparar danos
C2.1.13	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C2.1.14	< MUITO ALTO >	17.0	Construir poços com parapeito de pelo menos 1 metro
C2.1.15	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C2.1.16	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C2.1.17	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C2.1.18	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C2.1.19	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C2.1.20	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C2.1.21	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica

Salvar (.PDF)

Sair

Análise de Risco



Resultados - Avaliação Sistema - C2.1 (2)

Resultados: C2.1 Manancial subterrâneo: poço escavado (poço caipira) (2)

Evento Perigoso	Classificação de risco	Score	Medidas de Controle
C2.1.22	< Não se aplica >	0,0	Não se aplica
C2.1.23	< Não se aplica >	0,0	Não se aplica
C2.1.24	< Não se aplica >	0,0	Não se aplica
C2.1.25	< ALTO >	12,0	Realizar educação comunitária; promover a proteção adequada
C2.1.26	< MUITO ALTO >	16,0	Garantir proteção adequada do local
C2.1.27	< ALTO >	15,0	Garantir proteção adequada do local
C2.1.28	< Não se aplica >	0,0	Não se aplica

Salvar (.PDF)
Sair

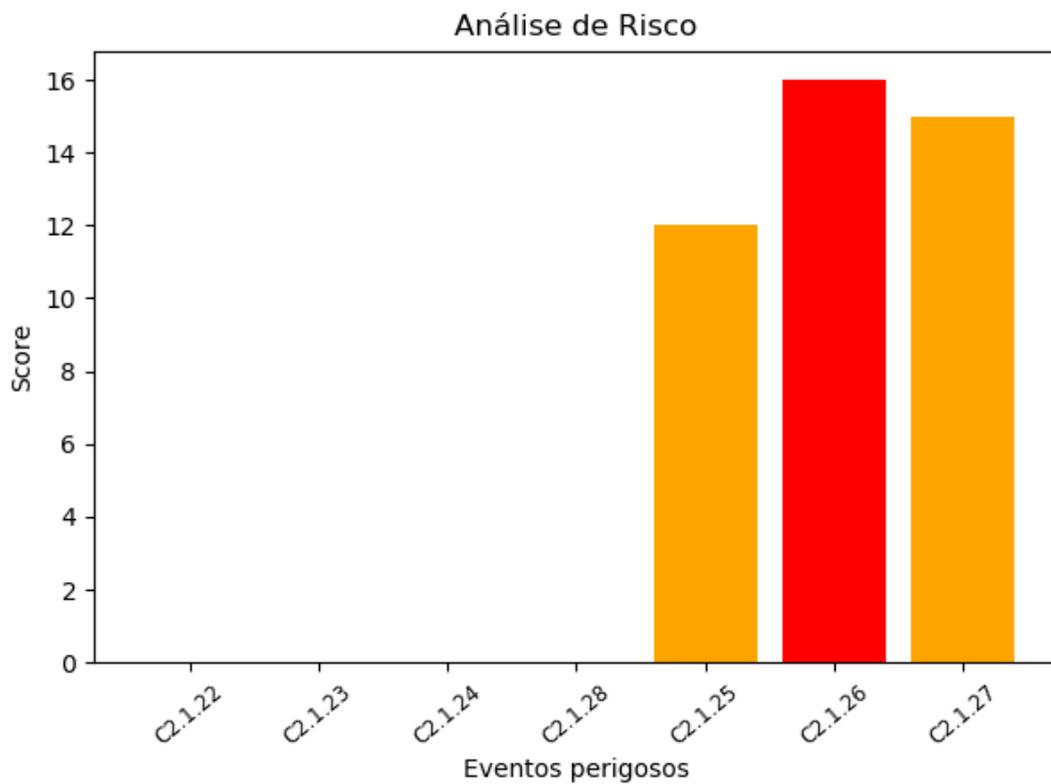


Figura 41. Avaliação de risco de segurança da água na BHRP no componente captação de água subterrânea: poço escavado

Resultados - Avaliação Sistema - C.2.2

Resultados: C.2.2 Manancial subterrâneo: poço tubular semi-artesiano

Evento Perigoso	Classificação de risco	Score	Medidas de Controle
C2.2.1	< ALTO >	12.0	Promover proteção adequada para impedir a contaminação; substituir equipamentos periodicamente.
C2.2.2	< MÉDIO >	9.0	Garantir a drenagem adequada do local e reparar possíveis rachaduras
C2.2.3	< MÉDIO >	9.0	Assegurar que o poço esteja acima do nível de inundação; fornecer drenagem e programa de emergência.
C2.2.4	< MÉDIO >	9.0	Educação comunitária; higienização na hora de coleta; desinfecção de equipamentos e torneiras.
C2.2.5	< MUITO ALTO >	25.0	Uso de geradores
C2.2.6	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C2.2.7	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C2.2.8	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C2.2.9	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C2.2.10	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C2.2.11	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C2.2.12	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C2.2.13	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C2.2.14	< ALTO >	15.0	Promover proteção adequada para impedir a contaminação
C2.2.15	< MÉDIO >	9.0	Promover proteção adequada para impedir a contaminação
C2.2.16	< ALTO >	15.0	Promover proteção adequada para impedir a contaminação
C2.2.17	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica

Salvar (.PDF)
Sair

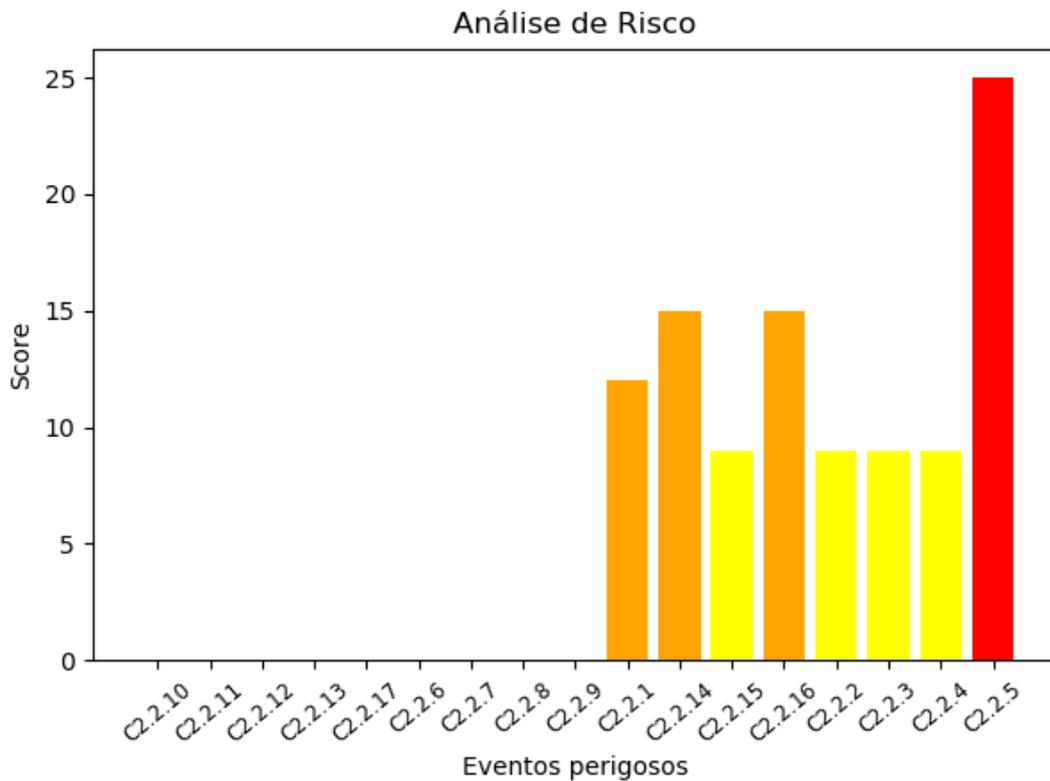


Figura 42. Avaliação de risco de segurança da água na BHRP no componente captação de água subterrânea: poço tubular semiartesiano

Resultados - Avaliação Sistema - C3.1

Resultados: C3.1 Reservatório de água bruta

Evento Perigoso	Classificação de risco	Score	Medidas de Controle
C3.1.1	< MÉDIO >	9.0	Mantier galhos de árvores distantes; melhorar e ou providenciar cercamento do local.
C3.1.2	< MÉDIO >	6.0	Garantir proteção dos equipamentos
C3.1.3	< MÉDIO >	9.0	Realizar limpeza regular e drenagem do reservatório
C3.1.4	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C3.1.5	< MUITO ALTO >	17.0	Promover a recuperação do reservatório
C3.1.6	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C3.1.7	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C3.1.8	< MÉDIO >	6.0	Reparar problemas; estabelecer programa de detecção de perdas.
C3.1.9	< ALTO >	10.0	Melhorar ou providenciar cercamento do local; realizar vigilância periódica.
C3.1.10	< ALTO >	14.0	Garantir materiais de qualidade e impermeabilização do reservatório.
C3.1.11	< ALTO >	12.0	Minimizar os tempos de retenção; ajustar a captação; observar tratamento

Salvar (.PDF)
Sair

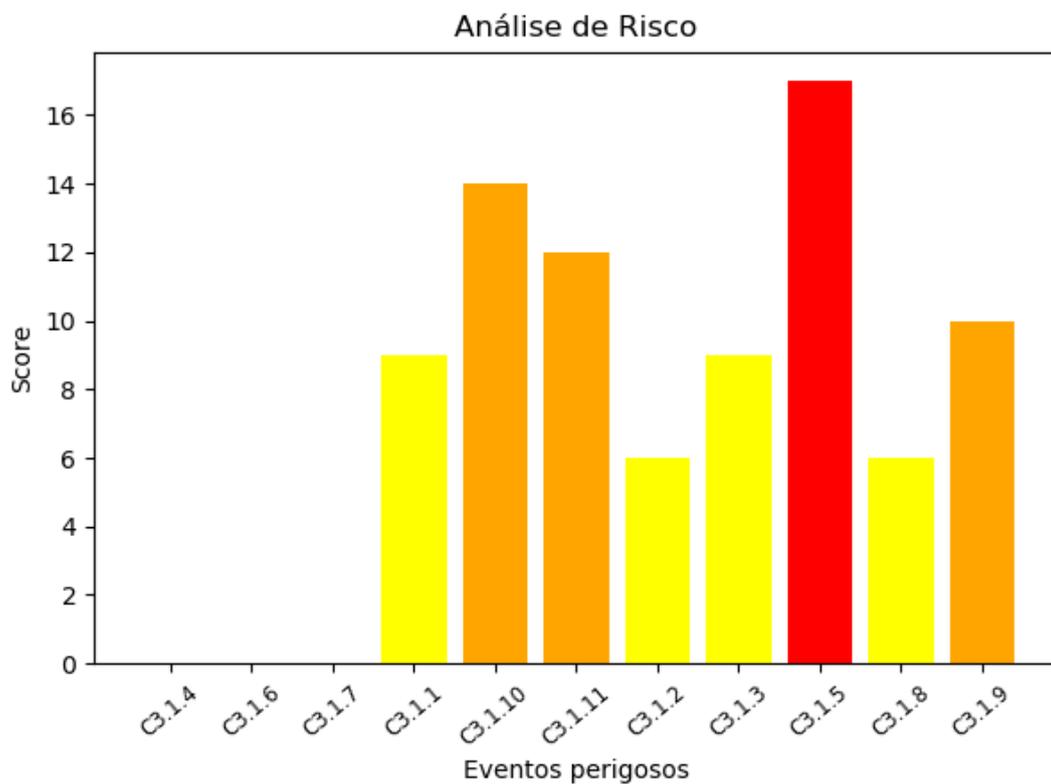


Figura 43. Avaliação de risco de segurança da água na BHRP no componente reservatório de água bruta

Resultados - Avaliação Sistema - D1.1

Resultados: D1.1 Operação e distribuição canalizada

Evento Perigoso	Classificação de risco	Score	Medidas de Controle
D1.1.1	< BAIXO >	4.0	Identificar e cadastrar locais com problemas
D1.1.2	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
D1.1.3	< BAIXO >	4.0	Realizar reparo da canalização; utilizar tubos de melhor resistência
D1.1.4	< BAIXO >	4.0	Realizar reparo da canalização; verificar normas e procedimentos corretos para instalação.
D1.1.5	< BAIXO >	4.0	Monitorar níveis de cloro em pontos específicos do sistema
D1.1.6	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
D1.1.7	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
D1.1.8	< BAIXO >	4.0	Reparar danos; utilizar materiais adequados; estabelecer programas de detecção de perdas
D1.1.9	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
D1.1.10	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica

Salvar (.PDF)
Sair

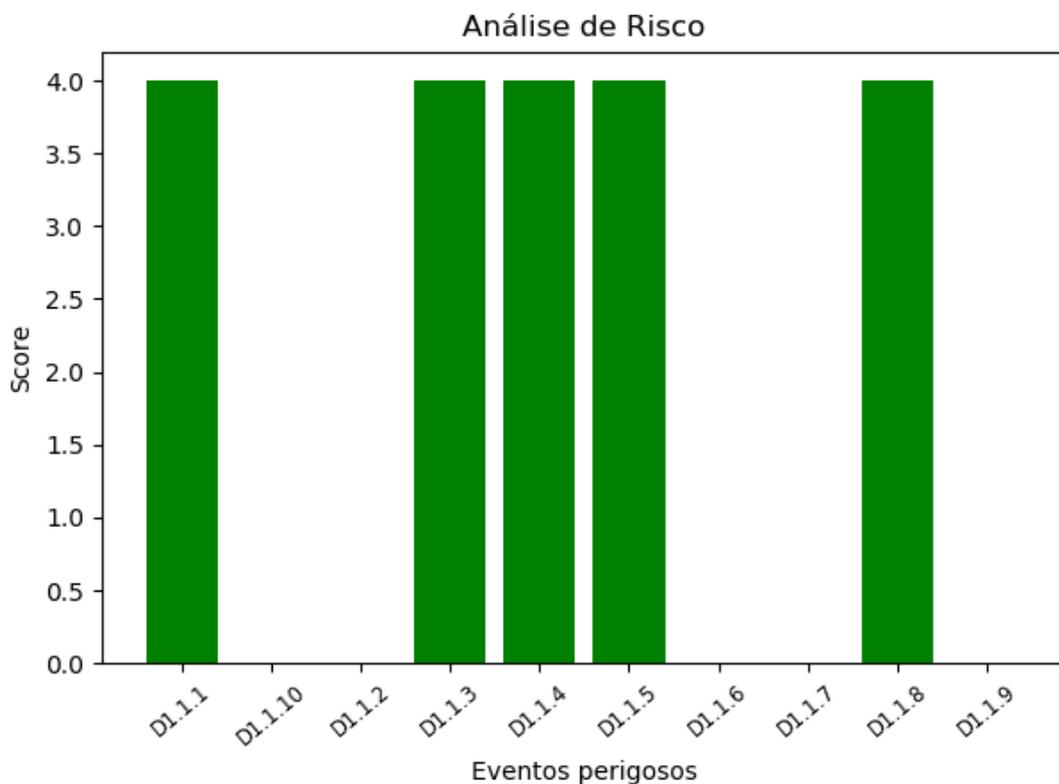


Figura 44. Avaliação de risco de segurança da água na BHRP no componente operação e distribuição canalizada

Os riscos avaliados para a BHRP por meio do software PSA Avalia são apresentados no Quadro 4

Quadro 4. Análise de risco referente aos componentes Captação de água superficial: rio; nascentes; lagos. (C1.1), Reservatório de água bruta (C 3.1) e Operação e Distribuição canalizada (D1.1) para o setor censitário 313060605000005.

Elementos	Ident.	Evento perigoso	Score	Avaliação de risco
Captação de água superficial: rio; nascentes; lagos. (C1.1)	<i>C1.1.1</i>	Utilização de agrotóxicos e fertilizantes em torno da fonte de água (Área de Preservação Permanente - APP)	9	médio
	<i>C1.1.2</i>	Presença de excrementos de animais e/ou humanos em torno da fonte (APP)	12	alto
	<i>C1.1.3</i>	Falta de proteção (cerca imprópria), permitindo acesso de animais e pessoas	11	alto
	<i>C1.1.4</i>	Falta de placa de aviso sobre captação	13	alto
	<i>C1.1.8</i>	Contaminação fecal através de lixiviação de resíduos humanos ou de animais	9	médio
	<i>C1.1.12</i>	Ocorrência de inundação; inviabilização temporária na captação de água	5	baixo
	<i>C1.1.14</i>	Presença de animais em torno da fonte (até 10 metros)	10	alto
	<i>C1.1.21</i>	Chuvas intensas com elevação na turbidez da água	6	médio
	<i>C1.1.22</i>	Falha mecânica e estrutural no sistema de captação	6	médio
	<i>C1.1.23</i>	Ocorrência de seca e/ou cheias prolongadas, inviabilizando a captação	9	médio
	<i>C1.1.24</i>	Entupimentos e/ou assoreamento na área de captação	5	baixo
	<i>C1.1.25</i>	Contaminação da água provocada por acidentes e/ou incêndios	5	baixo
	<i>C1.1.29</i>	Escoamento de resíduos agrícolas e/ou de áreas urbanizadas na área de captação	8	médio
	<i>C1.1.30</i>	Contaminação residual da água provocada pelo tráfego (carros, barcos, área de estacionamento, etc.)	12	alto
Captação de água subterrânea: poço escavado (C 2.1)	<i>C2.1.1</i>	Presença de água estagnada ao redor do poço (3 metros), devido à drenagem insuficiente	13	alto
	<i>C2.1.2</i>	Presença de água estagnada ao redor do poço (3 metros), devido à drenagem insuficiente	6	médio
	<i>C2.1.3</i>	Presença de água estagnada ao redor do poço (3 metros), devido à drenagem insuficiente	8	médio
	<i>C2.1.4</i>	Contaminação no equipamento de saída do poço/torneiras	10	alto
	<i>C2.1.7</i>	Entrada de animais por meio de tampas ou orifícios.	9	médio
	<i>C2.1.8</i>	Ausência de proteção de concreto em volta do poço e/ou problema com canal de drenagem	18	muito alto
	<i>C2.1.9</i>	Presença de animais ao redor do poço (até 10 metros)	20	muito alto
	<i>C2.1.10</i>	Presença de excrementos de animais ou humanos em torno do poço	16	muito alto
	<i>C2.1.12</i>	Ausência de tampa de proteção do poço, apresentando rachaduras ou insalubre	15	alto
	<i>C2.1.14</i>	Ocorrência de poços sem parapeitos adequados	17	muito alto
	<i>C2.1.25</i>	Existência de outra fonte de poluição até 10 metros do poço	12	alto
	<i>C2.1.26</i>	Proteção de concreto em volta do topo do poço menor que 2 metros de diâmetro	16	muito alto

(continua)

(continuação)

Quadro 4. Análise de risco referente aos componentes Captação de água superficial: rio; nascentes; lagos. (C1.1), Reservatório de água bruta (C 3.1) e Operação e Distribuição canalizada (D1.1) para o setor censitário 313060605000005.

	<i>C2.1.27</i>	Proteção de concreto em volta do topo do poço com rachaduras	15	alto
Captação de água subterrânea: poço tubular semiartesiano (C 2.2)	<i>C2.2.1</i>	Entrada de água contaminada por meio de rachaduras, orifícios e equipamentos danificados	12	alto
	<i>C2.2.2</i>	Presença de água estagnada ao redor do poço, devido à drenagem insuficiente	9	médio
	<i>C2.2.3</i>	Ingresso de água contaminada durante inundações	9	médio
	<i>C2.2.4</i>	Contaminação no equipamento de saída do poço	9	médio
	<i>C2.2.5</i>	Falha no sistema elétrico ou na bomba	25	muito alto
	<i>C2.2.14</i>	Ausência de canal de drenagem em torno do mecanismo de bombeamento	15	alto
	<i>C2.2.15</i>	Presença de animais até 50 metros do poço.	9	médio
	<i>C2.2.16</i>	A área da base do mecanismo de bombeamento é permeável	15	alto
Reservatório de água bruta (C 3.1)	<i>C3.1.1</i>	Acúmulo de fezes de animais e aves na tampa do reservatório.	7	médio
	<i>C3.1.2</i>	Inundação da válvula por águas superficiais	6	médio
	<i>C3.1.3</i>	Desprendimento de biofilme	9	médio
	<i>C3.1.5</i>	Conservação inadequada de reservatórios/reservatórios danificados	17	muito alto
	<i>C3.1.8</i>	Perda de água no reservatório	6	médio
	<i>C3.1.9</i>	Acesso de animais ao reservatório	10	alto
	<i>C3.1.10</i>	Construção inadequada do reservatório	14	alto
	<i>C3.1.11</i>	Crescimento anormal de algas	12	alto
Operação e Distribuição canalizada (D1.1)	<i>D1.1.1</i>	Presença de ar na tubulação/ variação de pressão no sistema	4	baixo
	<i>D1.1.3</i>	Contaminação da água por meio de canalização danificada	4	baixo
	<i>D1.1.4</i>	Contaminação da água por meio de canalização exposta	4	baixo
	<i>D1.1.5</i>	Formação de biofilme por falta de cloro	4	baixo
	<i>D1.1.8</i>	Existência de ponto de vazamento (perda de água)	4	baixo

Conforme Quadro 4, verifica-se a presença de riscos em 5 componentes do sistema e soluções alternativas de abastecimento de água: nascente, poço escavado, poço tubular semiartesiano, reservatório de água bruta e distribuição canalizada.

Foram identificadas 48 variáveis de eventos perigosos que colocam em risco a segurança da água nos domicílios. Dessas variáveis, 35% são de risco médio, 33% de risco alto, 17% de risco baixo e 15% de risco muito alto (Figura 45).

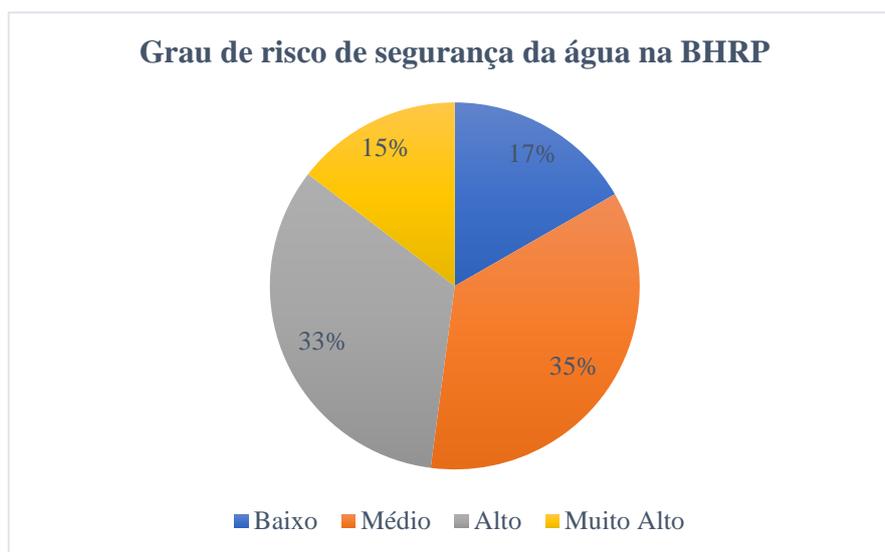


Figura 45. Grau de risco percentual nos componentes avaliados na BHRP

As principais alternativas de abastecimento de água avaliadas na BHRP são por meio de captação superficial (nascente) e por meio de captação de água subterrânea (poço caipira e tubular semiartesiano). Observaram-se, em muitos casos de abastecimento de água superficial, que os domicílios compartilham água da mesma nascente e reservatório de água, sendo utilizados pelos domicílios próximos por meio de acordo informal de uso da água entre eles.

Os eventos perigosos que mais colocam em risco a segurança da água na captação superficial, subterrânea e no armazenamento de água estão relacionados à falta de proteção adequada da área e dos elementos de captação e armazenamento da água, permitindo o acesso de animais e contaminação da água, à problema mecânico e estrutural, como entupimento e quebra de equipamentos, à lixiviação de contaminantes, e aos eventos de inundação, provocando problemas no abastecimento.

6.6 Aplicação dos instrumentos e características do abastecimento de água

A aplicação combinada dos instrumentos possibilitou ter uma visão ampla dos riscos de segurança da água na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Pitanga, apresentando uma visão geral dos pontos críticos relacionados aos riscos difusos, e também uma visão dos riscos de segurança da água diretamente nos domicílios presentes na bacia hidrográfica.

O PNPI tem potencial de auxiliar os gestores de recursos hídricos na definição de áreas prioritárias para implementação de políticas públicas de conservação e recuperação ambiental, com foco nas áreas determinadas com maior potencial de risco de segurança da água.

O modelo com inspeção sanitária nos domicílios apresenta uma visão mais ampla sobre os riscos de segurança da água para consumo humano nas casas presentes na área de estudo. A utilização do modelo de avaliação de risco com inspeção sanitária desenvolvido por Corrêa (2020) tem potencial de contribuir de forma significativa com planos de segurança da água, facilitando a identificação de eventos perigosos que colocam em risco a água para consumo humano. O modelo poderá ser adaptado e aprimorado conforme sua utilização for sendo difundida pelo país.

A aplicação combinada das ferramentas potencializa a identificação de áreas prioritárias para a segurança da água, sendo que apresenta em quais localidades há maior necessidade de estabelecimento de ações mais efetivas para garantia de água segura conforme os principais riscos identificados nos domicílios com a identificação de poluição difusa na bacia hidrográfica.

Verificaram-se que as principais formas de captação de água na bacia hidrográfica são: coleta diretamente no manancial superficial de nascentes de água, coleta por meio de poço escavado (poço caipira) e coleta por meio de poço tubular. Com relação ao armazenamento, observaram-se a presença de caixas de água instaladas próxima dos domicílios, como reservatório individual para cada casa, e também caixas de água próximas da área de captação, que em muitos casos serviam para distribuir a água entre mais de um domicílio. Não é comum a realização de tratamento físico ou químico da água em nenhuma etapa do abastecimento, de modo que não há garantia de segurança da água utilizada nos domicílios presentes na BHRP – com exceção do Bairro Pinhalzinho dos Gois em que o abastecimento de água é gerido pela prefeitura municipal de Ouro Fino, MG.

7 CONCLUSÕES

A segurança da água para consumo humano em bacias hidrográficas está diretamente relacionada ao uso e ocupação do solo próximo aos mananciais de água, e também aos eventos perigosos que tem potencial de provocar alteração na qualidade da água desde a captação até a utilização final no domicílio.

Os resultados da caracterização hidrogeomorfométrica e de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica objeto de estudo fornecem elementos essenciais para identificação de riscos da água de mananciais superficiais, visto que esses dados são informações indispensáveis para alimentação dos modelos de avaliação.

A análise da caracterização de uso e ocupação do solo da BHRP com diferentes instrumentos de geoprocessamento apresentou consistência para os resultados de caracterização de áreas de florestas, porém teve dificuldades na distinção entre áreas de agricultura com relação a outras classes, com o algoritmo confundindo essas classes com os diferentes métodos empregados. Sendo assim, tornou-se necessária a caracterização manual com método visual para estabelecer as áreas de agricultura de forma mais precisa na bacia hidrográfica em estudo.

Cabe destacar que as características topográficas e de estrutura fundiária da região corroboram com a dificuldade na caracterização por métodos semiautomáticos de classificação, sendo que em outras regiões do país, com diferentes características agrárias, esses métodos tendem a apresentar melhor aplicabilidade. O mapa *World Cover* da ESA mostrou-se eficiente na classificação de alguns tipos de classes de uso do solo e pode apresentar melhores resultados em bacias hidrográficas maiores.

As alterações geológicas ocorridas naturalmente ao longo dos anos, as alterações antrópicas provocadas na região, ou até mesmo a dinâmica natural da rede de drenagem na bacia hidrográfica, fazem com que seja necessário a realização de atualização em material cartográfico gerado no século passado.

Além disso, a geração da rede de drenagem de forma semiautomática apresenta algumas imprecisões que podem interferir em estudos e análises que requerem maior precisão, portanto necessitam de ajustes manuais. Da mesma forma, a integração de dados em diferentes escalas gera erros e distorção de informações.

Com a atualização e ajuste da rede de drenagem da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Pitanga foi possível observar a alteração geográfica de alguns cursos de água. A utilização conjunta entre cartas topográficas e imagens de satélite de alta resolução, acessíveis e

disponíveis de forma gratuita, tende a contribuir para mitigar incertezas e melhorar a precisão de estudos em bacias hidrográficas.

Os materiais e as informações para aplicação do PNPI (Índice de Poluição Não Pontual Potencial) estão disponíveis de forma gratuita e de acesso livre na internet, facilitando a utilização do índice. Para sua aplicação, é necessário conhecimento de nível intermediário em geotecnologias, sendo que parcerias com universidades é fundamental para sua execução.

As avaliações em bacias hidrográficas com área maior, assim como como propriedades rurais e culturas ocupando maiores áreas, tendem a facilitar a utilização do índice e apresentar resultados mais precisos. Áreas menores e com propriedades rurais menores apresentam maior dificuldade na caracterização devido a resolução espacial das imagens de satélite

A elaboração de um mapa integrado, combinando os diferentes instrumentos de geoprocessamento, garante maior precisão para a realização de outros estudos de planejamento ambiental e estabelecimento de políticas públicas. A aplicação do PNPI com diferentes cenários possibilitou observar os diferentes resultados com fontes de dados e técnicas distintas.

A aplicação combinada das ferramentas de avaliação de risco de segurança da água possibilitará aos gestores de recursos hídricos ter uma visão integrada da bacia hidrográfica contribuindo com a implementação de estratégias para garantir a segurança da água.

A identificação e avaliação de risco da água para consumo humano em bacias hidrográficas com uso de modelos integrados tende a auxiliar a implementação de medidas e controle a fim de mitigar e reduzir riscos e custos em etapas futuras de controle e tratamento da água.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2022*. Brasília: [s.n.], 2022. Disponível em: <www.unicef.org/publications%0Ahttps://www.indh.cl/bb/wp-content/uploads/2018/12/Libro-Informe-Anual-2018.pdf>.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEMANTO BÁSICO (ANA). *Atlas águas: segurança hídrica do abastecimento urbano*. [S.l: s.n.], 2021. Disponível em: <<https://portal1.snirh.gov.br/ana/apps/storymaps/stories/1d27ae7adb7f4baeb224d5893cc21730>>.

ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

ALVES SOBRINHO, T. *et al.* Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM. *Engenharia Agrícola*, v. 30, n. 1, p. 46–57, 2010.

ARNOLD, J.G.; SRINIVASAN, R.; MUTTIAH, R.S. WILLIAMS, J. R. Large area hydrologic modeling and assessment Part I: Model Development' basin scale model called SWAT (Soil and Water speed and storage , advanced software debugging policy to meet the needs , and the management to the tank model. v. 34, n. 1, p. 73–89, 1998.

ARNOLD, B. J. G.; WILLIAMS, J. R. Validation of SWRRB - Simulator for Water Resources in Rural Basins. v. 113, n. 2, p. 243–256, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *ABNT NBR ISO 31000:2018. Gestão de riscos - Diretrizes*. . [S.l.]: ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. , 2018

AUSTRALIA/NEW ZEALAND (AS/NZS). *AS/NZS 4360:2004. Australian/New Zealand Standard. Risk Management*. . Australia/Nem Zealand: [s.n.]. , 2004

AYACHE, A. *et al.* Hydrographic network extraction and watersheds delimitation software of the South Oran (North Wester Algeria). *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, v. 10, n. 1, p. 35, 2018.

AYDIN, M. *et al.* Validation of risk analysis for ship collision in narrow waters by using fuzzy Bayesian networks approach. *Ocean Engineering*, v. 231, n. May, p. 108973, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2021.108973>>.

BARGOS, D. C. Caracterização de Bacias Hidrográficas. *Escola de Engenharia de Lorena - USP*, 2019.

BARTRAM, J. *et al.* *Manual para el desarrollo de planes de seguridad del agua. Metodología pormenorizada de gestión de riesgos para proveedorea de agua de consumo*. . Genebra: [s.n.]. , 2009

BEN BRAHIM, F.; BOUGHARIOU, E.; BOURI, S. Multicriteria-analysis of deep groundwater quality using WQI and fuzzy logic tool in GIS: A case study of Kebilli region, SW Tunisia. *Journal of African Earth Sciences*, v. 180, n. March, p. 104224, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2021.104224>>.

BEUKEN, R. *et al.* Identification and description of hazards for water supply systems. *TECHNEAU*, p. 79, 2008.

BINGNER, R. L.; THEURER, F. D.; YUAN, Y. AnnAGNPS Technical Process Version 5.5. *United States Department of Agriculture (USDA ARS/NRCS)*, n. September, p. 163, 2018. Disponível em: <<https://www.ars.usda.gov/southeast-area/oxford-ms/national-sedimentation-laboratory/watershed-physical-processes-research/docs/agnps/>>.

BOSQUILIA, R. W. D. *et al.* Comparação entre Métodos de Mapeamento Automático de Rede de Drenagem Utilizando SIG. *Irriga*, v. 20, n. 3, p. 445–457, 2015.

BRANCO, S. M. *Poluição: a morte dos nossos rios*. Rio de Janeiro, RJ. Brasil: Ao Livro Técnico S/A, 1972.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. GABINETE DO MINISTRO. *PORTARIA GM/MS Nº 888, DE 4 DE MAIO DE 2021*. . Brasília: [s.n.]. Disponível em: <https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html>. , 2021

BRASIL. SECRETARIA DE VIGILÂNCIA EM SAÚDE. DEPARTAMENTO DE VIGILÂNCIA EM SAÚDE AMBIENTAL E SAÚDE DO TRABALHADOR (DSAST). *Plano de Segurança da Água: Garantindo a qualidade e promovendo a saúde - Um olhar do SUS*. . Brasília: [s.n.]. Disponível em: <<http://www.saude.gov.br/editora>>. , 2012

BRASIL. *Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei . .* [S.l: s.n.]. , 1997

BRASIL. *Plano Nacional de Recursos Hídricos. Plano de Ação: Estratégia para a implementação do PNRH 2022-2040*. Brasília: [s.n.], 2022.

BRK AMBIENTAL. *Poluentes da água: é preciso conhecer os principais agentes de contaminação*. Disponível em: <<https://blog.brkambiental.com.br/poluentes-da-agua/#:~:text=As fontes difusas ou não,a poluição não continue acontecendo.>>. Acesso em: 13 out. 2022.

CATON, B. P. *et al.* Quantitative uncertainty analysis for a weed risk assessment system. *Risk Analysis*, v. 38, n. 9, p. 1972–1987, 2018.

CECCHI, G. *et al.* Estimating river pollution from diffuse sources in the Viterbo province using the potential non-point pollution index. *Annali dell'Istituto Superiore di Sanita*, v. 43, n. 3, p. 295–301, 2007.

CHAVES, A. A. A. *Avaliação do uso e qualidade do solo e da água da região de nascentes do rio Deserto*. 2005. 98 f. Universidade de Brasília, 2005.

CHEN, X. *et al.* A Review of Risk Analysis Research for the Operations of Autonomous Underwater Vehicles. *Reliability Engineering and System Safety*, v. 216, n. August, p. 108011, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.res.2021.108011>>.

CHO, E. H. *et al.* Comparison of the predictive validity of three fall risk assessment tools and analysis of fall-risk factors at a tertiary teaching hospital. *Journal of Clinical Nursing*, v. 29, n. 17–18, p. 3482–3493, 13 set. 2020. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jocn.15387>>.

CIRILO, J. A. Crise hídrica : desafios e superação. *Revista USP*, n. 106, p. 45–58, 2015.
CORCORAN, E. *et al.* *Sick Water? The central role of waste- water management in sustainable development. A Rapid Re- sponse Assessment. United*. [S.l.]: United Nations Environment Programme, UN-HABITAT, GRID-Arendal, 2010. v. 30.

CORREA, N. F. *et al.* Obtenção de MDE corrigido para delimitação de bacia hidrográfica com auxílio de geotecnologias livres. *Anuario do Instituto de Geociencias*, v. 40, n. 1, p. 217–225, 2017.

CORRÊA, R. F. M. *Elaboração de modelo conceitual para monitoramento de riscos à contaminação da água em comunidades rurais*. 2020. Universidade Federal de São Carlos, SP (Dissertação), 2020.

CRISPIM, A. B.; SOUZA, M. N. Degradação, impacto ambiental e uso da terra em bacias hidrográficas: o contexto da bacia do Pacoti/CE. *ACTA Geográfica*, v. 10, p. 17–33, 2016.

EGGERS, S.; LE BLANC, K. Survey of cyber risk analysis techniques for use in the nuclear industry. *Progress in Nuclear Energy*, v. 140, n. July, p. 103908, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2021.103908>>.

EPA. *Hydrological Simulation Program - FORTRAN (HSPF)*. Disponível em: <<https://www.epa.gov/ceam/hydrological-simulation-program-fortran-hspf>>. Acesso em: 17 out. 2022.

ESA WORLD COVER. *Worldwide land cover mapping*. Disponível em: <<https://esa-worldcover.org/en>>. Acesso em: 4 abr. 2022.

ESPÍNDOLA, E. L. G.; BRIGANTE, J.; ELER, M. N. Avaliação ambiental preliminar do uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do rio Mogi-Guaçu. In: ESPÍNDOLA, E. L. G.; BRIGANTE, J. (Org.). *Limnologia Fluvial: um estudo no rio Mogi-guaçu*. São Carlos, SP: RiMa, 2003. p. 278.

FERNANDES, A. C. P. *et al.* A combined GIS-MCDA approach to prioritize stream water quality interventions, based on the contamination risk and intervention complexity. *Science of the Total Environment*, v. 798, p. 149322, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149322>>.

FREITAS, A. R. Degradação ambiental na bacia hidrográfica do Rio das Antas, Sudeste do Paraná: análise quantitativa e qualitativa mediante a utilização da metodologia IDA. *Revista GEOgrafias*, n. 2005, 2020.

GLOBAL WATER PARTNERSHIP (GWP). *Integrated Water Resources Management. TacAC Backround Papers no. 4*. [S.l.]: Global Water Partnership Technical Advisory Committee (TAC), 2000.

GOODWIN, C. N.; TARBOTON, D. G. Drainage Basin. In: GOUDIE, A. S. (Org.). . *Encyclopedia of Geomorphology*. 1. ed. London and New York: Routledge International Association of Geomorphologists, 2004. p. 272–277. Disponível em: <https://courses.ess.washington.edu/ess-306/links/Goudie_Encyclopedia_of_Geomorphology>.

GREGORY, J. K. Hydrological geomorphology. In: GOUDIE, A. S. (Org.). . *Encyclopedia of Geomorphology*. 1. ed. London and New York: Routledge International Association of Geomorphologists, 2004. p. 539–541. Disponível em: <https://courses.ess.washington.edu/ess-306/links/Goudie_Encyclopedia_of_Geomorphology>.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins, hydrophysical approach to quantitative morphology. *Nihon Ringakkai Shi/Journal of the Japanese Forestry Society*, v. 37, n. 12, p. 555–558, 1945. Disponível em: <<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1945GSAB...56..275H/abstract>>.

HSE, H. AND S. E. Risk assessment: A brief guide to controlling risks in the workplace Health. *Health and Safety Executive*, p. 1–5, 2014.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Conheça Cidades e Estados do Brasil*. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 2 maio 2022.

IKWAN, F.; SANDERS, D.; HASSAN, M. Safety evaluation of leak in a storage tank using fault tree analysis and risk matrix analysis. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, v. 73, n. January, p. 104597, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jlp.2021.104597>>.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. *Divisão de Geração de Imagens*. Disponível em: <<http://www2.dgi.inpe.br/catalogo/explore>>. Acesso em: 30 mar. 2022.

JAMSHIDI, A. *et al.* A Big Data Analysis Approach for Rail Failure Risk Assessment. *Risk Analysis*, v. 37, n. 8, p. 1495–1507, 2017.

KHOUNI, I.; LOUHICHI, G.; GHRABI, A. Use of GIS based Inverse Distance Weighted interpolation to assess surface water quality: Case of Wadi El Bey, Tunisia. *Environmental Technology & Innovation*, v. 24, p. 101892, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101892>>.

KISTEMANN, T. *et al.* GIS-based analysis of drinking-water supply structures: A module for microbial risk assessment. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, v. 203, n. 4, p. 301–310, 2001.

LI, Y.-T.; HE, X.-N.; SHUAI, J. Risk analysis and maintenance decision making of natural gas pipelines with external corrosion based on Bayesian network. *Petroleum Science*, n. xxxx, p. 0–11, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.petsci.2021.09.016>>.

LOMBANA, L.; MARTÍNEZ-GRANA, A. Multiscale hydrogeomorphometric analysis for fluvial risk management. Application in the Carrión river, Spain. *Remote Sensing*, v. 13, n. 15, 2021.

LOUCKS, D. P.; EELCO, VAN B. Water resource systems planning and analysis-An Introduction to Methods, Models, and Applications. *Advances in Water Resources*. [S.l.: s.n.], 2017. v. 4. p. 146.

MAHMUD, S. G. *et al.* Development and implementation of water safety plans for small water supplies in Bangladesh: benefits and lessons learned. *Journal of Water and Health*, v. 5, n. 4, p. 585–597, 2007.

MARENGO, J. A. *et al.* A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo. *Revista USP*, n. 106, p. 31–44, 2015.

MATTIUZI, C. D. P.; MARQUES, G. F. Gestão integrada dos recursos hídricos: avaliação dos benefícios do uso conjunto de águas superficiais e subterrâneas em uma região no sul do Brasil. *Águas Subterrâneas*, v. 33, n. 4, p. 340–353, 2019.

MCCOY, N.; CHAO, B.; GANG, D. D. Nonpoint Source Pollution. *Water Environment Research*, v. 87, n. 10, p. 1576–1594, 2015.

MENDES, A. T. Delimitação da bacia hidrográfica do Rio Santo Antônio pela ferramenta de delimitação automática TauDEM. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 11, n. 3, p. 973–987, 2018.

MENG, H.; XING, J. A systems-theoretic approach for two-stage emergency risk analysis. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, v. 72, n. January, p. 104582, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jlp.2021.104582>>.

MILLER, V. . A quantitative geomorphologic study of drainage basin characteristics in the clinch mountain area. *Technical Report*, v. 3, p. 271–300, 1953.

MUNAFÒ, M. *et al.* River pollution from non-point sources: A new simplified method of assessment. *Journal of Environmental Management*, v. 77, n. 2, p. 93–98, 2005.

PALARETTI, L. F. Notas de Aula – Manejo de Bacias Hidrográficas. *FCAV/UNESP*, p. 1–11, [S.d.].

PEREIRA, B. W. DE F. *et al.* Uso da terra e degradação na qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi, PA, Brasil. *Revista Ambiente e Agua*, v. 11, n. 2, p. 472–485, 2016.

PIRES, J. S. R.; SANTOS, J. E. DOS; PRETTE, M. E. DEL. A Utilização do Conceito de Bacia Hidrográfica para a Conservação dos Recursos Naturais. In: SHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. (Org.). *Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações*. Ilhéus, BA: Editus, 2002. p. 17–35.

PORTO, R. L. L.; FILHO, K. Z.; SILVA, R. M. DA. Bacias Hidrográficas - PHD 307 Hidrologia Aplicada. *Escola Politécnica da USP*, 1999.

POSNER, K. *et al.* Columbia Classification Algorithm of Suicide Assessment (C-CASA): Classification of suicidal events in the FDA's pediatric suicidal risk analysis of antidepressants. *American Journal of Psychiatry*, v. 164, n. 7, p. 1035–1043, 2007.

QGIS. *QGIS Python Plugins Repository - Semi-Automatic Classification Plugin*. Disponível em: <<https://plugins.qgis.org/plugins/SemiAutomaticClassificationPlugin/>>. Acesso em: 16 set. 2022.

RASHON. *Guía para la implementación de Planes de Seguridad de Agua en el Sector Rural de Honduras*. . . Red de Agua y Saneamiento de Honduras: [s.n.], 2009

REATTO, A. *et al.* Levantamento Pedológico da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Taguatinga, DF, Escala 1:25.000. . Planaltina, DF: Embrapa Cerrados. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/569832/1/bolpd135.pdf>>. , 2004

ROVINS, J. *et al.* *Risk Assessment Handbook*. Nova Zelândia: Massey University, 2015.

ROY, S. *et al.* Urban waterlogging risk as an undervalued environmental challenge: An Integrated MCDA-GIS based modeling approach. *Environmental Challenges*, v. 4, n. June, p. 100194, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100194>>.

SANTOS, H. G. DOS *et al.* *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 5. ed. Brasília, DF: [s.n.], 2018.

SANTOS, J. E. B. DOS; MONTEIRO, K. DE A. Caracterização Morfométrica Da Bacia Hidrográfica Do Rio Coruripe, Alagoas. *Geografia Física e as Mudanças Globais*, p. 1–11, 2019.

SANTOS, G. O. *et al.* Caracterização morfométrica das bacias hidrográficas inseridas no município de Rio Verde, Goiás, como ferramenta ao planejamento urbano e agrícola. *Geografia Ensino & Pesquisa*, v. 22, p. 17, 2018.

SAÚDE., B. M. DA S. S. DE V. EM. *Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano*. Série B ed. Brasília, DF: [s.n.], 2006. Disponível em: <<https://www.ptonline.com/articles/how-to-get-better-mfi-results>>.

SENTURIÃO, A. C. O.; ESQUERDO, J. C. D. M. Atualização e ajustes da rede de drenagem da Bacia do Rio APA/MS, utilizando sensoriamento remoto e geoprocessamento. *Simpósio de Geotecnologias no Pantanal*, p. 554–560, 2012.

SILVA, M. B.; HERREROS, M. M. A.; BORGES, F. Q. Gestão Integrada dos Recursos Hídricos como Política de Gerenciamento das Águas no Brasil. *Rev. Adm. UFSM*, v. 10, n. 1, p. 101–115, 2017.

SILVEIRA, A. L. L. DA. Ciclo Hidrológico e Bacia Hidrográfica. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. 2. ed. Porto Alegre: ABRH: EDUSP, 1993. p. 943. Disponível em: <<https://docero.com.br/doc/1n8e11>>.

SIMEDO, M. B. L. *et al.* Effect of watershed land use on water quality: A case study in córrego da olaria basin, são paulo state, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, v. 78, n. 4, p. 625–635, 2018.

SINHA, T. Risk Assessment and Management. *Memorial University of Newfoundland, Canada*, n. April, p. 0–9, 2020.

SKAHILL, B. E. Use of the Hydrological Simulation Program - FORTRAN (HSPF) Model for Watershed Studies. *SMART Technical Notes Collection*, n. September, p. 1–26, 2004.

SLAYMAKER, O. Drainage Density. In: GOUDIE, A. S. (Org.). *Encyclopedia of Geomorphology*. 1. ed. London and New York: Routledge International Association of Geomorphologists, 2004. p. 277–279. Disponível em: <https://courses.ess.washington.edu/ess-306/links/Goudie_Encyclopedia_of_Geomorphology>.

SNIS. *Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento 2020*. Disponível em: <<https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/snis/painel>>. Acesso em: 24 nov. 2022.

SQUARZONI-DIAW, C. *et al.* Using a participatory qualitative risk assessment to estimate the risk of introduction and spread of transboundary animal diseases in scarce-data environments. *Transboundary and Emerging Diseases*, v. 68, n. 4, p. 1966–1978, 21 jul. 2021. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/tbed.13920>>.

STRAHLER, A. N. Hypsometric (area-altitude) – analysis of erosion al topography. *Bulletin of the Geological Society Of America*, v. 63, n. 11, p. 1117- 1142., 1952. Disponível em: <<https://pubs.geoscienceworld.org/gsa/gsabulletin/article-abstract/63/11/1117/4477/HYPSOMETRIC-AREA-ALTITUDE-ANALYSIS-OF-EROSIONAL>>.

STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, v. 38, n. 6, p. 913–920, 1957.

SULLIVAN, K. M. Sample Size for a Proportion OpenEpi. *OpenEpi Version 3, open source calculator*, p. 1–2, 2003. Disponível em: <<http://www.openepi.com/SampleSize/SSPropor.htm>>.

SWAT. *SWAT - Soil & Water Assessment Tool*. Disponível em: <<https://www.tamu.edu/>>. Acesso em: 10 out. 2022.

TINKLER, K. J. Drainage Pattern. In: GOUDIE, A. S. (Org.). . *Encyclopedia of Geomorphology*. 1. ed. London and New York: Routledge International Association of Geomorphologists, 2004. p. 279–281. Disponível em: <https://courses.ess.washington.edu/ess-306/links/Goudie_Encyclopedia_of_Geomorphology>.

TRATA BRASIL. *Em 2019, mais de 81 mil crianças de 0 a 4 anos foram internadas devido às doenças de veiculação hídrica*. Disponível em: <<https://tratabrasil.org.br/em-2019-mais-de-81-mil-criancas-de-0-a-4-anos-foram-internadas-devido-as-doencas-de-veiculacao-hidrica/>>. Acesso em: 25 nov. 2022.

TSUTIYA, M. T. *Abastecimento de água*. . São Paulo: Sao Paulo: Departamento de Engenharia Hidraulica e Sanitaria da Escola Politecnica da Universidade de Sao Paulo. , 2004

TUNDISI, J. G. *Recursos Hídricos no Brasil: problemas, desafios e estratégias para o futuro*. Rio de Janeiro, RJ: Academia Brasileira de Ciências, 2014.

UN - UNITED NATIONS. *Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. Disponível em: <<https://sdgs.un.org/publications/transforming-our-world-2030-agenda-sustainable-development-17981>>. Acesso em: 23 nov. 2022.

UNICEF & WHO. Progress on household drinking water, sanitation and hygiene, 2000-2017. p. 140, 2019. Disponível em: <<https://washdata.org/sites/default/files/documents/reports/2019-07/jmp-2019-wash-households.pdf>>.

USDA. *Agricultural Non-Point Source Pollution Model*. Disponível em: <<https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detailfull/?cid=stelprdb1042468>>. Acesso em: 17 out. 2022.

VAROL, S.; ŞENER, Ş.; ŞENER, E. Assessment of groundwater quality and human health risk related to arsenic using index methods and GIS: A case of Şuhut Plain (Afyonkarahisar/Turkey). *Environmental Research*, v. 202, n. June, p. 1–11, 2021.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. *Hidrologia Aplicada*. . São Paulo, SP: Mc Graw Hill do Brasil. , 1975

VON SPERLING, M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 3. ed. Belo Horizonte, MG: UFMG, 2005.

WANG, G. *et al*. Integrated watershed management: evolution, development and emerging trends. *Journal of Forestry Research*, v. 27, n. 5, p. 967–994, 2016.

WANG, S. *et al.* Radionuclide content and risk analysis of edible mushrooms in northeast China. *Radiation Medicine and Protection*, n. October, p. 1–6, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.radmp.2021.10.001>>.

WHO. *Drinking-water*. Disponível em: <<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>>. Acesso em: 19 out. 2022.

WHO. Protecting Surface Water for Health: Identifying, Assessing and Managing Drinking-Water Quality Risks in Surface-Water Catchments. *WHO Library Cataloguing-in-Publication Data*, p. 178, 2016.

WHO. *Water safety plan: a field guide to improving drinking-water safety in small communities*. . [S.l: s.n.]. , 2014

WHO. *Water Safety Plans. Managing drinking-water quality from catchment to consumer*. . Geneva: [s.n.]. Disponível em: <http://www.who.int/water_sanitation_health/>. , 2005

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum*. . Geneva: [s.n.]. , 2017

WILLIAMS, J. R.; NICKS, A. D.; ARNOLD, J. G. Simulator for Water Resources in Rural Basins. v. I, n. 6, p. 107–114, 1985.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Don't Pollute my future! The impact of the environment on children's health. *World Health Organization*, p. 30, 2017. Disponível em: <<https://www.who.int/ceh/publications/don-t-pollute-my-future/en/%0Ahttp://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/254678/WHO-FWC-IHE-17.01-eng.pdf?sequence=1%0Ahttp://apps.who.int/iris/bitstream/10665/254678/1/WHO-FWC-IHE-17.01-eng.pdf>>.

XUE, J.; WANG, Q.; ZHANG, M. A review of non-point source water pollution modeling for the urban–rural transitional areas of China: Research status and prospect. *Science of the Total Environment*, v. 826, p. 154146, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154146>>.

ZHANG, D. *et al.* A GIS-based spatial multi-index model for flood risk assessment in the Yangtze River Basin, China. *Environmental Impact Assessment Review*, v. 83, n. January, 2020.

APÊNDICE A – LINGUAGEM PYTHON USADA NA CALCULADORA RASTER

```

MIN(
  ("Declividade_BHRP_porcentagem_UTMsirgas@1" >= 0) AND
  ("Declividade_BHRP_porcentagem_UTMsirgas@1" < 4.6) * 0 +
  ("Declividade_BHRP_porcentagem_UTMsirgas@1" >= 4.6) AND
  ("Declividade_BHRP_porcentagem_UTMsirgas@1" < 6.43) * 0.1 +
  ("Declividade_BHRP_porcentagem_UTMsirgas@1" >= 6.43) AND
  ("Declividade_BHRP_porcentagem_UTMsirgas@1" < 7.92) * 0.2 +
  ("Declividade_BHRP_porcentagem_UTMsirgas@1" >= 7.92) AND
  ("Declividade_BHRP_porcentagem_UTMsirgas@1" < 9.42) * 0.3 +
  ("Declividade_BHRP_porcentagem_UTMsirgas@1" >= 9.42) AND
  ("Declividade_BHRP_porcentagem_UTMsirgas@1" < 10.92) * 0.4 +
  ("Declividade_BHRP_porcentagem_UTMsirgas@1" >= 10.92) AND
  ("Declividade_BHRP_porcentagem_UTMsirgas@1" < 12.42) * 0.5 +
  ("Declividade_BHRP_porcentagem_UTMsirgas@1" >= 12.42) AND
  ("Declividade_BHRP_porcentagem_UTMsirgas@1" < 13.91) * 0.6 +
  ("Declividade_BHRP_porcentagem_UTMsirgas@1" >= 13.91) AND
  ("Declividade_BHRP_porcentagem_UTMsirgas@1" < 15.42) * 0.7 +
  ("Declividade_BHRP_porcentagem_UTMsirgas@1" >= 15.42) AND
  ("Declividade_BHRP_porcentagem_UTMsirgas@1" < 16.94) * 0.8 +
  ("Declividade_BHRP_porcentagem_UTMsirgas@1" >= 16.94) AND
  ("Declividade_BHRP_porcentagem_UTMsirgas@1" < 18.48) * 0.9 +
  ("Declividade_BHRP_porcentagem_UTMsirgas@1" >= 18.48) * 1 +
  "EsaSolo_Pedologia_Permabilidade@1",
  1
)

```

APÊNDICE B – CARTA EXPLICATIVA APRESENTADA NOS DOMICÍLIOS

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana
Fone/FAX: (16) 3351-8295
home-page: www.ppgeu.ufscar.br

**SOLICITAÇÃO DE COLABORAÇÃO EM PESQUISA**

Inconfidentes, MG, ___ de _____ de 2023.

Prezado (a) Senhor (a)

Eu, Rony Felipe Marcelino Corrêa, venho, respeitosamente, **solicitar permissão para acessar sua propriedade a fim de realizar uma avaliação dos componentes de abastecimento de água.**

A avaliação faz parte de pesquisa de campo **para análise de risco relacionada à segurança da água para consumo humano na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Pitanga.** Tal atividade será utilizada como parte de pesquisa científica a nível de doutorado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana (PPGEU), da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), que busca contribuir para o acesso a água segura para consumo humano.

Informações referentes aos proprietários da localidade não serão divulgadas e serão mantidas em sigilo.

Agradeço a atenção dispensada,

Doutorando – Rony Felipe Marcelino Corrêa
PPGEU – Programa de Pós Graduação em Engenharia Urbana

APÊNDICE C – MATRIZ PARA REFERÊNCIA DA AVALIAÇÃO EM CAMPO

Quadro 5. Variáveis relacionadas à captação de água superficial: rio; nascentes; lagos. (C1.1)

Ref.	Variáveis (indicadores)
<i>C1.1.1</i>	Utilização de agrotóxicos e fertilizantes em torno da fonte de água (Área de Preservação Permanente - APP)
<i>C1.1.2</i>	Presença de excrementos de animais e/ou humanos em torno da fonte (APP)
<i>C1.1.3</i>	Falta de proteção (cerca imprópria), permitindo acesso de animais e pessoas
<i>C1.1.4</i>	Falta de placa de aviso sobre captação
<i>C1.1.5</i>	Abate de animais em torno da fonte (APP)
<i>C1.1.6</i>	Falha elétrica
<i>C1.1.7</i>	Presença de depósito de resíduos sólidos em torno da fonte (APP) e/ou recebe seus lixiviados
<i>C1.1.8</i>	Contaminação fecal através de lixiviação de resíduos humanos ou de animais
<i>C1.1.9</i>	Ruptura/transbordo de barragem de rejeitos perto da fonte
<i>C1.1.10</i>	Vandalismo ou ação terrorista (danificação de equipamentos, obstrução de operação e adição de químicos)
<i>C1.1.11</i>	Presença de carcaças de animais ao redor da fonte (APP)
<i>C1.1.12</i>	Ocorrência de inundação; inviabilização temporária na captação de água
<i>C1.1.13</i>	Presença de pessoas com comportamento inadequado e falta de higiene em torno da fonte (APP)
<i>C1.1.14</i>	Presença de animais em torno da fonte (até 10 metros)
<i>C1.1.15</i>	Lavagem de roupas e banho na área de captação
<i>C1.1.16</i>	Lançamento de efluentes na área de captação
<i>C1.1.17</i>	Lançamento inadequado de águas residuárias (domésticas ou industriais) em torno da fonte (APP)
<i>C1.1.18</i>	Presença de necrochorume de cemitério em torno da fonte (APP)
<i>C1.1.19</i>	Presença de rejeitos de mineradora em torno da fonte (APP)
<i>C1.1.20</i>	Presença elevada de algas na área de captação
<i>C1.1.21</i>	Chuvas intensas com elevação na turbidez da água
<i>C1.1.22</i>	Falha mecânica e estrutural no sistema de captação
<i>C1.1.23</i>	Ocorrência de seca e/ou cheias prolongadas, inviabilizando a captação
<i>C1.1.24</i>	Entupimentos e/ou assoreamento na área de captação

(continua...)

(continuação)

Quadro 5. Variáveis relacionadas à captação de água superficial: rio; nascentes; lagos. (C1.1)

<i>C1.1.25</i>	Contaminação da água provocada por acidentes e/ou incêndios
<i>C1.1.26</i>	Pesca intensiva ou piscicultura
<i>C1.1.27</i>	Erosão provocada por dragagem e areeiro em torno da fonte (APP)
<i>C1.1.28</i>	Contaminação por água salina / água do mar
<i>C1.1.29</i>	Escoamento de resíduos agrícolas e/ou de áreas urbanizadas na área de captação
<i>C1.1.30</i>	Contaminação residual da água provocada pelo tráfego (carros, barcos, área de estacionamento, etc.)
<i>C1.1.31</i>	Contaminação da água provocada por atividade recreativa ou atividades afins
<i>C1.1.32</i>	Presença de latrina (fossa negra) até 30 metros da fonte ou a montante.
<i>C1.1.33</i>	Existência de outra fonte de poluição até 10 metros do poço
<i>C1.1.34</i>	Presença elevada de peixes mortos ou outros animais na área de captação

Quadro 6. Variáveis relacionadas à captação de água subterrânea: poço escavado (poço caipira) (C 2.1)

Ref.	Variáveis (indicadores)
C2.1.1	Entrada de água contaminada por meio de rachaduras, orifícios e equipamentos danificados
C2.1.2	Presença de água estagnada ao redor do poço (3 metros), devido à drenagem insuficiente
C2.1.3	Entrada de água contaminada durante inundações
C2.1.4	Contaminação no equipamento de saída do poço/torneiras
C2.1.5	Vandalismo ou ação terrorista (danificação de equipamentos, obstrução de operação e adição de químicos)
C2.1.6	Presença de latrina (fossa negra) ou local de defecação a menos de 10 metros do poço e/ou a montante
C2.1.7	Entrada de animais por meio de tampas ou orifícios.
C2.1.8	Ausência de proteção de concreto em volta do poço e/ou problema com canal de drenagem
C2.1.9	Presença de animais ao redor do poço (até 10 metros)
C2.1.10	Presença de excrementos de animais ou humanos em torno do poço
C2.1.11	Uso de agrotóxicos em torno da fonte de água
C2.1.12	Ausência de tampa de proteção do poço, apresentando rachaduras ou insalubre
C2.1.13	Existência de cordas e baldes sujos ou em posições que favoreçam a contaminação
C2.1.14	Ocorrência de poços sem parapeitos adequados
C2.1.15	Presença de depósito de resíduos sólidos ao redor do poço e/ou recebe seus lixiviados (até 10 metros)
C2.1.16	Presença de carcaças de animais ao redor do poço
C2.1.17	Presença de resíduos sólidos dentro do poço
C2.1.18	Limpeza e higiene inadequadas no poço
C2.1.19	Lavagem de roupas e banho perto do poço
C2.1.20	Presença de cemitério a menos de 10 metros do poço e/ou presença de necrochorume
C2.1.21	Presença de crianças com comportamento inadequado e falta de higiene ao redor do poço
C2.1.22	Presença de rejeitos de mineradora na fonte
C2.1.23	Lançamento de efluentes ou derramamentos acidentais
C2.1.24	Contaminação da água por poços abandonados
C2.1.25	Existência de outra fonte de poluição até 10 metros do poço
C2.1.26	Proteção de concreto em volta do topo do poço menor que 2 metros de diâmetro

(continua...)

(Continuação)

Quadro 6. Variáveis relacionadas à captação de água subterrânea: poço escavado (poço caipira) (C 2.1)

C2.1.27	Proteção de concreto em volta do topo do poço com rachaduras
C2.1.28	Utilização de baldes diversos (não há recipiente específico) para retirada de água do poço

Quadro 7. Variáveis relacionadas à captação de água subterrânea: poço tubular semi-artesiano (C 2.2)

Ref.	Variáveis (indicadores)
C2.2.1	Entrada de água contaminada por meio de rachaduras, orifícios e equipamentos danificados
C2.2.2	Presença de água estagnada ao redor do poço, devido à drenagem insuficiente
C2.2.3	Ingresso de água contaminada durante inundações
C2.2.4	Contaminação no equipamento de saída do poço
C2.2.5	Falha no sistema elétrico ou na bomba
C2.2.6	Vandalismo ou ação terrorista (danificação de equipamentos, obstrução de operação e adição de químicos)
C2.2.7	Presença de latrina (fossa negra) ou local de defecação a menos de 10 metros do poço
C2.2.8	Entrada de animais por meio de tampas ou orifícios.
C2.2.9	Presença de excrementos de animais ou humanos em torno do poço
C2.2.10	Uso de agrotóxicos em torno da fonte de água
C2.2.11	Limpeza e higiene inadequadas no poço
C2.2.12	Tubulações sujas
C2.2.13	Presença de depósito de resíduos sólidos ao redor do poço
C2.2.14	Ausência de canal de drenagem em torno do mecanismo de bombeamento
C2.2.15	Presença de animais até 50 metros do poço.
C2.2.16	A área da base do mecanismo de bombeamento é permeável
C2.2.17	Existência de outra fonte de poluição até 10 metros do poço

Quadro 8. Variáveis relacionadas à captação de água subterrânea: poço tubular artesiano (C 2.3)

Ref.	Variáveis (indicadores)
C2.3.1	Entrada de água contaminada por meio de rachaduras, orifícios e equipamentos danificados
C2.3.2	Presença de água estagnada ao redor do poço, devido à má drenagem
C2.3.3	Entrada de água contaminada durante inundações
C2.3.4	Contaminação no equipamento de saída do poço
C2.3.5	Falha no sistema elétrico ou na bomba
C2.3.6	Vandalismo ou ação terrorista (danificação de equipamentos, obstrução de operação e adição de químicos)
C2.3.7	Presença de latrina (fossa negra) ou local de defecação a menos de 10 metros do poço
C2.3.8	Entrada de animais por meio de tampas ou orifícios.
C2.3.9	Presença de excrementos de animais ou humanos em torno do poço
C2.3.10	Uso de agrotóxicos em torno da fonte de água
C2.3.11	Limpeza e higiene inadequadas no poço
C2.3.12	Tubulações sujas
C2.3.13	Presença de depósito de resíduos sólidos ao redor do poço
C2.3.14	Ausência de canal de drenagem em torno do mecanismo de bombeamento
C2.3.15	Presença de animais até 50 metros do poço.
C2.3.16	A área da base do mecanismo de bombeamento é permeável
C2.3.17	Existência de outra fonte de poluição até 10 metros do poço

Quadro 9. Variáveis relacionadas ao armazenamento de água bruta: reservatório de água bruta (C 3.1)

Ref.	Variáveis (indicadores)
C3.1.1	Acúmulo de fezes de animais e aves na tampa do reservatório.
C3.1.2	Inundação da válvula por águas superficiais
C3.1.3	Desprendimento de biofilme
C3.1.4	Drenagem insuficiente e acúmulo de água
C3.1.5	Conservação inadequada de reservatórios/reservatórios danificados
C3.1.6	Vandalismo ou ação terrorista (danificação de equipamentos, obstrução de operação e adição de químicos)
C3.1.7	Infiltração/vazamento de água
C3.1.8	Perda de água no reservatório
C3.1.9	Acesso de animais ao reservatório
C3.1.10	Construção inadequada do reservatório
C3.1.11	Crescimento anormal de algas

Quadro 10. Variáveis relacionadas ao armazenamento de água bruta: reservatório de água de chuva (cisterna) (C 3.2)

Ref.	Variáveis (indicadores)
C3.2.1	Acúmulo de fezes de animais e aves na tampa do reservatório
C3.2.2	Desprendimento de biofilme
C3.2.3	Vandalismo ou ação terrorista (danificação de equipamentos, obstrução de operação e adição de químicos)
C3.2.4	Infiltração/vazamento de água
C3.2.5	Acesso de animais ao reservatório
C3.2.6	Construção inadequada do reservatório
C3.2.7	Crescimento anormal de algas

Quadro 11. Variáveis relacionadas ao processo de tratamento: tratamento químico/físico (T 1.1)

Ref.	Variáveis (indicadores)
T1.1.1	Falta de controle na quantidade de produto químico e dosagem
T1.1.2	Ausência de medidas de segurança no armazenamento de produtos químicos
T1.1.3	Equipamento funcionando de forma irregular
T1.1.4	Cloro residual livre insuficiente (baixa dosagem)
T1.1.5	Excesso de cloro residual livre (alta dosagem)
T1.1.6	Vandalismo ou ação terrorista (danificação de equipamentos, obstrução de operação e adição de químicos)

Quadro 12. Variáveis relacionadas ao armazenamento de água tratada: reservatório de água tratada (T 2.1)

Ref.	Variáveis (indicadores)
T2.1.1	Acúmulo de fezes de animais e aves na tampa do reservatório
T2.1.2	Inundação da válvula por águas superficiais
T2.1.3	Desprendimento de biofilme
T2.1.4	Drenagem inadequada e acúmulo de água
T2.1.5	Reservatório de armazenamento está rachado ou com vazamentos
T2.1.6	Vandalismo ou ação terrorista (danificação de equipamentos, obstrução de operação e adição de químicos)
T2.1.7	Práticas inadequadas de higiene durante limpeza do reservatório
T2.1.8	Infiltração/vazamento de água
T2.1.9	Estagnação da água devido ao baixo consumo, uso intermitente ou longos períodos sem uso
T2.1.10	Área sem proteção ou danificada; acesso de animais
T2.1.11	Corrosão de materiais de construção
T2.1.12	Acúmulo excessivo de biofilme

Quadro 13. Variáveis relacionadas à distribuição canalizada: operação e distribuição canalizada (D 1.1)

Ref.	Variáveis (indicadores)
<i>D1.1.1</i>	Presença de ar na tubulação/ variação de pressão no sistema
<i>D1.1.2</i>	Tubulações de esgoto e de água muito próximas (contaminação cruzada)
<i>D1.1.3</i>	Contaminação da água por meio de canalização danificada
<i>D1.1.4</i>	Contaminação da água por meio de canalização exposta
<i>D1.1.5</i>	Formação de biofilme por falta de cloro
<i>D1.1.6</i>	Práticas de higiene inadequadas durante reparo de tubulações
<i>D1.1.7</i>	Contaminação da água por corrosão de tubos e válvulas de ferro
<i>D1.1.8</i>	Existência de ponto de vazamento (perda de água)
<i>D1.1.9</i>	Não há análise de qualidade da água após limpeza e manutenção.
<i>D1.1.10</i>	Contaminação da água por cimento proveniente de revestimentos

Quadro 14. Variáveis relacionadas ao veículo transportador: caminhão pipa e outros (D 2.1)

Ref.	Variáveis (indicadores)
<i>D2.1.1</i>	Corrosão de materiais
<i>D2.1.2</i>	Conservação inadequada do tanque/recipiente
<i>D2.1.3</i>	Perda de água no tanque/recipiente
<i>D2.1.4</i>	Práticas inadequadas de higiene durante manipulação da água
<i>D2.1.5</i>	Contaminação no equipamento de saída do tanque/recipiente
<i>D2.1.6</i>	Contaminação da água por falta de tampa ou proteção inadequada

Quadro 15. Variáveis relacionadas à utilização de água bruta ou tratada: coleta de água (U 1.1)

Ref.	Variáveis (indicadores)
<i>U.1.1.1</i>	Coleta com recipiente inadequado, danificado ou sujo
<i>U.1.1.2</i>	Contaminação da água durante manipulação da água, por falta de higiene humana
<i>U.1.1.3</i>	Utilização de recipiente sem tampa
<i>U.1.1.4</i>	Torneira ou acessórios (mangueiras; canos de coleta) insalubres
<i>U.1.1.5</i>	Utilização de recipientes oriundos de armazenamento de produtos químicos
<i>U.1.1.6</i>	Vazamento na torneira
<i>U.1.1.7</i>	Presença de latrina (fossa negra) ou local de defecação a menos de 30 metros
<i>U.1.1.8</i>	O recipiente para coleta de água também é utilizado para outros fins (materiais potencialmente poluidores)

Quadro 16. Variáveis relacionadas à utilização de água bruta ou tratada: armazenamento e manuseio domésticos (U 1.2)

Ref.	Variáveis (indicadores)
U.1.2.1	Acesso de animais domésticos ao local de armazenamento
U.1.2.2	Utilização de utensílios sujos como recipientes
U.1.2.3	Manipulação da água com mão sujas e falta de higiene adequada
U.1.2.4	Armazenamento em recipiente sem tampa e/ou danificados
U.1.2.5	Ambiente sujo próximo ao local de armazenamento e/ou armazenamento próximo ao solo
U.1.2.6	Estagnação da água devido ao baixo consumo, uso intermitente ou longos períodos sem uso
U.1.2.7	Filtração com tecidos ou equipamentos sujos
U.1.2.8	Utilização de copos sujos para consumir água
U.1.2.9	Utilização de recipientes oriundos de armazenamento de produtos químicos
U.1.2.10	Falta de recipiente para consumir água

APÊNDICE E – AVALIAÇÃO DE RISCO POR SETOR CENSITÁRIO

Município: Inconfidentes

Setor censitário 313060605000005 (Bairros da Grama e dos Bernardos):

Quadro 17. Análise de risco referente aos componentes Captação de água superficial: rio; nascentes; lagos. (C1.1), Reservatório de água bruta (C 3.1) e Operação e Distribuição canalizada (D1.1) para o setor censitário 313060605000005.

Elementos	Ident.	Evento perigoso	Score	Avaliação de risco
Captação de água superficial: rio; nascentes; lagos. (C1.1)	<i>C1.1.1</i>	Utilização de agrotóxicos e fertilizantes em torno da fonte de água (Área de Preservação Permanente - APP)	5	baixo
	<i>C1.1.2</i>	Presença de excrementos de animais e/ou humanos em torno da fonte (APP)	12	alto
	<i>C1.1.3</i>	Falta de proteção (cerca imprópria), permitindo acesso de animais e pessoas	10	alto
	<i>C1.1.4</i>	Falta de placa de aviso sobre captação	12	alto
	<i>C1.1.14</i>	Presença de animais em torno da fonte (até 10 metros)	10	alto
	<i>C1.1.21</i>	Chuvas intensas com elevação na turbidez da água	6	médio
	<i>C1.1.22</i>	Falha mecânica e estrutural no sistema de captação	4	baixo
	<i>C1.1.24</i>	Entupimentos e/ou assoreamento na área de captação	4	baixo
	<i>C1.1.29</i>	Escoamento de resíduos agrícolas e/ou de áreas urbanizadas na área de captação	4	baixo
Reservatório de água bruta (C 3.1)	<i>C3.1.1</i>	Acúmulo de fezes de animais e aves na tampa do reservatório.	8	médio
	<i>C3.1.3</i>	Desprendimento de biofilme	13	alto
	<i>C3.1.5</i>	Conservação inadequada de reservatórios/reservatórios danificados	20	muito alto
	<i>C3.1.9</i>	Acesso de animais ao reservatório	9	médio
	<i>C3.1.11</i>	Crescimento anormal de algas	15	alto
Operação e Distribuição canalizada (D1.1)	D1.1.1	Presença de ar na tubulação/ variação de pressão no sistema	4	baixo
	D1.1.3	Contaminação da água por meio de canalização danificada	4	baixo
	D1.1.4	Contaminação da água por meio de canalização exposta	4	baixo
	D1.1.5	Formação de biofilme por falta de cloro	4	baixo
	D1.1.8	Existência de ponto de vazamento (perda de água)	4	baixo

Dados processados no software:

C1.1 Água Superficial: rios nascentes e lagos.

Resultados - Avaliação Sistema - C1.1 (1)

Resultados: C1.1 - Água superficial: rios; nascentes; lagos

Evento Perigoso	Classificação de risco	Score	Medidas de Controle
C1.1.1	< BAIXO >	5.0	Firmar acordo com os usuários para não permitir uso de substâncias perigosas perto da fonte (APP)
C1.1.2	< ALTO >	12.0	Comunicar órgãos responsáveis.
C1.1.3	< ALTO >	10.0	Melhorar ou providenciar cercamento do local.
C1.1.4	< ALTO >	12.0	Fixar placa de sinalização.
C1.1.5	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.6	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.7	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.8	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.9	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.10	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.11	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.12	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.13	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.14	< ALTO >	10.0	Promover proteção adequada do local
C1.1.15	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.16	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.17	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.18	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.19	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.20	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.21	< MÉDIO >	6.0	Estabelecer medidas de alerta e prevenção

Salvar (.PDF)
Sair

Figura 46. Resultados para água superficial: rio; nascentes; lagos. (C1.1 - 1). Setor censitário 313060605000005 (Bairros da Grama e dos Bernardos)

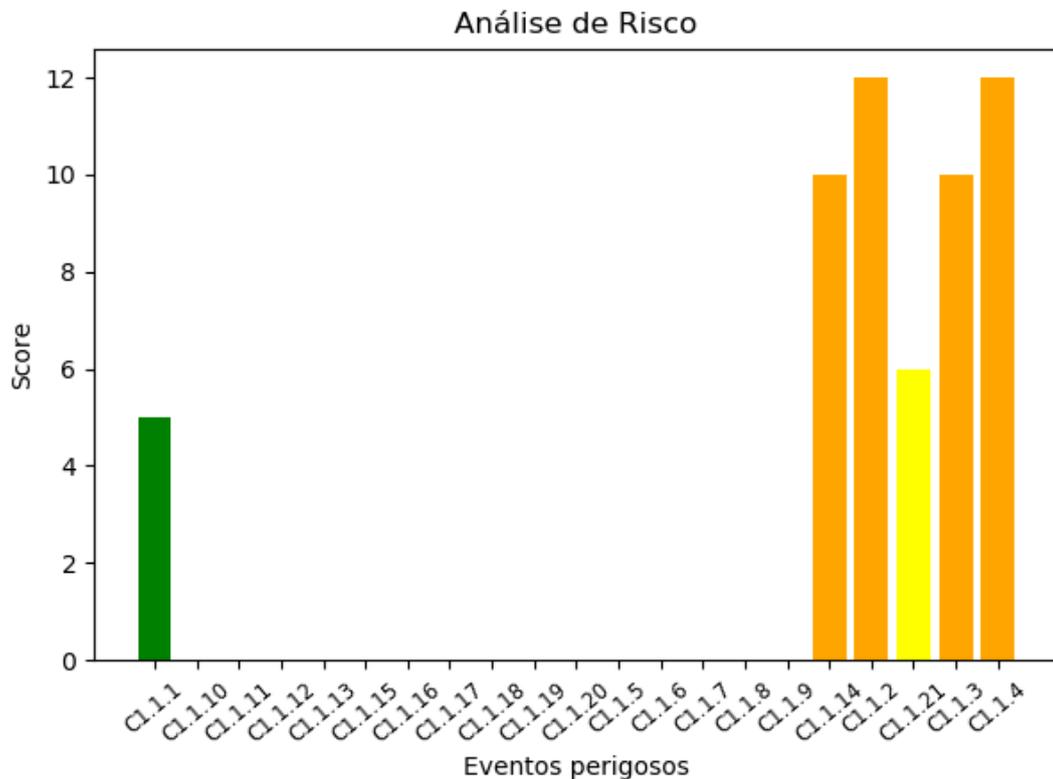


Figura 47. Gráfico dos resultados para água superficial: rio; nascentes; lagos. (C1.1 - 1). Setor censitário 313060605000005 (Bairros da Grama e dos Bernardos)

Resultados - Avaliação Sistema - Ca1.1 (2)

Resultados: Ca1.1 - Água superficial: rios; nascentes; lagos (2)

Evento Perigoso	Classificação de risco	Score	Medidas de Controle
C1.1.22	< BAIXO >	4.0	Realizar manutenção preventiva, inspeções regulares e manter equipamentos reservas.
C1.1.23	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.24	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.25	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.26	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.27	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.28	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.29	< BAIXO >	4.0	Assegurar que a área de captação esteja protegida de fontes poluidoras.
C1.1.30	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.31	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica

Salvar (.PDF)
Sair

Figura 48. Resultados para água superficial: rio; nascentes; lagos. (C1.1 - 2). Setor censitário 313060605000005 (Bairros da Grama e dos Bernardos)

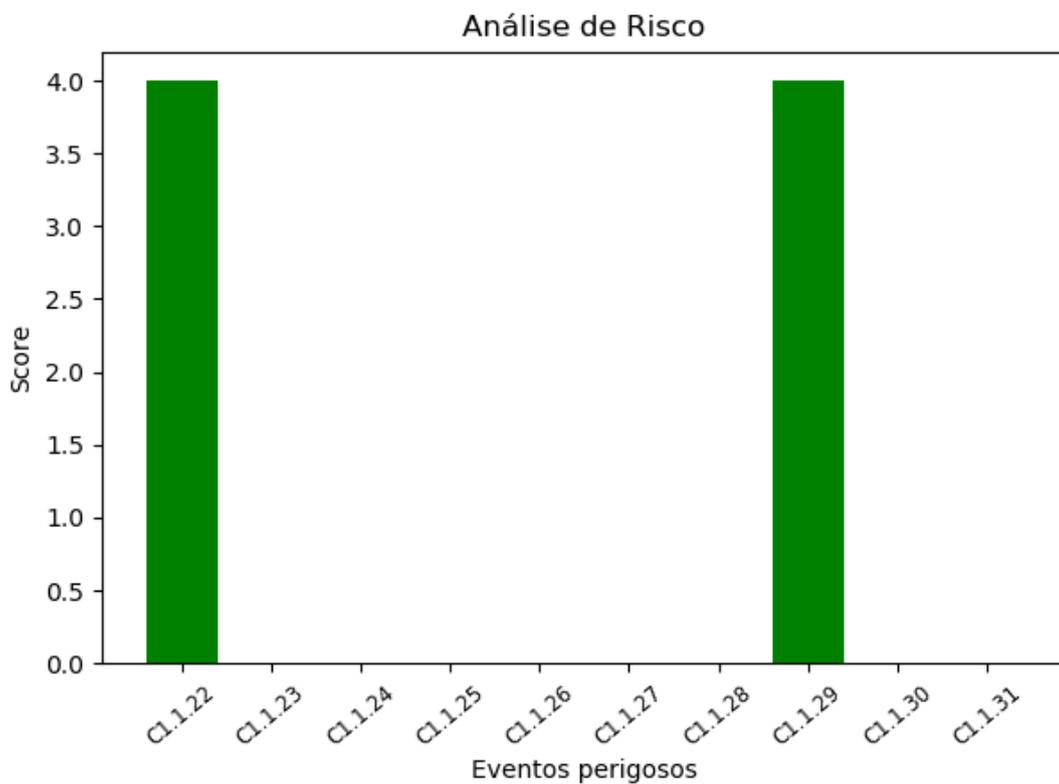


Figura 49. Gráfico dos resultados para água superficial: rio; nascentes; lagos. (C1.1 - 2). Setor censitário 313060605000005 (Bairros da Grama e dos Bernardos)

C3.1 Armazenamento de água bruta

Resultados - Avaliação Sistema - C3.1

Resultados: C3.1 Reservatório de água bruta

Evento Perigoso	Classificação de risco	Score	Medidas de Controle
C3.1.1	< MÉDIO >	8.0	Manter galhos de árvores distantes; melhorar e ou providenciar cercamento do local.
C3.1.2	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C3.1.3	< ALTO >	13.0	Realizar limpeza regular e drenagem do reservatório
C3.1.4	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C3.1.5	< MUITO ALTO >	20.0	Promover a recuperação do reservatório
C3.1.6	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C3.1.7	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C3.1.8	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C3.1.9	< MÉDIO >	9.0	Melhorar ou providenciar cercamento do local; realizar vigilância periódica.
C3.1.10	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C3.1.11	< ALTO >	15.0	Minimizar os tempos de retenção; ajustar a captação; observar tratamento

Salvar (.PDF)
Sair

Figura 50. Resultados para Armazenamento de água bruta: reservatório de água bruta. (C3.1). Setor censitário 313060605000005 (Bairros da Grama e dos Bernardos)

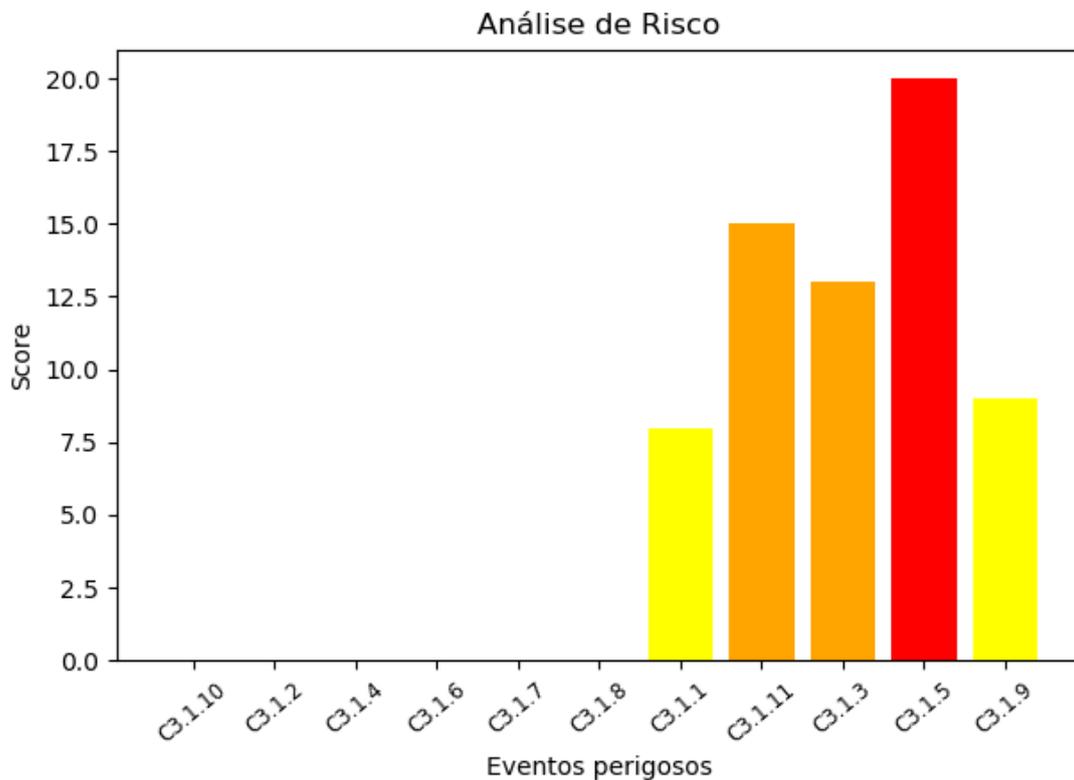


Figura 51. Gráfico dos resultados para Armazenamento de água bruta: reservatório de água bruta. (C3.1). Setor censitário 313060605000005 (Bairros da Grama e dos Bernardos)

D 1.1 Distribuição canalizada

Resultados - Avaliação Sistema - D1.1

Resultados: D1.1 Operação e distribuição canalizada

Evento Perigoso	Classificação de risco	Score	Medidas de Controle
D1.1.1	< BAIXO >	4.0	Identificar e cadastrar locais com problemas
D1.1.2	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
D1.1.3	< BAIXO >	4.0	Realizar reparo da canalização; utilizar tubos de melhor resistência
D1.1.4	< BAIXO >	4.0	Realizar reparo da canalização; verificar normas e procedimentos corretos para instalação.
D1.1.5	< BAIXO >	4.0	Monitorar níveis de cloro em pontos específicos do sistema
D1.1.6	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
D1.1.7	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
D1.1.8	< BAIXO >	4.0	Reparar danos; utilizar materiais adequados; estabelecer programas de detecção de perdas
D1.1.9	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
D1.1.10	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica

Salvar (.PDF)
Sair

Figura 52. Resultados para Distribuição canalizada: operação e distribuição canalizada. (D1.1). Setor censitário 313060605000005 (Bairros da Grama e dos Bernardos)

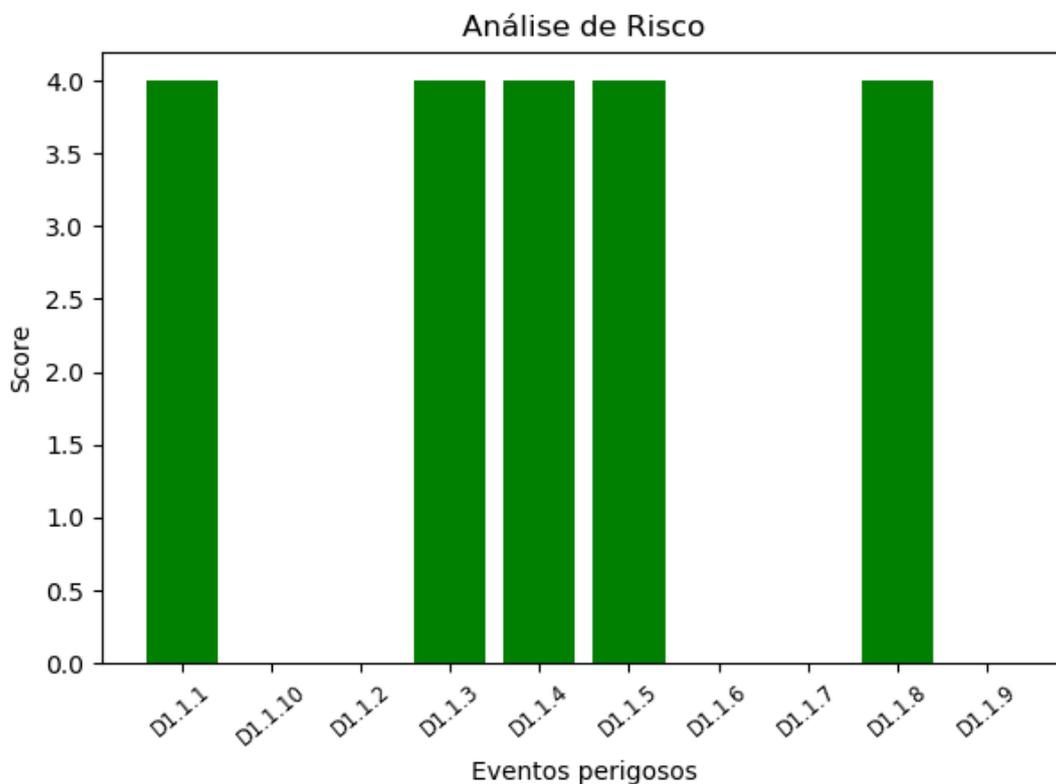


Figura 53. Gráfico dos resultados para Distribuição canalizada: operação e distribuição canalizada. (D1.1). Setor censitário 313060605000005 (Bairros da Grama e dos Bernardos)

Setor censitário 313060605000009 (Bairro da Boa Ventura):

Quadro 18. Análise de risco referente aos componentes Captação de água superficial: rio; nascentes; lagos. (C1.1) e Captação de água subterrânea: poço escavado (C 2.1) para o setor censitário 313060605000009.

Elementos	Ident.	Evento perigoso	Score	Avaliação de risco
Captação de água superficial: rio; nascentes; lagos. (C1.1)	C1.1.12	Ocorrência de inundação; inviabilização temporária na captação de água	5	baixo
	C1.1.21	Chuvas intensas com elevação na turbidez da água	7	médio
Captação de água subterrânea: poço escavado (C 2.1)	C2.1.1	Presença de água estagnada ao redor do poço (3 metros), devido à drenagem insuficiente	12	alto
	C2.1.2	Entrada de água contaminada durante inundações	6	médio
	C2.1.3	Presença de água estagnada ao redor do poço (3 metros), devido à drenagem insuficiente	9	médio
	C2.1.7	Entrada de animais por meio de tampas ou orifícios.	9	médio
	C2.1.8	Ausência de proteção de concreto em volta do poço e/ou problema com canal de drenagem	15	alto
	C2.1.12	Ausência de tampa de proteção do poço, apresentando rachaduras ou insalubre	15	alto
	C2.1.14	Ocorrência de poços sem parapeitos adequados	15	alto
	C2.1.26	Proteção de concreto em volta do topo do poço menor que 2 metros de diâmetro	15	alto

Dados processados no software:

C1.1 Água Superficial: rios nascentes e lagos.

Resultados - Avaliação Sistema - C1.1 (1)

Resultados: C1.1 - Água superficial: rios; nascentes; lagos

Evento Perigoso	Classificação de risco	Score	Medidas de Controle
C1.1.1	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.2	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.3	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.4	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.5	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.6	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.7	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.8	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.9	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.10	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.11	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.12	< BAIXO >	5.0	Estabelecer medidas de alerta e prevenção
C1.1.13	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.14	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.15	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.16	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.17	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.18	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.19	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.20	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.21	< MÉDIO >	7.0	Estabelecer medidas de alerta e prevenção

Salvar (.PDF)
Sair

Figura 54. Resultados para Água superficial: rio; nascentes; lagos. (C1.1 - 1). Setor censitário 313060605000009 (Bairro da Boa Ventura)

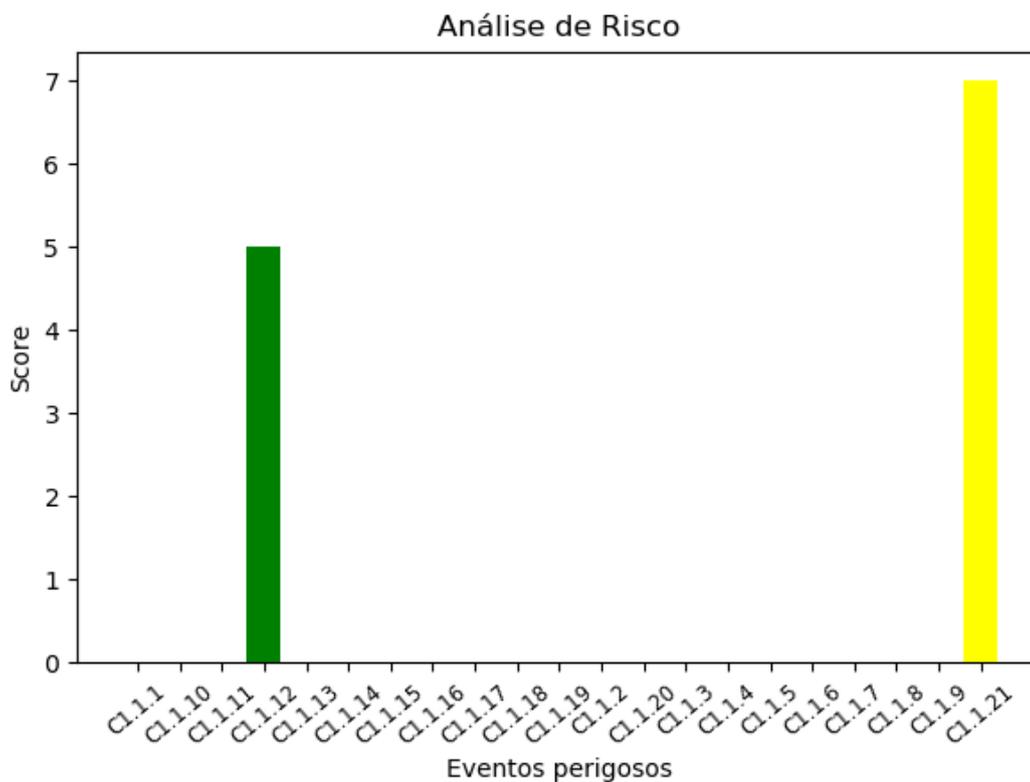


Figura 55. Gráfico dos resultados para Captação de água superficial: rio; nascentes; lagos. (C1.1 - 1).
Setor censitário 313060605000009 (Bairro da Boa Ventura)

C2.1 Água Subterrânea: poço escavado (poço caipira)

Resultados - Avaliação Sistema - C2.1 (1)

Resultados: C2.1 - Manancial subterrâneo: poço escavado (poço caipira)

Evento Perigoso	Classificação de risco	Score	Medidas de Controle
C2.1.1	< ALTO >	12.0	Promover proteção adequada para impedir a contaminação
C2.1.2	< MÉDIO >	6.0	Garantir a drenagem adequada do local e reparar possíveis rachaduras
C2.1.3	< MÉDIO >	9.0	Assegurar que o poço esteja acima do nível de inundação; estabelecer drenagem e programa de emergência.
C2.1.4	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C2.1.5	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C2.1.6	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C2.1.7	< MÉDIO >	9.0	Garantir o fechamento hermético do poço.
C2.1.8	< ALTO >	15.0	Construir proteção de concreto (1 - 2 m)
C2.1.9	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C2.1.10	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C2.1.11	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C2.1.12	< ALTO >	15.0	Tampar o poço adequadamente e/ou reparar danos
C2.1.13	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C2.1.14	< ALTO >	15.0	Construir poços com parapeito de pelo menos 1 metro
C2.1.15	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C2.1.16	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C2.1.17	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C2.1.18	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C2.1.19	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C2.1.20	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C2.1.21	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica

Figura 56. Resultados para manancial subterrâneo: poço escavado – poço caipira (C2.1 - 1). Setor censitário 313060605000009 (Bairro da Boa Ventura)

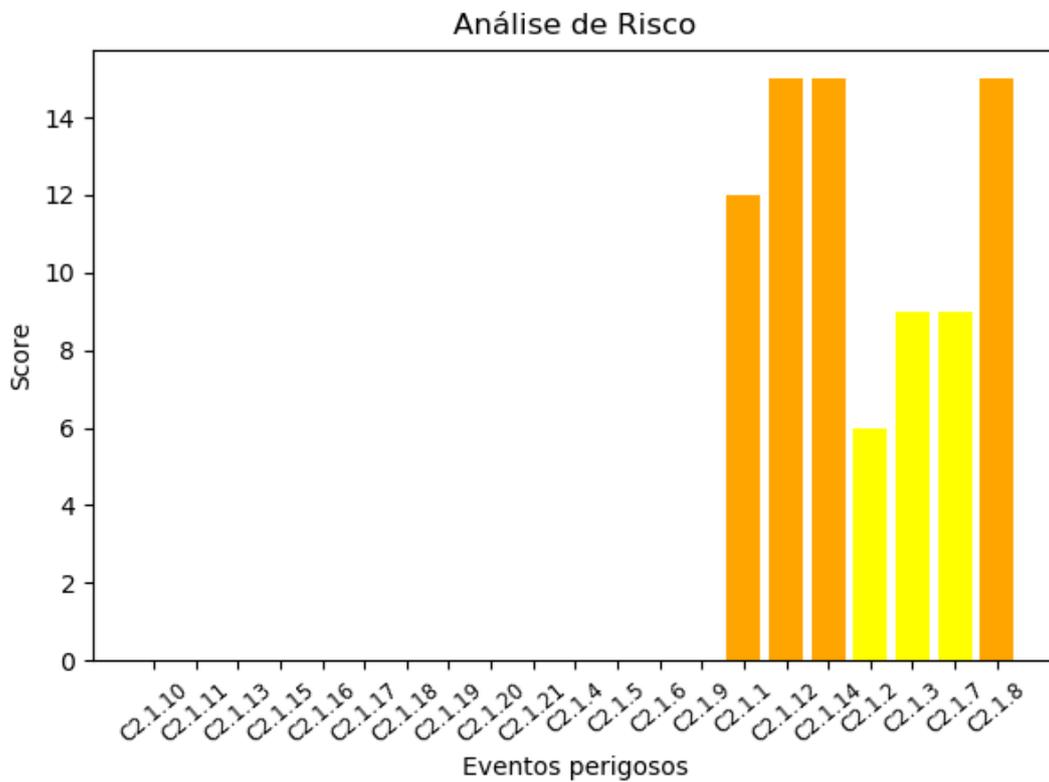


Figura 57. Gráfico dos resultados para manancial subterrâneo: poço escavado – poço caipira (C2.1 - 1). Setor censitário 313060605000009 (Bairro da Boa Ventura)

Resultados - Avaliação Sistema - C2.1 (2)

Resultados: C2.1 Manancial subterrâneo: poço escavado (poço caipira) (2)

Evento Perigoso	Classificação de risco	Score	Medidas de Controle
C2.1.22	< Não se aplica >	0,0	Não se aplica
C2.1.23	< Não se aplica >	0,0	Não se aplica
C2.1.24	< Não se aplica >	0,0	Não se aplica
C2.1.25	< Não se aplica >	0,0	Não se aplica
C2.1.26	< ALTO >	15,0	Garantir proteção adequada do local
C2.1.27	< Não se aplica >	0,0	Não se aplica
C2.1.28	< Não se aplica >	0,0	Não se aplica

Figura 58. Resultados para manancial subterrâneo: poço escavado – poço caipira (C2.1 - 2). Setor censitário 313060605000009 (Bairro da Boa Ventura)

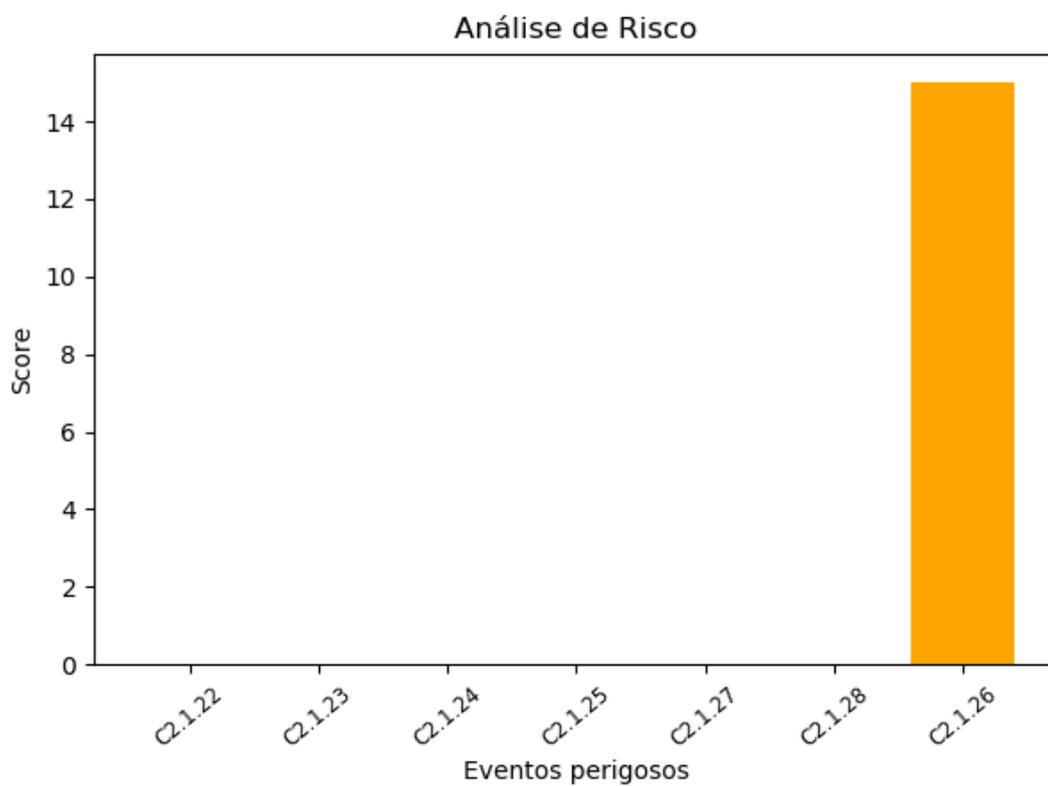


Figura 59. Gráfico dos resultados para manancial subterrâneo: poço escavado – poço caipira (C2.1 - 2).
Setor censitário 313060605000009 (Bairro da Boa Ventura)

Setor censitário 313060605000010 (Bairros do Cambuzinho e Boa Vista dos Pedros):

Quadro 19. Análise de risco referente aos componentes Captação de água superficial: rio; nascentes; lagos. (C1.1) e Armazenamento de água bruta (C 3.1) para o setor censitário 313060605000010.

Elementos	Ident.	Evento perigoso	Score	Avaliação de risco
Captação de água superficial: rio; nascentes; lagos. (C1.1)	<i>C1.1.1</i>	Utilização de agrotóxicos e fertilizantes em torno da fonte de água (Área de Preservação Permanente - APP)	14	alto
	<i>C1.1.3</i>	Falta de proteção (cerca imprópria), permitindo acesso de animais e pessoas	12	alto
	<i>C1.1.4</i>	Falta de placa de aviso sobre captação	15	alto
	<i>C1.1.12</i>	Ocorrência de inundação; inviabilização temporária na captação de água	3	baixo
	<i>C1.1.21</i>	Chuvas intensas com elevação na turbidez da água	6	médio
	<i>C1.1.22</i>	Falha mecânica e estrutural no sistema de captação	8	médio
	<i>C1.1.23</i>	Ocorrência de seca e/ou cheias prolongadas, inviabilizando a captação	10	alto
	<i>C1.1.24</i>	Entupimentos e/ou assoreamento na área de captação	2	baixo
	<i>C1.1.25</i>	Contaminação da água provocada por acidentes e/ou incêndios	5	baixo
	<i>C1.1.29</i>	Escoamento de resíduos agrícolas e/ou de áreas urbanizadas na área de captação	7	médio
	<i>C1.1.30</i>	Contaminação residual da água provocada pelo tráfego (carros, barcos, área de estacionamento, etc.)	12	alto
Reservatório de água bruta (C 3.1)	<i>C3.1.1</i>	Acúmulo de fezes de animais e aves na tampa do reservatório.	7	médio
	<i>C3.1.2</i>	Inundação da válvula por águas superficiais	6	médio
	<i>C3.1.3</i>	Desprendimento de biofilme	6	médio
	<i>C3.1.5</i>	Conservação inadequada de reservatórios/reservatórios danificados	11	alto
	<i>C3.1.8</i>	Perda de água no reservatório	6	médio
	<i>C3.1.9</i>	Acesso de animais ao reservatório	6	médio
	<i>C3.1.10</i>	Construção inadequada do reservatório	12	alto

C1.1 Água Superficial: rios nascentes e lagos.

Resultados - Avaliação Sistema - C1.1 (1)

Resultados: C1.1 - Água superficial: rios; nascentes; lagos

Evento Perigoso	Classificação de risco	Score	Medidas de Controle
C1.1.1	< ALTO >	14.0	Firmar acordo com os usuários para não permitir uso de substâncias perigosas perto da fonte (APP)
C1.1.2	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.3	< ALTO >	12.0	Melhorar ou providenciar cercamento do local.
C1.1.4	< ALTO >	15.0	Fixar placa de sinalização.
C1.1.5	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.6	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.7	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.8	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.9	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.10	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.11	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.12	< BAIXO >	3.0	Estabelecer medidas de alerta e prevenção
C1.1.13	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.14	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.15	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.16	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.17	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.18	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.19	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.20	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.21	< MÉDIO >	6.0	Estabelecer medidas de alerta e prevenção

Salvar (.PDF)
Sair

Figura 60. Resultados para água superficial: rio; nascentes; lagos. (C1.1 - 1). Setor censitário 313060605000010 (Bairros do Cambuzinho e Boa Vista dos Pedros)

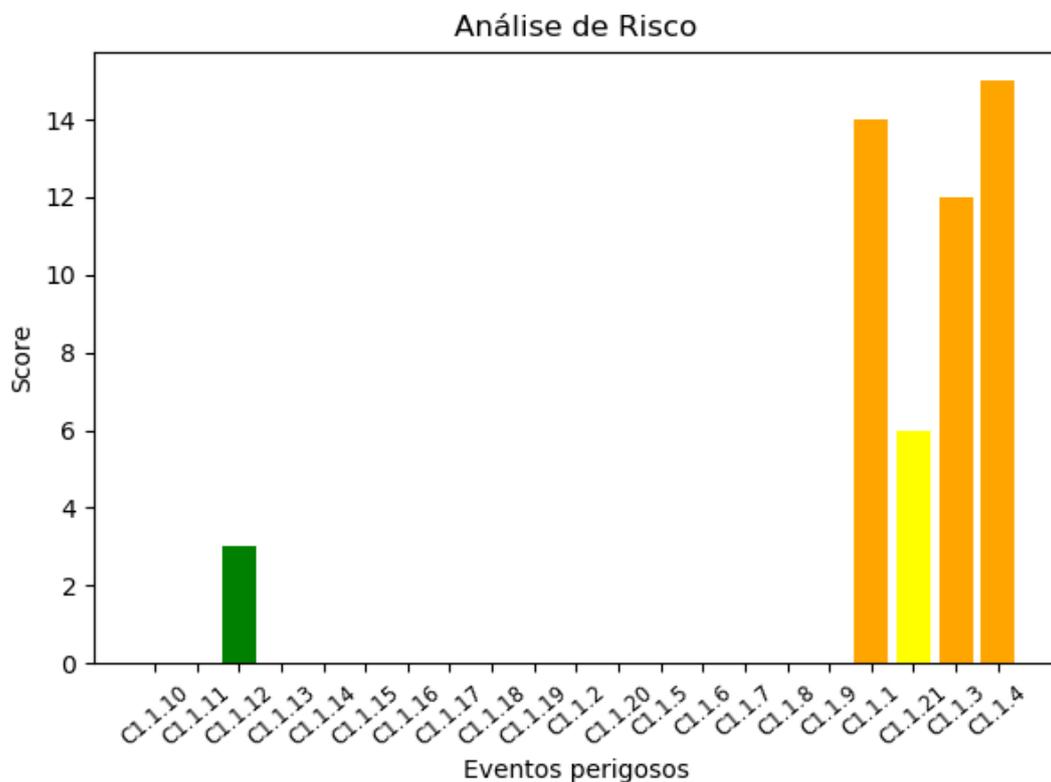


Figura 61. Gráfico dos resultados para água superficial: rio; nascentes; lagos. (C1.1 - 1). Setor censitário 313060605000010 (Bairros do Cambuzinho e Boa Vista dos Pedros)

Resultados - Avaliação Sistema - Ca1.1 (2)

Resultados: Ca1.1 - Água superficial: rios; nascentes; lagos (2)

Evento Perigoso	Classificação de risco	Score	Medidas de Controle
C1.1.22	< MÉDIO >	8.0	Realizar manutenção preventiva, inspeções regulares e manter equipamentos reservas.
C1.1.23	< ALTO >	10.0	Estabelecer medidas de alerta e emergência; garantir medidas de economia de água.
C1.1.24	< BAIXO >	2.0	Analisar e coibir atividades degradadoras do solo em torno da fonte; recuperar áreas de preservação permanente (APP)
C1.1.25	< BAIXO >	5.0	Realizar prevenção e fiscalização; estabelecer medidas de alerta e prevenção
C1.1.26	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.27	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.28	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.29	< MÉDIO >	7.0	Assegurar que a área de captação esteja protegida de fontes poluidoras.
C1.1.30	< ALTO >	12.0	Realizar prevenção e fiscalização; garantir medidas de proteção ou tecnologias que assegurem a qualidade da água
C1.1.31	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica

Salvar (.PDF)
Sair

Figura 62. Resultados para água superficial: rio; nascentes; lagos. (C1.1 - 2). Setor censitário 313060605000010 (Bairros do Cambuizinho e Boa Vista dos Pedros)

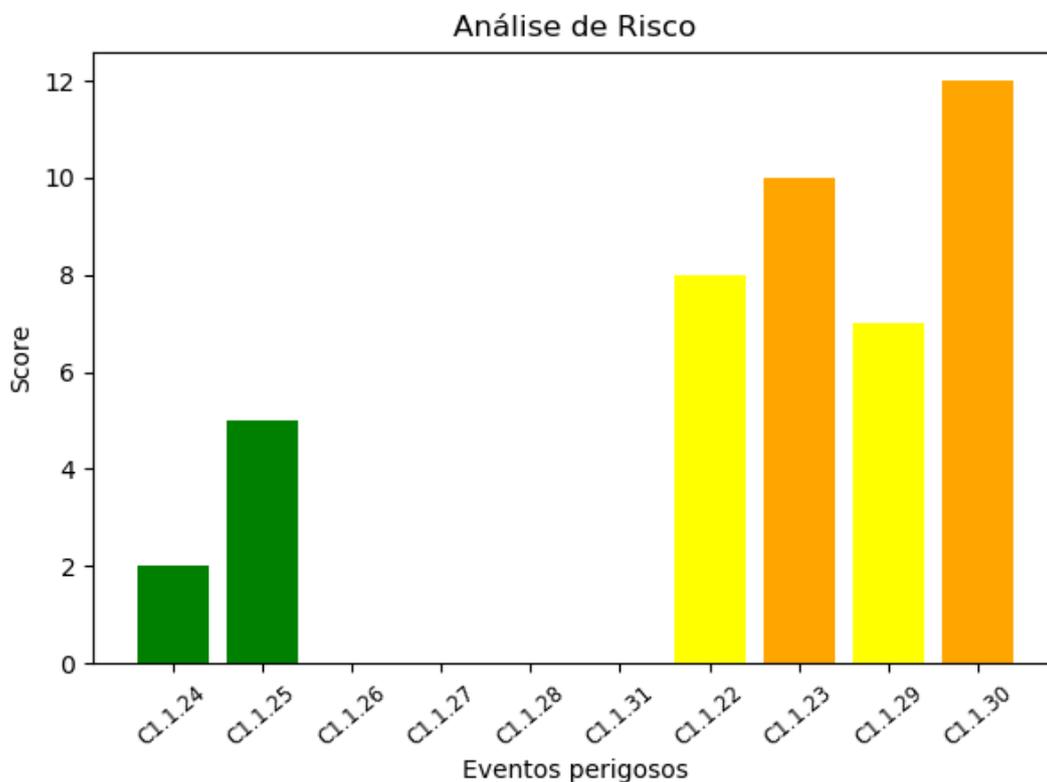


Figura 63. Gráfico dos resultados para água superficial: rio; nascentes; lagos. (C1.1 - 2). Setor censitário 313060605000010 (Bairros do Cambuizinho e Boa Vista dos Pedros)

C3.1 Reservatório de água bruta

Resultados - Avaliação Sistema - C3.1

Resultados: C3.1 Reservatório de água bruta

Evento Perigoso	Classificação de risco	Score	Medidas de Controle
C3.1.1	< MÉDIO >	7.0	Manter galhos de árvores distantes; melhorar e ou providenciar cercamento do local.
C3.1.2	< MÉDIO >	6.0	Garantir proteção dos equipamentos
C3.1.3	< MÉDIO >	6.0	Realizar limpeza regular e drenagem do reservatório
C3.1.4	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C3.1.5	< ALTO >	11.0	Promover a recuperação do reservatório
C3.1.6	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C3.1.7	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C3.1.8	< MÉDIO >	6.0	Reparar problemas; estabelecer programa de detecção de perdas.
C3.1.9	< MÉDIO >	6.0	Melhorar ou providenciar cercamento do local; realizar vigilância periódica.
C3.1.10	< ALTO >	12.0	Garantir materiais de qualidade e impermeabilização do reservatório.
C3.1.11	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica

Salvar (.PDF)
Sair

Figura 64. Resultados reservatório de água bruta (C3.1 - 1). Setor censitário 313060605000010 (Bairros do Cambuizinho e Boa Vista dos Pedros)

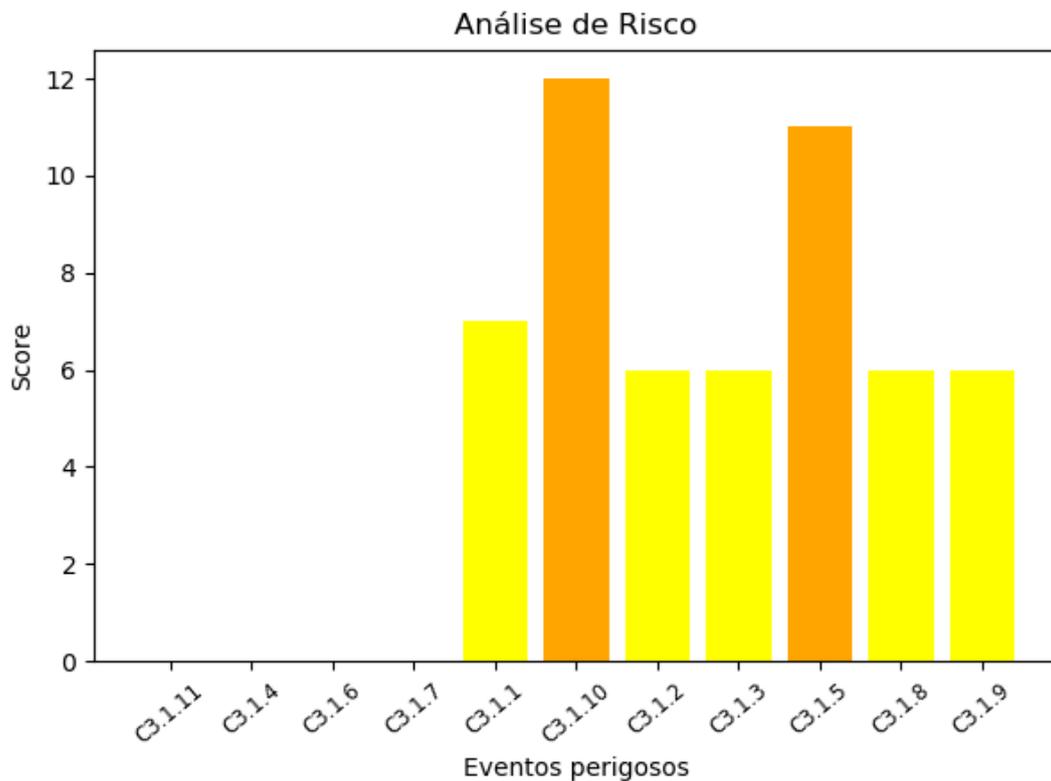


Figura 65. Gráfico para resultados reservatório de água bruta (C3.1 - 1). Setor censitário 313060605000010 (Bairros do Cambuizinho e Boa Vista dos Pedros)

Bueno Brandão**Setor censitário 310910505000009 (Bairro das Furnas e Bairro dos Piquiras):**

Quadro 20. Análise de risco referente aos componentes Captação de água superficial: rio; nascentes; lagos. (C1.1), Captação de água subterrânea: poço escavado (C 2.1) e Armazenamento de água bruta (C 3.1) para o setor censitário 310910505000009.

Elementos	Ident.	Evento perigoso	Score	Avaliação de risco
Captação de água superficial: rio; nascentes; lagos. (C1.1)	<i>C1.1.1</i>	Utilização de agrotóxicos e fertilizantes em torno da fonte de água (Área de Preservação Permanente - APP)	12	alto
	<i>C1.1.4</i>	Falta de placa de aviso sobre captação	9	médio
	<i>C1.1.22</i>	Falha mecânica e estrutural no sistema de captação	6	médio
	<i>C1.1.23</i>	Ocorrência de seca e/ou cheias prolongadas, inviabilizando a captação	12	alto
	<i>C1.1.24</i>	Entupimentos e/ou assoreamento na área de captação	6	médio
	<i>C1.1.29</i>	Escoamento de resíduos agrícolas e/ou de áreas urbanizadas na área de captação	12	alto
Captação de água subterrânea: poço escavado (C 2.1)	<i>C2.1.1</i>	Presença de água estagnada ao redor do poço (3 metros), devido à dren. insuficiente	15	Alto
	<i>C2.1.3</i>	Presença de água estagnada ao redor do poço (3 metros), devido à dren. insuficiente	6	médio
	<i>C2.1.4</i>	Contaminação no equipamento de saída do poço/torneiras	10	alto
	<i>C2.1.7</i>	Entrada de animais por meio de tampas ou orifícios.	9	médio
	<i>C2.1.8</i>	Ausência de proteção de concreto em volta do poço e/ou problema com canal de drenagem	20	muito alto
	<i>C2.1.9</i>	Presença de animais ao redor do poço (até 10 metros)	20	muito alto
	<i>C2.1.10</i>	Presença de excrementos de animais ou humanos em torno do poço	16	Muito alto
	<i>C2.1.12</i>	Ausência de tampa de proteção do poço, apresentando rachaduras ou insalubre	15	médio
	<i>C2.1.14</i>	Ocorrência de poços sem parapeitos adequados	18	Muito alto
	<i>C2.1.25</i>	Existência de outra fonte de poluição até 10 metros do poço	12	alto
	<i>C2.1.26</i>	Proteção de concreto em volta do topo do poço menor que 2 metros de diâmetro	17	Muito alto
Reservatório de água bruta (C 3.1)	<i>C3.1.1</i>	Acúmulo de fezes de animais e aves na tampa do reservatório.	6	médio
	<i>C3.1.3</i>	Desprendimento de biofilme	6	médio
	<i>C3.1.5</i>	Conservação inadequada de reservatórios/reservatórios danificados	20	Muito alto
	<i>C3.1.9</i>	Acesso de animais ao reservatório	9	médio
	<i>C3.1.10</i>	Construção inadequada do reservatório	15	médio
	<i>C3.1.11</i>	Crescimento anormal de algas	9	médio

C1.1 Água Superficial: rios nascentes e lagos.

Resultados - Avaliação Sistema - C1.1 (1)

Resultados: C1.1 - Água superficial: rios; nascentes; lagos

Evento Perigoso	Classificação de risco	Score	Medidas de Controle
C1.1.1	< ALTO >	12.0	Firmar acordo com os usuários para não permitir uso de substâncias perigosas perto da fonte (APP)
C1.1.2	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.3	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.4	< MÉDIO >	9.0	Fixar placa de sinalização.
C1.1.5	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.6	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.7	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.8	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.9	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.10	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.11	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.12	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.13	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.14	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.15	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.16	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.17	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.18	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.19	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.20	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.21	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica

Salvar (.PDF)
Sair

Figura 66. Resultados para água superficial: rio; nascentes; lagos. (C1.1 - 1). Setor censitário 310910505000009 (Bairro das Furnas e Bairro dos Piquiras)

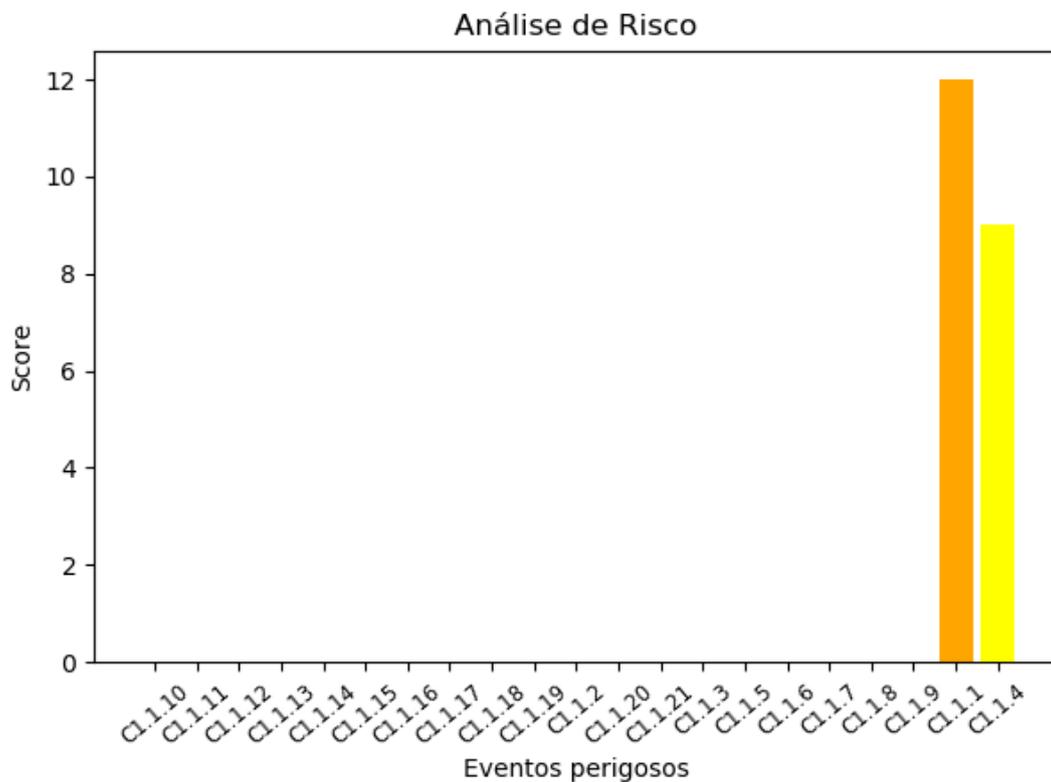


Figura 67. Gráfico dos resultados para água superficial: rio; nascentes; lagos. (C1.1 - 1). Setor censitário 310910505000009 (Bairro das Furnas e Bairro dos Piquiras)

Resultados - Avaliação Sistema - Ca1.1 (2)

Resultados: Ca1.1 - Água superficial: rios; nascentes; lagos (2)

Evento Perigoso	Classificação de risco	Score	Medidas de Controle
C1.1.22	< MÉDIO >	6.0	Realizar manutenção preventiva, inspeções regulares e manter equipamentos reservas.
C1.1.23	< ALTO >	12.0	Estabelecer medidas de alerta e emergência; garantir medidas de economia de água.
C1.1.24	< MÉDIO >	6.0	Analisar e cobrir atividades degradadoras do solo em torno da fonte; recuperar áreas de preservação permanente (APP)
C1.1.25	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.26	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.27	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.28	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.29	< ALTO >	12.0	Assegurar que a área de captação esteja protegida de fontes poluidoras.
C1.1.30	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.31	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica

Salvar (.PDF)
Sair

Figura 68. Resultados para água superficial: rio; nascentes; lagos. (C1.1 - 2). Setor censitário 310910505000009 (Bairro das Furnas e Bairro dos Piquiras)

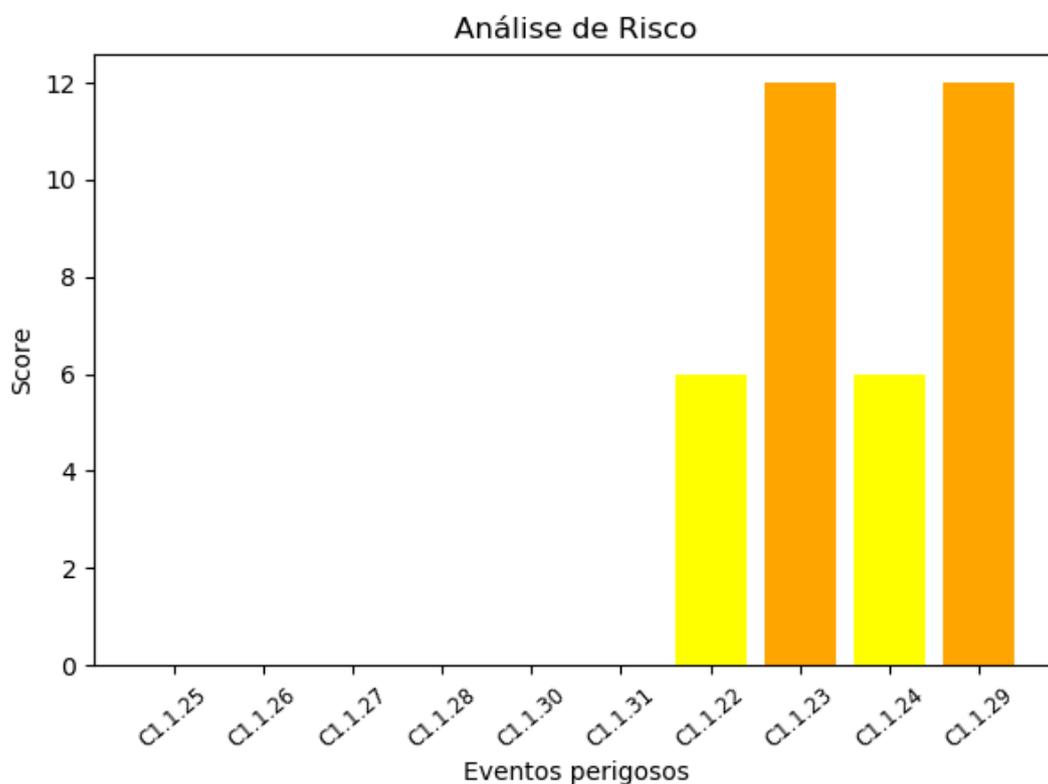


Figura 69. Gráficos dos resultados para água superficial: rio; nascentes; lagos. (C1.1 - 2). Setor censitário 310910505000009 (Bairro das Furnas e Bairro dos Piquiras)

C2.1 Captação de Água Subterrânea: poço escavado (poço caipira)

Resultados - Avaliação Sistema - C2.1 (1)

Resultados: C2.1 - Manancial subterrâneo: poço escavado (poço caipira)

Evento Perigoso	Classificação de risco	Score	Medidas de Controle
C2.1.1	< ALTO >	15.0	Promover proteção adequada para impedir a contaminação
C2.1.2	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C2.1.3	< MÉDIO >	6.0	Assegurar que o poço esteja acima do nível de inundação; estabelecer drenagem e programa de emergência.
C2.1.4	< ALTO >	10.0	Realizar educação comunitária; garantir higienização na hora de coleta e desinfecção de equipamentos e torneiras.
C2.1.5	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C2.1.6	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C2.1.7	< MÉDIO >	9.0	Garantir o fechamento hermético do poço.
C2.1.8	< MUITO ALTO >	20.0	Construir proteção de concreto (1 - 2 m)
C2.1.9	< MUITO ALTO >	20.0	Garantir proteção adequada do local
C2.1.10	< MUITO ALTO >	16.0	Fixar placas de sinalização; melhorar condições e proteção da fonte.
C2.1.11	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C2.1.12	< ALTO >	15.0	Tampar o poço adequadamente e/ou reparar danos
C2.1.13	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C2.1.14	< MUITO ALTO >	18.0	Construir poços com parapeto de pelo menos 1 metro
C2.1.15	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C2.1.16	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C2.1.17	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C2.1.18	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C2.1.19	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C2.1.20	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C2.1.21	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica

Salvar (.PDF)
Sair

Figura 70. Resultados para manancial subterrâneo: poço escavado – poço caipira (C2.1 - 1). Setor censitário 310910505000009 (Bairro das Furnas e Bairro dos Piquiras)

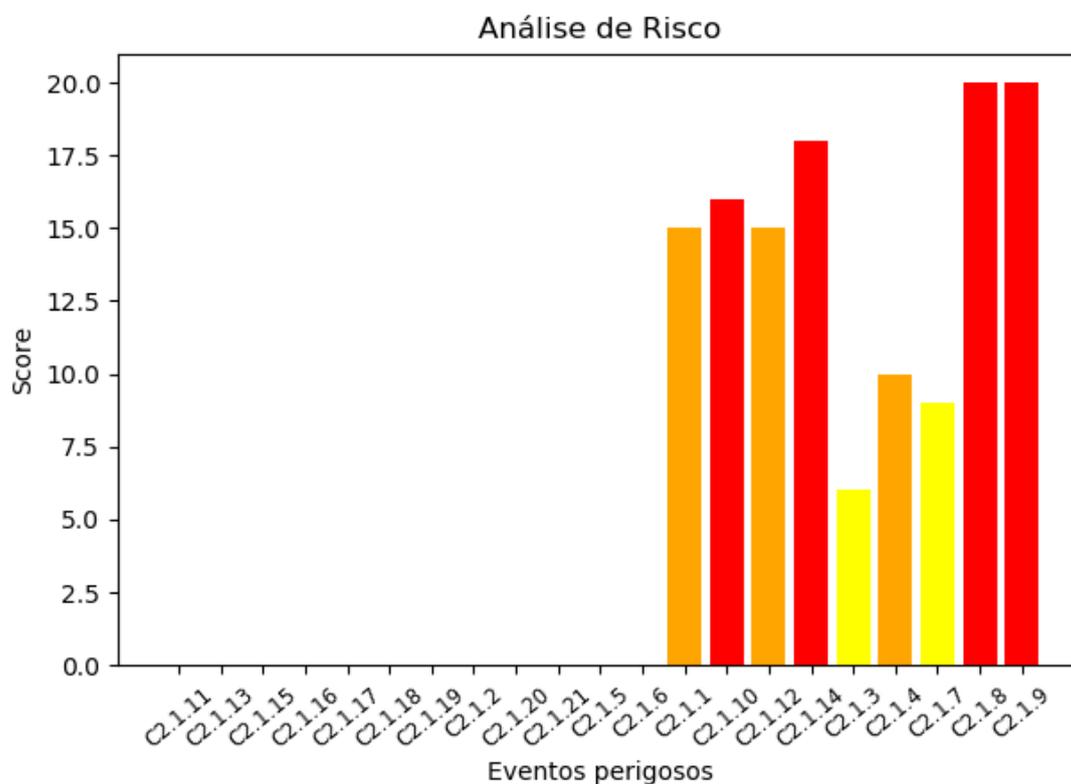


Figura 71. Gráfico dos resultados para manancial subterrâneo: poço escavado – poço caipira (C2.1 - 1). Setor censitário 310910505000009 (Bairro das Furnas e Bairro dos Piquiras)

Resultados - Avaliação Sistema - C2.1 (2)

Resultados: C2.1 Manancial subterrâneo: poço escavado (poço caipira) (2)

Evento Perigoso	Classificação de risco	Score	Medidas de Controle
C2.1.22	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C2.1.23	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C2.1.24	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C2.1.25	< ALTO >	12.0	Realizar educação comunitária; promover a proteção adequada
C2.1.26	< MUITO ALTO >	17.0	Garantir proteção adequada do local
C2.1.27	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C2.1.28	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica

Salvar (.PDF)
Sair

Figura 72. Resultados para manancial subterrâneo: poço escavado – poço caipira (C2.1 - 2). Setor censitário 31091050500009 (Bairro das Furnas e Bairro dos Piquiras)

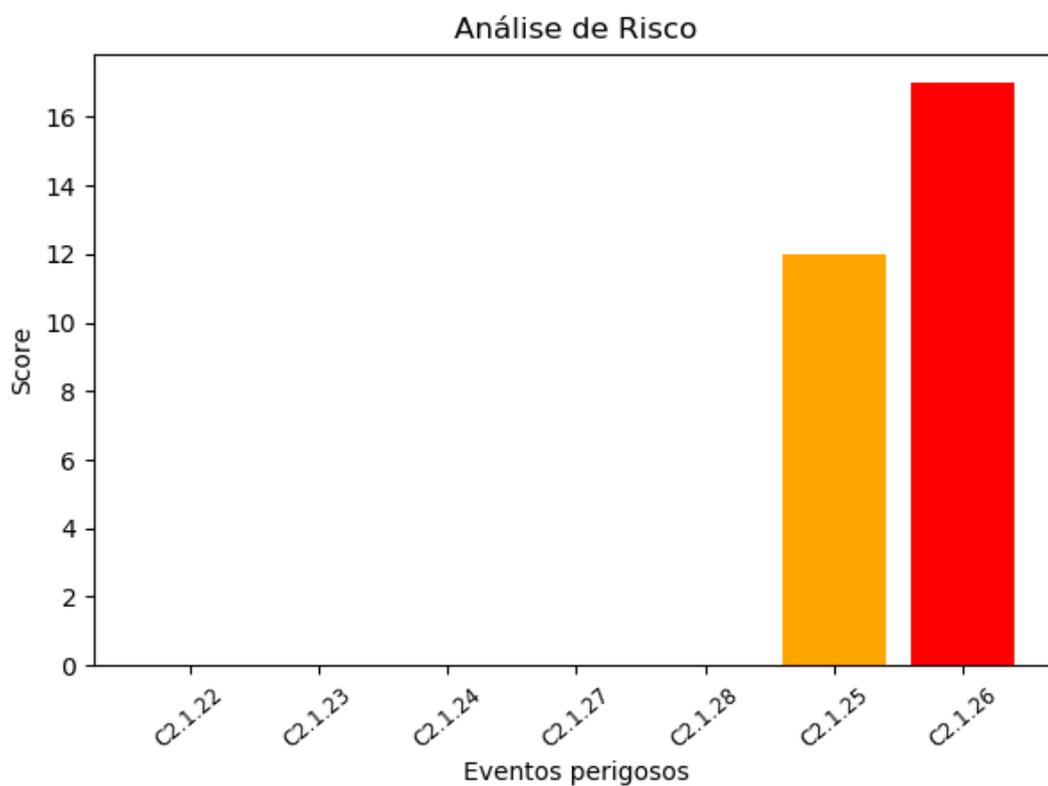


Figura 73. Gráfico dos resultados para manancial subterrâneo: poço escavado – poço caipira (C2.1 - 2). Setor censitário 31091050500009 (Bairro das Furnas e Bairro dos Piquiras)

C3.1 Reservatório de água bruta

Resultados - Avaliação Sistema - C3.1

Resultados: C3.1 Reservatório de água bruta

Evento Perigoso	Classificação de risco	Score	Medidas de Controle
C3.1.1	< MÉDIO >	6.0	Manter galhos de árvores distantes; melhorar e ou providenciar cercamento do local.
C3.1.2	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C3.1.3	< MÉDIO >	6.0	Realizar limpeza regular e drenagem do reservatório
C3.1.4	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C3.1.5	< MUITO ALTO >	20.0	Promover a recuperação do reservatório
C3.1.6	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C3.1.7	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C3.1.8	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C3.1.9	< MÉDIO >	9.0	Melhorar ou providenciar cercamento do local; realizar vigilância periódica.
C3.1.10	< ALTO >	15.0	Garantir materiais de qualidade e impermeabilização do reservatório.
C3.1.11	< MÉDIO >	9.0	Minimizar os tempos de retenção; ajustar a captação; observar tratamento

Salvar (.PDF)
Sair

Figura 74. Resultados para reservatório de água bruta (C3.1). Setor censitário 310910505000009 (Bairro das Furnas e Bairro dos Piquiras)

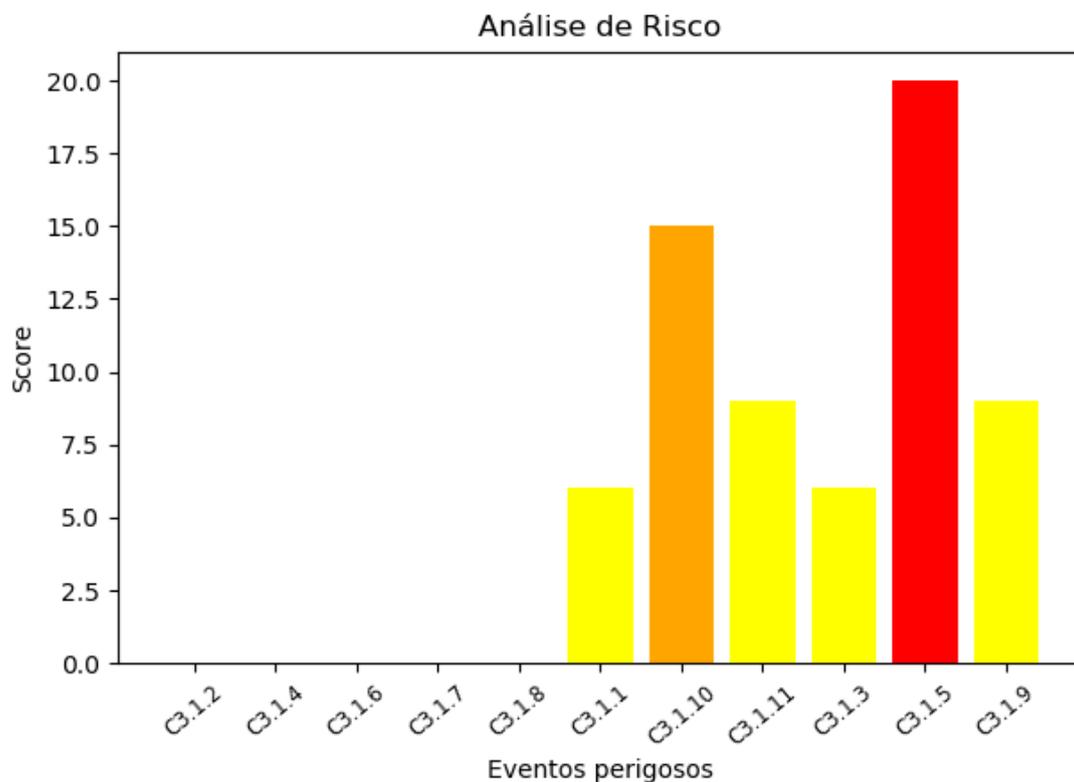


Figura 75. Gráfico dos resultados para reservatório de água bruta (C3.1). Setor censitário 310910505000009 (Bairro das Furnas e Bairro dos Piquiras)

Setor censitário 310910505000011 (Bairro Boa Vista dos Goes e Bairro Boa Vista dos Barbosas)

Quadro 21. Análise de risco referente aos componentes Captação de água superficial: rio; nascentes; lagos. (C1.1), Captação de água subterrânea: poço tubular semi-artesiano (C 2.2) e Armazenamento de água bruta (C 3.1) para o setor censitário 310910505000011.

Elementos	Ident.	Evento perigoso	Score	Avaliação de risco
Captação de água superficial: rio; nascentes; lagos. (C1.1)	<i>C1.1.1</i>	Utilização de agrotóxicos e fertilizantes em torno da fonte de água (Área de Preservação Permanente - APP)	6	médio
	<i>C1.1.22</i>	Falha mecânica e estrutural no sistema de captação	6	médio
	<i>C1.1.23</i>	Ocorrência de seca e/ou cheias prolongadas, inviabilizando a captação	6	médio
	<i>C1.1.24</i>	Entupimentos e/ou assoreamento na área de captação	9	médio
Captação de água subterrânea: poço tubular semi-artesiano (C 2.2)	<i>C2.2.1</i>	Entrada de água contaminada por meio de rachaduras, orifícios e equipamentos danificados	12	alto
	<i>C2.2.2</i>	Presença de água estagnada ao redor do poço, devido à drenagem insuficiente	9	médio
	<i>C2.2.3</i>	Ingresso de água contaminada durante inundações	9	médio
	<i>C2.2.4</i>	Contaminação no equipamento de saída do poço	9	médio
	<i>C2.2.5</i>	Falha no sistema elétrico ou na bomba	25	Muito alto
	<i>C2.2.14</i>	Ausência de canal de drenagem em torno do mecanismo de bombeamento	15	alto
	<i>C2.2.15</i>	Presença de animais até 50 metros do poço.	9	médio
	<i>C2.2.16</i>	A área da base do mecanismo de bombeamento é permeável	15	alto
Reservatório de água bruta (C 3.1)	<i>C3.1.3</i>	Desprendimento de biofilme	12	alto
	<i>C3.1.5</i>	Conservação inadequada de reservatórios/reservatórios danificados	15	alto
	<i>C3.1.9</i>	Acesso de animais ao reservatório	15	alto
	<i>C3.1.10</i>	Construção inadequada do reservatório	15	alto
	<i>C3.1.11</i>	Crescimento anormal de algas	12	alto

C1.1 Água Superficial: rios nascentes e lagos.

Resultados - Avaliação Sistema - C1.1 (1)

Resultados: C1.1 - Água superficial: rios; nascentes; lagos

Evento Perigoso	Classificação de risco	Score	Medidas de Controle
C1.1.1	< MÉDIO >	6.0	Firmar acordo com os usuários para não permitir uso de substâncias perigosas perto da fonte (APP)
C1.1.2	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.3	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.4	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.5	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.6	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.7	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.8	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.9	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.10	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.11	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.12	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.13	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.14	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.15	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.16	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.17	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.18	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.19	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.20	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.21	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica

Salvar (.PDF)
Sair

Figura 76. Resultados para água superficial: rio; nascentes; lagos. (C1.1 - 1). Setor censitário 310910505000011 (Bairro Boa Vista dos Goes e Bairro Boa Vista dos Barbosas)

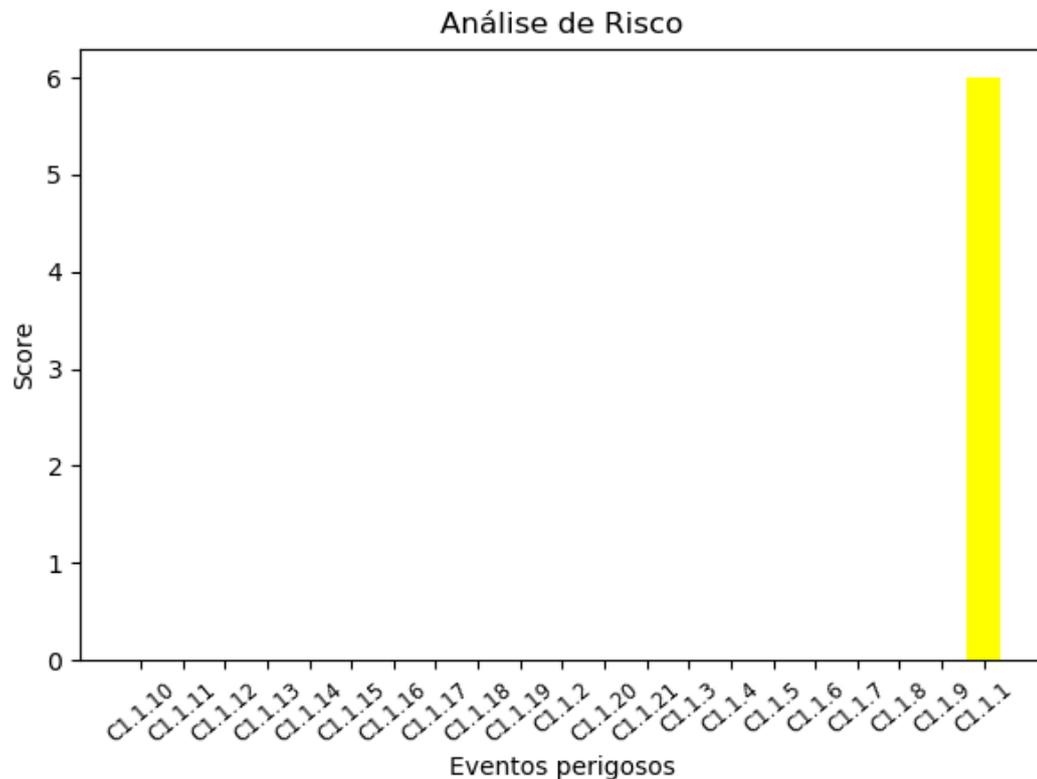


Figura 77. Gráfico dos resultados para água superficial: rio; nascentes; lagos. (C1.1 - 1). Setor censitário 310910505000011 (Bairro Boa Vista dos Goes e Bairro Boa Vista dos Barbosas)

Resultados - Avaliação Sistema - Ca1.1 (2)

Resultados: Ca1.1 - Água superficial: rios; nascentes; lagos (2)

Evento Perigoso	Classificação de risco	Score	Medidas de Controle
C1.1.22	< MÉDIO >	6.0	Realizar manutenção preventiva, inspeções regulares e manter equipamentos reservas.
C1.1.23	< MÉDIO >	6.0	Estabelecer medidas de alerta e emergência; garantir medidas de economia de água.
C1.1.24	< MÉDIO >	9.0	Analisar e cobrir atividades degradadoras do solo em torno da fonte; recuperar áreas de preservação permanente (APP)
C1.1.25	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.26	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.27	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.28	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.29	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.30	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.31	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica

Salvar (.PDF)
Sair

Figura 78. Resultados para água superficial: rio; nascentes; lagos (C1.1 - 2). Setor censitário 310910505000011 (Bairro Boa Vista dos Goes e Bairro Boa Vista dos Barbosas)

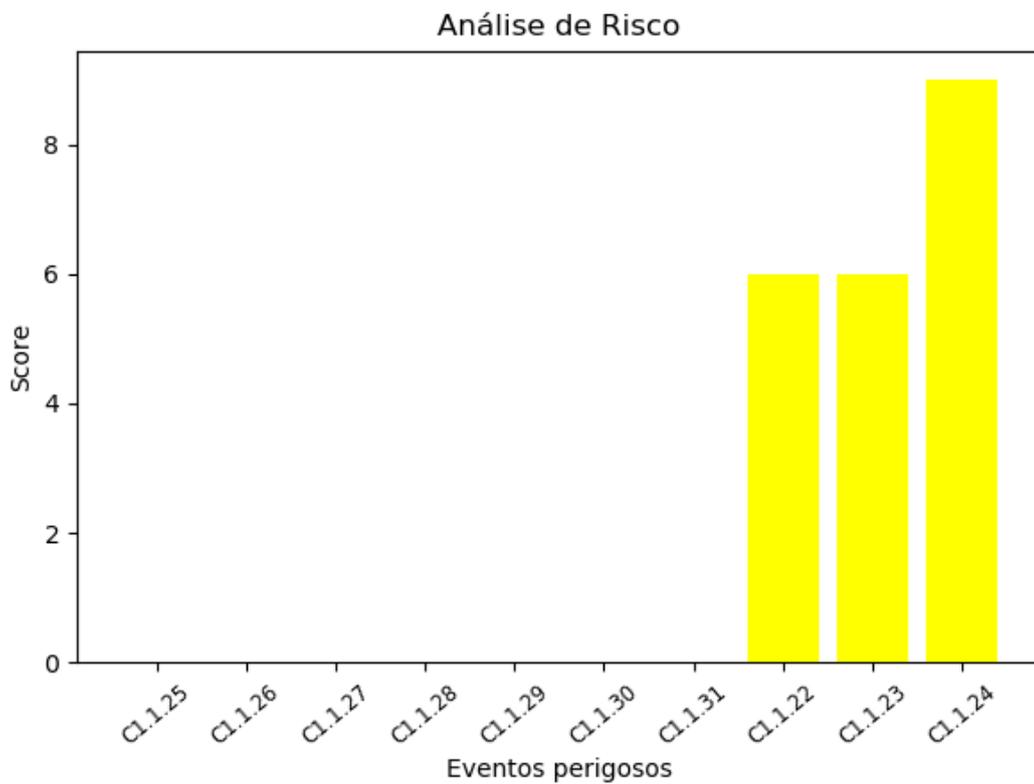


Figura 79. Gráfico dos resultados para água superficial: rio; nascentes; lagos (C1.1 - 2). Setor censitário 310910505000011 (Bairro Boa Vista dos Goes e Bairro Boa Vista dos Barbosas)

C2.2 Manancial subterrâneo: poço tubular semiartesiano

Resultados - Avaliação Sistema - C2.2

Resultados: C2.2 Manancial subterrâneo: poço tubular semi-artesiano

Evento Perigoso	Classificação de risco	Score	Medidas de Controle
C2.2.1	< ALTO >	12,0	Promover proteção adequada para impedir a contaminação; substituir equipamentos periodicamente.
C2.2.2	< MÉDIO >	9,0	Garantir a drenagem adequada do local e reparar possíveis rachaduras
C2.2.3	< MÉDIO >	9,0	Assegurar que o poço esteja acima do nível de inundação; fornecer drenagem e programa de emergência.
C2.2.4	< MÉDIO >	9,0	Educação comunitária; higienização na hora de coleta; desinfecção de equipamentos e torneiras.
C2.2.5	< MUITO ALTO >	25,0	Uso de geradores
C2.2.6	< Não se aplica >	0,0	Não se aplica
C2.2.7	< Não se aplica >	0,0	Não se aplica
C2.2.8	< Não se aplica >	0,0	Não se aplica
C2.2.9	< Não se aplica >	0,0	Não se aplica
C2.2.10	< Não se aplica >	0,0	Não se aplica
C2.2.11	< Não se aplica >	0,0	Não se aplica
C2.2.12	< Não se aplica >	0,0	Não se aplica
C2.2.13	< Não se aplica >	0,0	Não se aplica
C2.2.14	< ALTO >	15,0	Promover proteção adequada para impedir a contaminação
C2.2.15	< MÉDIO >	9,0	Promover proteção adequada para impedir a contaminação
C2.2.16	< ALTO >	15,0	Promover proteção adequada para impedir a contaminação
C2.2.17	< Não se aplica >	0,0	Não se aplica

Salvar (.PDF)
Sair

Figura 80. Resultados para manancial subterrâneo: poço tubular semiartesiano (C2.2). Setor censitário 310910505000011 (Bairro Boa Vista dos Goes e Bairro Boa Vista dos Barbosas)

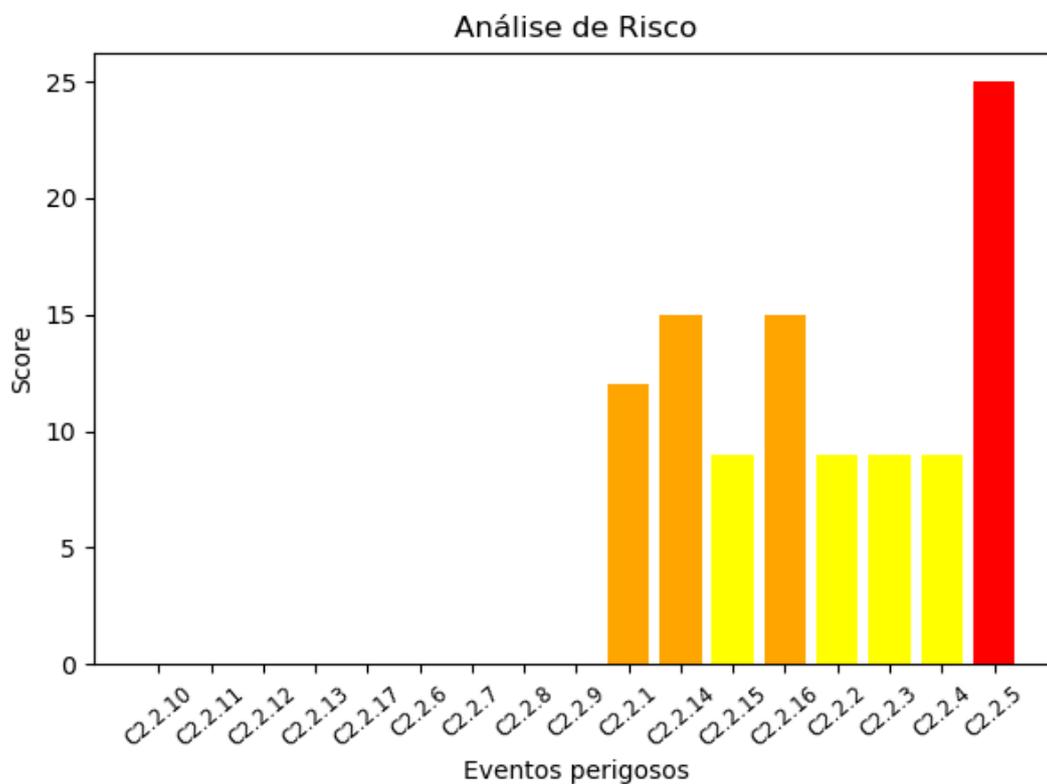


Figura 81. Gráfico dos resultados para manancial subterrâneo: poço tubular semiartesiano (C2.2). Setor censitário 310910505000011 (Bairro Boa Vista dos Goes e Bairro Boa Vista dos Barbosas)

C3.1 Reservatório de água bruta

Resultados - Avaliação Sistema - C3.1

Resultados: C3.1 Reservatório de água bruta

Evento Perigoso	Classificação de risco	Score	Medidas de Controle
C3.1.1	< Não se aplica >	0,0	Não se aplica
C3.1.2	< Não se aplica >	0,0	Não se aplica
C3.1.3	< ALTO >	12,0	Realizar limpeza regular e drenagem do reservatório
C3.1.4	< Não se aplica >	0,0	Não se aplica
C3.1.5	< ALTO >	15,0	Promover a recuperação do reservatório
C3.1.6	< Não se aplica >	0,0	Não se aplica
C3.1.7	< Não se aplica >	0,0	Não se aplica
C3.1.8	< Não se aplica >	0,0	Não se aplica
C3.1.9	< ALTO >	15,0	Melhorar ou providenciar cercamento do local; realizar vigilância periódica.
C3.1.10	< ALTO >	15,0	Garantir materiais de qualidade e impermeabilização do reservatório.
C3.1.11	< ALTO >	12,0	Minimizar os tempos de retenção; ajustar a captação; observar tratamento

Salvar (.PDF)
Sair

Figura 82. Resultados para reservatório de água bruta (C3.1). Setor censitário 310910505000011 (Bairro

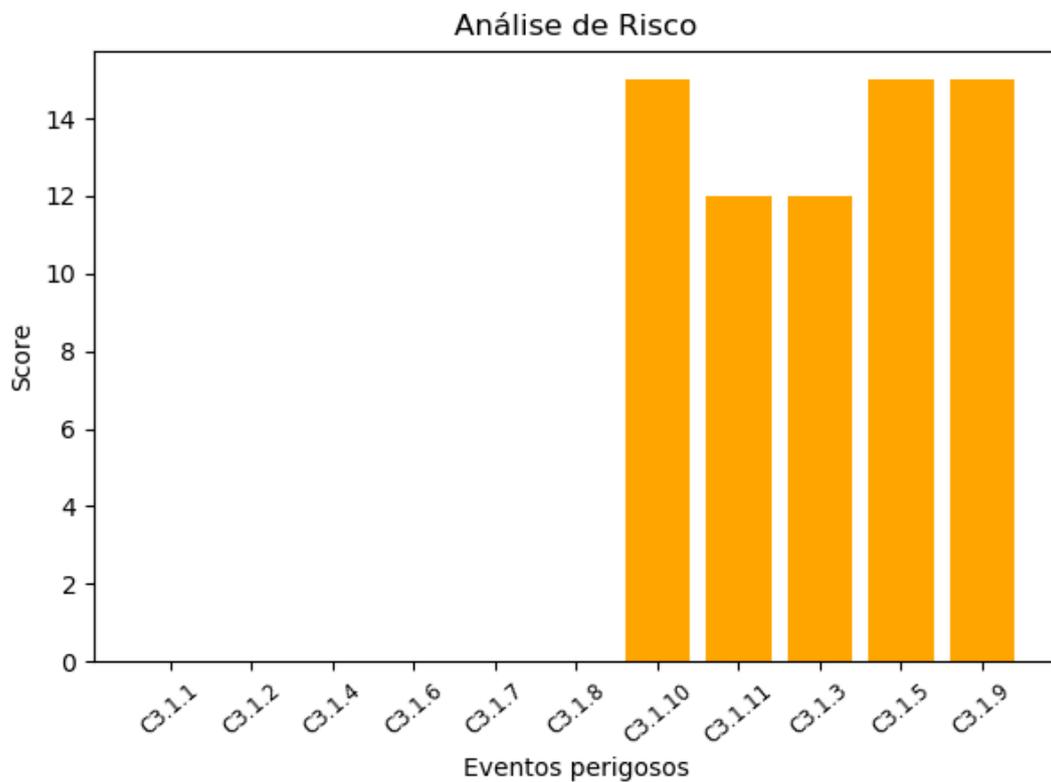


Figura 83. Gráfico dos resultados para reservatório de água bruta (C3.1). Setor censitário 310910505000011 (Bairro Boa Vista dos Goes e Bairro Boa Vista dos Barbosas)

Setor censitário 310910505000010 (Bairro Boa Vista dos Crispins e Bairro Piquiras Acima)

Quadro 22. Análise de risco referente aos componentes Captação de água superficial: rio; nascentes; lagos. (C1.1), Armazenamento de água bruta (C 3.1) e Distribuição canalizada (D1.1) para o setor censitário 310910505000010.

Elementos	Ident.	Evento perigoso	Score	Avaliação de risco
Captação de água superficial: rio; nascentes; lagos. (C1.1)	C1.1.1	Utilização de agrotóxicos e fertilizantes em torno da fonte de água (Área de Preservação Permanente - APP)	8	médio
	C1.1.4	Falta de placa de aviso sobre captação	15	alto
	C1.1.8	Contaminação fecal através de lixiviação de resíduos humanos ou de animais	9	médio
	C1.1.12	Ocorrência de inundação; inviabilização temporária na captação de água	6	médio
	C1.1.14	Presença de animais em torno da fonte (até 10 metros)	9	médio
	C1.1.21	Chuvas intensas com elevação na turbidez da água	6	médio

C1.1 Água Superficial: rios nascentes e lagos.

Resultados - Avaliação Sistema - C1.1 (1)

Resultados: C1.1 - Água superficial: rios; nascentes; lagos

Evento Perigoso	Classificação de risco	Score	Medidas de Controle
C1.1.1	< MÉDIO >	8.0	Firmar acordo com os usuários para não permitir uso de substâncias perigosas perto da fonte (APP)
C1.1.2	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.3	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.4	< ALTO >	15.0	Fixar placa de sinalização.
C1.1.5	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.6	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.7	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.8	< MÉDIO >	9.0	Coibir defecação a céu aberto na comunidade; verificar distância de fossas; restringir quintais com animais perto da fonte (APP); cercar devidamente o
C1.1.9	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.10	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.11	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.12	< MÉDIO >	6.0	Estabelecer medidas de alerta e prevenção
C1.1.13	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.14	< MÉDIO >	9.0	Promover proteção adequada do local
C1.1.15	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.16	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.17	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.18	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.19	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.20	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.21	< MÉDIO >	6.0	Estabelecer medidas de alerta e prevenção

Figura 84. Resultados para água superficial: rio; nascentes; lagos (C1.1 - 1). Setor censitário 310910505000010 (Bairro Boa Vista dos Crispins e Bairro Piquiras Acima)

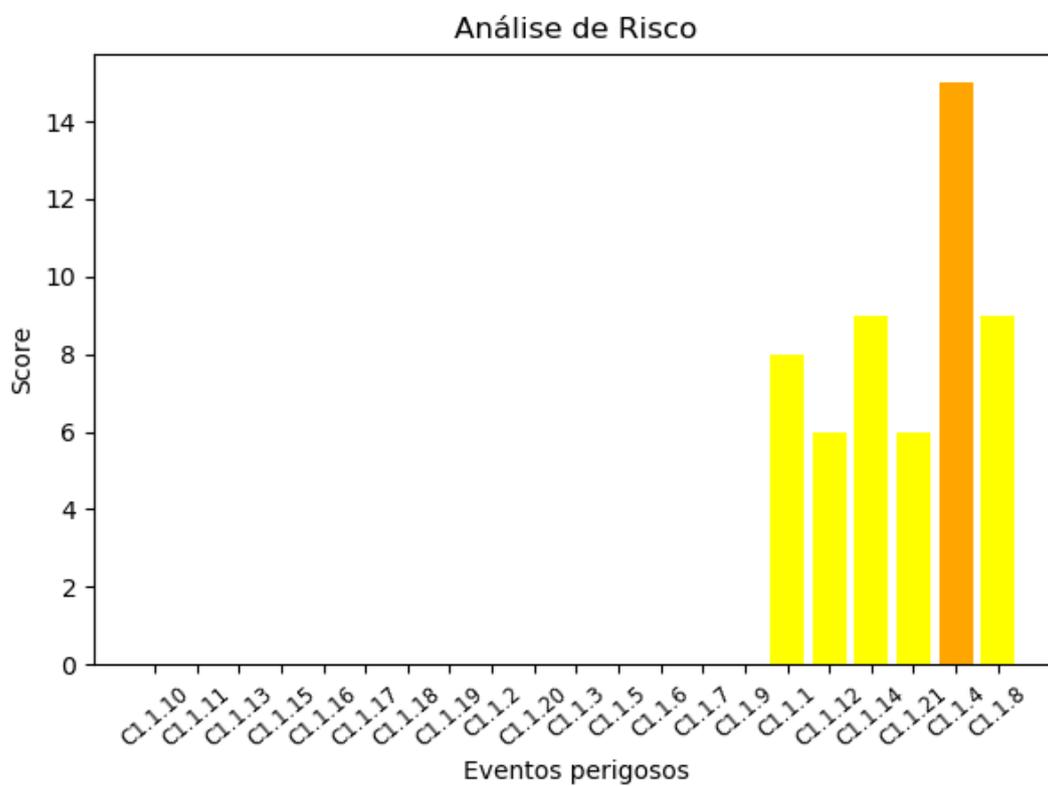


Figura 85. Gráfico dos resultados para água superficial: rio; nascentes; lagos (C1.1 - 1). Setor censitário 310910505000010 (Bairro Boa Vista dos Crispins e Bairro Piquiras Acima)

Ouro Fino

Setor censitário 314600805000034 (Bairro dos Pitangas)

Quadro 23. Análise de risco referente aos componentes Captação de água superficial: rio; nascentes; lagos. (C1.1), Captação de água subterrânea: poço escavado (C 2.1) e Distribuição canalizada (D1.1) para o setor censitário 314600805000034.

Elementos	Ident.	Evento perigoso	Score	Avaliação de risco
Captação de água superficial: rio; nascentes; lagos. (C1.1)	<i>C1.1.4</i>	Falta de placa de aviso sobre captação	10	alto
	<i>C1.1.21</i>	Chuvas intensas com elevação na turbidez da água	4	baixo
	<i>C1.1.22</i>	Falha mecânica e estrutural no sistema de captação	5	baixo
	<i>C1.1.24</i>	Entupimentos e/ou assoreamento na área de captação	4	baixo
Captação de água subterrânea: poço escavado (C 2.1)	<i>C2.1.1</i>	Presença de água estagnada ao redor do poço (3 metros), devido à drenagem insuficiente	15	alto
	<i>C2.1.2</i>	Presença de água estagnada ao redor do poço (3 metros), devido à drenagem insuficiente	15	alto
	<i>C2.1.3</i>	Presença de água estagnada ao redor do poço (3 metros), devido à drenagem insuficiente	15	alto
	<i>C2.1.7</i>	Entrada de animais por meio de tampas ou orifícios.	15	alto
	<i>C2.1.8</i>	Ausência de proteção de concreto em volta do poço e/ou problema com canal de drenagem	15	alto
	<i>C2.1.9</i>	Presença de animais ao redor do poço (até 10 metros)	15	alto
	<i>C2.1.12</i>	Ausência de tampa de proteção do poço, apresentando rachaduras ou insalubre	15	alto
	<i>C2.1.14</i>	Ocorrência de poços sem parapeitos adequados	15	alto
	<i>C2.1.26</i>	Proteção de concreto em volta do topo do poço menor que 2 metros de diâmetro	15	alto
	<i>C2.1.27</i>	Proteção de concreto em volta do topo do poço com rachaduras	15	alto
Distribuição canalizada (D1.1)	D1.1.1	Presença de ar na tubulação/ variação de pressão no sistema	4	baixo
	D1.1.3	Contaminação da água por meio de canalização danificada	4	baixo
	D1.1.4	Contaminação da água por meio de canalização exposta	4	baixo
	D1.1.5	Formação de biofilme por falta de cloro	4	baixo
	D1.1.8	Existência de ponto de vazamento (perda de água)	5	baixo

C1.1 Água Superficial: rios nascentes e lagos.

Resultados - Avaliação Sistema - C1.1 (1)

Resultados: C1.1 - Água superficial: rios; nascentes; lagos

Evento Perigoso	Classificação de risco	Score	Medidas de Controle
C1.1.1	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.2	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.3	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.4	< ALTO >	10.0	Fixar placa de sinalização.
C1.1.5	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.6	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.7	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.8	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.9	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.10	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.11	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.12	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.13	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.14	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.15	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.16	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.17	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.18	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.19	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.20	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.21	< BAIXO >	4.0	Estabelecer medidas de alerta e prevenção

Salvar (.PDF)
Sair

Figura 86. Resultados para água superficial: rio; nascentes; lagos (C1.1 - 1). Setor censitário 314600805000034 (Bairro dos Pitangas)

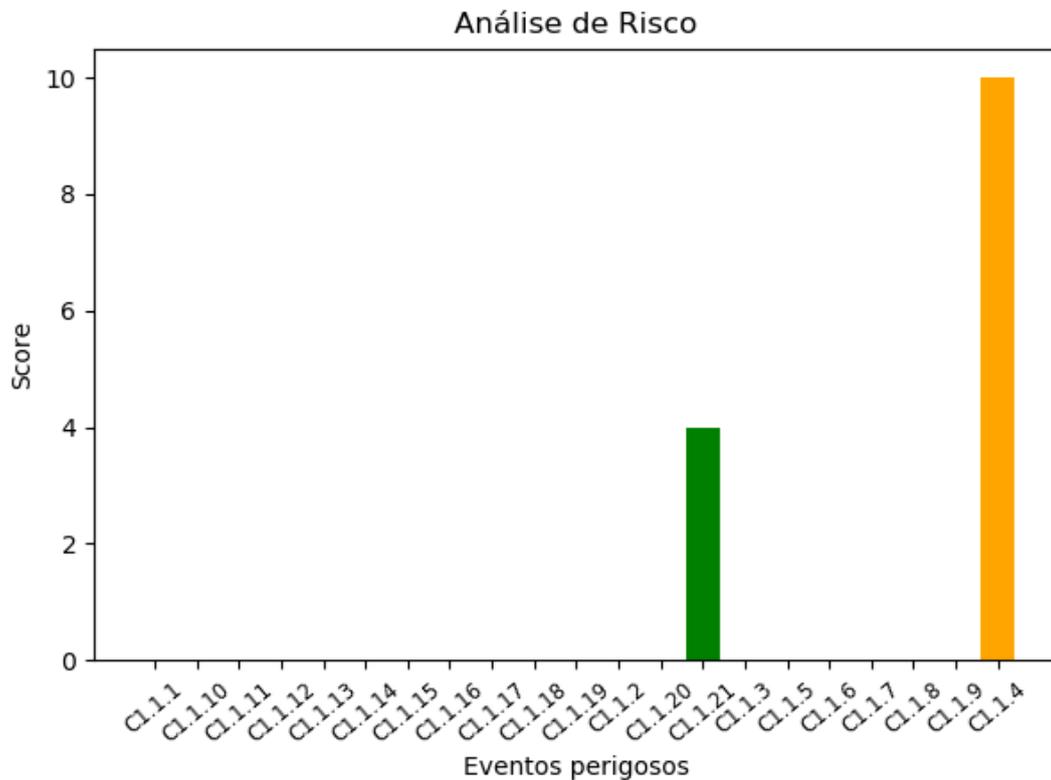


Figura 87. Gráfico dos resultados para água superficial: rio; nascentes; lagos (C1.1 - 1). Setor censitário 314600805000034 (Bairro dos Pitangas)

Resultados - Avaliação Sistema - Ca1.1 (2)

Resultados: Ca1.1 - Água superficial: rios; nascentes; lagos (2)

Evento Perigoso	Classificação de risco	Score	Medidas de Controle
C1.1.22	< BAIXO >	5.0	Realizar manutenção preventiva, inspeções regulares e manter equipamentos reservas.
C1.1.23	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.24	< BAIXO >	4.0	Analisar e coibir atividades degradadoras do solo em torno da fonte; recuperar áreas de preservação permanente (APP)
C1.1.25	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.26	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.27	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.28	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.29	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.30	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C1.1.31	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica

Salvar (.PDF)
Sair

Figura 88. Resultados para água superficial: rio; nascentes; lagos (C1.1 - 2). Setor censitário 314600805000034 (Bairro dos Pitangas)

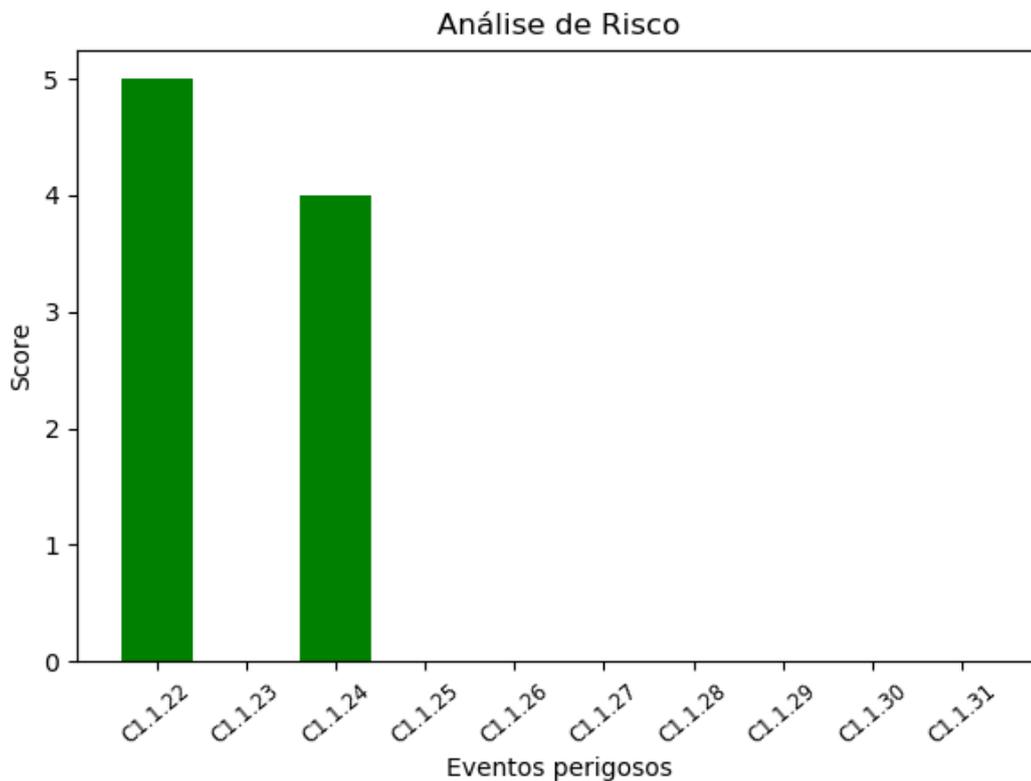


Figura 89. Gráfico dos resultados para água superficial: rio; nascentes; lagos (C1.1 - 2). Setor censitário 314600805000034 (Bairro dos Pitangas)

C2.1 Água Subterrânea: poço escavado (poço caipira)

Resultados - Avaliação Sistema - C2.1 (1)

Resultados: C2.1 - Manancial subterrâneo: poço escavado (poço caipira)

Evento Perigoso	Classificação de risco	Score	Medidas de Controle
C2.1.1	< ALTO >	15,0	Promover proteção adequada para impedir a contaminação
C2.1.2	< ALTO >	15,0	Garantir a drenagem adequada do local e reparar possíveis rachaduras
C2.1.3	< ALTO >	15,0	Assegurar que o poço esteja acima do nível de inundação; estabelecer drenagem e programa de emergência.
C2.1.4	< Não se aplica >	0,0	Não se aplica
C2.1.5	< Não se aplica >	0,0	Não se aplica
C2.1.6	< Não se aplica >	0,0	Não se aplica
C2.1.7	< ALTO >	15,0	Garantir o fechamento hermético do poço.
C2.1.8	< ALTO >	15,0	Construir proteção de concreto (1 - 2 m)
C2.1.9	< ALTO >	15,0	Garantir proteção adequada do local
C2.1.10	< Não se aplica >	0,0	Não se aplica
C2.1.11	< Não se aplica >	0,0	Não se aplica
C2.1.12	< ALTO >	15,0	Tampar o poço adequadamente e/ou reparar danos
C2.1.13	< Não se aplica >	0,0	Não se aplica
C2.1.14	< ALTO >	15,0	Construir poços com parapeito de pelo menos 1 metro
C2.1.15	< Não se aplica >	0,0	Não se aplica
C2.1.16	< Não se aplica >	0,0	Não se aplica
C2.1.17	< Não se aplica >	0,0	Não se aplica
C2.1.18	< Não se aplica >	0,0	Não se aplica
C2.1.19	< Não se aplica >	0,0	Não se aplica
C2.1.20	< Não se aplica >	0,0	Não se aplica
C2.1.21	< Não se aplica >	0,0	Não se aplica

Salvar (.PDF)
Sair

Figura 90. Resultados para água subterrânea: poço escavado - poço caipira (C2.1 – 1). Setor censitário 314600805000034 (Bairro dos Pitangas)

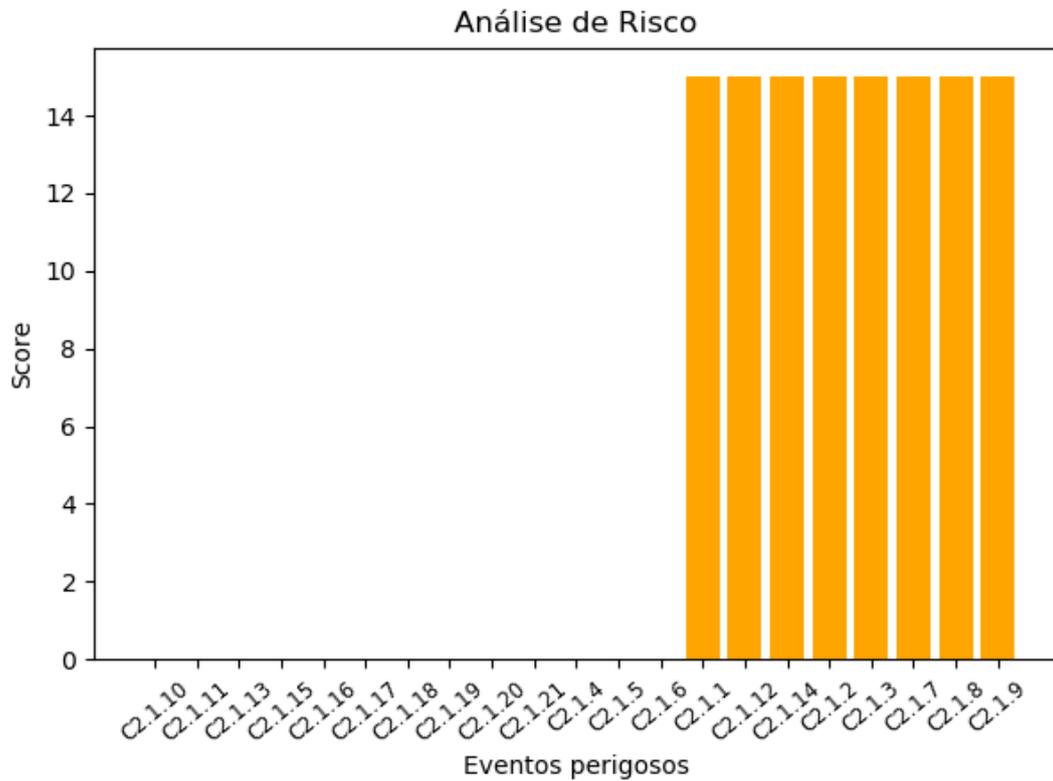


Figura 91. Gráfico dos resultados para água subterrânea: poço escavado - poço caipira (C2.1 – 1). Setor censitário 314600805000034 (Bairro dos Pitangas)

Resultados - Avaliação Sistema - C2.1 (2)

Resultados: C2.1 Manancial subterrâneo: poço escavado (poço caipira) (2)

Evento Perigoso	Classificação de risco	Score	Medidas de Controle
C2.1.22	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C2.1.23	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C2.1.24	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C2.1.25	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
C2.1.26	< ALTO >	15.0	Garantir proteção adequada do local
C2.1.27	< ALTO >	15.0	Garantir proteção adequada do local
C2.1.28	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica

Salvar (.PDF)
Sair

Figura 92. Resultados para água subterrânea: poço escavado - poço caipira (C2.1 – 2). Setor censitário 314600805000034 (Bairro dos Pitangas)

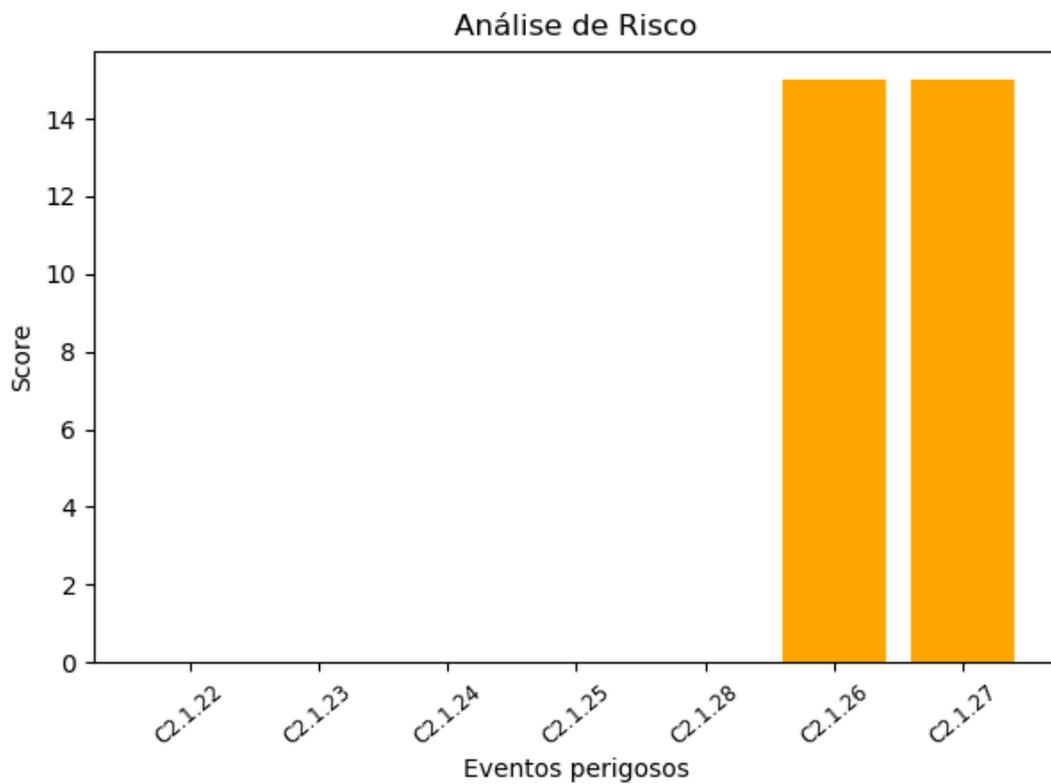


Figura 93. Gráfico dos resultados para água subterrânea: poço escavado - poço caipira (C2.1 – 2). Setor censitário 314600805000034 (Bairro dos Pitangas)

D 1.1 Distribuição canalizada

Resultados - Avaliação Sistema - D1.1

Resultados: D1.1 Operação e distribuição canalizada

Evento Perigoso	Classificação de risco	Score	Medidas de Controle
D1.1.1	< BAIXO >	4.0	Identificar e cadastrar locais com problemas
D1.1.2	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
D1.1.3	< BAIXO >	4.0	Realizar reparo da canalização; utilizar tubos de melhor resistência
D1.1.4	< BAIXO >	4.0	Realizar reparo da canalização; verificar normas e procedimentos corretos para instalação.
D1.1.5	< BAIXO >	4.0	Monitorar níveis de cloro em pontos específicos do sistema
D1.1.6	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
D1.1.7	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
D1.1.8	< BAIXO >	5.0	Reparar danos; utilizar materiais adequados; estabelecer programas de detecção de perdas
D1.1.9	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica
D1.1.10	< Não se aplica >	0.0	Não se aplica

Salvar (.PDF)
Sair

Figura 94. Resultados para operação e distribuição canalizada (D 1.1). Setor censitário 314600805000034 (Bairro dos Pitangas)

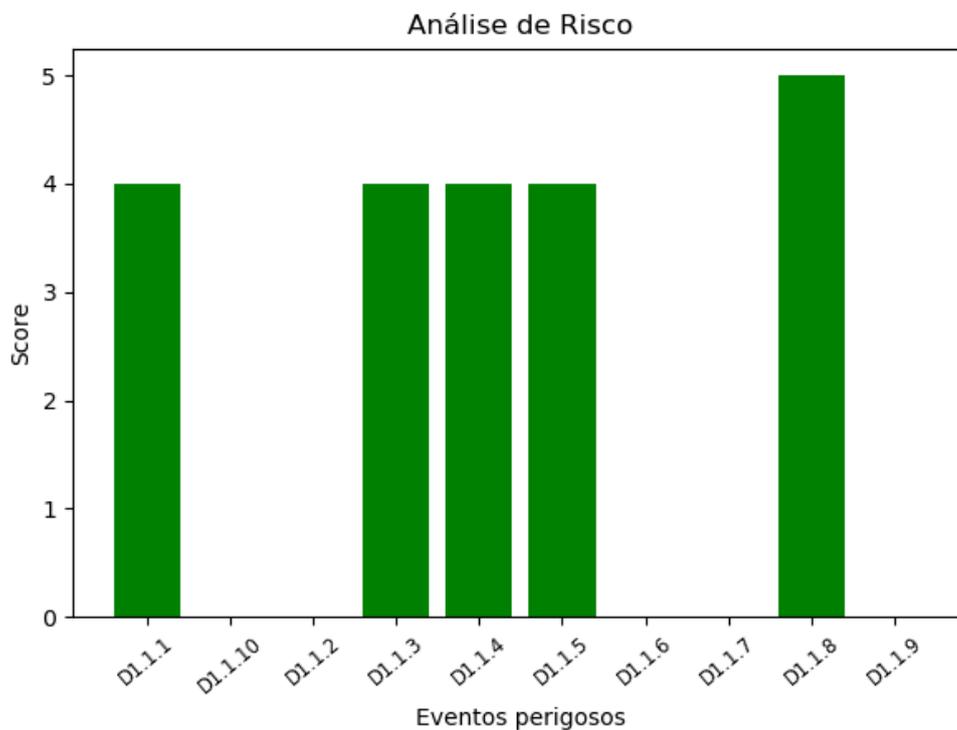


Figura 95. Gráfico dos resultados para operação e distribuição canalizada (D 1.1). Setor censitário 314600805000034 (Bairro dos Pitangas)

Setor censitário 314600805000035 (Bairro Pinhalzinho dos Goes)

Não foram constatados risco de contaminação da água. O Setor possui sistema de distribuição de água canalizado por meio de poço artesiano.

**APÊNDICE F – REGISTRO FOTOGRÁFICO DE ALGUNS CASOS NA AVALIAÇÃO
EM CAMPO NA BHRP.**



Figura 96. Caixa de armazenamento de água bruta sem tampa, próxima ao solo e a estrada, com alto risco da água para consumo humano.



Figura 97. Captação de água para consumo humano é realizada de forma superficial e transportada por gravidade, sem tratamento, através de uma nascente localizada a montante do domicílio.



Figura 98. A água é captada em um poço escavado localizado ao lado da residência. O poço está sem proteção na parte superior, o que pode provocar a entrada de contaminantes da água.



Figura 99. Armazenamento de água bruta em recipiente desprotegido próximo de área de criação de animais sem estar devidamente cercada e protegida.



Figura 100. Armazenamento de água bruta em recipiente desprotegido próximo à estrada com tráfego de veículos automotores e transeuntes.



Figura 101. Água captada em poço caipira sem proteção adequada, permitindo acesso de animais e outras pessoas, estando expostos a contaminação



Figura 102. Área de captação de água bruta sem proteção, com danificação da tampa, sem proteção na área em volta, com presença de criação de animais, próxima à estrada.