



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

ESTIMATIVA DA RECARGA AQUÍFERA NA BACIA DO RIO
RIACHÃO, MG

AUTORA: LILIAN CATONE SOARES

ORIENTAÇÃO: DRA. LEILA NUNES MENEGASSE VELÁSQUEZ

Nº 126

BELO HORIZONTE

Novembro de 2012

LILIAN CATONE SOARES

***ESTIMATIVA DA RECARGA AQUÍFERA NA BACIA DO RIO
RIACHÃO, MG.***

Dissertação de Mestrado apresentada ao Departamento de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito à obtenção do título de mestre em Geologia.

Área de concentração: Geologia Econômica e Aplicada

Linha de Pesquisa: Hidrogeologia

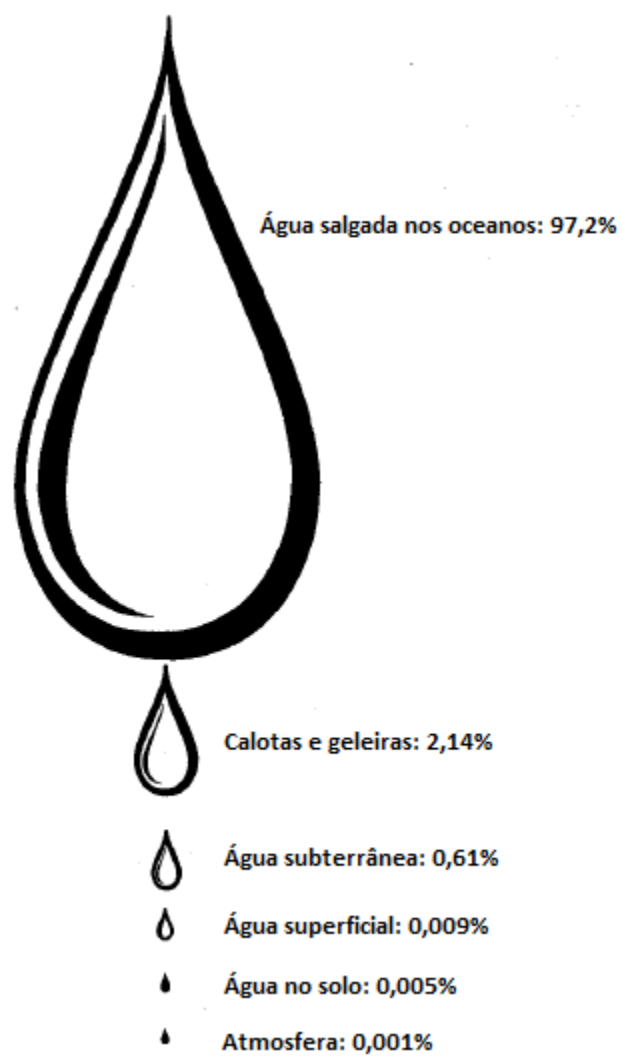
Orientadora: Dra. Leila Nunes Menegasse Velásquez

Belo Horizonte, novembro de 2012.

DEDICATÓRIA

À minha mãe, que me apoiou desde o início e sempre.

À admirável comunidade do Riachão, pelas suas lutas e conquistas.



Fonte: FETTER (1994)

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Minas Gerais, especialmente ao Instituto de Geociências – IGC e ao Programa de Pós-Graduação em Geologia, pela oportunidade.

À professora Dra. Leila Nunes Menegasse Velásquez, pela orientação, transmissão de conhecimentos, paciência e acompanhamento na realização desta dissertação.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES pelo fornecimento da bolsa de estudos.

Ao Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM pela grande oportunidade de trabalhar na bacia do Riachão, fornecendo os dados de monitoramento hidrológico e o suporte no trabalho de campo, e a toda a sua equipe que colaborou em algum momento, em especial à geóloga Maricene Menezes Paixão, pelo apoio e acompanhamento ao longo do trabalho; à geóloga Goretta Haussmann e ao hidrometrista Geraldo João por suas contribuições valiosas e companhias no trabalho de campo.

Às comunidades do Riachão pela grande hospitalidade, gentileza e colaboração durante o trabalho de campo, em especial aos observadores das estações fluviométricas e aos moradores da região que conduziram às estações e a lugares específicos do rio Riachão, desde sua nascente na lagoa Tiririca até sua foz com o rio Pacuí, e também por prestarem depoimentos de grande relevância no entendimento da dinâmica e história do rio: ao Geraldo (“Gera”, da Fazenda Riachão), à Ivaneide Pereira (do bar do Nóca), ao vereador “Piu do Riacho” (da comunidade Riacho das Pedras), ao Humberto, Paulo e Kenji Fujii (da Fazenda Boquerão - Lagoa Tiririca) e ao primoroso Joaquim Tarcísio Gusmão (o “Coca”), figura ativa na defesa do Riachão, por apresentar a belíssima nascente desse rio e por compartilhar suas histórias e conhecimentos.

Ao geólogo Paulo Rodrigues Horta, do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear - CDTN, pelo seu ilustre acompanhamento e suporte no geoprocessamento.

Ao hidrólogo Márcio Cândido, do Serviço Geológico do Brasil- CPRM, pelo suporte inicial com os estudos hidrológicos e fornecimento de dados bibliográficos.

Aos amigos Thiago Silva, Carlos Cantarutti, Daniela Couto, Jucineide Dagmar e Moisés Gomes pelas contribuições intelectuais, suporte, confiança e força.

Aos amigos de pós-graduação Estefânia Fernandes, Sérgio Melo, João Pedro Marques, Letícia Teixeira e Mário Iglesias, pelo apoio e companheirismo, compartilhamento de dados, de

bibliografias e de conhecimentos, pelas viagens, trabalhos de campos e bons momentos passados juntos.

Em especial ao hidrogeólogo Rodrigo Sérgio de Paula, pelo companheirismo, compreensão, suporte e por todo apoio moral e intelectual prestado ao longo da execução desse trabalho; e aos meus pais e à minha irmã, pelo apoio, paciência e compreensão.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. LOCALIZAÇÃO E ACESSO.....	1
1.2. OBJETIVOS	3
1.3. JUSTIFICATIVA	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1. RECARGA AQUÍFERA	5
2.2. HISTÓRICO DO RIO RIACHÃO.....	7
2.3. TRABALHOS TÉCNICOS RELACIONADOS ÀS ATIVIDADES DO IGAM NA BACIA DO RIACHÃO	11
2.4. ESTUDOS GERAIS REALIZADOS NA BACIA DO RIACHÃO	14
3. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA REGIONAL	16
3.1. CLIMA.....	16
3.2. CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E HIDROGEOLÓGICA.....	20
3.2.1. <i>Estratigrafia</i>	22
3.2.2. <i>Arcabouço Estrutural</i>	25
3.2.3. <i>Domínios Hidrogeológicos.....</i>	26
4. MATERIAIS E MÉTODOS	30
4.1. LEVANTAMENTOS DE DADOS BIBLIOGRÁFICOS BÁSICOS	30
4.1.1. <i>Estudos Anteriores na Área</i>	32
4.1.2. <i>Bases Cartográficas</i>	32
4.1.3. <i>Dados climáticos</i>	34
4.1.4. <i>Cadastro de poços e outorgas</i>	35
4.2. CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA DA BACIA	36
4.2.1. <i>Caracterização Morfométrica</i>	36
4.2.2. <i>Caracterização do Regime Pluviométrico.....</i>	38
4.3. CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DA BACIA	40
4.3.1. <i>Avaliação da recarga</i>	42
4.3.1.1. <i>Método do balanço hídrico-climático.....</i>	42
4.3.1.2. <i>Método da recessão sazonal ou método de Meyboom (1961).....</i>	48
4.3.1.3. <i>Método da Flutuação do nível d' água</i>	51

4.3.1.4.	Fluxo de base como uma aproximação para a recarga	52
4.3.1.5.	Método APLIS.....	53
4.3.2.	<i>Estudo hidrogeoquímico e caracterização da qualidade da água</i>	55
4.3.2.1.	Tratamento dos dados	55
4.3.2.2.	Representação dos dados	56
4.3.2.3.	Qualidade das águas	60
5.	DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS.....	65
5.1.	POTAMOGRAFIA E FISIOGRAFIA.....	65
5.2.	REGIME PLUVIOMÉTRICO.....	73
5.3.	GEOLOGIA E HIDROGEOLOGIA DA BACIA	83
5.3.1.	<i>O Alto-médio Riachão</i>	88
5.3.2.	<i>O Baixo-médio Riachão</i>	89
5.3.3.	<i>Capacidade de produção dos poços</i>	93
5.3.4.	<i>Potenciometria</i>	95
5.3.5.	<i>Lineamentos estruturais</i>	96
5.4.	AVALIAÇÃO DA RECARGA.....	102
5.4.1.	<i>Método do Balanço Hídrico-Climatológico da Bacia</i>	102
5.4.1.1.	Precipitação (P).....	102
5.4.1.2.	Evapotranspiração Real (ETR).....	105
5.4.1.3.	Escoamento Superficial (ES).....	110
5.4.1.4.	Recarga (I)	118
5.4.2.	<i>Método da recessão sazonal ou método de Meyboom (1961)</i>	119
5.4.2.1.	Estação FISCAL 014.....	119
5.4.2.2.	Estação FISCAL 013.....	121
5.4.3.	<i>Método da Flutuação do nível d' água (Water-Table Fluctuation Method)</i> ..	122
5.4.3.1.	Poço NBSM.....	124
5.4.3.2.	Poço KFSM	125
5.4.4.	<i>Fluxo de base como uma aproximação para recarga</i>	126
5.4.5.	<i>Método APLIS</i>	126
5.4.6.	<i>Comparação entre os métodos de estimativa de recarga</i>	128
5.5.	CARACTERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA E QUALIDADE DA ÁGUA.....	133
5.5.1.	<i>Águas subterrâneas</i>	135
5.5.2.	<i>Águas superficiais</i>	140

6. CONCLUSÕES.....	144
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES.....	147
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	151
9. ANEXOS	160

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.1: Localização em imagem de satélite e acesso para a área da sub-bacia do rio Riachão.</i>	<i>1</i>
<i>Figura 1.2: Mapa de localização da sub-bacia do Riachão em relação aos municípios mineiros e ao rio São Francisco.</i>	<i>2</i>
<i>Figura 3.1: Localização da estação climatológica de Montes Claros em relação à bacia do Riachão.</i>	<i>16</i>
<i>Figura 3.2: Mapa climático de Minas Gerais com a localização da bacia do Riachão.</i>	<i>17</i>
<i>Figura 3.3: Mapa de vegetação de Minas Gerais com a localização da bacia do Riachão.</i>	<i>18</i>
<i>Figura 3.4: Vegetação de cerrado, Fazenda Santa Cruz.</i>	<i>18</i>
<i>Figura 3.5: Vegetação de cerrado, Fazenda Santa Cruz.</i>	<i>18</i>
<i>Figura 3.6: Coluna estratigráfica simplificada da bacia intracratônica do São Francisco, enfatizando o empilhamento e a constituição das grandes unidades de preenchimento.</i>	<i>21</i>
<i>Figura 3.7: Coluna estratigráfica do Grupo Bambuí.</i>	<i>23</i>
<i>Figura 3.8: Localização da área de estudo no Cráton São Francisco.</i>	<i>26</i>
<i>Figura 3.9: Mapa de Sistemas aquíferos na da Bacia do Riachão.</i>	<i>29</i>
<i>Figura 4.1: Fluxograma da metodologia desse trabalho.</i>	<i>31</i>
<i>Figura 4.2: Localização e articulação das cartas topográficas escala 1:100.000 da área de abrangência da bacia do rio Riachão.</i>	<i>33</i>
<i>Figura 4.3: Hidrograma tipo.</i>	<i>46</i>
<i>Figura 4.4: Separação de hidrograma pelo método Sliding Interval.</i>	<i>48</i>
<i>Figura 4.5: Hidrograma típico mostrando o período de recessão do fluxo de base.</i>	<i>49</i>
<i>Figura 4.6: Hidrograma hipotético semi-logarítmico mostrando a recessão do fluxo de base.</i>	<i>50</i>
<i>Figura 4.7: Determinação da elevação do nível d'água.</i>	<i>52</i>
<i>Figura 4.8: Sistema de classificação hidroquímica para água natural.</i>	<i>57</i>
<i>Figura 4.9: Análise representada no diagrama de Piper.</i>	<i>58</i>
<i>Figura 4.10: Análise representada pelo diagrama de Stiff.</i>	<i>59</i>
<i>Figura 4.11: Diagrama de Gibbs.</i>	<i>60</i>
<i>Figura 4.12: Diagrama do Departamento de Agricultura dos EUA - US Dept. of Agriculture (Diagrama de Wilcox).</i>	<i>64</i>
<i>Figura 5.1: Localização da bacia hidrográfica do Riachão.</i>	<i>65</i>

<i>Figura 5.2: Diagrama unifilar do curso do Riachão, incluindo seus principais afluentes e subafluentes intermitentes e perenes (representação esquemática).....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 5.3: Localização da sub-bacia do Riachão dentro do contexto das Bacias Hidrográficas do Brasil.</i>	<i>68</i>
<i>Figura 5.4: Localização da bacia do Riachão no contexto dos Comitês de Bacias Hidrográficas de Minas Gerais.</i>	<i>68</i>
<i>Figura 5.5: Hierarquia dos cursos d'água da bacia do Riachão de acordo com o sistema de ordenamento proposto por STRAHLER (1957).....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 5.6: Leito seco do córrego Fábrica, no baixo Riachão.....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 5.7: Leito seco e assoreado do córrego Canabrava, afluente do rio São Lourenço.....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 5.8: Mapa hipsométrico da área com destaque para a rede de drenagem da bacia do Riachão.....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 5.9: Lineamentos principais condicionantes do padrão de drenagem.....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 5.10: Mapa com a localização das estações pluviométricas pesquisadas, com destaque para as estações selecionadas para a caracterização pluviométrica regional.</i>	<i>76</i>
<i>Figura 5.11: Mapa de localização das estações pluviométricas selecionadas com suas respectivas médias anuais.</i>	<i>77</i>
<i>Figura 5.12: Gráficos das precipitações médias mensais do período de 1965 a 1991 para as estações selecionadas.</i>	<i>79</i>
<i>Figura 5.13: Mapa de Isoietas para a Bacia do rio Riachão, com base na interpolação das precipitações das estações selecionadas.....</i>	<i>81</i>
<i>Figura 5.14: Representação das áreas utilizadas no cálculo da precipitação média na Bacia do Riachão pelo Método das Isoietas.....</i>	<i>82</i>
<i>Figura 5.15: Mapa geológico regional da área de abrangência da bacia segundo CODEMIG, 2003.</i>	<i>84</i>
<i>Figura 5.16: Mapa de geológico da Bacia do rio Riachão segundo CPRM (2007).....</i>	<i>85</i>
<i>Figura 5.17: Mapa Geológico do vale do Rio São Francisco no norte de Minas Gerais.</i>	<i>86</i>
<i>Figura 5.18: Distribuição dos sistemas aquíferos e localização dos poços tubulares com informação de perfil litológico.....</i>	<i>87</i>
<i>Figura 5.19: Lagoa Tiririca, Fazenda Pau d' Óleo.</i>	<i>89</i>
<i>Figura 5.20: Lagoa Tiririca, Fazenda Pau d' Óleo.</i>	<i>89</i>
<i>Figura 5.21: Mapa de pontos de afloramento mapeados em trabalho de campo no Baixo-Médio Riachão.....</i>	<i>90</i>

<i>Figura 5.22: Afloramento de calcário, próximo à foz com o Pacuí (Ponto 11, 556040E/8183709N).....</i>	<i>91</i>
<i>Figura 5.23: Afloramento de calcário, com recristalização de calcita, próximo à foz com o Pacuí (Ponto 11, 556040E/8183709N).....</i>	<i>91</i>
<i>Figura 5.24: Afloramento de pelito, Fazenda Riachão, próximo à foz com o Pacuí (Ponto 14, 556625E/8182782N).....</i>	<i>91</i>
<i>Figura 5.25: Afloramento de calcário, Riacho das Pedras (Ponto 30, 574281E/8192014N),.....</i>	<i>91</i>
<i>Figura 5.26: Afloramento de calcário, Córrego Taboquinha (Ponto 31, 575068..... E/8190382N).</i>	<i>91</i>
<i>Figura 5.27: Afloramento de calcário, Fazenda Santa Cruz (Ponto 45, 584184E/8191554N). ..</i>	<i>91</i>
<i>Figura 5.28: Afloramento de arenito. Localidade de Barreirinho (Ponto 37, E562857/N8201124).....</i>	<i>93</i>
<i>Figura 5.29: Afloramento de pelito, médio Rio São Lourenço, próximo a Faz. Vargem de Capim (Ponto 34, 567468E/8198281N).....</i>	<i>93</i>
<i>Figura 5.30: Capacidade específica dos poços.....</i>	<i>94</i>
<i>Figura 5.31: Mapa potenciométrico da bacia do Riachão.</i>	<i>95</i>
<i>Figura 5.32: Lineamentos principais obtidos a partir da análise do relevo sombreado da área.</i>	<i>97</i>
<i>Figura 5.33: Diagrama de rosetas dos lineamentos identificados.</i>	<i>98</i>
<i>Figura 5.34: Distribuição dos lineamentos NE de acordo com a extensão.....</i>	<i>99</i>
<i>Figura 5.35: Distribuição dos lineamentos NE de acordo com a direção.....</i>	<i>99</i>
<i>Figura 5.36: Localização das estações pluviométricas selecionadas para o cálculo da precipitação média mensal da bacia através do Método de Thiessen.</i>	<i>103</i>
<i>Figura 5.37: Representação dos polígonos de Thiessen e suas respectivas áreas.</i>	<i>104</i>
<i>Figura 5.38: Estação pluviométrica FISCAL020 (Pluviômetro do “Coca”). Ao centro e a direita o Sr. Joaquim Tarcísio, o “Coca”, morador e observador da estação.</i>	<i>105</i>
<i>Figura 5.39: Gráfico das temperaturas mensais calculadas a partir das temperaturas diárias compensadas e comparação com as normais climatológicas.....</i>	<i>107</i>
<i>Figura 5.40: Gráficos de Pluviometria, Temperatura, ETP e ETR mensais.</i>	<i>109</i>
<i>Figura 5.41: Localização das estações fluviométricas.</i>	<i>110</i>
<i>Figura 5.42: Estações fluviométricas FISCAL 014, FISCAL 013 e FISCAL 020.....</i>	<i>111</i>
<i>Figura 5.43: Curvas-chaves das estações fluviométricas FISCAL 013, FISCAL 014 e FISCAL 020.</i>	<i>116</i>
<i>Figura 5.44: Representação da área de drenagem das estações fluviométricas.....</i>	<i>117</i>

<i>Figura 5.45: Hidrograma da estação FISCAL 014 (2007-2008).</i>	119
<i>Figura 5.46: Hidrograma da estação FISCAL 013 (2007-2008).</i>	121
<i>Figura 5.47: Localização dos poços tubulares utilizados no método WTF.</i>	123
<i>Figura 5.48: Gráfico da variação do nível d'água no poço NBSM.</i>	124
<i>Figura 5.49: Gráfico da variação do nível d'água no poço KFSM.</i>	125
<i>Figura 5.50: Distribuição das classes de altitudes na bacia.</i>	127
<i>Figura 5.51: Localização dos pontos de monitoramento de qualidade das águas na bacia do Riachão.</i>	133
<i>Figura 5.52: Classificação das fácies hidroquímicas segundo os cátions e ânions dominantes.</i>	136
<i>Figura 5.53: Mapa hidrogeoquímico da bacia do Riachão.</i>	137
<i>Figura 5.54: Classificação das águas subterrâneas em relação ao risco de salinidade.</i>	139
<i>Figura 5.55: Diagramas catiônico e aniônico de GIBBS (1970) para as amostras analisadas.</i>	140
<i>Figura 5.56: Classificação das águas superficiais em relação ao risco de salinidade.</i>	142

ÍNDICE DE TABELAS

<i>Tabela 2.1: Dados das antigas estações fluviométricas no rio Riachão.</i>	12
<i>Tabela 2.2: Dados das novas estações fluviométricas no rio Riachão.</i>	13
<i>Tabela 3.1: Normais climatológicas da estação climatológica de Montes Claros.</i>	17
<i>Tabela 4.1: Classes e pontuação dos parâmetros utilizados.</i>	53
<i>Tabela 4.2: Parâmetros avaliados no cálculo do IQA.</i>	62
<i>Tabela 4.3: Avaliação da qualidade da água segundo o IQA.</i>	62
<i>Tabela 5.1: Caracterização dos cursos da rede de drenagem da bacia do Riachão.</i>	69
<i>Tabela 5.2: Características Morfométricas calculadas para a bacia do Riachão.</i>	69
<i>Tabela 5.3: Dados gerais das estações pluviométricas pesquisadas no estudo.</i>	74
<i>Tabela 5.4: Dados gerais das estações pluviométricas pesquisadas no estudo (continuação).</i>	75
<i>Tabela 5.5: Precipitação média anual (1965-1991) para cada estação selecionada.</i>	77
<i>Tabela 5.6: Precipitação média anual na Bacia do Riachão (1965-1991).</i>	78
<i>Tabela 5.7: Valores das áreas calculadas.</i>	82
<i>Tabela 5.8: Valores das alturas das precipitações e das médias entre cada par de isoietas.</i>	82
<i>Tabela 5.9: Valores de extensão e azimute medidos nos lineamentos identificados.</i>	98
<i>Tabela 5.10: Direções principais observadas nos pelitos.</i>	100

<i>Tabela 5.11: Direções principais observadas nos calcários.</i>	<i>100</i>
<i>Tabela 5.12: Relação entre as classes de lineamentos e as famílias de fraturas.</i>	<i>101</i>
<i>Tabela 5.13: Dados cadastrais das estações pluviométricas utilizadas para o cálculo do balanço-hídrico climatológico.....</i>	<i>102</i>
<i>Tabela 5.14: Valores de precipitação mensal (período 2007-2010) para as estações selecionadas para o balanço hídrico-climatológico.....</i>	<i>103</i>
<i>Tabela 5.15: Valores de precipitação mensal e anual na bacia (período 2007-2010) segundo o método de Thiessen.....</i>	<i>104</i>
<i>Tabela 5.16: Temperaturas mensais calculadas a partir das temperaturas diárias compensadas e comparação com as Normais Climatológicas (1969-1990).....</i>	<i>106</i>
<i>Tabela 5.17: Valores dos parâmetros do balanço hídrico-climatológico para o ano hidrológico de outubro de 2007 a setembro de 2008.</i>	<i>107</i>
<i>Tabela 5.18: Valores dos parâmetros do balanço hídrico-climatológico para o ano hidrológico de outubro de 2008 a setembro de 2009.</i>	<i>108</i>
<i>Tabela 5.19: Valores dos parâmetros do balanço hídrico-climatológico para o ano hidrológico de outubro de 2009 a setembro de 2010.</i>	<i>108</i>
<i>Tabela 5.20: Coordenadas de localização das estações fluviométricas.....</i>	<i>110</i>
<i>Tabela 5.21: Dados de monitoramento da Estação Fluviométrica FISCAL13 (2000 a 2005)...</i>	<i>113</i>
<i>Tabela 5.22: Dados de monitoramento da Estação Fluviométrica FISCAL14 (2007 a 2010)...</i>	<i>114</i>
<i>Tabela 5.23: Dados de monitoramento da Estação Fluviométrica FISCAL20 (2007 a 2010)...</i>	<i>115</i>
<i>Tabela 5.24: Parâmetros utilizados na separação dos hidrogramas através do Sliding Interval Method.....</i>	<i>117</i>
<i>Tabela 5.25: Valores calculados de escoamento de base e superficial para as estações.....</i>	<i>117</i>
<i>Tabela 5.26: Valores de recarga calculados pelo balanço hídrico.</i>	<i>118</i>
<i>Tabela 5.27: Resultados obtidos para o poço NBSM.....</i>	<i>124</i>
<i>Tabela 5.28: Resultados obtidos para o poço KFSM.....</i>	<i>125</i>
<i>Tabela 5.29: Resultados de fluxo de base nas estações fluviométricas utilizadas.....</i>	<i>126</i>
<i>Tabela 5.30: Comparação entre as taxas estimadas de recarga através dos métodos aplicados.</i>	<i>129</i>
<i>Tabela 5.31: Taxas de recarga obtidas através do método APLIS.....</i>	<i>131</i>
<i>Tabela 5.32: Dados gerais dos pontos de monitoramento de água superficial na bacia do Riachão.....</i>	<i>134</i>
<i>Tabela 5.33: Dados gerais dos poços de monitoramento de qualidade de água no Riachão</i>	<i>134</i>

<i>Tabela 5.34: Comparação entre o nível estático e a hidroquímica dos poços.</i>	<i>137</i>
<i>Tabela 5.35: Valores calculados de SAR e classes de risco das águas subterrâneas.</i>	<i>139</i>
<i>Tabela 5.36: Valores calculados de SAR e classes de risco para as águas superficiais.</i>	<i>143</i>

RESUMO

Este estudo foi realizado na bacia do Rio Riachão, região norte de Minas Gerais. A região insere-se no contexto geológico do cráton São Francisco e abrange as rochas neoproterozóicas carbonáticas, alternadas com terrígenos, do Grupo Bambuí e os arenitos neocretácicos do Grupo Urucuia. Essas rochas caracterizam, respectivamente, sistemas hidrogeológicos cárstico-fissural e granular. A bacia caracteriza-se por um histórico de escassez e conflito pelo uso d'água. O objetivo principal do estudo foi a estimativa da recarga hídrica através de diferentes métodos: *Balanço-Hídrico*, *Meyboom*, *Aproximação pelo Fluxo de Base*, *Flutuação do Nível d'água (WTF-Water Table Fluctuation)* e *APLIS*. Em termos de porcentagem da precipitação, os métodos *Meyboom*, *Aproximação pelo Fluxo de Base* e *WTF* resultaram em taxas de recarga consideradas baixas (entre 2 e 8%), o método do *Balanço hídrico* em taxas consideradas médias (2 a 27 %), e o método *APLIS* em taxas consideradas elevadas (25 a 45%). A aplicação de diferentes métodos possibilitou a estimativa de uma taxa de recarga mínima esperada para área, bem como de um potencial máximo; além da avaliação de vantagens e limitações de cada método.

PALAVRAS-CHAVE

Rio Riachão, recarga, aquífero cárstico-fissural, balanço-hídrico.

ABSTRACT

This study was conducted in Riachão River basin, northern Minas Gerais. The region is part of the geological context of the São Francisco Craton and covers Neoproterozoic carbonate rocks alternating with terrigenous rocks of Bambuí Group, and Late Cretaceous sandstones Urucua Group. These rocks characterize a fissure-karst and granular hydrogeological systems, respectively. The basin is characterized by a history of shortage and conflict over water use. The main objective of the study was recharge water estimation through different methods: Water Budget, Meyboom, Stream Base Flow as a Proxy for Recharge, Water Table Fluctuation (WTF) and APLIS. Recharges rates of precipitation estimated by Meyboom, Stream Base Flow as a Proxy for Recharge and WTF methods was considered low (between 2 and 8%) and recharges rates estimated by Water Budget method and APLIS method was considered medium (2 to 27 %) and high (25 to 45%), respectively. The application of different methods allowed the estimation of a minimum recharge rate expected for the area, as well as a maximum potential, and evaluation of advantages and limitations of each method.

KEYWORDS

Riachão river, recharge, karstic-fissured carbonate aquifer, Water Budget.

1. INTRODUÇÃO

1.1. LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A área de estudo compreende a bacia do rio Riachão, afluente pela margem direita do rio Pacuí, que deságua, por sua vez, na margem direita do rio São Francisco, no norte de Minas Gerais.

O rio Riachão define o limite dos municípios mineiros Coração de Jesus, Brasília de Minas, Mirabela e Montes Claros (**Figura 1.1 e Figura 1.2**). A bacia hidrográfica do Riachão está localizada aproximadamente entre as coordenadas UTM Leste 554500 e 614500, Norte 8210000 e 8155000.

O acesso até área, partindo de Belo Horizonte, é feito pela BR040 e BR135 em direção a Montes Claros. O acesso para região montante da bacia é feito através da comunidade de Pau d' Óleo, cerca de 35 quilômetros depois da cidade de Montes Claros. O acesso para região jusante é feito pelo distrito de Fernão Dias, partindo de Brasília de Minas pela MG145 em direção ao município de Coração de Jesus (**Figura 1.1**).

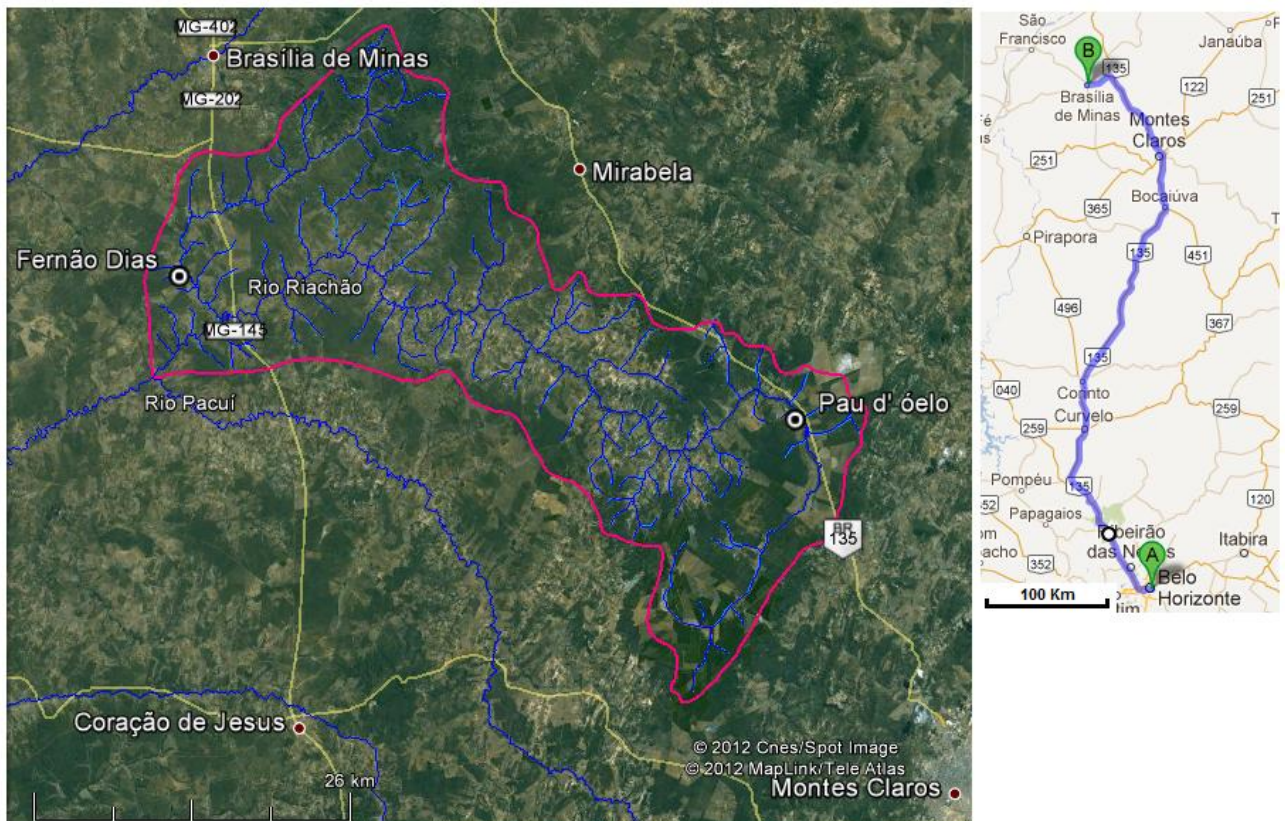


Figura 1.1: Localização em imagem de satélite e acesso para a área da sub-bacia do rio Riachão.
(Fonte: Google Earth, 2012)

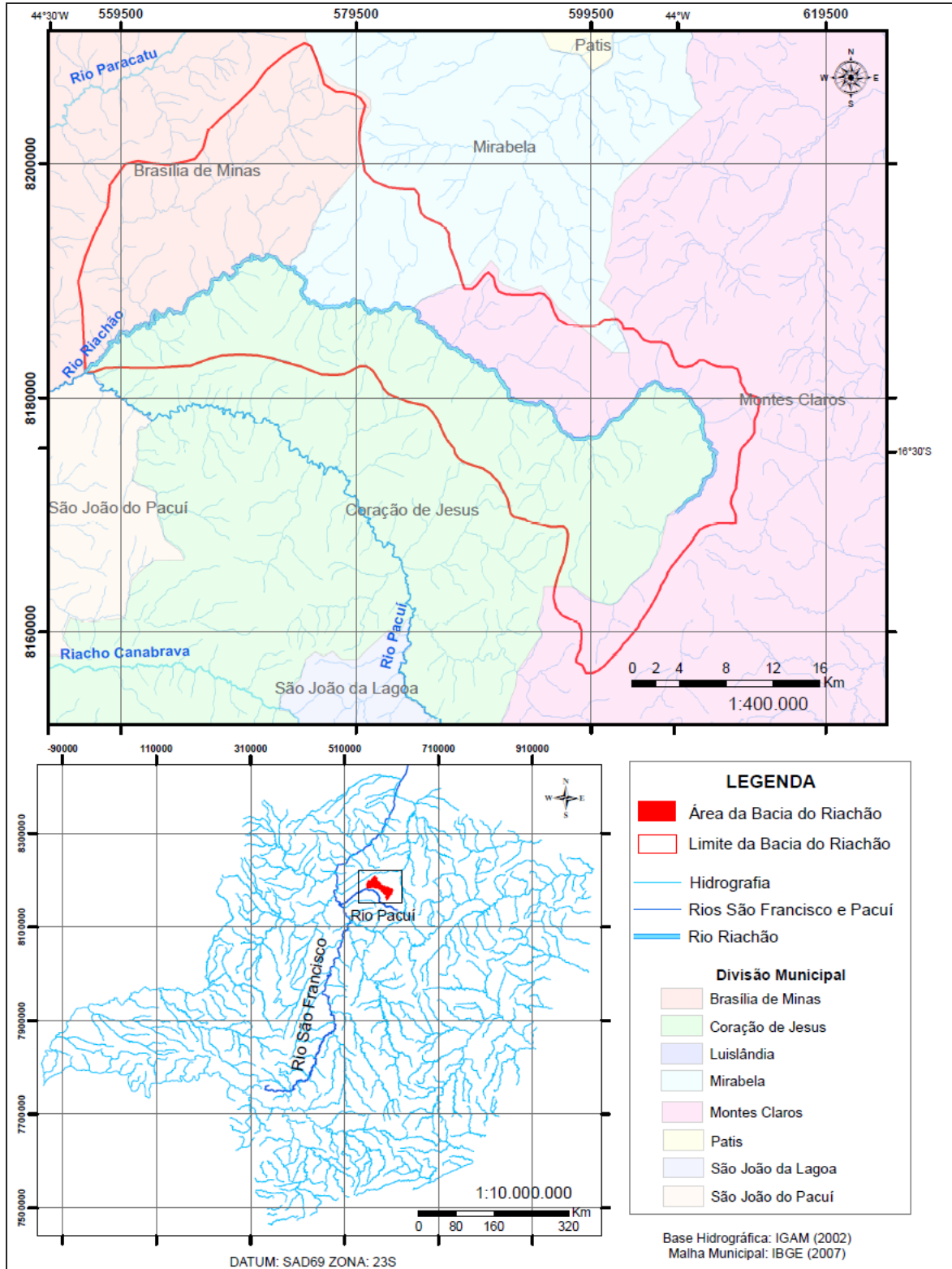


Figura 1.2: Mapa de localização da sub-bacia do Riachão em relação aos municípios mineiros e ao rio São Francisco.

(Fonte: Base Hidrográfica IGAM, Malha Municipal IBGE).

1.2. OBJETIVOS

O objetivo principal do estudo consistiu na estimativa da recarga aquífera na área de abrangência da bacia do rio Riachão. Os objetivos específicos incluíram:

Compilação e avaliação dos dados de monitoramento hidrogeológico e hidroquímico realizado pelo IGAM na bacia do Riachão.

- Caracterização física e hidrogeológica da bacia.
- Caracterização e interpretação das estruturas lineares.
- Comparação dos diferentes métodos para estimativa de recarga aquífera.
- Quantificação dos escoamentos Superficial e Subterrâneo.
- Caracterização hidroquímica do aquífero e da qualidade da água para uso.

1.3. JUSTIFICATIVA

O rio Riachão é um subafluente do rio São Francisco no Norte de Minas Gerais, sendo formado por subafluentes perenes e outros intermitentes.

Segundo AFONSO & JUNIOR (2006), AFONSO (2008), AFONSO (2009), a intermitência do rio Riachão aconteceu por volta do fim da década de 1980, marcando o conflito pelo acesso à água na sub-bacia. Centenas de famílias fazem uso da água da do rio para a irrigação de hortaliças e da lavoura de subsistência, assim como para o abastecimento humano e para a criação de animais. Os moradores locais, especialmente aqueles situados à jusante do Riachão, sofrem com o problema de diminuição de suas águas no período de estiagem. Em determinados pontos, o rio se torna intermitente devido à grande exploração da água para fins de irrigação nas suas nascentes e à degradação ambiental. Interesses opostos, com dois lados extremamente divergentes, ocasionaram uma disputa entre agricultores empresariais e populações tradicionais.

Segundo RAMOS & PAIXÃO (2003), poços perfurados ao redor da principal nascente do rio Riachão, a lagoa cárstica Tiririca, prejudicaram sua descarga de base chegando a interromper o fluxo em trechos considerados perenes. Essas perfurações foram realizadas com incentivos do governo, que buscava solucionar o problema de indisponibilidade de água superficial para atendimento dos projetos de irrigação.

A partir do ano de 2000, buscando dirimir os conflitos e os problemas de escassez de água na região, o Instituto Mineiro de Gestão das Águas - IGAM tomou várias medidas mitigadoras e corretivas, que, dentre outras, incluem um estudo hidrogeológico no alto-médio Riachão, construção de barraginhas para regularização da vazão em certos pontos do rio e instalação de redes de monitoramentos hidrológicos e hidroquímicos para construir um banco de dados para estudos posteriores. Desde então, os dados de monitoramento vem sendo adquiridos e armazenados.

Tendo em vista o histórico de conflitos e escassez de água na bacia, este estudo visa contribuir com as iniciativas de planejamento dos recursos hídricos, por meio de estudos estimativos da recarga aquífera. Visa também trazer mais informações para a compreensão da hidrodinâmica da bacia, estendo sua abordagem para o baixo Riachão e utilizando-se dos dados de monitoramento adquiridos pelo IGAM desde então.

Esse projeto de mestrado é realizado em parceria com a Universidade Federal de Minas Gerais/ Instituto de Geociências - UFMG/IGC e com o IGAM, sob o “Convênio de Cooperação para Pesquisa na Área Ambiental”. O IGAM forneceu um acervo de dados, dentre os quais, dados de monitoramento hidrológico quantitativo e qualitativo e relatórios técnicos. Esse trabalho de mestrado também conta com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A seguir é apresentada uma revisão geral sobre o conceito de recarga aquífera e de métodos utilizados para sua estimativa.

Posteriormente é apresentada uma síntese do histórico do rio Riachão e das atividades realizadas pelo IGAM na bacia. Apresenta-se também uma revisão bibliográfica de outros estudos realizados na bacia. Ressalta-se que as informações reunidas a seguir tem o objetivo de apresentar um histórico documental da bacia, bem como das atividades realizadas na mesma, baseado nos documentos fornecidos pelo IGAM e naqueles encontrados na bibliografia e disponíveis ao público. Portanto, serve para justificar a importância do trabalho na bacia do Riachão.

2.1. RECARGA AQUÍFERA

O termo infiltração refere-se ao movimento da água da superfície para a subsuperfície. Em muitos estudos de zonas não saturadas, termos tais como rede de infiltração ou percolação são usados para descrever o movimento das águas abaixo da zona radicular, e esses termos são frequentemente sinônimo para recarga. O termo recarga é amplamente definido como a água que alcança um aquífero a partir de uma direção (para baixo, para cima ou lateralmente) (LERNER 1997, *apud* SCANLON *et. al.* 2002). SCANLON *et. al.* (2002) enfoca a recarga como o movimento vertical descendente das águas através do nível freático.

Recarga difusa (recarga direta) refere-se à recarga derivada da precipitação ou irrigação que ocorre uniformemente sobre grandes áreas, enquanto a recarga localizada refere-se à recarga concentrada em depressões topográficas, tais como rios, lagos e planícies. Algumas classificações restringem o termo recarga localizada para pequenas depressões ou riachos e usam o termo recarga indireta para aquela que ocorre em rios e lagos (LERNER, 1997 *apud* SCANLON *et. al.* 2002). RUSHTON (1997 *apud* SCANLON *et. al.* 2002) também distingue a recarga real, estimada através de estudos de águas subterrâneas e que alcança o nível freático, da recarga potencial, estimada através de estudos da zona não-saturada e que consiste na água que é infiltrada que pode ou não alcançar o nível freático em função de processos que ocorrem na zona não-saturada.

Segundo FEITOSA & MANOEL-FILHO (1993), o conceito de infiltração foi introduzido no ciclo hidrológico por HORTON (1933), que definiu a capacidade de infiltração potencial como sendo a taxa máxima à qual um dado solo pode absorver a precipitação numa certa condição. A água infiltrada no solo pode ser dividida em três partes. A primeira parte permanece na zona não saturada, a segunda, denominada interfluxo ou escoamento subsuperficial, pode continuar a fluir lateralmente na zona não saturada e alcançar os leitos dos cursos d'água. A terceira parte pode percolar até o nível freático, constituindo a recarga aquífera.

Diversos métodos são propostos na literatura para se estimar a recarga aquífera. O Programa de Pesquisas de Água Subterrânea do Serviço Geológico dos Estados Unidos cita vários métodos que incluem métodos através de balanço hídrico, águas subterrâneas, vazões de rios e traçadores. Vários estudos empregando estes métodos estão disponíveis na literatura, conforme apresentado a seguir.

- I) Métodos de Balanço Hídrico (*Water Budget*): avaliam parâmetros de entrada e saída de água no sistema (precipitação, evaporação do solo, transpiração das plantas, escoamento, interceptação pluviométrica pelas plantas, sublimação da neve) além da variação do armazenamento (SCANLON *et.al.*, 2002; SCANLON *et.al.*, 2003; RISSER, *et. al.*, 2005; VACCARO, 2007; RISSER, 2008).
- II) Métodos diretos: envolvem diretamente as águas subterrâneas, como o método da flutuação do nível d'água (WTF- *Water-Table Fluctuations*), que estima a recarga através da variação do nível d'água observada em poços tubulares profundos (HEALY & COOK, 2002; DELIN *et. al.*, 2007).
- III) Métodos de hidrogramas: utilizam-se de informações de vazões de rios, como o método da recessão sazonal de MEYBOOM (1961), aplicado nos trabalhos de MAU & WINTER (1997), CAMPOS *et. al.* (2006) e GUANABARA (2011); e a simples aproximação da recarga pelo escoamento de base (RISSER *et. al.* 2005).
- IV) Métodos de traçadores: consistem em injetar marcadores químicos ou isotópicos no solo e avaliar o perfil de infiltração, como no trabalho realizado por WINTER (2006) que utilizou traçadores ambientais e artificiais, incluindo balanço de massa de cloreto. A temperatura também pode ser usada como um marcador para fornecer informação de

quando a água está fluindo em riachos efêmeros e estimar a infiltração, conforme explicado por SCANLON *et.al.* (2003).

Outro método que tem sido amplamente utilizado, especialmente em aquíferos carbonáticos na Europa Ocidental (LÓPEZ-GETA *et. al.*, 2004; ANDREO *et. al.*, 2004; MARTOS-ROSILLO *et. al.* 2010), denominado APLIS, combina a análise de parâmetros que influenciam na recarga (altitude, declividade, litotipos, existência de zonas de infiltração preferencial e tipo de solo) a técnicas de geoprocessamento para a representação espacial da recarga.

2.2. HISTÓRICO DO RIO RIACHÃO

As informações apresentadas a seguir sobre o histórico da bacia do rio Riachão foram retiradas de diversos trabalhos e artigos, que incluem os relatórios internos do IGAM, intitulados “*Breve histórico referente à bacia hidrográfica do rio Riachão*” elaborado por Marcus Vinicius Cristelli Moura, consultor técnico da DvRC/IGAM, em abril de 2005; “*Gerenciamento de Riscos e conflitos pelo uso da água uma experiência local*”, elaborado pelo então diretor de controle das águas do IGAM, Aloísio de Araújo Prince, em outubro de 2000; em notícias e no documento intitulado “*Riachão: Trajetória documental de um rio marcado para morrer*” disponibilizados pela Comissão Pastoral da Terra - MG (CPT-MG) e em depoimentos atuais dos moradores das comunidades do entorno da bacia do Riachão.

A bacia do Riachão sofreu diversas intervenções antrópicas ao longo dos anos, sendo que o uso e a ocupação do solo foram realizados de forma a contribuir para uma diminuição da oferta de água. O uso dos recursos hídricos intensificou-se na década de 90 com a instalação de projetos de irrigação no entorno da Lagoa Tiririca (nascente do rio Riachão), gerando, a partir de então, um conflito pelo uso das águas entre os agricultores irrigantes situados no entorno da Lagoa e os pequenos agricultores a jusante.

Em agosto de 1991 moradores da comunidade de Pau D’óleo, em Montes Claros, e da comunidade do Riachão, em Mirabela, reclamam que o nível do rio está baixando quando três pivôs centrais de propriedade de um agricultor irrigante começam a funcionar na Lagoa da Tiririca, nascente do rio Riachão. Ainda em 1991, a CODEVASF realiza um estudo preliminar na lagoa da Tiririca para implantação de uma barragem e constata a degradação da flora e da

fauna nativas, o processo de assoreamento da lagoa, e a existência de três unidades de pivôs centrais instaladas. Em 1992 a produção do “feijão de inverno” é afetada com a diminuição do nível d’água do Riachão. Preocupados, os moradores fazem isoladamente contatos verbais e através de telefone ao CODEMA de Montes Claros. Em 1993, mais articulados e com o apoio do STR de Mirabela (Sindicato dos Trabalhadores Rurais), iniciam uma luta que perdurou por mais de dez anos.

Em junho de 1993, a partir de denúncia de moradores da bacia do Riachão, a Polícia Florestal de Montes Claros emite auto de infração contra um proprietário de terra do entorno da Lagoa Tiririca, por destoca, carvoejamento ilegal com corte de pequiizeiros. Nesse mesmo mês, o tal proprietário de terra, que pretende instalar três pivôs centrais em sua propriedade na margem da Lagoa da Tiririca, tem outorga concedida pelo DRH (atual IGAM) para captação de 0,160 m³/s em projeto de irrigação de pivô central. Ainda em junho de 1993, é entregue ao DRH, um ofício de um morador do Riachão, alertando para não autorizar a captação de água na Lagoa da Tiririca sob risco de secar o rio. Em julho de 1993, uma perícia técnica do IEF constata desmate ilegal promovido pelo proprietário de terra em área de reserva e alerta para o risco do projeto contribuir com o secamento do Riachão. Em setembro de 1993, irrigantes fundam a Cooperativa e Associação de Irrigantes com direitos de uso, proteção e conservação da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Riachão. Em novembro desse ano, representantes de 13 comunidades rurais e do STR do município de Mirabela organizam Comissão Pró-Riachão e realizam reunião no CODEMA de Montes Claros apresentando um abaixo assinado com 623 assinaturas reivindicando a suspensão da implantação de três novos pivôs centrais e de outros dois previstos. O CODEMA delibera lacrar moto-bombas (o que não acontece).

Em 1995 o rio “*secou pela primeira vez*”, fato que se repetiu nos anos posteriores. No decorrer desse ano, reuniões, denúncias, propostas e negociações são realizadas intensamente pelas comunidades rurais e sindicatos de trabalhadores rurais.

Em fevereiro de 1996, a FEAM concede licença a um proprietário de terra da região com uma série de condicionantes, entre elas: análise de risco de contaminação de água superficial e subterrânea (que nunca foi realizada) e conclui que é necessário um redimensionamento das concessões visando garantir o acesso aos recursos hídricos. Em março, após ações da comissão Pró Riachão, é publicada, no Diário Oficial do Estado, a deliberação do COPAM n. 44/96 de

suspensão das atividades de irrigação no Riachão até que estejam devidamente licenciadas. Em junho desse ano, o então Secretário do meio ambiente concede “*ad referendum*” licença de operação para irrigante e, em julho, a COPAM autoriza concessão de Licença Ambiental para três proprietários de terras baseando-se em pareceres técnicos e jurídicos da instituição. Em agosto a 3ª Cia de Polícia Florestal de Montes Claros encaminha Boletim de Ocorrência ao Promotor de Justiça e Curador do Meio Ambiente de Montes Claros comunicando o funcionamento de diversas bombas de irrigação nas cabeceiras do Riachão, que funcionam diuturnamente e que encontrou o rio completamente seco cinco quilômetros abaixo. Comunica também a solicitação dos moradores para providência urgente que minimize a seca. Ainda nesse mês, um morador do Riachão encaminha ofício para o então diretor do DRH, solicitando providência urgente contra as irrigações que estão secando o Riachão e prejudicando diversos fazendeiros. Posteriormente, a Comissão Pró-Riachão se reúne com seis irrigantes que assinam um termo de compromisso para reduzir o consumo de água através das irrigações, e em nova reunião dos irrigantes com as comunidades e um vereador é firmado o compromisso de diminuir a retirada de água, após três dias com os pivôs parados. No entanto, em setembro a Comissão Pró-Riachão encaminha ofícios ao então Ministro do Meio Ambiente e ao deputado presidente da Comissão Permanente de Meio Ambiente, denunciando o não cumprimento do acordo de paralisação temporária dos pivôs. Informaram também que, quando os irrigantes diminuíram o consumo de água, o Riachão voltou a correr até 3 km abaixo de Pau D’Óleo. Então solicitam intermediação para suspender o funcionamento dos pivôs e para não permitir a abertura de novos poços artesianos enquanto não for realizado um estudo preciso do impacto ambiental provocando pela utilização da água superficial e subterrânea. Solicitam também apoio para iniciativas de promoção de práticas de conservação dos solos e de recomposição da mata ciliar. Em novembro, após vários ofícios enviados às autoridades ambientais, é apresentada a “Carta Aberta ao Secretário do Meio Ambiente” relatando todo o processo de degradação da bacia do Riachão e solicitando providências imediatas, tais como a paralisação dos pivôs centrais, estudos de impactos ambientais na bacia e propostas das comunidades para recuperação, além do reconhecimento do Comitê de Gerenciamento do Riachão.

Em 1998, o IGAM (ex-DRH) concede mais uma outorga a um morador, e posteriormente, com a seca do Riachão e após várias tentativas de negociação para que o rio voltasse a correr, comunidades organizam uma manifestação na BR-135 (rodovia que liga Brasília de Minas a

Mirabela), em frente aos pivôs de um irrigante, e elaboram um panfleto explicando aos motoristas o motivo do protesto.

Em 1999 o Riachão começou a secar a partir do final do mês de maio e manter-se seco até as primeiras chuvas. Essa situação levou a CRH/COPAM a decidir, por unanimidade, a adotar diversas medidas, das quais se destacaram: o cancelamento de todas as outorgas; a aprovação da concessão de outorgas anuais para os projetos em funcionamento com a manutenção de vazão mínima residual igual a 120 L/s na saída da Lagoa Tiririca, nascente do Riachão; contratação, pelos irrigantes, de estudos agrônômicos e de uso da água com o objetivo de aperfeiçoar a tecnologia de irrigação; formação de uma Comissão Gestora; perfuração de poços para auxiliar a manutenção da vazão mínima estabelecida; monitoramento da disponibilidade hídrica através de medições fluviométricas; e o cadastramento de usuários de água da bacia.

Foi elaborado um *Estudo Hidrogeológico da Bacia do Alto-Médio Rio Riachão (1999a,b)*, pela empresa Água Consultores, contratada pelo IGAM, para responder aos questionamentos sobre as possíveis relações entre a água superficial e subterrânea nesta bacia. A partir deste estudo foi possível constatar a efetiva relação entre a água superficial e subterrânea, em que a captação das águas subterrâneas interfere diretamente na vazão natural do rio.

Na tentativa de se garantir a vazão mínima determinada, acordos foram firmados para reduzir o consumo de água, principalmente, no período seco, tais como: irrigação em dias alternados, redução do número de horas de funcionamento das irrigações, etc. Mesmo com estas medidas não foi possível garantir a vazão mínima de 120 L/s, uma vez que os poços perfurados para auxiliar a manutenção da vazão não conseguiram manter a produção inicial de 120 L/s. Ao final do período seco do ano de 2002 só foi possível garantir uma vazão em torno de 50 L/s, que era feita através dos poços, visto que a vazão natural do rio apresentava-se próxima a zero.

Com objetivo de buscar maior embasamento técnico para auxiliar o processo de gestão dos recursos da bacia do rio Riachão, o IGAM realizou uma série de estudos e atividades de monitoramento que incluiu estudos hidrogeológicos, estudo de viabilidade para construção de Barragem, monitoramento hidrométrico, cadastramento de usuários de água, monitoramento do nível freático através de cinco linígrafos instalados na bacia, retirados em outubro de 2004 para manutenção e reinstalados em março de 2005, além de medições mensais de vazões fluviais em outros cinco pontos.

Além desses estudos, o IGAM realizou obras de intervenção na bacia com vistas a melhorar a oferta de água na bacia, que incluiu a construção de 70 bacias de contenção para melhorar a retenção e infiltração de água de chuva e construção de caixas de captação de água de chuva (2000); construção de 13 minibarragens de madeira, argila e solo cimento no leito do rio Riachão em parceria com a comunidade local e recomposição da vegetação ciliar em alguns trechos do rio (2002) e aproveitamento do excedente da água do poço jorrante para alimentação do rio Riachão.

A análise hidrológica dos dados de monitoramento revelou uma série de dificuldades quanto à forma de execução destas atividades, em geral, devido ao díspare regime do curso d'água. Este fato se refletiu diretamente sobre a qualidade dos dados obtidos, além de uma amostra pouco representativa das condições reais da bacia, ou seja, pela reduzida quantidade de dados e por refletir um quadro somente atual, sem estabelecer paralelo quanto às condições antecedentes ao início da atividade irrigante.

2.3. TRABALHOS TÉCNICOS RELACIONADOS ÀS ATIVIDADES DO IGAM NA BACIA DO RIACHÃO

O estudo realizado por ÁGUA CONSULTORES ASSOCIADOS LTDA. (1999 a,b) foi o primeiro de caráter hidrogeológico do Riachão e, embora não se estenda ao baixo Riachão, uma vez que visava caracterizar a principal área de nascente do rio (a Lagoa Tiririca), apresenta importantes conclusões, as quais incluem:

- Caracterização dos sistemas aquíferos;
- Definição das principais áreas de recarga;
- Quantificação do volume anual de água explorada e da disponibilidade hídrica média anual.

O Parecer Técnico/Jurídico do IGAM (2006) apresenta as atividades desenvolvidas pelo IGAM na bacia do Riachão, que são listadas a seguir.

1. Reestruturação do monitoramento fluviométrico: as relações das estações antigas e atuais são apresentadas na **Tabela 2.1** e **Tabela 2.2**.
2. Cadastramento dos usuários do entorno da Lagoa Tiririca que visa obter um controle populacional e estrutural dos usuários do alto da bacia que podem comprometer a oferta de água para os demais a jusante.

3. Intervenções hidráulicas em função do conflito entre os usuários, destacando-se a construção de bacias de captação e contenção de água de chuva e construção de minibarramentos.
4. Vistoria periódica nas intervenções hidráulicas.
5. Fiscalização em propriedades, especialmente instalação de horímetros.
6. Comitê de Bacia Hidrográfica do Jequitá/Pacuí, instituído pelo decreto nº 43.720 de 21 de janeiro de 2004, para coordenar o restabelecimento da Comissão Provisória de Gestão de Recursos Hídricos. Essa comissão acompanharia o desenvolvimento do Plano de Uso das Águas Superficiais e Subterrâneas da bacia do rio Riachão.
7. Plano de uso das águas superficiais e subterrâneas que visa o estabelecimento de diretrizes para medidas emergenciais de recuperação e uso sustentável na bacia.

Tabela 2.1: Dados das antigas estações fluviométricas no rio Riachão.

Estação	Latitude	Longitude	Município	Local	Mudança	Motivo Da Mudança
FISCAL 008	16°27'01"	44°00'12,8"	Montes Claros	Alto da bacia	FISCAL 008 e FISCAL 010 substituídas por uma única SFCH001 (Estação Pau D'óleo)	Necessidade de se obter maior confiabilidade na aquisição dos dados instalando-se uma seção de medição de acordo com as normas de criação de seção de medição de vazão.
FISCAL 010	16°29'00"	44°05'26,4"	Montes Claros	Alto da bacia		
FISCAL 012	16°25'03"	44°10'11,7"	Montes Claros	Médio da bacia	FISCAL 012 e FISCAL 013 substituídas por uma única SFCH002 (Estação Fundão).	Suas instalações sofreram grandes influências das características locais por não apresentar uma seção uniforme ao longo dos anos. Isso devido à variação natural da calha do rio Riachão em diferentes períodos chuvosos.
FISCAL 013	16°23'03"	44°14'27,4"	Montes Claros	Médio da bacia		
FISCAL 014	16°24'01"	44°25'32,7"	Montes Claros	Foz com o rio Pacuí	-	-
VERTEDOR	16°22'01"	44°00'10"	Montes Claros	Saída da Lagoa Tiririca	-	-

Fonte dos dados: IGAM (2006). ANEXO I do Parecer Técnico/Jurídico do IGAM apresentado ao secretário do Meio Ambiente e Desenvolvimento sustentável.

Tabela 2.2: Dados das novas estações fluviométricas no rio Riachão.

Código	Estação	Latitude e Longitude	Município e Local	Data de instalação	Localização	Regime hidráulico
SFCH0 01	PAU D'ÓLEO	16°27'11,1" 44°00'26,1"	Montes Claros Alto da Bacia	14/07/05	Seção encontra-se a 200 m à jusante da passagem do Pau D'óleo, local de convergência das águas da Lagoa Tiririca e pela montante, 400m, de uma barragem particular.	Escoamento laminar. Velocidade do fluxo estável a qualquer cota, tanto na seca quanto na cheia.
SFCH0 02	FUNDÃO	16°27'02,9" 44°08'16,6"	Montes Claros Médio da Bacia	-	Próximo à confluência com o córrego Ermidinha, um dos principais afluentes da margem direita. Monitora toda a contribuição de um poço jorrante colocado a montante da seção.	IDEM PAU D'ÓLEO. Sem dados a partir de abril de 2009.
FISCA L 014	FERNÃO DIAS	16°24'01" 44°25'32,7"	Montes Claros Foz Com o Rio Pacuí	-	Não alterou.	IDEM PAU D'ÓLEO.

Fonte dos dados: IGAM (2006). ANEXO I do Parecer Técnico/Jurídico do IGAM apresentado ao secretário do Meio Ambiente e Desenvolvimento sustentável.

O relatório elaborado por IGAM (2005a), conforme expresso no mesmo, “apresenta uma visão geral acerca do conflito pelo uso da água existente há 12 anos na bacia”, assim como as ações desenvolvidas, e caracteriza também o consumo de água pelas irrigações situadas no entorno da lagoa Tiririca (nascente do Riachão). Esse relatório apresenta uma síntese da história da bacia desde 1995, quando, segundo o mesmo, o rio secou pela primeira vez, até o ano de 2005.

O relatório realizado por IGAM (2005b) apresenta as medidas emergenciais de recuperação e uso sustentável da bacia do rio Riachão realizadas até o final de 2005. Os principais tópicos apresentados nesse relatório são:

- Cadastramento de Usuários de Recursos Hídricos do entorno da Lagoa Tiririca, contemplando os principais usos: abastecimento humano, dessedentação animal e irrigação e totalizando um total de 32 usuários.
- Monitoramento hidrológico:

- Monitoramento fluviométrico (medição das velocidades em uma seção do rio para o cálculo da descarga líquida) realizado mensalmente no rio Riachão pela equipe de hidrometrista do IGAM/BH, com o apoio deste Núcleo;
- Leitura dos níveis d'água de cinco poços, dos quais 04 (quatro) estão equipados com linígrafos que possuem *Data Loggers* programados para registrar leituras de 6 em 6 horas. A cada três meses esses dados são descarregados em um notebook pela equipe do SIMGE – IGAM/
- Leituras mensais de 02 (dois) horímetros de dois pivôs.
- Distribuição de mudas de árvores de essência nativa da região.
- Locação e construção de cerca de 80 bacias de contenção de água de chuva.

2.4. ESTUDOS GERAIS REALIZADOS NA BACIA DO RIACHÃO

Os estudos realizados por AFONSO & JUNIOR (2006) E AFONSO (2008 e 2009) tem um caráter social e apresentam um histórico do uso e gestão da água do rio Riachão. Além disso, chamam atenção para a má gestão desse recurso na bacia, que implica em conflitos entre os usuários locais gerando uma disputa entre dois grupos distintos, famílias tradicionais e agricultores empresariais.

AFONSO (2009) estudou as características socioeconômicas e o uso da água das comunidades de Lagoa da Tiririca, Lagoa do Barro e Pau D'Óleo, todas dentro dos limites de Montes Claros, isto é, nas porções alta e média da bacia do rio do Riachão. Segundo esse autor, nessas comunidades vivem 80 famílias e 7 produtores empresariais. Também relata que a bacia do Riachão é responsável pela sobrevivência de centenas de produtores rurais, sendo que cerca de 189 famílias fazem uso direto da água da calha do rio para a irrigação de hortaliças, da lavoura, uso doméstico e dessedentação de animais, entre outros.

A intermitência do Riachão marca o conflito pelo acesso à água na sub-bacia e a disputa acontece desde então, entre a agricultura geraizeira (populações tradicionais do Norte de Minas) e a agricultura empresarial. Os geraizeiros são a grande maioria na sub-bacia, mas a partir da década de 1970, devido à modernização agrícola no vale do Riachão, deparam-se com a gestão dos recursos naturais imposta pela agricultura empresarial. Assim, de um lado da disputa estão os

agricultores empresariais, que acreditam que o uso da água deve garantir o que consideram como “desenvolvimento regional”, que deve ser conseguido mesmo que isso promova impactos. E do outro lado estão os geraizeiros, que não dispõem das tecnologias utilizadas pelos agricultores empresariais para conseguir água e tradicionalmente utilizam água superficial. O comprometimento dos recursos superficiais, possivelmente em razão da exploração da água subterrânea, coloca os pequenos produtores em situação precária, restando-lhes adquirir bombas de sucção e perfurar poços tubulares (prática de custo elevado) ou depender dos carros-pipa enviados esporadicamente pela Prefeitura Municipal de Montes Claros (AFONSO, 2009).

3. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA REGIONAL

3.1. CLIMA

A estação climatológica mais próxima da área de estudo é a estação de Montes Claros, localizada no município de Montes Claros, a sudeste da área bacina e é operada pelo INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Sua localização em relação à bacina do Riachão é apresentada na **Figura 3.1**.

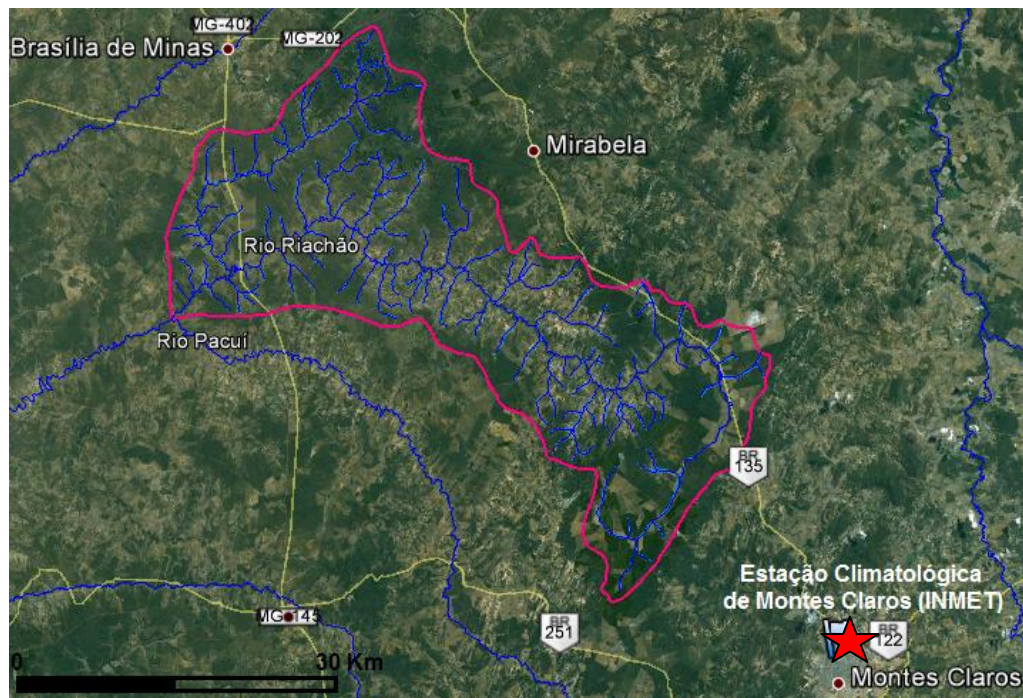


Figura 3.1: Localização da estação climatológica de Montes Claros em relação à bacina do Riachão.

De acordo com as normais climatológicas nessa estação, para o período de 1969 a 1990, a temperatura mínima anual é de 16,7° C, média de 22,4° C e máxima de 29,3° C, com uma pluviometria média anual de 1082,3 mm.

De acordo com o ZEE - Zoneamento Ecológico e Econômico de Minas Gerais, o índice de umidade (Iu) de THORNTHWAITE (1948) calculado para a estação de Montes Claros é de -19, enquadrando o clima como subúmido seco C₁ (**Figura 3.2**), que é caracterizado por um índice de umidade na faixa de $-33,3 \leq Iu < 0$, por índices de chuvas acumuladas (estação chuvosa) com uma média anual na ordem de 850 a 1100 mm e temperaturas médias anuais entre 21 e 25° C.

A **Tabela 3.1** apresenta as normais climatológicas definidas para o período de 1969 a 1990 de acordo com os dados das séries históricas de temperatura e pluviometria da estação de Montes Claros.

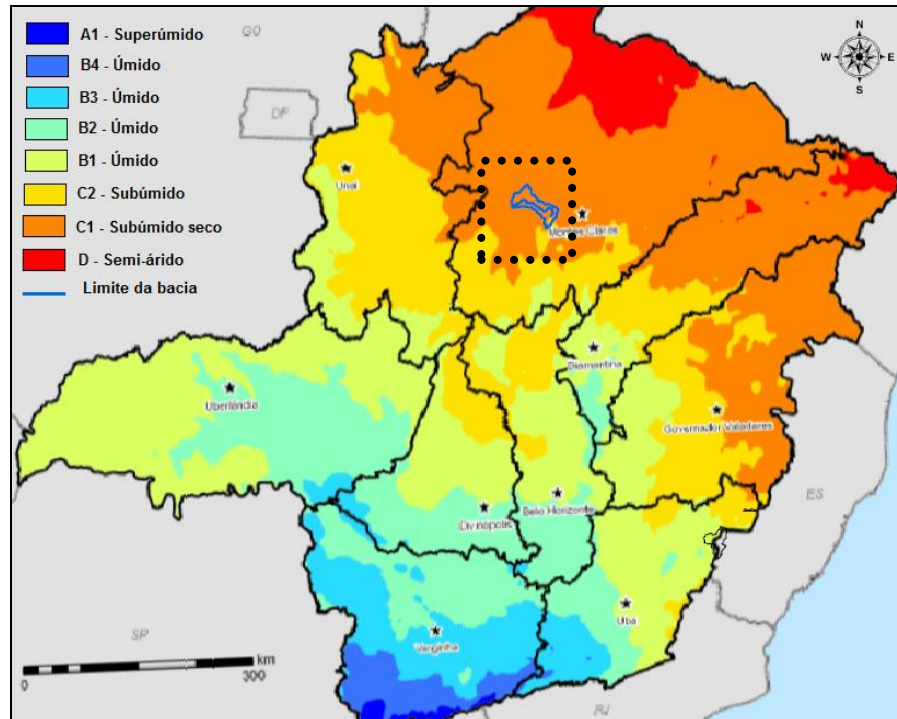


Figura 3.2: Mapa climático de Minas Gerais com a localização da bacia do Riachão.
(Fonte: ZEE)

Tabela 3.1: Normais climatológicas da estação climatológica de Montes Claros.

Estação: Montes Claros													
Latitude: 16,43 S - Longitude: 43,52 W - Altitude: 647,18 m.s.n.m. - Período: 1969-1990													
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
Temp Mínima (°C)	18,6	19,0	18,7	17,3	15,3	13,1	12,5	13,5	16,1	18,2	19,0	19,1	16,7
Temp Média (°C)	23,5	24,0	24,4	22,7	21,2	19,7	19,4	21,2	22,7	23,7	23,4	23,3	22,4
Temp Máxima (°C)	29,8	30,4	30,3	29,4	28,6	27,8	27,4	29,3	30,3	30,4	29,3	28,8	29,3
Pluviometria Média (mm)	192,0	115,7	124,6	41,6	14,2	4,3	3,5	6,6	21,2	110,5	211,0	237,1	1082,3

Na classificação de Koppen, a região se enquadra no clima Aw, tropical úmido de savanas com inverno seco (ÁGUA, 1999a). As condições climáticas da região, com uma estação chuvosa e outra seca, ambas bem definidas, caracterizam a vegetação do cerrado. De acordo com o mapa de vegetação do IGA (2010), a área de abrangência da bacia do Riachão está inserida, predominantemente, no domínio dos biomas Cerrado e Campo Cerrado (**Figura 3.3**), sendo compostos por gramíneas, arbustos e árvores (**Figura 3.4** e **Figura 3.5**).

Segundo COURA (2007) a vegetação do bioma Cerrado apresenta fisionomias que englobam formações florestais, savânicas e campestres. Tem sua estrutura fisionômica condicionada pelo gradiente climático, dessa forma, ocorre um aumento da densidade de árvores à medida que os índices pluviométricos aumentam.

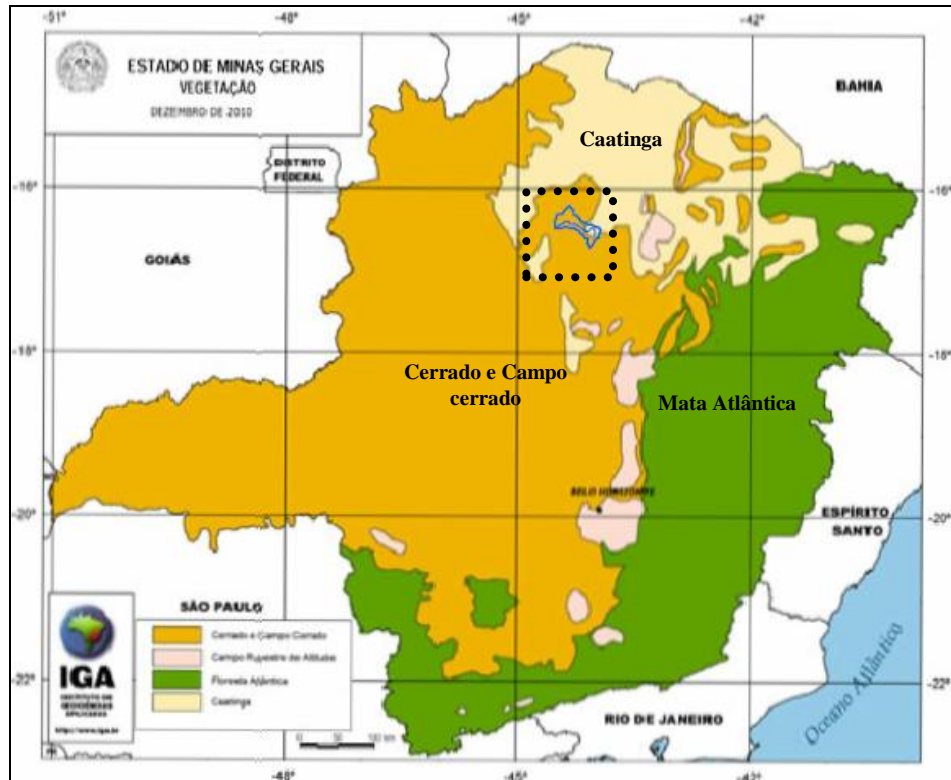


Figura 3.3: Mapa de vegetação de Minas Gerais com a localização da bacia do Riachão. (Fonte: IGA, 2010)



Figura 3.4: Vegetação de cerrado, Fazenda Santa Cruz.



Figura 3.5: Vegetação de cerrado, Fazenda Santa Cruz.

Segundo ÁGUA (1999a) a maior concentração de cerrado ocorre nas chapadas e nos terrenos de relevo suave a suave ondulado, sobre latossolos. As espécies mais encontradas do cerrado são: pequiizeiro, pau-santo, pau-d'óleo, pau-terra, macambé, sucupira, vinhático, paineira, caviúna, jatobá, grão-de-galo, cagaiteira, capitão, ipê, carne-de-vaca e embaúba.

Contudo a área da bacia do Riachão já sofreu diversas intervenções antrópicas, que incluem desde atividades de degradação até trabalhos de recuperação das matas ciliar e de topo. Estudos e perícias realizadas durante a década de 90 nas regiões de cabeceira do Riachão, no entorno da sua principal nascente - a Lagoa Tiririca, constataram degradação da flora e da fauna nativas, processo de assoreamento da lagoa, carvoejamento e desmatamento ilegais. Isso levou a trabalhos para recuperação das matas ciliar e de topo, que foram iniciados em 2005, com de distribuição de mudas florestais/frutíferas disponibilizadas pelo Instituto Estadual de Floresta – IEF, para diversos usuários localizados às margens da Lagoa da Tiririca.

O trabalho realizado por ÁGUA (1999a) no alto-Riachão constatou, na época do estudo, que o cerrado ocupava cerca de 34% da área analisada, e que mais de 70% do cerrado encontrava-se em fase de regeneração, devido aos desmatamentos periódicos e aos incêndios. Constatou também que o pasto constituía a classe de uso do solo com maior ocorrência na área, com cerca de 39%, sendo os tipos de capim mais comuns o adropol e braquiária, que se adaptam bem à seca prolongada.

ÁGUA (1999a) identificou além do cerrado e do pasto para pecuária de corte e leiteira, as classes de uso de solo: área cultivada para agricultura de subsistência (milho, mandioca, feijão, cana de açúcar, pimentão, tomate e abóbora), com cerca de 1% de abrangência, e floresta plantada de eucalipto, com cerca de 26%, cuja maior ocorrência era observada na vereda do Aricuri.

De acordo com o mapa de solos do Estado de Minas Gerais, publicado pela Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM no ano de 2011, na área da bacia do Riachão predominam o latossolo vermelho-amarelo distrófico típico, com horizonte A fraco a moderado e textura média, e o neossolo quartzarênico órtico típico, com horizonte A fraco a moderado; ambos de fase caatinga hipoxerófila, de relevo plano e suave ondulado. Ao longo da drenagem predominam o argissolo vermelho-amarelo, eutrófico típico, com horizonte A moderado e textura argilosa, e o latossolo vermelho-amarelo distrófico típico, com horizonte A moderado e textura argilosa; ambos fase floresta caducifólia, relevo plano e suave ondulado.

3.2. CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E HIDROGEOLÓGICA

A bacia hidrográfica do rio Riachão insere-se no contexto geológico da Bacia Sedimentar do São Francisco.

A Bacia do São Francisco corresponde à porção sul do cráton homônimo, que atuou como bacia de deposição em pelo menos quatro estágios distintos no tempo posterior a 1,8 Ga. Definida dessa forma, a bacia cobre uma área de cerca de 500 000 m² nos estados de Minas Gerais, Bahia e Goiás. Seus limites oeste e leste coincidem com os limites do Cráton São Francisco; a nordeste é balizada pelo corredor de deformação do Paramirim, e a sul, seu limite é erosional (ALKMIM & MARTINS-NETO, 2001).

Caracteriza-se como embasamento da bacia intracratônica do São Francisco todas as rochas mais velhas que 1.8 Ga e, como unidades de preenchimento, todas aquelas mais jovens que essa idade. O preenchimento da bacia comporta o Supergrupo Espinhaço (paleo/ mesoproterozóico), o Supergrupo São Francisco (neoproterozóico), o Gr. Santa Fé (permo-carbonífera), os Grs. Areado, Mata da Corda e Gr. Urucuia (cretácicos) (ALKMIM & MARTINS-NETO, 2001).

A **Figura 3.6** apresenta a coluna estratigráfica simplificada da bacia intracratônica do São Francisco, enfatizando o empilhamento e a constituição das grandes unidades de preenchimento, segundo ALKMIM & MARTINS-NETO (2001).

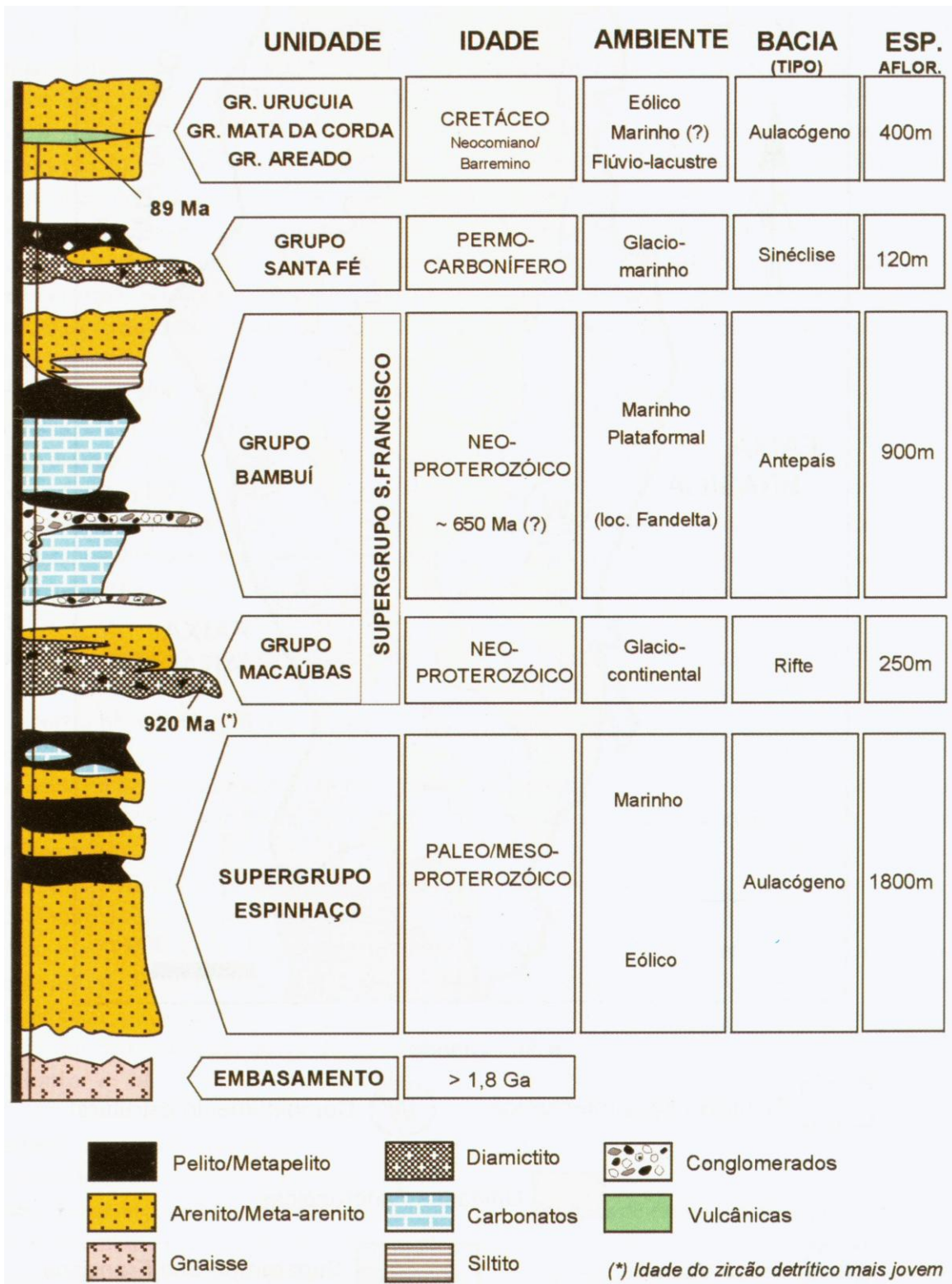


Figura 3.6: Coluna estratigráfica simplificada da bacia intracratônica do São Francisco, enfatizando o empilhamento e a constituição das grandes unidades de preenchimento.

(Fonte: Alkmim & Martins-Neto, 2001).

3.2.1. Estratigrafia

Supergrupo São Francisco

Engloba duas unidades neoproterozóicas: o Grupo Macaúbas, glacio-continental e o Grupo Bambuí, marinho.

Segundo MARTINS-NETO & ALKMIM (2001) o Grupo Macaúbas no interior do cráton é caracterizado por uma associação de diamictitos, arenitos e pelitos, representando depósitos glacio-continentais proximais e distais (aluviais, lacustres), sendo muito pouco expressivas as áreas de afloramento na bacia do São Francisco. Na sua maior parte, coincide com as áreas de afloramento do Supergrupo Espinhaço.

A Megassequência Bambuí (grupos Bambuí, Vazante e correlatos) representa a principal cobertura do Cráton São Francisco, aflorando também nas suas faixas móveis adjacentes, sobretudo na faixa Brasília a oeste. O Grupo Bambuí constitui a unidade característica da bacia do São Francisco, exibindo a maior área de afloramento de todas as unidades. Encerra um pacote de rochas carbonáticas alternadas com terrígenos, dividido nas formações, da base para o topo (**Figura 3.7**):

- Carrancas (ruditos - conglomerados e diamictitos delgados),
- Sete Lagoas (margas, calcilutitos, calcarenitos, biolutitos – calcarenitos e calcissiltitos cinza escuros de água rasa portadores de estromatólito),
- Serra de Santa Helena (pelitos – folhelhos e ardósias as quais mostram, em direção ao topo, uma tendência de aumento progressivo do retrabalhamento por ondas de tempestade, da proporção siltítica e da intercalação de lentes e camadas silto-arenosas),
- Lagoa do Jacaré (calcarenitos oolíticos e oncolíticos, pelitos),
- Serra da Saudade (pelitos);
- Três Marias (não contêm calcários, sendo caracterizada por arcóseos, arenitos e conglomerados de origem marinho-raso a fluvial).

Esta sequência marca uma transgressão marinha generalizada sobre o cráton e início de uma bacia de antepaís (sítio receptor de sedimentos provenientes de áreas soerguidas nas vizinhanças). O caráter de bacia de antepaís, antes atribuído somente à sedimentação da formação de topo (Fm. Três Marias), tem sido estendido a toda unidade (MARTINS-NETO & ALKMIM, 2001).

Era	Período	Grupo	Subgrupo	Formação		Evolução tectono-estratigráfica	
Mesozóico	Cretáceo	Vendiano	Grupo Bambuí	Formação Urucúia	Siltito cinza a preto, arenoso Arenito vermelho, muito fino, calcífero	Rift / Subsidiência térmica	
Proterozóico Superior				Subgrupo Paraopeba	Formação Três Marias	Arcóseos, arenitos arcoseanos Siltito cinza escuro Congl. local., muito restrito	Bacia de Antepaís
					Formação Serra da Saudade	Folhelho verde claro a acizentado pouco micáceo, calcífero, duro com intercalação de calcilutito	
					Formação Lagoa do Jacaré	Calcarenito recristalizado cinza, intercalações de folhelho cinza, micáceo, siltito cinza calcífero, calcilutito cinza recristalizado, calcarenito oolítico	
					Formação Serra de Santa Helena	Siltito cinza maciço Folhelho cinza a verde escuro, piritoso, muito duro Marga cinza escura gradando a calcilutito	
					Formação Sete Lagoas	Dolomito Calcarenito recristalizado sacaroidal Calcilutito cinza argiloso	
					Formação Carrancas	Folhelho cinza calcífero Conglomerado e diamictito	

Figura 3.7: Coluna estratigráfica do Grupo Bambuí.

(Fonte: Carta estratigráfica da bacia do São Francisco – Agência Nacional do Petróleo)

Grupo Urucúia

O Grupo Urucúia foi designado como Fácies Urucúia por GROSSI-SAD *et. al.* (1971) e englobado por esse autor no Gr. Mata da Corda, representando a sedimentação mais distal detrítica, sem material cinerítico e contemporâneo ao vulcanismo Mata da Corda, com predominância de arenito.

Neocretácico e parcialmente sincrônico ao vulcanismo do Gr. Mata da Corda, é composto por arenitos, subdividido nas formações Posse e Serra das Araras, respectivamente interpretadas como depósitos eólicos de campos de dunas secas, fluvial entrelaçado depositado em canais e fluvial entrelaçado sedimentado em lençóis de areia e cascalho. Ocorre desde o sul da bacia, onde é preservado em áreas isoladas e recoberto por sedimentos epiclásticos, até o norte da bacia, onde se torna a unidade predominante (CAMPOS & DARDENNE, 1997).

O Grupo Urucuia constitui a unidade com mais amplo espalhamento geográfico da Bacia Sanfranciscana, ocupando continuamente a maior parte de Sub-bacia Urucuia, acima do paralelo 17° S até o sudeste do Piauí (CAMPOS & DARDENNE, 1997, SGARBI *et. al.*, 2001). Predominantemente arenoso, representa o quarto ciclo sedimentar na bacia (SGARBI *et. al.*, 2001). Desde há muito entendido como um equivalente lateral do Mata da Corda, recobre uma vasta área na porção central e norte da bacia, extrapolando-a e continuando para norte até a bacia do Parnaíba. É constituído por uma sequência de arenitos eólicos, que passam a aluviais no topo, marcando um máximo de aridez seguido por condições de crescente umidade, na medida em que se ascende na coluna (MARTINS-NETO & ALKMIM, 2001).

Coberturas Cenozoicas

As coberturas cenozoicas são resultantes dos intensos processos erosivos e podem ser classificadas em aluvionares, coluvionares e eluvionares.

As coberturas aluvionares são associadas à planície de inundação das maiores drenagens, distribuindo-se em faixas de até 15 km de largura ao longo dos rios São Francisco e seus principais tributários. Caracterizam-se por depósitos resultantes do retrabalhamento fluvial recente, de materiais detríticos diversos. São constituídas, em geral, por areias brancas, amareladas, com grãos angulosos a arredondados, leitos conglomeráticos, argilas e raras concreções calcárias.

As coberturas coluvionares são resultantes de pequenos retrabalhamentos das unidades fanerozóicas e da regressão de formas de relevo tabular elevado (mesetas, tabuleiros, etc.). São constituídas por areias vermelhas ou esbranquiçadas e, ainda, elevada proporção de argila.

As coberturas eluvionares correspondem às areias e argilas inconsolidadas, que se desenvolvem a partir da decomposição dos materiais rochosos subjacentes. No caso das areias provenientes do Grupo Urucuaia, os materiais são representados por depósitos *in situ* ou pouco retrabalhados, que atingem espessuras da ordem de 20 a 30 m. Distribuem-se nas extensas chapadas da área e frequentemente apresentam forte lateritização. Os depósitos eluvionares gerados a partir da decomposição dos calcários e pelitos do Grupo Bambuí são constituídos predominantemente por argilas avermelhadas, com espessuras pequenas, da ordem de poucos metros. Geralmente, estes depósitos ocorrem associados a áreas de intensa carstificação (CAMPOS & DARDENNE, 1997; IGLESIAS & UHLEIN, 2009).

3.2.2. Arcabouço Estrutural

O arcabouço estrutural da área de estudo é descrito a seguir conforme ALKMIM & MARTINS-NETO (2001). A área da bacia do Riachão está inserida na Bacia intracratônica do São Francisco. O Cráton do São Francisco é umas das porções da Plataforma Sul-Americana que não foram envolvidas nos processos orogênicos do Evento Brasileiro, durante o Neoproterozóico. É circundado por cinturões neoproterozóicos que o limitam e vergem para o seu interior: a leste, a Faixa Araçuaí; a oeste e sul, a Faixa Brasília; a noroeste a Faixa rio Preto; e a norte, as faixas Riacho do Pontal e Sergipana (**Figura 3.8**).

A bacia intracratônica do São Francisco pode ser subdividida em três compartimentos estruturais: I) oeste, correspondente à zona externa das Faixas Brasília e rio Preto; II) leste, que engloba a zona externa da faixa Araçuaí; III) central, onde as unidades pré-cambrianas estão praticamente indeformadas.

O compartimento oeste é caracterizado por dobras e falhas de empurrão relacionadas ou rotacionadas por sistemas transpressivos destrais, na porção norte e sinistrais na porção sul. Apresenta vários conjuntos de juntas. O metamorfismo é representado por uma passagem brusca de metamorfitos a rochas sedimentares no contato entre as rochas pré-Bambuí e Bambuí, respectivamente.

O compartimento leste é caracterizado por falhas de empurrão e dobras em duplexes e leques imbricados. As falhas direcionais são raras. Ocorre um persistente sistema de juntas, em par conjugado NE/SW e NW/SE. O metamorfismo é gradual, em direção a leste atingindo as

condições da fácies xisto verde, junto ao limite da bacia. Veios de quartzo e calcita são abundantes.

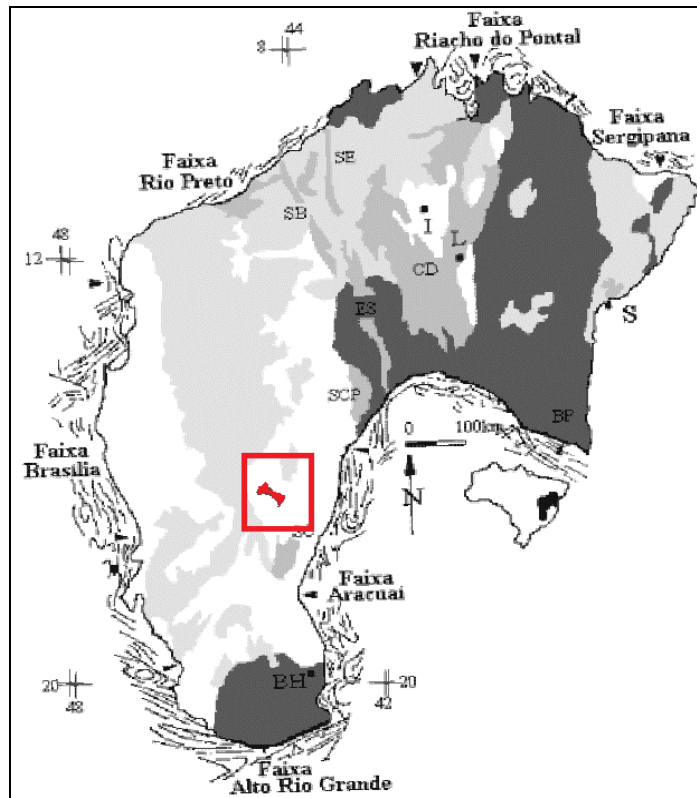


Figura 3.8: Localização da área de estudo no Cráton São Francisco.
(Fonte: ALKMIM & MARSHAK, 1998)

3.2.3. Domínios Hidrogeológicos

O conceito Domínio Hidrogeológico, como utilizado pela CPRM em seu mapa intitulado Mapa de domínios/subdomínios hidrogeológicos do Brasil (CPRM, 2007), foi definido como "Grupo de unidades geológicas com afinidades hidrogeológicas, tendo como base principalmente as características litológicas das rochas".

Dentro desse conceito, as unidades geológicas do Brasil foram reunidas em sete grandes domínios hidrogeológicos, a saber:

- *Domínio 1: Formações Cenozóicas (Aquífero Poroso);*
- *Domínio 2: Bacias Sedimentares (Aquífero Poroso);*

- *Domínio 3: Poroso/Fissural (Aquífero Misto);*
- *Domínio 4: Metassedimentos/ Metavulcânicas (Aquífero Fissural);*
- *Domínio 5: Vulcânicas (Aquífero Fissural);*
- *Domínio 6: Cristalino (Aquífero Fissural);*
- *Domínio 7: Carbonatos / Metacarbonatos (Aquífero Fissural).*

De acordo com essa definição, na área de abrangência da bacia hidrográfica do Riachão ocorrem os domínios 1, 2, 3 e 7, sendo o domínio 3 de menor abrangência (

Figura 3.9). Suas respectivas definições conforme CPRM (2007) são apresentadas a seguir:

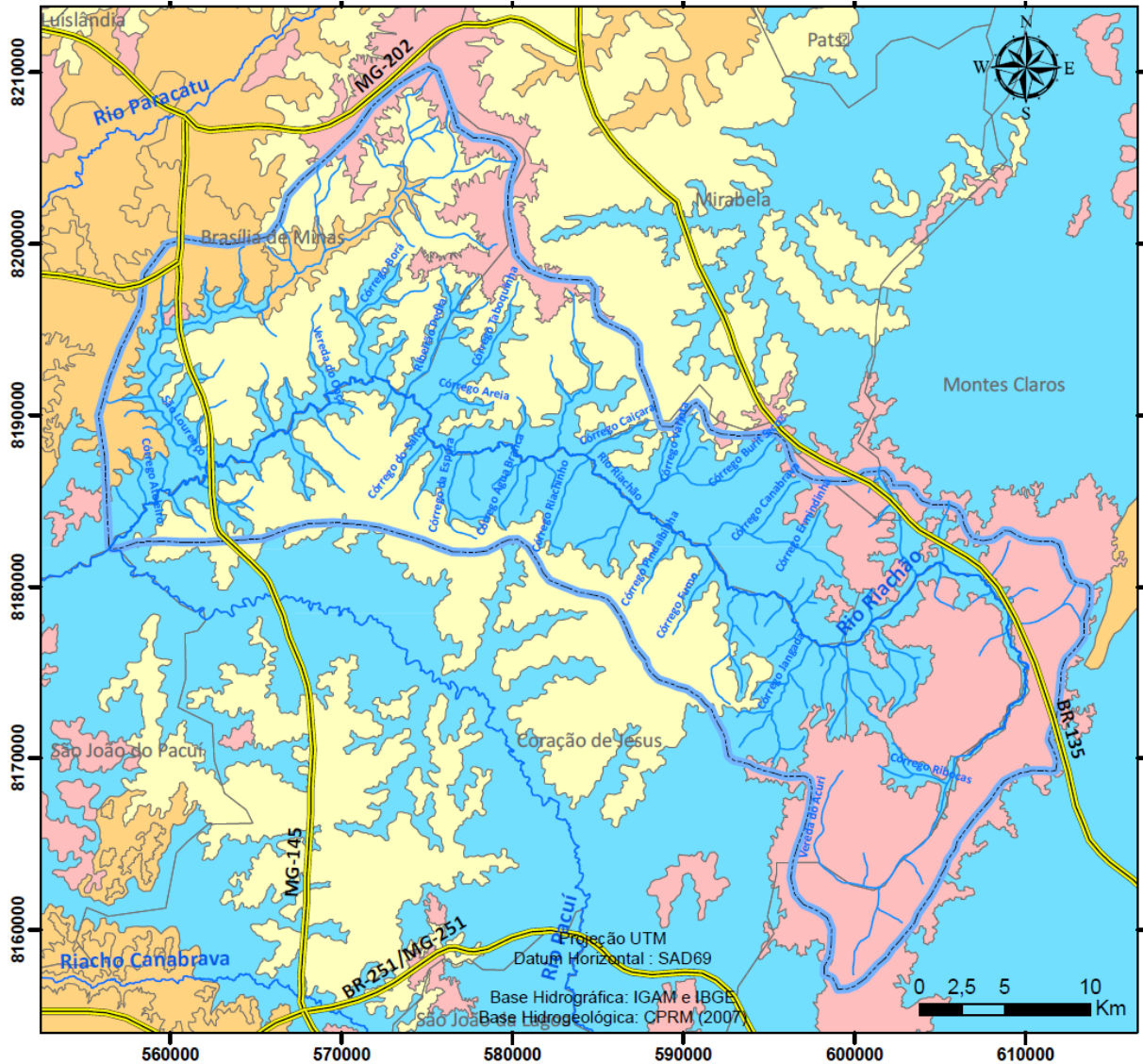
Domínio 1: Formações Cenozóicas (Aquífero Poroso): são definidas como pacotes de rochas sedimentares de naturezas e espessuras diversas, que recobrem as rochas mais antigas. Em termos hidrogeológicos, apresentam um comportamento de aquífero poroso, caracterizado por uma porosidade primária e elevada permeabilidade. Podem produzir vazões significativas nos poços tubulares perfurados, dependendo da espessura e da razão areia/argila dessas unidades. Contudo, é bastante comum que os poços localizados neste domínio captem água dos aquíferos subjacentes. Este domínio é representado por depósitos do Quaternário e Terciário (aluviões, colúvios, depósitos eólicos, areias litorâneas, depósitos fluvio-lagunares, arenitos de praia, depósitos de leques aluviais, depósitos de pântanos e mangues, coberturas detríticas e detríticas-lateríticas diversas e coberturas residuais).

Domínio 2: Bacias Sedimentares (Aquífero Poroso): englobam as sequências de rochas sedimentares que compõem as entidades geotectônicas homônimas (Bacias Sedimentares). Enquadram-se nesta unidade preferencialmente as bacias fanerozóicas onde os processos metamórficos não foram instalados. Em termos hidrogeológicos, estas bacias têm alto potencial para o armazenamento de água subterrânea, constituindo os mais importantes reservatórios devido a grande espessura de sedimentos e a alta porosidade/permeabilidade de grande parte de suas litologias, o que permite a exploração de vazões significativas.

Domínio 3: Poroso/Fissural (Aquífero Misto): envolve pacotes sedimentares (sem metamorfismo ou de baixo grau metamórfico) onde ocorrem litologias essencialmente arenosas com pelitos e carbonatos no geral subordinados, e que tem como características gerais uma litificação acentuada, forte compactação e fraturamento acentuado, que lhe confere além do comportamento de aquífero granular com porosidade primária baixa/média, um comportamento fissural

acentuado (porosidade secundária de fendas e fraturas), motivo pelo qual se prefere enquadrá-lo como aquífero do tipo misto, com baixo a médio potencial hidrogeológico. Esse domínio enquadra a maior parte das bacias proterozóicas de natureza eminentemente detrítica.

Domínio 7: Carbonatos / Metacarbonatos (Aquífero Fissural): constituem um sistema aquífero desenvolvido em terrenos onde predominam rochas calcárias, calcárias-magnesianas e dolomíticas. São caracterizadas pela presença de formas de dissolução cárstica que formam cavernas, sumidouros, dolinas e outras feições típicas desses tipos de rochas. Fraturas e outras superfícies de descontinuidade, alargadas por processos de dissolução, propiciam ao sistema porosidade e permeabilidade secundária, que permitem acumulação de água em volumes consideráveis. No entanto, essa condição de reservatório hídrico subterrâneo não ocorre de maneira homogênea. Constituem feições localizadas conferindo elevada heterogeneidade e anisotropia ao sistema aquífero. A água, no geral, é do tipo carbonatada, com dureza bastante elevada.



LEGENDA

Sistemas Aquíferos

- Poroso : Formações Cenozóicas
- Poroso : Arenitos éolicos Urucuia
- Poroso/Fissural (Misto): Psamitos com pelitos e carbonatos subordinados
- Cárstico/Fissural : Carbonatos e Metacarbonatos

*Figura 3.9: Mapa de Sistemas aquíferos na da Bacia do Riachão.
(Fonte: CPRM, 2007)*

4. MATERIAIS E MÉTODOS

A seguir são descritos os materiais e métodos utilizados nesse estudo. Na **Figura 4.1** é apresentado um fluxograma das etapas desse trabalho.

4.1. LEVANTAMENTOS DE DADOS BIBLIOGRÁFICOS BÁSICOS

Primeiramente, foi realizado um levantamento bibliográfico dos trabalhos desenvolvidos na área de estudo e, além disso, foram obtidos, através do IGAM, relatórios técnicos de trabalhos realizados anteriormente na bacia do Riachão.

Também foram levantados estudos hidrológicos e hidrogeológicos gerais disponíveis na literatura (ênfatizando-se os diferentes métodos de avaliação da recarga nos aquíferos e os métodos utilizados para a determinação dos parâmetros de balanço hídrico e climatológico), dados cartográficos incluindo cartas impressas e arquivos digitais (bases topográficas, hidrográficas e geológicas, malhas de municípios), dados climáticos (séries históricas de pluviometria e de temperatura), cadastros de poços tubulares, e outorgas de uso d'água superficial e subterrânea disponíveis para a região de estudo. Os dados obtidos são descritos detalhadamente nos tópicos seguintes.

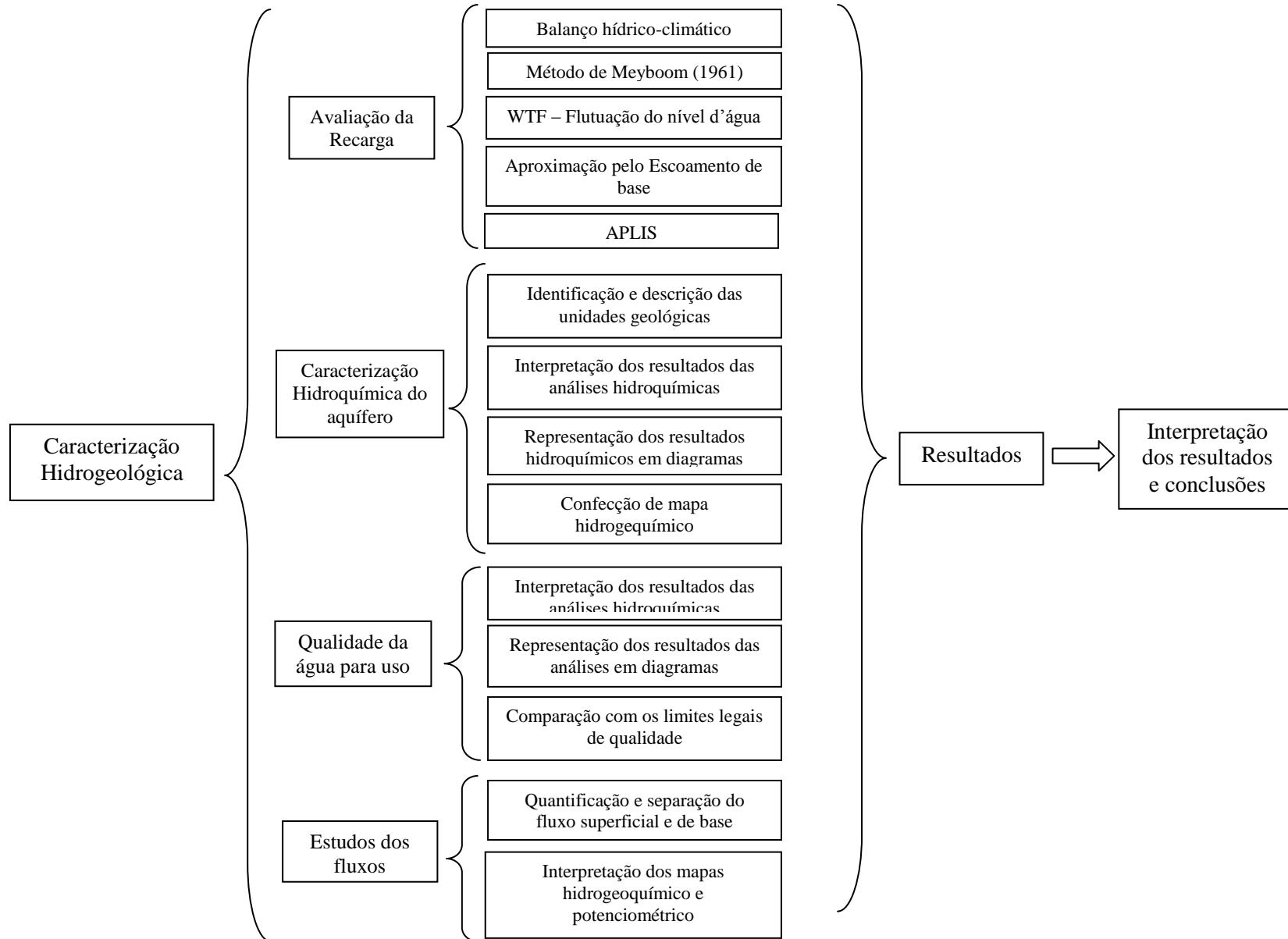


Figura 4.1: Fluxograma da metodologia desse trabalho.

4.1.1. Estudos Anteriores na Área

Os trabalhos anteriores específicos realizados na bacia do rio Riachão são listados a seguir e incluem os relatórios técnicos e documentos internos fornecidos pelo IGAM, assim como artigos e informações disponíveis na literatura.

a) Relatórios técnicos e documentos internos fornecidos pelo IGAM:

- *Estudo Hidrogeológico da Bacia do Alto-Médio Riachão* (ÁGUA – CONSULTORES ASSOCIADOS LTDA, 1999 a,b).
- *Parecer Técnico/Jurídico* do IGAM apresentado ao secretário do Meio Ambiente e Desenvolvimento sustentável (IGAM, 2006).
- *Relatório de Atividades na Bacia do rio Riachão* (IGAM, 2005a).
- *Breve histórico referente à bacia hidrográfica do rio Riachão* (IGAM, 2005b).

b) Artigos e informações disponíveis na literatura:

- *A Questão da Água na Bacia do Riachão- Norte de Minas Gerais: Gestão e Conflitos pelo Uso na Agricultura* (AFONSO & JUNIOR, 2006).
- *Gestão e disputa pela água na sub-bacia do Riachão, Montes Claros/MG* (AFONSO, 2008).
- *O uso e a gestão comunitária da água na agricultura geraizeira no vale do Riachão em Montes Claros/MG* (AFONSO, 2009).
- *Riachão: Trajetória documental de um rio marcado para morrer* (SOS RIACHÃO, 2005).

4.1.2. Bases Cartográficas

As principais bases cartográficas obtidas e utilizadas nesse estudo são listadas a seguir:

- ✓ Cartas topográficas do IBGE (impressas e digitais): A bacia do rio Riachão, incluindo toda sua drenagem principal e seus afluentes, está localizada na folha *SE-23-X-A Montes Claros*, escala 1:250.000. Na escala 1:100.000, abrange as folhas *SE-23-X-A-II Brasília de Minas*, *SE-23-X-A-III Capitão Enéias*, *SE-23-X-A-V Coração de Jesus* e *SE-23-X-A-VI Montes Claros*. A articulação das cartas topográficas 1:100.000 é apresentada no mapa da **Figura 4.2**. As cartas topográficas impressas estão disponíveis na biblioteca do

- ✓ Mapa de Domínios Hidrogeológicos da CPRM (2007), formato *shapefile* (.shp). Escala 1:2.500.000. Conteúdo disponível em CD na GEMOG IGAM. CD SIG em *ArcExibe*. Arquivos cedidos pelo IGAM.
- ✓ Arquivo vetorial em formato *Shapefile* (.shp) contendo feições poligonais das Unidades de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos do Estado de Minas Gerais - Comitês de Bacia Hidrográfica do Estado de Minas Gerais, conforme apresentado por IGAM (2010a), projeção: Latitude / Longitude, obtida no site do IGAM.
- ✓ Arquivo vetorial em formato *Shapefile* (.shp) contendo feições poligonais das áreas de contribuição direta de cada trecho da rede hidrográfica, codificadas pelo método de Otto Pfafstetter, obtido no site da ANA – Agência Nacional de Águas. A biblioteca virtual no site da ANA disponibiliza em formato *Shapefile* as delimitações das Bacias Hidrográficas segundo os seis níveis de classificação de Otto Pfafstetter. Os códigos são aplicados às quatro maiores bacias hidrográficas identificadas que drenam diretamente para o mar, sendo-lhes atribuídos os algarismos pares 2, 4, 6, e 8, seguindo uma ordem no sentido horário em torno do continente. O código 0 (zero) é atribuído à maior bacia fechada. As demais áreas do continente são as regiões hidrográficas restantes, as quais são atribuídas os algarismos ímpares 1, 3, 5, 7, e 9, de tal forma que a interbacia 3 encontra-se entre as bacias 2 e 4, a interbacia 5 encontra-se entre as bacias 4 e 6, e assim sucessivamente. Todas estas áreas podem ser subdivididas até a discretização do último trecho da rede de drenagem, gerando ottobacias de nível “n”. (Fonte: <http://sosgisbr.com/2011/07/14/ottobacias-shapefiles-para-download/>)

4.1.3. Dados climáticos

Os dados climáticos são necessários para a caracterização climática e pluviométrica da região, bem como para o cálculo do balanço hídrico e climatológico. Os dados utilizados foram obtidos a partir das seguintes fontes:

- ✓ HIDROWEB – Sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional de Águas – ANA, disponível no site <http://hidroweb.ana.gov.br/>: foram obtidas as séries históricas de precipitação pluviométrica.

- ✓ INPE/SINDA – Sistema Nacional de Dados Ambientais, disponíveis em <http://www.sinda.crn2.inpe.br/PCD/>: foram obtidos os dados de temperatura.
- ✓ NORMAIS CLIMATOLÓGICAS DO BRASIL (1961-1991), do Instituto Nacional de Meteorologia.

4.1.4. Cadastro de poços e outorgas

Realizou-se um levantamento de dados junto a COPASA, CPRM, IGAM e SIAGAS dos poços tubulares cadastrados na região, procurando obter suas coordenadas, dados construtivos (profundidade, diâmetro de perfuração, revestimento, filtro, pré-filtro, ano de construção, tipo e potência da bomba, profundidade de instalação da bomba), dados de bombeamento (regime e vazão de bombeamento, medições do nível estático e/ou dinâmico), perfil litológico e dados hidroquímicos já disponíveis. Nesse levantamento foi obtido um total de 130 poços cadastrados.

Foram levantadas também as outorgas de uso de água superficial e subterrânea concedidas na área de abrangência da bacia, através do IGAM, que disponibiliza em seu site a listagem de outorgados desde 1995 a fevereiro de 2011, bem como as portarias de outorgas desde setembro de 2001 a julho de 2012. Portanto, através dessas portarias é possível consultar as outorgas atuais que ainda não foram adicionadas na listagem geral de outorgados. Todavia, sabe-se que em função da escassez de água e dos conflitos na bacia do Riachão, a concessão de novas outorgas para exploração de água subterrânea está suspensa desde 2000 (RAMOS & PAIXÃO, 2003; FREIRE, 2002). Nesse levantamento obteve-se um total de 28 outorgas de águas subterrâneas (poços de captação de água), correspondentes ao período de 1995 a 2012, valor muito inferior ao número de poços cadastrados na bacia. Não foram identificadas outorgas de água superficial na área de abrangência da bacia.

O levantamento desses dados visa obter informações do nível d'água regional, bem como da capacidade de produção dos poços e demais características hidráulicas dos sistemas aquíferos captados.

Além disso, o IGAM forneceu os dados de localização e monitoramento de nível d'água e qualidade d'água dos poços tubulares localizados na bacia do Riachão, que fazem parte da rede de monitoramento do projeto “Monitoramento das Águas Superficiais e Subterrâneas das Sub-bacias dos Rios Verde Grande, Riachão e Jequitáí na Bacia do rio São Francisco, em Minas

Gerais”, realizado em convênio com a CODEVASF (Companhia de Desenvolvimento dos Vales São Francisco e Parnaíba).

Atualmente, o monitoramento de nível d’água é realizado em cinco poços tubulares, sendo quatro monitorados automaticamente através de linígrafos e um manualmente, através de sonda. Segundo IGAM (2005b), é realizada semanalmente, a leitura dos níveis d’água de cinco poços, dos quais 04 (quatro) estão equipados com linígrafos. Os linígrafos possuem *Data Loggers* programados para registrar leituras de 6 em 6 horas. A cada três meses esses dados são descarregados em um notebook pela equipe do SIMGE – IGAM/BH. Já o monitoramento da qualidade da água subterrânea é realizado em quatro poços tubulares. Maiores detalhes sobre o monitoramento desses poços serão apresentados posteriormente nos capítulos correspondentes.

4.2. CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA DA BACIA

Segundo TUCCI (2004), consideram-se dados fisiográficos de uma bacia hidrográfica todos aqueles dados que podem ser extraídos de mapas, fotografias aéreas e imagens de satélite. Basicamente são áreas, comprimentos medidos diretamente ou expressos por índices.

4.2.1. Caracterização Morfométrica

A morfometria da bacia do Riachão foi caracterizada segundo área (A), coeficiente de compacidade ou índice de Gravelius (Kc), índice de circularidade (Ic), fator de forma (Kf), ordenamento dos canais e densidade de drenagem (Dd).

A área (A) da bacia hidrográfica é a área em planta compreendida pelo curso principal e seus afluentes, delimitada pelos divisores topográficos.

O coeficiente de compacidade (Kc) relaciona a área (A) da bacia com um círculo. Constitui a relação entre o perímetro (P) da bacia e a circunferência de um círculo de área igual à da bacia e é dado por:

$$Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

De acordo com VILLELA E MATTOS (1975), esse coeficiente é um número adimensional que varia com a forma da bacia, independentemente de seu tamanho. Quanto mais irregular for a bacia, maior será o coeficiente de compacidade. Um coeficiente mínimo igual à unidade

corresponderia a uma bacia circular e, para uma bacia alongada, seu valor é significativamente superior a 1. Uma bacia será mais suscetível a enchentes mais acentuadas quando seu K_c for mais próximo da unidade.

Assim como o coeficiente de compacidade, o índice de circularidade (I_c) se aproxima da unidade à medida que a bacia se aproxima da forma circular e diminui à medida que a forma torna alongada, e é dado por:

$$I_c = 12,57 \frac{A}{P^2}$$

O fator de forma (K_f) relaciona a forma da bacia com a de um retângulo. Corresponde à razão entre a largura média e o comprimento axial (L) da bacia e é dado por:

$$K_f = \frac{A}{L^2}$$

Segundo VILLELA E MATTOS (1975), uma bacia com um fator de forma baixo é menos sujeita a enchentes que outra de mesmo tamanho, porém com fator de forma maior.

Conforme explicado por TUCCI (2004), os principais critérios de ordenamento são os de HORTON (1945) e STRAHLER (1957). No presente estudo utilizou-se o sistema de ordenamento de STRAHLER (1957), no qual é evitada a subjetividade de classificação das nascentes. Para STRAHLER (1957), todos os canais sem tributários são de primeira ordem, mesmo que sejam nascentes dos rios principais e afluentes; os canais de segunda ordem são aqueles originados pela confluência de dois canais de primeira ordem, podendo também ter afluentes de primeira ordem; os canais de terceira ordem são aqueles originados pela confluência de dois canais de segunda ordem, podendo também ter afluentes de segunda e primeira ordens; sucessivamente, um canal de ordem u é formado pela confluência de dois canais de ordem $u-1$, podendo receber canais de qualquer ordem inferior.

A densidade da drenagem (D_d) é definida pela razão entre o somatório dos comprimentos de todos os canais da rede (L_t) e a área (A) da bacia:

$$D_d = \frac{L_t}{A}$$

É importante salientar que qualquer índice ou medida de fisiografia referente à rede de drenagem é profundamente dependente da escala do mapa utilizada (TUCCI, 2004).

O cálculo dos parâmetros área e perímetro da bacia e comprimentos dos cursos d'água da rede de drenagem foram realizados utilizando-se o software *AutoCad 2007*.

4.2.2. Caracterização do Regime Pluviométrico

A caracterização do regime pluviométrico, com definição dos períodos de chuvas e de seca, é a base para a definição do ano hidrológico, utilizado nos estudos hídricos por permitir uma comparação mais significativa dos dados e que normalmente, não coincide com o ano civil.

De acordo com o DNAEE (1976), para efeitos de estudos e comparações, o ano hidrológico é o período contínuo de doze meses durante o qual ocorre um ciclo anual climático completo escolhido por permitir uma comparação mais significativa dos dados meteorológicos.

Para a caracterização do regime pluviométrico da bacia do Riachão e definição do ano hidrológico, foram utilizados os dados das séries históricas de precipitação de seis (6) estações localizadas no interior e no entorno da bacia, sendo uma no município de Brasília de Minas, duas em Coração de Jesus, uma em Mirabela e duas em Montes Claros. Esses dados são disponibilizados no HidroWeb-Sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional das Águas - ANA.

A partir da análise desses dados foi realizada a definição do ano hidrológico, com identificação das estações seca e chuvosa, cálculo da precipitação anual média histórica da bacia e elaboração de um mapa de isoietas para a região.

O cálculo da precipitação média anual histórica da bacia foi realizado através da média aritmética e do método das isoietas, descritos a seguir.

a) MÉDIA ARITMÉTICA

Consiste simplesmente em calcular a média aritmética das alturas de chuva precipitadas nos postos pluviométricos da região. Se a rede pluviométrica é uniforme e densa, então o simples cálculo da média aritmética dos valores medidos nas estações é suficiente para determinar a precipitação efetiva na bacia (FETTER, 1994).

b) MÉTODO DAS ISOIETAS

Se a rede pluviométrica não é uniforme, alguns ajustes para o cálculo da precipitação média da área podem ser necessários. Um método preciso consiste em obter um valor médio a partir das isoietas da região (FETTER,1994). Uma vez que o mapa de isoietas é construído, a área A_i entre cada par de isoietas dentro da bacia é medida e multiplicada pela média aritmética P_i das alturas de precipitação, que são representadas pelas isoietas fronteiras desta área. Dessa forma, a precipitação média h_m na bacia é dada pela fórmula:

$$h_m = \Sigma (A_i P_i) / \Sigma A_i$$

Onde: h_m = precipitação média na bacia
 A_i = área entre cada par de isoietas
 P_i = precipitação média entre cada par de isoietas

O mapa de isoietas da região foi elaborado a partir da interpolação numérica dos valores calculados para as precipitações médias anuais das seis estações selecionadas. Conforme explicado por FETTER (1994), na formulação das isoietas, tais fatores como a influência da topografia na precipitação podem ser levados em conta. Contudo, a interpolação linear simples entre os valores de precipitação medidos nas estações pluviométricas também pode ser utilizada.

Dessa forma, a partir das precipitações médias anuais correspondentes a cada estação selecionada, foi confeccionado então um mapa de isoietas para a bacia do Riachão, com curvas com intervalo de 25 mm (isolinhas de alturas de precipitação com intervalos de 25 mm). A interpolação desses valores de precipitação foi realizada utilizando-se o método de *kriging* (krigagem) no software *Surfer 8.0*. O método de krigagem usa tendências do mapa para extrapolar para as áreas dentro do intervalo dos dados, às vezes resultando em valores mínimos e máximos no *grid* que estão além dos valores contidos nesse intervalo. Este método usa variograma para expressar a variação espacial, e minimiza o erro de valores previstos, que são estimados pela distribuição espacial dos valores previstos. A menos que se tenham informações específicas sobre o conjunto de dados, recomenda-se o uso desse método para a construção do *grid* e por isso ele é o método padrão (*default*) utilizado pelo software.

4.3. CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DA BACIA

Todo estudo hidrogeológico requer a caracterização geológica da região com a definição dos principais litotipos, feições estruturais, lineamentos principais e relações estratigráficas, que possibilita a definição e descrição das unidades hidrogeológicas e sistemas aquíferos, bem como a identificação de zonas de circulação e de recarga e, conseqüentemente, elaboração do modelo hidrogeológico físico da área de estudo.

As características mineralógicas e texturais de uma rocha e o grau de intemperismo, assim como os sistemas de fraturas, definem a porosidade e permeabilidade da rocha e, conseqüentemente, a capacidade de percolação e armazenamento da água na rocha. Tais características definem a capacidade de produção de água e permitem a distinção entre aquíferos e aquífugos (e seus intermediários). A relação estratigráfica entre essas rochas, associada às cargas potenciais hidráulicas dos aquíferos constituintes, permite identificar e distinguir aquíferos livres de confinados, assim como a relação de drenança entre as unidades.

Nesse estudo a caracterização das unidades hidrogeológicas foi realizada a partir de mapas geológicos disponíveis para a região e de trabalho de campo realizado nos principais pontos do curso do rio e em locais específicos para checagem dos litotipos rochosos. Em trabalho de campo também foi realizado o levantamento das principais direções de fraturas.

A identificação de feições estruturais como falhas, fraturas e lineamentos é fundamental para compreensão do fluxo da água nas rochas, pois as estruturas condicionam direções preferenciais de circulação da água. É importante ressaltar também a importância dos sistemas de dissolução desenvolvidos nas rochas cársticas que formam dutos que condicionam a circulação da água, e formam dolinas que podem representar importantes áreas de recarga aquífera.

Para a identificação dos lineamentos estruturais principais que constituem importantes indicadores de zonas de circulação de água e de zonas de recarga, utilizou-se técnicas de geoprocessamento através do *software ArcGis*. A identificação dos lineamentos principais foi feita visualmente através do modelo sombreado do terreno, gerado pela ferramenta *Hillshade (Spatial Analyst)* do *ArcGis*.

A partir dos valores de nível d'água obtidos dos dados da rede de monitoramento do IGAM, do SIAGAS e COPASA, foi construído um mapa potenciométrico da região. O conhecimento da

potenciometria de uma região permite estabelecer os fluxos regionais e locais, relações de influência ou efluência entre o aquífero e os cursos d' água, bem como definir as zonas de recarga e descarga. Contudo, devido ao caráter anisotrópico do tipo de aquífero em estudo (cárstico-fissural), é importante destacar que tal mapa potenciométrico deve ser visto com bastante ressalva, pois ele representa apenas as cargas hidráulicas existentes e não a superfície do nível de água, como ocorre nos aquíferos granulares.

Além disso, o nível d' água medido num poço tubular pode indicar a carga hidráulica de uma unidade hidrogeológica específica ou uma carga resultante de várias unidades. Sabe-se ainda, que a construção de poços tubulares deve obedecer a normas técnicas, que proporcionam um monitoramento com resultados mais confiáveis. Ressalta-se também que o nível d' água sofre oscilações sazonais em função do regime hidrológico da região, além de alterações em função de atividades antrópicas tanto nas águas subterrâneas através de poços de bombeamento, quanto nas águas superficiais através de sistemas de irrigação.

Por isso, para a elaboração de um mapa potenciométrico, é ideal que se trabalhe com níveis d' água medidos numa mesma época e na mesma unidade hidrogeológica e, principalmente, com dados de poços confiáveis, construídos de acordo com as normas técnicas específicas. Dessa forma, os dados dos perfis construtivo e litológico dos poços, bem como o conhecimento da data de medição do nível d' água, são fundamentais na interpretação e identificação das superfícies potenciométricas. Todavia, sabe-se que as condições dos dados disponíveis não são as ideais.

Tendo em vista a heterogeneidade e deficiência de informações disponíveis para cada poço tubular dos bancos de dados utilizados, foi necessário definir-se critérios para elaboração do mapa potenciométrico. Então, foram selecionados os poços com perfil litológico disponível, a fim de restringir os dados de nível d' água a uma mesma unidade hidrogeológica. Cabe ressaltar que a data de medição do nível d' água nos poços pesquisados varia desde a década de 40 até depois do ano de 2000, ou seja, abrange um período de tempo muito vasto. Então, optou-se por utilizar os poços com perfis litológicos e cujos dados de nível d' água fossem correspondentes à década de 90. Foi escolhida a década de 90 por corresponder ao período predominante de medição entre os poços, isto é, a maior parte dos poços apresentou medições realizadas na década de 90.

Após a definição dos níveis d' água a serem utilizados (com base no litotipo e data de medição do nível d' água), foram calculadas as cotas do nível d' água a partir das cotas do terreno.

Posteriormente foram construídas as curvas potenciométricas através da interpolação matemática das cotas do nível d'água, utilizando-se o método do inverso do quadrado da distância (*inverse distance weighted*). Essa etapa foi realizada através do *Software Arcgis*.

4.3.1. Avaliação da recarga

A avaliação da recarga na área de estudo constitui o foco principal desse trabalho. A seguir são descritos os diferentes métodos utilizados para a avaliação quanti e qualitativa da recarga na região de estudo. Os diferentes métodos utilizados para a estimativa da recarga são comparados, a fim de se apresentar os resultados de cada método e avaliar a sua representatividade, potencialidades e limitações.

4.3.1.1. Método do balanço hídrico-climático

A bacia hidrográfica pode ser considerada um sistema físico onde a entrada é o volume de água precipitado e a saída é o volume de água escoado pelo exutório, considerando-se como perdas intermediárias os volumes evaporados e transpirados e também os infiltrados profundamente (TUCCI, 2004).

O estudo da recarga por meio do balanço climático envolve vários parâmetros a serem analisados: precipitação, escoamento superficial, evapotranspiração e parâmetros de infiltração associados às características do solo-subsolo.

A equação básica do balanço hídrico pode ser escrita considerando precipitação (P), evapotranspiração real (ETR), escoamento superficial (ES) e infiltração profunda/recarga (I), como:

$$P - ETR - ES - I = \Delta S$$

Onde ΔS é a variação do armazenamento dentro do sistema. Para um tempo que tende ao infinito temos $\Delta S=0$, e a equação anterior pode ser simplificada para:

$$P = ETR + ES + I \rightarrow I = P - ETR - ES$$

A seguir são descritos cada um desses parâmetros, bem como metodologia(s) para a determinação dos mesmos.

D) PRECIPITAÇÃO

A avaliação da lâmina média precipitada sobre uma bacia hidrográfica é um procedimento básico no estudo do balanço hídrico. A distribuição espacial da precipitação na bacia hidrográfica pode ser realizada através do cálculo da média aritmética das precipitações, ou através de métodos mais criteriosos, como os métodos de *Thiessen* e das isoietas (FEITOSA *et. al.*, 2008; FETTER, 1994).

No presente estudo, o valor da pluviometria a ser utilizado no cálculo do balanço hídrico-climatológico, foi calculado através do método de *Thiessen*, por ter sido avaliado mais adequado em função dos dados disponíveis, enquanto a caracterização pluviométrica regional de longo tempo da bacia, descrita no item anterior, utilizou os métodos da média aritmética e das isoietas.

O método de *Thiessen* é utilizado para ajustar a distribuição não uniforme das estações pluviométricas utilizando um fator de ponderação para cada estação. Esse fator é baseado no tamanho da área de drenagem de influência da estação (FETTER, 1994). Consiste num método gráfico e pode ser descrito nas seguintes etapas:

1. Delimitar a área de abrangência.
2. Unir os pontos de medida de chuva por linhas retas formando triângulos.
3. Traçar linhas perpendiculares às arestas dos triângulos passando pelo meio das mesmas. Essas linhas se interceptarão em pontos que definem os vértices dos polígonos de Thiessen.
4. As áreas desses polígonos representam frações da área total e, portanto, são usadas como pesos na estimativa da chuva média (P_m), que é dada por:

$$P_m = \sum W_i P_i, \text{ onde } P_i \text{ é a chuva em cada estação e } W_i \text{ é seu peso.}$$

II) EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL E REAL

A Evapotranspiração Potencial corresponde à quantidade de água máxima transferida para a atmosfera por Evaporação e Transpiração, na unidade de tempo, de uma superfície extensa, completamente coberta de vegetação de porte baixo e bem suprida de água (PENMAN, 1956). Ou seja, implica numa superfície com disponibilidade plena de água. Então a evapotranspiração potencial é um valor de referência da demanda de evaporação e transpiração da atmosfera de um local num determinado período de tempo. Na prática, a disponibilidade real de água no solo é

variável e depende de vários fatores. Então o valor real de água transferido para a atmosfera por evaporação e transpiração, nas condições existentes de fatores atmosféricos e umidade do solo é denominada Evapotranspiração Real. A evapotranspiração real é igual ou menor que a potencial ($ETR \leq ETP$).

Informações confiáveis sobre evapotranspiração real são escassas e de difícil obtenção, pois demandam um longo tempo de observação e apresentam custo elevado. O processo mais correto é sua medição através de aparelhos denominados lisímetros, mas sua utilização de forma a abranger toda uma bacia pode se tornar inviável.

Por outro lado, a evapotranspiração potencial pode ser obtida a partir de modelos baseados em leis físicas e relações empíricas de forma rápida e suficientemente precisas. Várias teorias relacionam a ETR e ETP em função da disponibilidade de água no solo, permitindo estimativas suficientemente confiáveis.

Para o cálculo da Evapotranspiração Potencial existem vários métodos, tais como os métodos de *FAO-Penman-Monteith*, *Turc*, *Makkink*, *Samani-Hargrea*, *Blaney-Criddle*, *Thornthwaite*.

No presente estudo, a Evapotranspiração Real é obtida utilizando-se um programa desenvolvido por ROLIM *et. al.* (1998), que calcula do balanço hídrico normal. Segundo ROLIM *et. al.* (1998), o programa utiliza o método de THORNTHWAITE & MATHER (1955) para o cálculo do balanço hídrico normal. Esse método considera que a variação do armazenamento (ARM) de água do solo é uma função exponencial que envolve uma capacidade de água disponível (CAD) (função da profundidade de exploração efetiva das raízes e características físicas do solo) e perda de água acumulada. Para a estimativa da ETP o programa utiliza o procedimento proposto por THORNTHWAITE (1948, *apud* ROLIM *et. al.*, 1998). Esse método fornece resultados confiáveis entre as latitudes de 40°N e 40°S (DOURADO NETO & VAN LIER, 1991 *apud* ROLIM *et. al.*, 1998). A inicialização do balanço hídrico normal segue o critério de MENDONÇA (1958, *apud* ROLIM *et. al.*, 1998), disponibilizando a utilização dos cálculos para regiões áridas ou semi-áridas.

Os dados de entrada do programa são temperaturas médias do ar mensais, latitude, CAD (capacidade de água disponível) e precipitações mensais.

As temperaturas mensais foram calculadas a partir dos dados da série histórica da estação climatológica mais próxima da região de estudo, a estação de Montes Claros. Esse cálculo foi realizado empregando-se a fórmula abaixo desenvolvida por A. Serra, em 1938 (SERRA, 1974) que calcula a temperatura compensada, conforme explicado por VAREJÃO-SILVA (2005):

$$T_{\text{comp}} = (2 \times T_{00} + T_{12} + T_{\text{max}} + T_{\text{min}}) / 5, \text{ onde:}$$

- T_{comp} é a temperatura compensada,
- T_{00} e T_{12} referem-se, respectivamente, às temperaturas observadas às 0h e 12h,
- T_{max} é a temperatura máxima do dia (obtida a partir do termômetro de máxima) e
- T_{min} (resultante da leitura do termômetro de mínima).

VAREJÃO-SILVA (2005) explica que a temperatura média diária do ar em cada estação meteorológica da rede oficial no Brasil é geralmente estimada através de um parâmetro que se convencionou chamar de “Temperatura Compensada” (T_{comp}), dada pela equação apresentada anteriormente. A partir dessas temperaturas diárias são, então, calculadas as temperaturas médias mensais.

A latitude utilizada corresponde à latitude na qual essa estação está localizada e para o CAD adotou-se um valor padrão (*default* do programa). A precipitação mensal utilizada no cálculo da ETR foi calculada pelo método de *Thiessen*.

III) ESCOAMENTO SUPERFICIAL

O escoamento pode ser devido à contribuição do nível freático (escoamento subterrâneo ou de base) e/ou à contribuição da parcela de precipitação que excede à capacidade de infiltração (escoamento superficial direto).

Conforme explicado por TUCCI (2004), os escoamentos são em geral individualizados em:

I) Superficial, que representa o fluxo sobre a superfície do solo e pelos seus múltiplos canais; *II) Subsuperficial* que alguns autores definem como o fluxo que se dá junto às raízes da cobertura vegetal e; *III) Subterrâneo*, que é o fluxo devido à contribuição do aquífero. Em geral, os escoamentos superficial e subterrâneo correspondem a maior parte do total, ficando o escoamento subsuperficial contabilizado no superficial ou no subterrâneo. Para que os mesmos sejam analisados individualmente é necessário separar no hidrograma a parcela que corresponde a cada tipo de fluxo.

diretamente do hidrograma através de métodos gráficos que se baseiam na análise qualitativa de cada componente do hidrograma ou através de métodos matemáticos. Contudo, segundo PETTYJOHN & HENNING (1979), várias técnicas são usadas para separar os dois componentes (base e superficial), mas não são inteiramente satisfatórias. Qualquer método que seja empregado, há sempre alguma dúvida quanto à precisão da separação.

Nesse trabalho a separação dos escoamentos no hidrograma foi realizada através de um método analítico denominado *Sliding Interval Method*, um dos métodos utilizado pelo programa HYSEP, da *U.S. Geological Survey*, para separação e análise de hidrograma.

O método *Sliding Interval Method* se baseia na hipótese que o escoamento superficial pode ser obtido pelo desenho sistemático de linhas conectadas entre dois pontos selecionados de baixa vazão no hidrograma. O método atribui um escoamento de base para cada registro diário no hidrograma, baseado na menor descarga encontrada dentro de um período fixo de tempo anterior e posterior àquele dia. O componente do escoamento de base de cada incremento de tempo é atribuído à vazão mínima registrada dentro do incremento (PETTYJOHN & HENNING, 1979; SLOTO & CROUSE, 1996; STEWART *et.al.*, 2007).

A magnitude do intervalo usado para separações hidrograma é calculada a partir da duração do escoamento superficial (N), sendo um número inteiro ímpar entre 3 e 11 mais próximo para 2N (PETTYJOHN E HENNING, 1979). O valor de N é calculado empiricamente pela equação:

$$N = 0,827A^{0,2}$$

Onde: N é o número de dias entre o pico do hidrograma e o fim do escoamento superficial (início da recessão, dado pelo ponto C na **Figura 4.3**) e A é a área da bacia em km² (FETTER, 1994; LINSLEY *et.al.*, 1975 *apud* TUCCI, 2004). Na **Figura 4.4** é ilustrada a separação de dois hidrogramas através do método *Sliding Interval*.

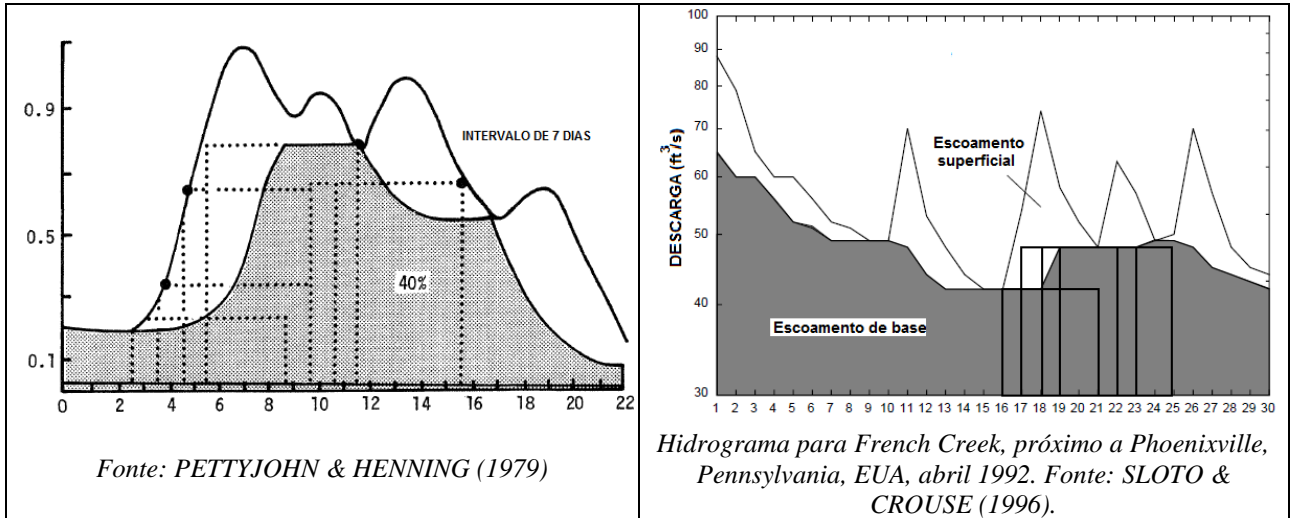


Figura 4.4: Separação de hidrograma pelo método Sliding Interval.

Para construção de um hidrograma são necessários dados diários de vazão da estação fluviométrica de estudo. Contudo, a medição diária da vazão por um processo direto pode ser cara e demorada, por este motivo opta-se pelo registro dos níveis do rio e determina-se uma relação entre a vazão e a altura do nível d'água, pois é muito mais fácil medir a referida altura. Essa relação entre vazão e cota ($Q \times h$) é denominada curva-chave e usualmente obedece a uma relação:

- Exponencial $Q = a(h-h_0)^n$ ou
- Polinomial $Q = a_0 + a_1h + a_2h^2 + \dots + a_nh^n$, onde:

h = nível da régua correspondente a vazão Q , h_0 = o nível para o qual a vazão é nula; a e n são constantes determinadas para um local.

Nesse trabalho foram utilizados os dados fornecidos pelo IGAM referentes a três estações fluviométricas localizadas na bacia do Riachão e monitoradas pelo IGAM. A medição da relação vazão-cota é realizada com frequência mensal pelos técnicos do IGAM através de molinetes. A leitura das cotas é realizada duas vezes por dia (cotas bi-diárias, às 7:00h e às 17:00h) pelos observadores das estações, que são moradores locais que receberam treinamento para realizar a leitura das régua instaladas nas seções.

4.3.1.2. Método da recessão sazonal ou método de Meyboom (1961)

Em períodos de estiagem, a descarga dos rios é composta integralmente pelo influxo de águas subterrâneas e ela declina segundo uma curva exponencial. Esse período é conhecido como recessão (**Figura 4.5**).

O método de MEYBOOM (1961), conforme explicado por FETTER (1994) e citado por MAU & WINTER (1997), CAMPOS *et. al.* (2006) e GUANABARA (2011), é um método simples e eficaz para estimar a recarga aquífera em uma bacia. Esse método assume que a área de captação da bacia não tem nenhum impedimento (barragens) ou outros fatores que regulem a vazão dos rios. Segundo OLIVEIRA *et. al.* (2005), a existência de barragens pode implicar que a estação fluviométrica não registre a reação natural das bacias aos episódios de precipitação. Contudo, os hidrogramas obtidos para as estações utilizadas neste estudo mostram nitidamente os episódios de picos e de recessão.

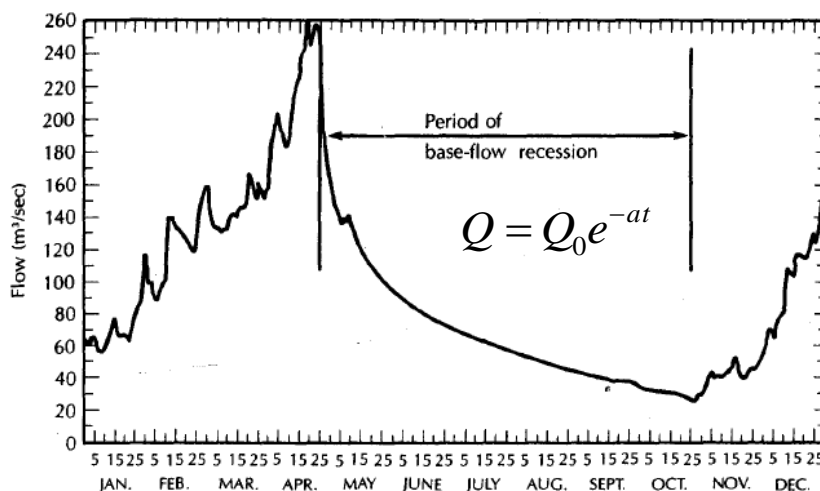


Figura 4.5: Hidrograma típico mostrando o período de recessão do fluxo de base.
Fonte: FETTER (1994)

Nesse método, utiliza-se um hidrograma semilogarítmico de dois anos consecutivos ou mais, com logaritmo no eixo y (eixo da vazão), como o hidrograma hipotético apresentado na **Figura 4.6**, no qual a recessão é indicada pelas linhas pontilhadas. A equação da recessão do fluxo de base indica que a vazão Q varia de forma logarítmica com o tempo t (**Figura 4.5**). Um hidrograma com o tempo em escala aritmética e a vazão em escala logarítmica irá, portanto, produzir uma linha reta da recessão do fluxo de base (**Figura 4.6**).

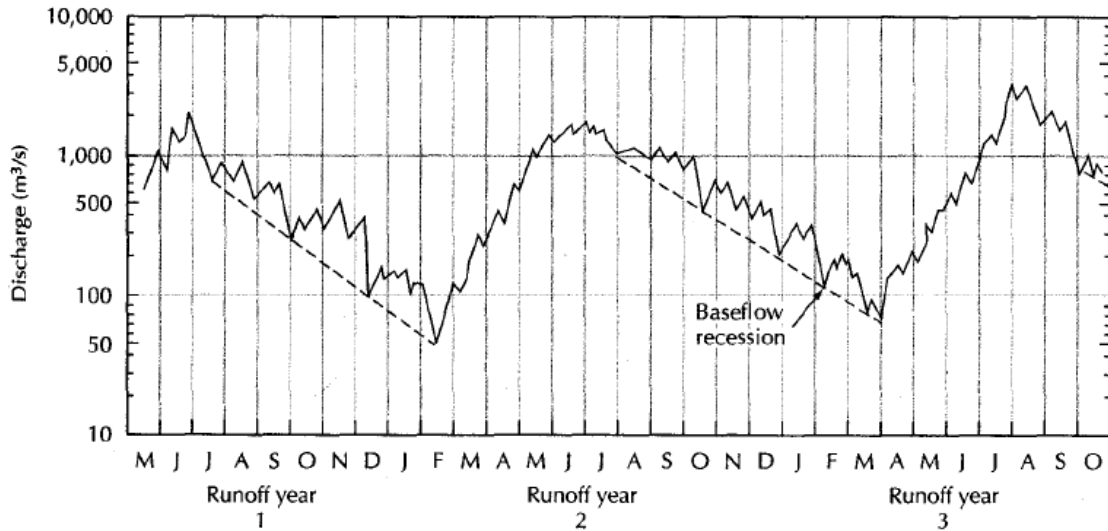


Figura 4.6: Hidrograma hipotético semi-logarítmico mostrando a recessão do fluxo de base.
Fonte: FETTER (1994)

A vazão subterrânea total potencial é o volume de água que seria descarregado durante uma recessão completa e seu valor pode ser calculado pela equação:

$$V_{tp} = \frac{Q_0 t_1}{2,3026}$$

Onde:

- V_{tp} é o volume potencial total da água subterrânea (m^3).
- Q_0 é a vazão de base no início da recessão (m^3/s). A vazão de base no início da recessão é identificada no hidrograma através de valor de N (**Capítulo 4.3.1.1, item III**).
- t_1 é o tempo que leva a vazão base de Q_0 até $0,1Q_0$ (meses).

Determinando-se a vazão restante de água subterrânea potencial no final de uma recessão (V_t) e o total de descarga da água subterrânea potencial (V_{tp}) para a próxima recessão, a diferença entre as duas é a recarga da água subterrânea entre as duas recessões. A quantidade de fluxo de base potencial remanescente (V_t) após a recessão que dura um tempo t é dada por:

$$V_t = \frac{V_{tp}}{10^{t/t_1}}$$

Onde: V_{tp} é volume potencial no início da 1ª recessão considerada; V_t é a vazão no final da recessão ; t é o tempo de duração da recessão.

O valor da recarga será, portanto, dado por: **Recarga** = $V_{tp} - V_t$. Onde: V_{tp} é volume potencial no início da próxima recessão. Esta análise pressupõe que não existem usos consuntivos de água subterrânea na bacia como bombeamento de poços.

4.3.1.3. Método da Flutuação do nível d' água

De acordo com HEALY & COOK (2002), DELIN *et. al.* (2007) o método da variação do nível d' água (*Water-Table Fluctuation Method* ou simplesmente *WTF Method*) fornece uma estimativa da recarga através da análise da flutuação do nível d' água observada em poços. Baseia-se no pressuposto de que o aumento no nível d' água medido em poços é causado pela recarga que alcança o nível freático. A recarga é então calculada por:

$$R = Sy \frac{dH}{dt} = Sy \frac{\Delta H}{\Delta t}, \text{ onde:}$$

- **R** é a recarga ocorrida entre os tempos t_0 e t_j (**Figura 4.7**);
- **Sy** é a produção específica (porosidade específica ou efetiva);
- ΔH é o pico da elevação do nível d' água atribuído à recarga; seu valor é calculado pela interseção entre o pico de elevação do nível d' água e o prolongamento da curva de recessão do período anterior (**Figura 4.7**);
- Δt é o tempo decorrido entre t_0 e t_j .

Essa equação assume que a água que chega ao nível freático vai-se imediatamente para o armazenamento e que fatores como a variação do armazenamento e a evapotranspiração são nulos durante o período de recarga. Um intervalo de tempo ocorre entre a chegada de água durante um evento de recarga e a redistribuição da água para esses outros fatores. Então, se o método é aplicado durante esse lapso de tempo, toda a água que vai para recarga pode ser contabilizada. Esta suposição é mais válida durante períodos curtos de tempo (horas ou alguns dias), e é este espaço de tempo para o qual a aplicação do método é o mais apropriado. O comprimento do intervalo de tempo é crítico para o sucesso deste método (HEALY & COOK, 2002).

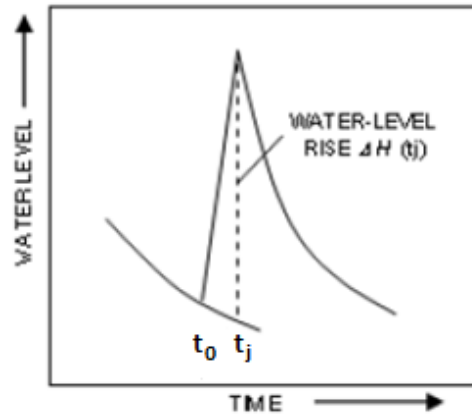


Figura 4.7: Determinação da elevação do nível d'água.

Fonte: USGS. <http://water.usgs.gov/ogw/gwrp/methods/wtf/>

Conforme explicado pelo Programa de Pesquisas de Água Subterrânea do *U.S. Geological Survey* –USGS, embora simples em teoria, alguns pressupostos essenciais e questões críticas inerentes ao método WTF têm uma grande influência no sucesso de sua aplicação: (1) o hidrograma observado retrata apenas as flutuações do nível d'água subterrânea causadas por recarga e descarga; (2) S_y é conhecida e constante ao longo do período de tempo das flutuações do nível d'água, e (3) o nível d'água pré-recessão pode ser extrapolada para determinar ΔH . Devido à simplicidade do método e ampla disponibilidade de hidrogramas de poços de observação, o método WTF tem sido utilizado há muitos anos e continua sendo aplicado em trabalhos recentes, como nos trabalhos de RISSER et. al. (2005) e DELIN et. al. (2007).

4.3.1.4. Fluxo de base como uma aproximação para a recarga

Conforme explicado por RISSER et. al. (2005) e citado por COMBALICER et. al. (2008), o fluxo de base é a parte da vazão do rio atribuída à vazão da água subterrânea. Embora o fluxo de base não seja a recarga, é algumas vezes utilizado como uma aproximação, quando a evapotranspiração da vegetação ciliar e outras diversas perdas de água subterrânea na bacia são consideradas mínimas. Quando usado como uma aproximação da recarga, o fluxo de base é, às vezes, referido como recarga efetiva, recarga de base ou recarga observável, para reconhecer que o fluxo de base provavelmente representa uma quantidade menor que aquela recarregada pelo aquífero. Em última análise, no entanto, diferentes métodos para a separação do fluxo de base fornecerão resultados diferentes e cabe ao usuário determinar qual estimativa é a mais representativa da recarga.

De acordo com RUTLEDGE (1998), a recarga total deve exceder o fluxo de base por um montante igual a evapotranspiração ciliar, ou seja, a recarga efetiva deve ser inferior a recarga total por um valor igual a evapotranspiração ciliar. O método deve ser aplicado durante um longo período de registro (um ano ou mais) para se obter uma estimativa precisa do fluxo de base médio. Quando o período de análise é longo o suficiente para que as mudanças do armazenamento no balanço hídrico possam ser consideradas negligenciáveis, o fluxo de base pode então ser considerado a recarga.

Segundo OLIVEIRA *et. al.* (2005) o fluxo de base traduz a recarga se: (1) a única origem de água no meio saturado for a recarga; (2) não houver extrações de água subterrânea; (3) toda a água que deixa o meio saturado escoar para o meio superficial; e (4) não houver evapo(transpi)ração de águas subterrâneas.

No presente estudo, o fluxo de base é obtido a partir da separação de hidrograma, que foi realizado no balanço hídrico para obter o escoamento superficial, conforme explicado no **item 4.3.1.1.**

4.3.1.5. Método APLIS

APLIS é um método paramétrico para estimativa da recarga que leva em consideração as principais variáveis que influenciam a recarga: altitude, declividade, litologia, existência ou não de zonas de infiltração preferencial e o tipo de solo. O nome do método é um acrônimo para *Altitud, Pendiente, Litología, Infiltración, Suelo* e consiste num método que permite determinar a taxa média de recarga, especialmente em aquíferos carbonáticos, expressa como porcentagem da precipitação. Para cada um desses parâmetros é estabelecido uma série de intervalos ou categorias que alcançam valores compreendidos entre 1 (mínima influência na recarga) e 10 (máxima influência) (**Tabela 4.1**). A taxa de recarga é então calculada a partir da equação $R = (A + P + 3L + 2I + S)/0,9$ e é classificada, de acordo com este método, em muito baixa (<20%), baixa (20 a 40%), moderada (40 a 60%) e alta (>60%). O APLIS foi desenvolvido combinado a técnicas e algoritmos de geoprocessamento para avaliação da distribuição espacial da recarga através de mapas de recarga gerados pela interseção de camadas correspondentes a cada parâmetro da equação.

Tabela 4.1: Classes e pontuação dos parâmetros utilizados.

Altitud (m)	Puntuación	Pendiente (%)	Puntuación	Litología	Puntuación
≤300	1	≤3	10	Calizas y dolomías karstificadas	10 - 9
300-600	2	(3-8]	9	Calizas y dolomías fracturadas, algo karstificadas	8 - 7
600-900	3	(8-16]	8	Calizas y dolomías fisuradas	6 - 5
900-1200	4	(16-21]	7	Arenas y gravas, coluviones	4
1200-1500	5	(21-31]	5	Brechas y conglomerados	3
1500-1800	6	(31-46]	4	Rocas plutónicas y metamórficas	2
1800-2100	7	(46-76]	3	Esquistos, pizarras, limos, arcillas	1
2100-2400	8	(76-100]	2		
2400-2700	9	>100	1		
> 2700	10				

Infiltración-absorción preferencial	Puntuación	Suelo	Puntuación
Abundantes formas de infiltración preferencial	10	Leptosoles	10
		Arenosoles álbicos y Xerosoles cálcicos	9
		Regosoles calcáreos y Fluvisoles	8
		Regosoles eútricos, dístricos y Solonchaks	7
		Cambisoles cálcicos	6
Escasas formas de infiltración preferencial	1	Cambisoles eútricos	5
		Histosoles eútricos y Luvisoles órticos y cálcicos	4
		Luvisoles crómicos	3
		Planosoles	2
		Vertisoles crómicos	1

Fonte: ANDREO *et. al.* (2004); LÓPEZ-GETA *et. al.* (2004).

Esse método foi desenvolvido em condições de clima mediterrâneo e tem sido aplicado em diversos trabalhos na Europa Meridional, especialmente na Espanha, como os trabalhos realizados em rochas carbonáticas por LÓPEZ-GETA *et. al.* (2004), ANDREO *et. al.* (2004) e MARTOS-ROSILLO *et. al.* (2010), cujas áreas de estudo apresentam precipitações anuais que variam desde 500 a 1300 mm. FARFÁN *et. al.* (2010) aplicou esse método para uma região de Cuba, onde prevalecem condições de clima tropical úmido e processos de carstificação, realizando as modificações necessárias com relação ao tipo de solo. FARFÁN *op.cit.* obteve taxas de recarga predominantemente moderadas, associadas principalmente aos calcários carstificados.

No presente estudo, a equação paramétrica do método APLIS foi aplicada para estimar uma taxa de recarga média para cada um dos domínios rochosos predominantes na bacia, a partir dos valores representativos de cada parâmetro. Também foi necessária uma aproximação para o parâmetro solo, uma vez que o método original não prevê uma ponderação para o tipo de solo da região.

4.3.2. Estudo hidrogeoquímico e caracterização da qualidade da água

A análise de correlações entre os elementos químicos, razões iônicas e modelagem geoquímica (índice de saturação dos minerais majoritários, sais presentes e especiação dos elementos) é utilizada para auxiliar no entendimento das reações água-rocha e do fluxo da água.

Para a caracterização hidrogeoquímica da bacia foram utilizados os dados de campanhas de amostragem de água fornecidos pelo IGAM. Esses dados correspondem aos resultados de quatro campanhas realizadas em sete pontos de água superficial no ano de 2005 (abril, junho, setembro e dezembro), quatro campanhas realizadas em quatro pontos de água subterrânea (poços tubulares) nos anos de 2005 e 2006 (abr/05, jul/05, nov/05 e março/06), e duas campanhas realizadas em um ponto de água subterrânea (poço tubular) no ano de 2010 (maio e outubro).

Os dados foram organizados, analisados quanto sua consistência numérica (balanço iônico) e representados através de diagramas hidroquímicos.

4.3.2.1. Tratamento dos dados

É imprescindível averiguar a validade dos resultados fornecidos nas análises químicas, o que é feito por intermédio do cálculo do erro do balanço iônico. Numa análise hidroquímica completa, a concentração total dos cátions deve ser aproximadamente igual à concentração de ânions. O desvio percentual desta igualdade é determinado pelo coeficiente de erro da análise. O cálculo do erro foi feito através das seguintes fórmulas:

I) ERRO PRÁTICO E TEÓRICO (LOGAN, 1965):

O erro prático é dado por: $E_p (\%) = \{[r\Sigma c - r\Sigma a] / [(r\Sigma c + r\Sigma a)]\} \times 100$, onde: $r\Sigma c$ é a concentração total de cátions; $r\Sigma a$ é a concentração total de ânions. O erro teórico é o erro prático máximo permitido considerando-se a somatória de cátions e ânions, conforme apresentado a seguir:

$r\Sigma c$ ou $r\Sigma a$ (meq/L)	< 1	1	2	6	10	30	> 30
Erro Permitido (30%)	15	10	6	4	3	2	1

II) ERRO PRÁTICO E TEÓRICO (CUSTÓDIO & LLAMAS, 1983):

O erro prático é dado por: $E_p (\%) = \{[r\Sigma c- r\Sigma a] / [1/2(r \Sigma c+ r\Sigma a)]\} \times 100$, onde: $r\Sigma c$ é a concentração total de cátions; $r\Sigma a$ é a concentração total de ânions. O erro teórico é o erro prático máximo permitido considerando-se a condutividade elétrica, conforme apresentado a seguir:

CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	50	200	500	2000	> 2000
Erro Permitido (30%)	30	10	8	4	< 4

4.3.2.2. *Representação dos dados*

A representação dos resultados hidroquímicos facilita sua interpretação, auxilia na comparação entre análises de um mesmo local ou de locais diferentes, bem como na visualização de relações entre elementos de uma mesma amostra. Além disso, é fundamental para análises temporais e espaciais das concentrações dos parâmetros analisados.

I) DIAGRAMA TRIANGULAR DE PIPER

As espécies iônicas principais na maior parte das águas naturais são Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- e SO_4^{2-} . Um diagrama triangular pode mostrar a composição química percentual da água em função de três íons. O diagrama de Piper, por sua vez, permite visualizar os cátions predominantes bem como os ânions predominantes e então classificar a água em função de ambos. Dessa forma, a água pode ser classificada em fácies hidroquímicas (**Figura 4.8**). O termo fácies hidroquímica é usado para descrever corpos de água no aquífero que diferem em sua composição química. A fácies é função do litotipo, cinética da solução e padrão de fluxo do aquífero (FETTER, 1994). Esta classificação é útil para estabelecer relações de interação água-rocha. Para plotar as concentrações iônicas no diagrama, transformam-se as concentrações de cada íon expressos em meq/L, em percentagem do total de ânions e do total de cátions, separadamente (**Figura 4.9**).

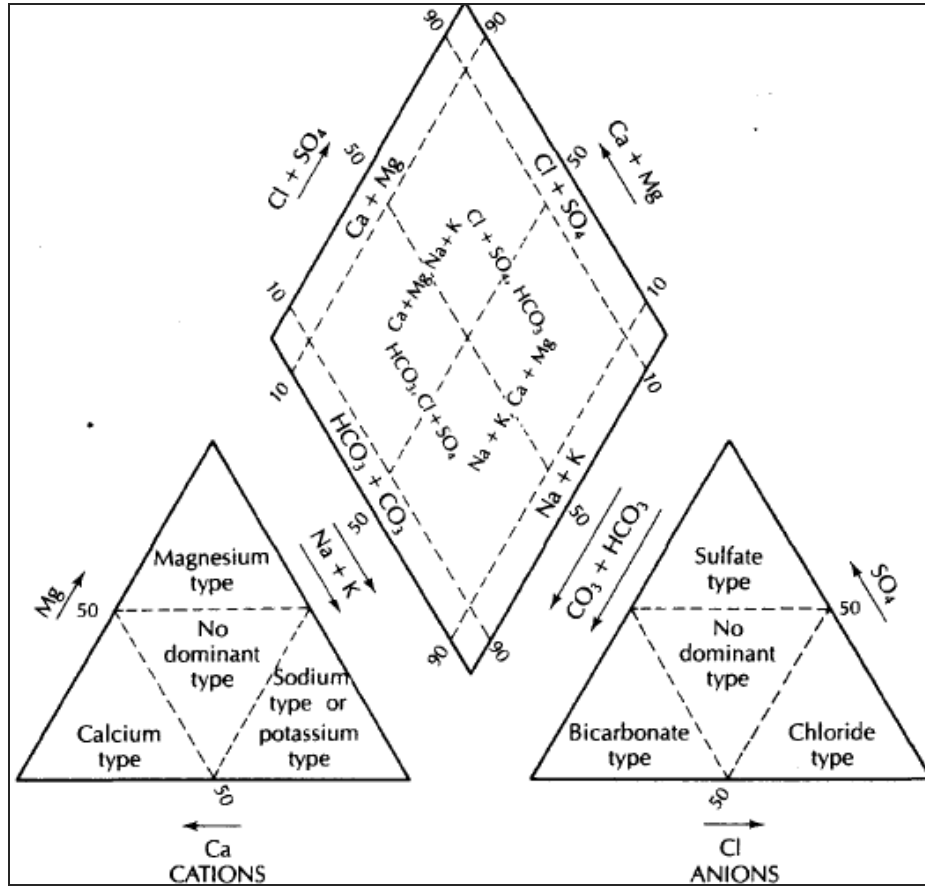


Figura 4.8: Sistema de classificação hidroquímica para água natural.
Fonte: FETTER (1994).

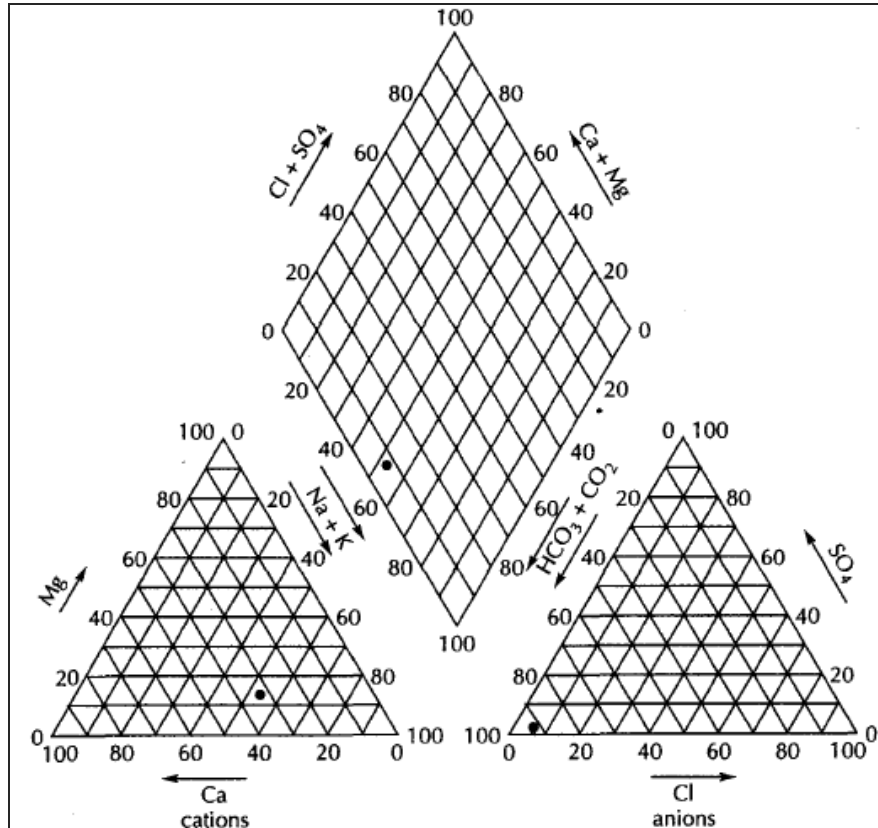


Figura 4.9: Análise representada no diagrama de Piper .
 Fonte: FETTER (1994).

II) DIAGRAMA DE STIFF

O diagrama de *Stiff* (STIFF, 1951 *apud* FETTER, 1994) consiste de três linhas retas paralelas onde são projetadas as concentração de cátions (Na+K, Mg e Ca) do lado esquerdo e a de ânions (Cl, SO₄, HCO₃) do lado direito das retas que o compõem (**Figura 4.10**). Desta projeção resultam os “picos” que indicam os íons presentes em maior quantidade, além de formar uma figura geométrica característica do tipo de água.

Este diagrama é útil para avaliar a mudança na qualidade da água em um local durante um período de tempo, ou ao passar por diferentes litotipos e/ou diferentes condições de subsuperfície. Em função das figuras geométricas formadas são muito úteis para a análise de dados distribuídos espacialmente, sendo muito utilizado em mapas. Também permite identificar facilmente águas da mesma família a partir de formas geométricas semelhantes.

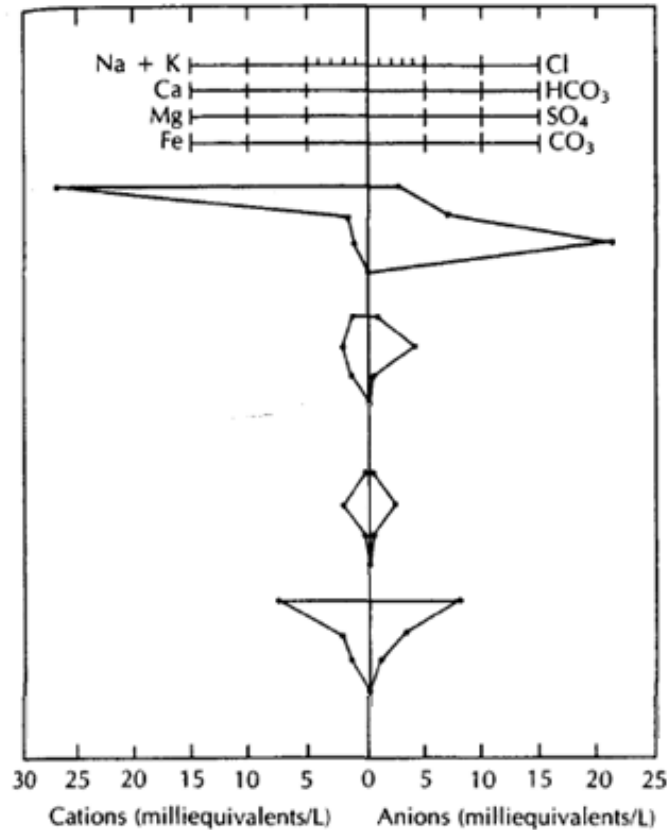


Figura 4.10: Análise representada pelo diagrama de Stiff.

Fonte: J.D. HEM, U.S. Geological Survey Water-Supply Paper, 1985 apud FETTER (1994).

III) DIAGRAMA DE GIBBS (DIAGRAMA BUMERANGUE)

Segundo GIBBS (1970), os cátions maiores que caracterizam os membros finais das águas superficiais são o cálcio, para corpos de água doce, e o sódio, para corpos de água salina. Além disso, os principais mecanismos que controlam a composição química dessas águas são: I) a precipitação atmosférica: a composição da chuva mundial é determinada pelo teor de NaCl de origem marinha e baixas concentrações de sólidos dissolvidos; II) as rochas: o incremento de sais devido à interação água-rocha causado pelo intemperismo aumenta a proporção de sólidos dissolvidos afetando as concentrações de cálcio ou bicarbonato em relação ao sódio e cloro; III) os processos de evaporação-cristalização fracionada: a evapotranspiração, como acontece em áreas de cultivo ou superfícies com aridez suficiente que recebem escoamento subsuperficial pelas águas de retorno agrícola, elevam conteúdo de Na^+ e de sólidos dissolvidos.

Então, plotando num diagrama a relação da concentração dos cátions maiores versus a salinidade total (sólidos totais dissolvidos - STD) é possível estabelecer os principais processos atuantes na água (**Figura 4.11**). A relação dos cátions maiores pode ser representada por: I) $\text{Na}^+ / (\text{Na}^+ + \text{Ca}^{+2})$ ou; II) $(\text{Na}^+ + \text{K}^+) / (\text{Na}^+ + \text{K}^+ + \text{Ca}^{+2})$ ou; III) $\text{Cl}^- / (\text{Cl}^- + \text{HCO}_3^-)$.

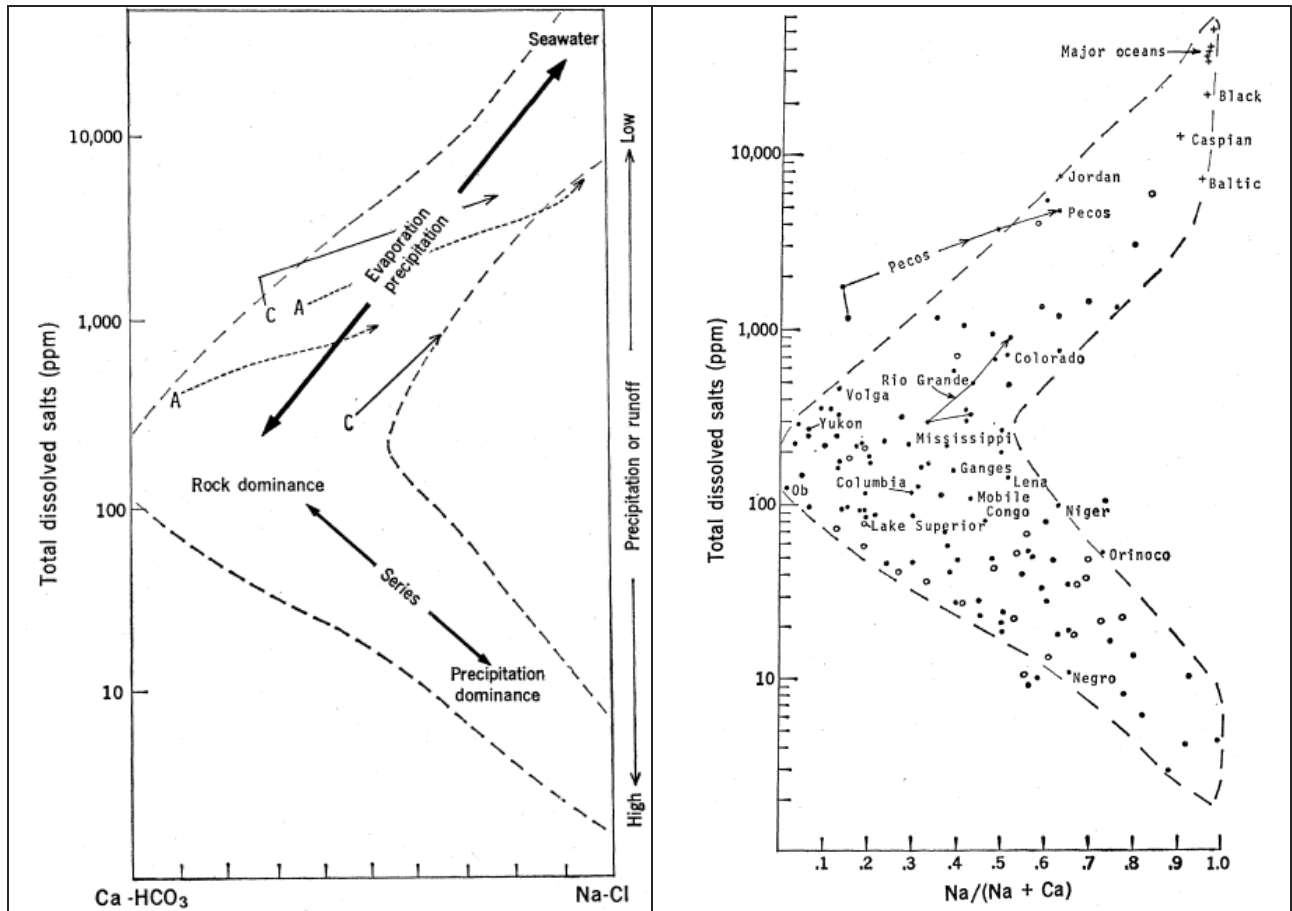


Figura 4.11: Diagrama de Gibbs.

Fonte: GIBBS (1970)

4.3.2.3. Qualidade das águas

A análise da qualidade das águas foi realizada através da comparação com padrões de qualidade, avaliação do índice de qualidade das águas – IQA e adequabilidade para agricultura.

I) PADRÕES DE QUALIDADE

Os resultados das análises das águas subterrâneas foram comparados com os padrões de qualidade definidos para uso preponderante de consumo humano pela Resolução nº 396, de 03 de

abril de 2008 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, que “*dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas*”.

Os resultados das análises das águas superficiais foram comparados com os padrões de qualidade estabelecidos para águas de classe II, pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 05 de maio de 2008, “que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes”.

II) ÍNDICE DE QUALIDADE DAS ÁGUAS - IQA

As águas superficiais também foram avaliadas através do seu IQA – índice de qualidade das águas, cujo valor para cada ponto amostrado foi fornecido juntamente com os resultados das análises hidroquímicas.

O IQA foi desenvolvido para avaliar o impacto do lançamento de esgotos sanitários e outros materiais orgânicos, nutrientes e sólidos nas águas superficiais.

Segundo UCEMG/PNMA II (2005), na caracterização da qualidade da água, utilizam-se alguns parâmetros que representam suas características físico-químicas e biológicas, os indicadores da qualidade da água, que representam impurezas quando ultrapassam a certos valores estabelecidos.

Estes parâmetros foram estabelecidos pela *National Sanitation Foundation* (NSF) nos Estados Unidos, através de pesquisa de opinião junto a vários especialistas da área ambiental, para o desenvolvimento de um índice que indicasse a qualidade da água (IQA). Nove parâmetros foram considerados mais representativos: oxigênio dissolvido, coliformes fecais, pH, demanda bioquímica de oxigênio, nitrato, fosfato total, temperatura da água, turbidez e sólidos totais. Para cada parâmetro foram traçadas curvas médias da variação da qualidade da água em função das suas respectivas concentrações. A cada parâmetro foi atribuído um peso, listados na **Tabela 4.2** a seguir, de acordo com sua importância relativa no cálculo do IQA.

Tabela 4.2: Parâmetros avaliados no cálculo do IQA.

Parâmetro	Unidade	Peso - wi
Oxigênio dissolvido – OD	(% OD)	0,17
Coliformes fecais	(NMP/100 mL)	0,15
pH	-	0,12
Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO	(mg/L)	0,10
Nitratos	(mg/L NO ₃)	0,10
Fosfatos	(mg/L PO ₄)	0,10
Variação na Temperatura	(°C)	0,10
Turbidez	(UNT)	0,08
Resíduos totais	(mg/L)	0,08

O IQA é calculado pelo produtório ponderado das qualidades de água correspondentes aos parâmetros conforme a fórmula:

$$IQA = \prod_{i=0}^9 q_i^{w_i}$$

Onde:

- IQA – índice de qualidade da água, um número de 0 a 100;
- q_i = qualidade do parâmetro i obtido através da curva média específica de qualidade;
- w_i = peso atribuído ao parâmetro, em função de sua importância na qualidade, entre 0 e 1.

De acordo com a Agência Nacional das Águas - ANA, os valores do IQA são classificados em faixas, que variam entre os estados brasileiros (**Tabela 4.3**).

Tabela 4.3: Avaliação da qualidade da água segundo o IQA.

Avaliação da Qualidade da Água	Faixas de IQA utilizadas nos Estados: AL, MG, MT, PR, RJ, RN, RS	Faixas de IQA utilizadas nos Estados: BA, CE, ES, GO, MS, PB, PE, SP
Ótima	91-100	80-100
Boa	71-90	52-79
Razoável	51-70	37-51
Ruim	26-50	20-36
Péssima	0-25	0-19

III) ADEQUABILIDADE PARA A AGRICULTURA

Conforme explicado por FETTER (1994), sob certas condições, os íons atraídos para a superfície de um sólido podem ser trocados por outros íons na solução aquosa. Esse processo é conhecido como troca iônica e pode ser definido como a absorção preferencial de íons seletivos com concomitante perda de outros íons. Sítios de troca iônica são encontrados principalmente em argilas e solos orgânicos (MITCHELL 1932, *apud* FETTER 1994), embora todos os solos e sedimentos tenham alguma capacidade de troca iônica. Pode ocorrer tanto troca catiônica quanto aniônica, mas em solos naturais a troca catiônica é dominante.

Uma importante reação de troca catiônica é a substituição de cálcio por sódio no solo. Se a água usada para irrigação é alta em sódio e baixa em cálcio, o complexo de troca catiônica pode tornar-se saturado em sódio. Isso pode destruir a estrutura do solo devido à dispersão das partículas de argila. Um simples método para avaliar o perigo de alto sódio na água de irrigação é através da razão de adsorção de sódio (RAS) ou SAR (*Sodium Adsorption Ratio*) (RICHARDS, 1954, *apud* FETTER, 1994) que é dado por:

$$SAR = \frac{(Na^+)}{\left[\frac{(Ca^{2+}) + (Mg^{2+})}{2} \right]^{0.5}}$$

A quantidade de sódio prejudicial é estabelecida em função dos teores conjuntos de cálcio e magnésio, pois estes elementos agem no sentido de deslocar o sódio contido no solo, no processo conhecido como troca catiônica.

Contudo, independente da relação de adsorção de sódio, o teor absoluto de sais de uma água é um fator limitante de seu uso na agricultura, devido à tolerância a sais por parte da vegetação.

Dessa forma, o Diagrama de Wilcox é uma importante ferramenta, pois estabelece o risco devido à salinidade, em função, basicamente do SAR e do teor total de sais da água, estimado a partir de sua condutividade elétrica. Esse diagrama, também conhecido como Diagrama do Departamento de Agricultura dos EUA (**Figura 4.12**), é um diagrama de dispersão com o parâmetro SAR (*Sodium Adsorption Ratio* – Razão de Adsorção de Sódio) no eixo das ordenadas, versus condutividade no eixo das abscissas (*Salinity* - Salinidade).

No presente estudo, os resultados hidroquímicos foram plotados no Diagrama de Wilcox através do programa de uso gratuito *Qualigraf - Programa para análise da qualidade de água*, desenvolvido pelo hidrogeólogo G. Mobus.

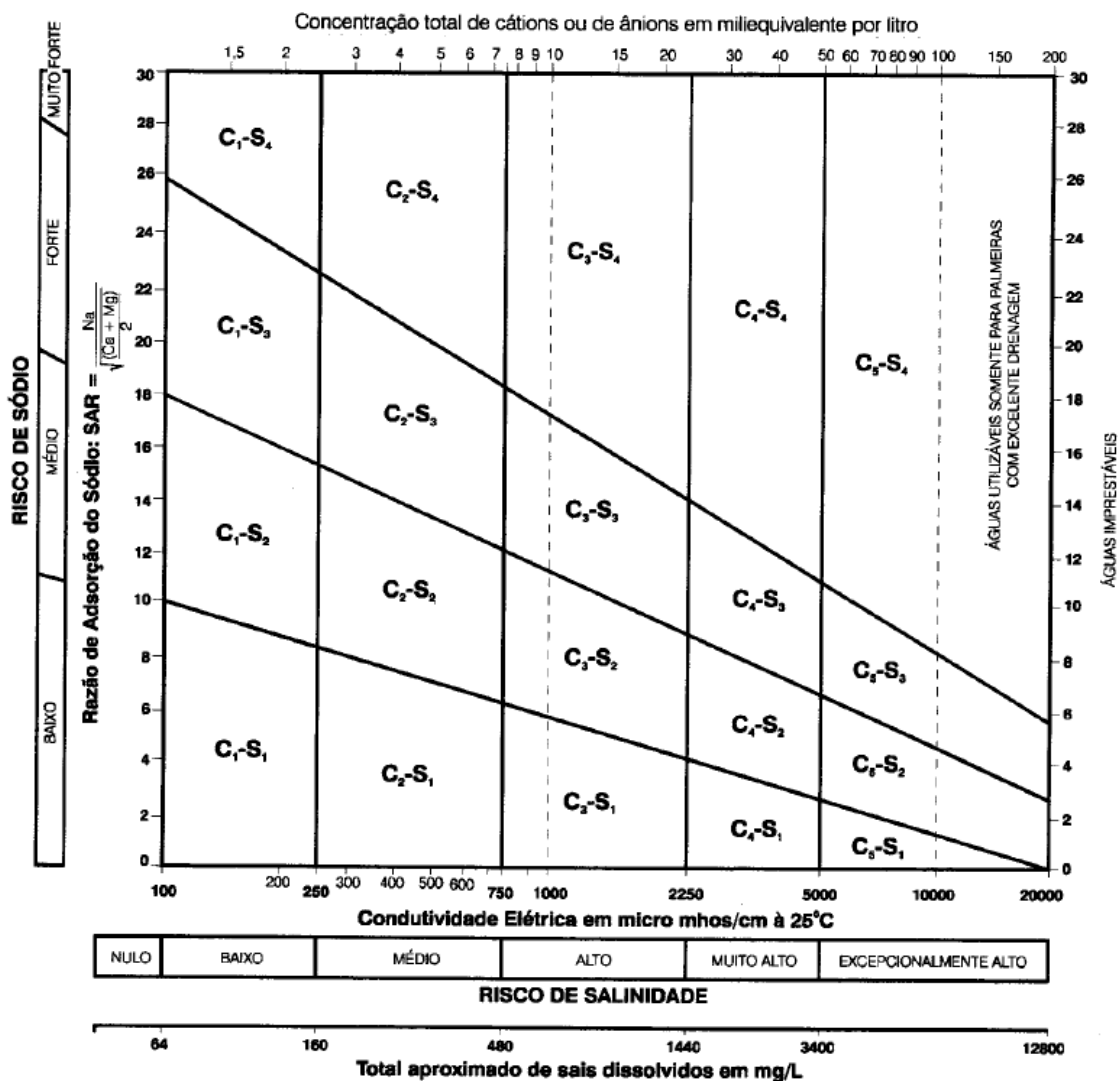


Figura 4.12: Diagrama do Departamento de Agricultura dos EUA - US Dept. of Agriculture (Diagrama de Wilcox).

Fonte: FEITOSA (2008).

5. DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS

5.1. POTAMOGRAFIA E FISIOGRAFIA

O rio Riachão é um afluente pela margem direita do rio Pacuí, que deságua, por sua vez, na margem direita do rio São Francisco, no norte de Minas Gerais. O curso do Riachão, desde sua cabeceira na Vereda do Aricuri, entre as comunidades de Capim Branco e Bibocas até sua confluência com Rio Pacuí (no limite dos municípios Brasília de Minas, São João do Pacuí e Coração de Jesus), apresenta uma extensão de aproximadamente 119 km e abrange uma área de aproximadamente 1116 km² (**Figura 5.1**).

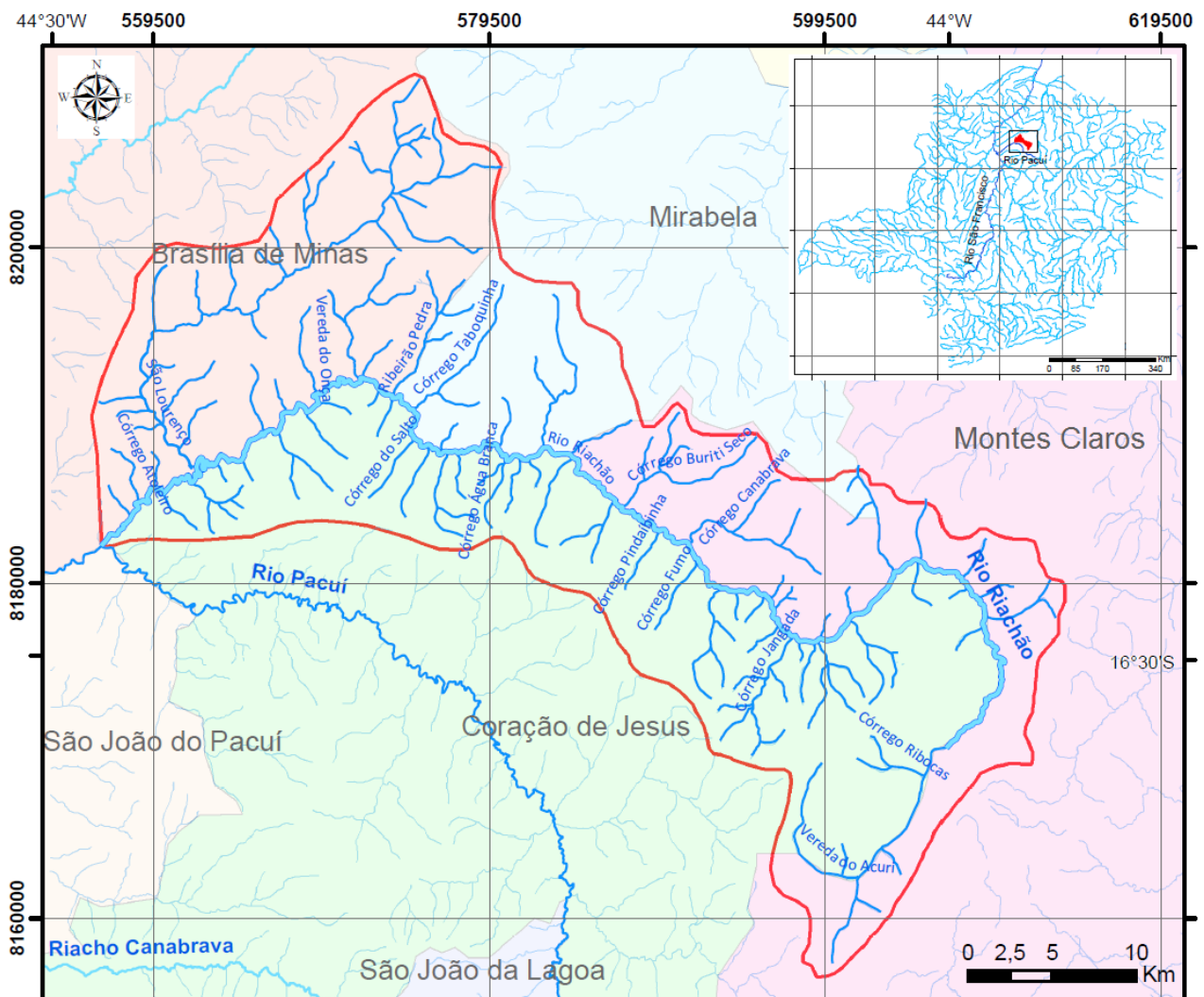


Figura 5.1: Localização da bacia hidrográfica do Riachão.

Fonte: Divisão municipal e hidrografia IBGE

A **Figura 5.2** apresenta um diagrama unifilar do curso do Riachão, com seus principais afluentes e subafluentes intermitentes e perenes, definidos de acordo com as cartas topográficas da região. Para efeito de simplificação, nessa representação são apresentados somente os cursos d'água que possuem nome.

A bacia do rio Riachão está localizada na Bacia Hidrográfica do rio São Francisco (**Figura 5.3**) e insere-se no comitê de bacias hidrográficas dos Rios Jequitáí e Pacuí (código SF6, **Figura 5.4**), conforme definido pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM (IGAM, 2010).

Seu limite, conforme apresentado, é o utilizado pelo IGAM e corresponde a Ottobacia 749126 (nível 6), segundo os seis níveis de classificação de OTTO PFAFSTETTER (1989).

O sistema de ordenação proposto por STRAHLER (1957, *apud* TUCCI, 2004) resultou numa classificação de quarta ordem para a bacia do Riachão, na escala de 1:100.000 (**Figura 5.5**). Conforme explicado por TUCCI (2004), no sistema de STRAHLER (1957) o rio principal e seus afluentes não mantêm o número de ordem na totalidade de suas extensões, conforme pode ser observado na **Figura 5.5**, que mostra que o Riachão torna-se de quarta ordem apenas após sua confluência com o rio de terceira ordem São Lourenço.

A partir desta classificação foi possível contabilizar o número de cursos para cada ordem e determinar a densidade da drenagem (**Tabela 5.1**). Ressalta-se que a ordenação e contabilização dos cursos foram realizadas a partir das cartas topográficas da região, para efeito de caracterização do sistema de drenagem bacia. Contudo sabe-se que parte desses cursos são secos ou intermitentes (Erro! Fonte de referência não encontrada. e Erro! Fonte de referência não encontrada.). Na **Tabela 5.2** são apresentadas as características morfométricas calculadas para a bacia.

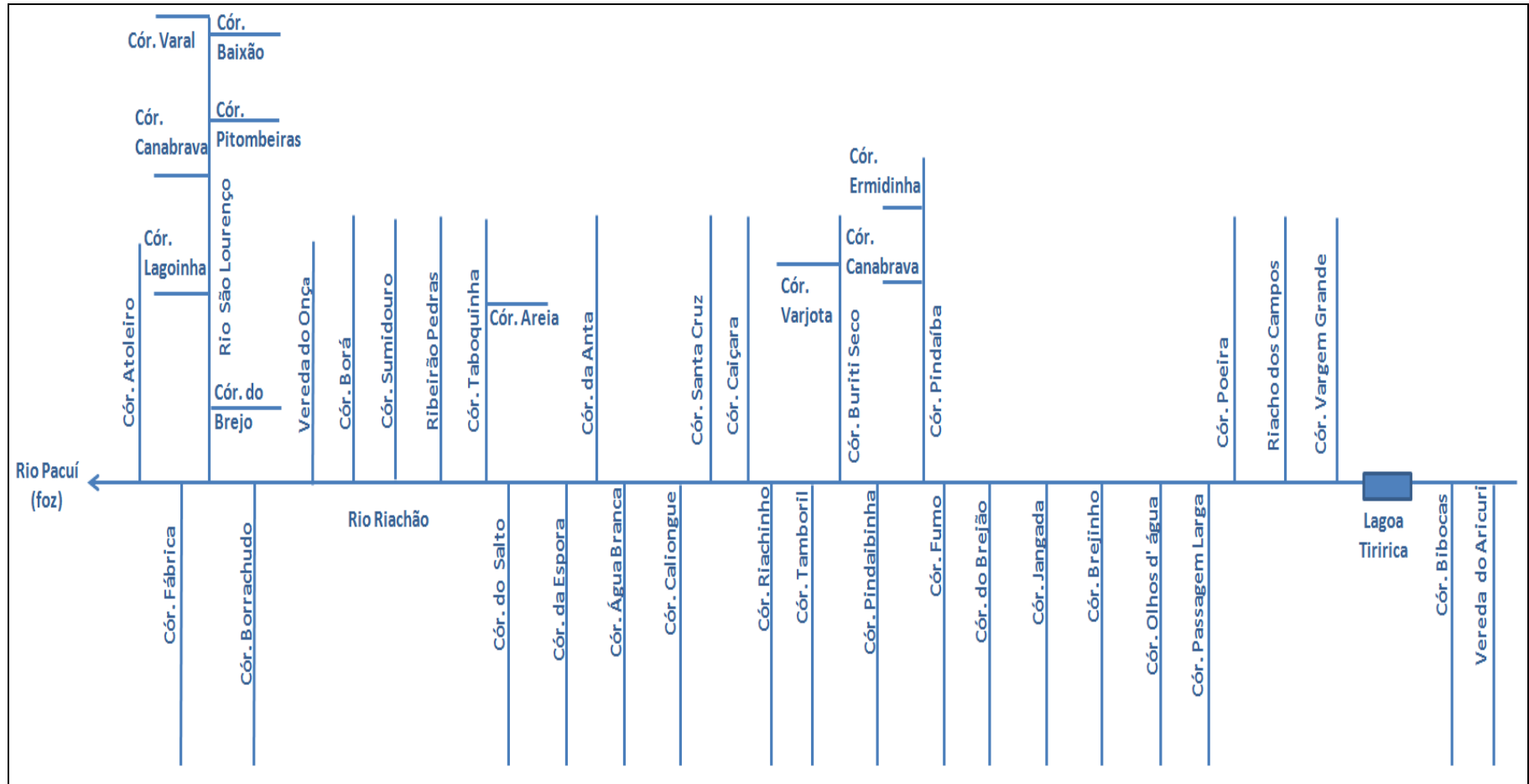


Figura 5.2: Diagrama unifilar do curso do Riachão, incluindo seus principais afluentes e subafluentes intermitentes e perenes (representação esquemática).

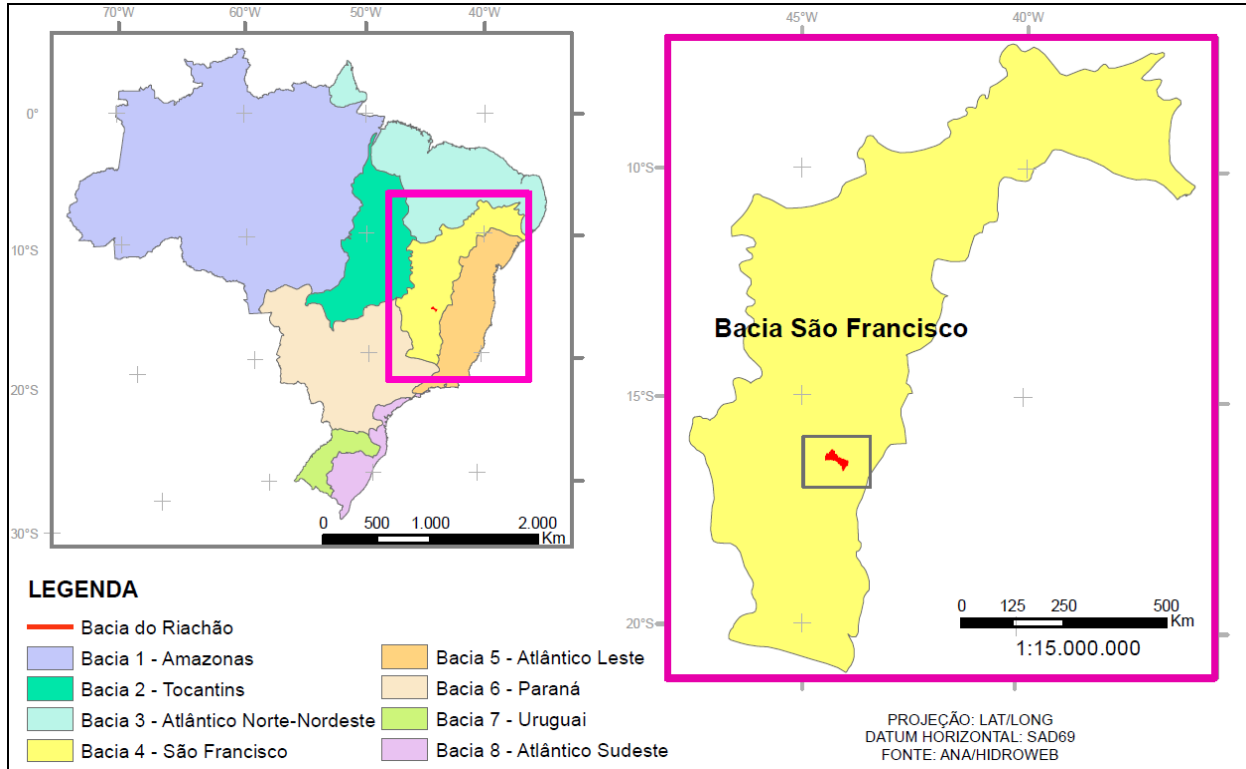


Figura 5.3: Localização da sub-bacia do Riachão dentro do contexto das Bacias Hidrográficas do Brasil.
 (Fonte: ANA/HIDROWEB)

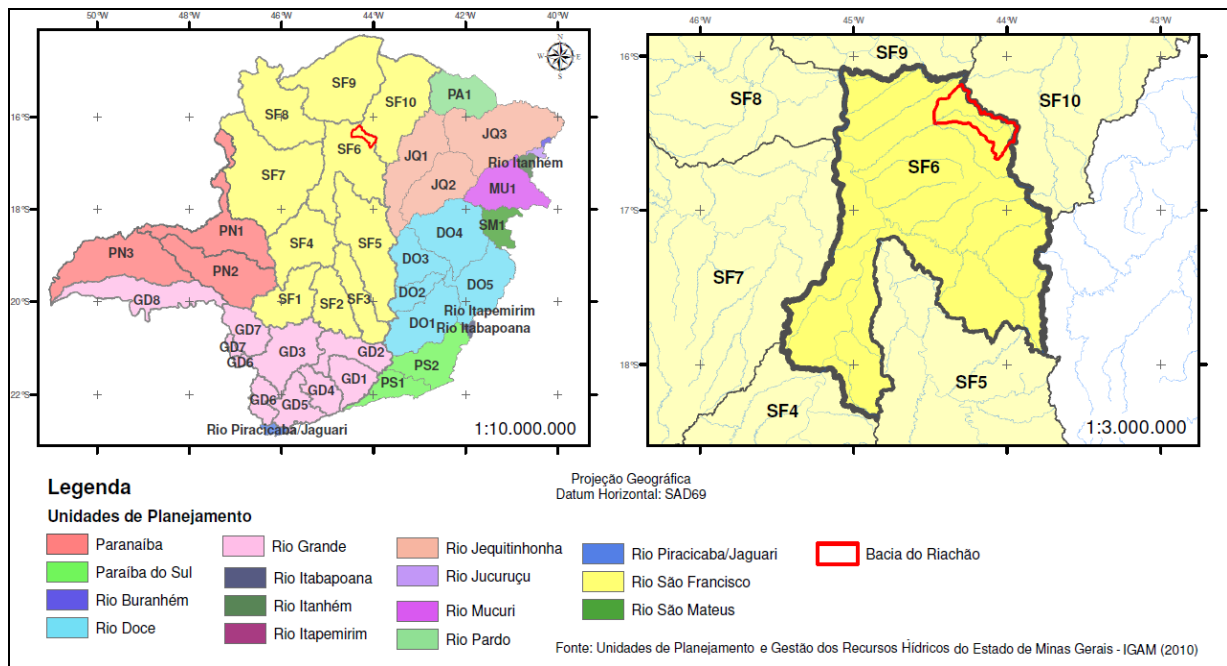


Figura 5.4: Localização da bacia do Riachão no contexto dos Comitês de Bacias Hidrográficas de Minas Gerais.
 (Fonte: IGAM 2010)

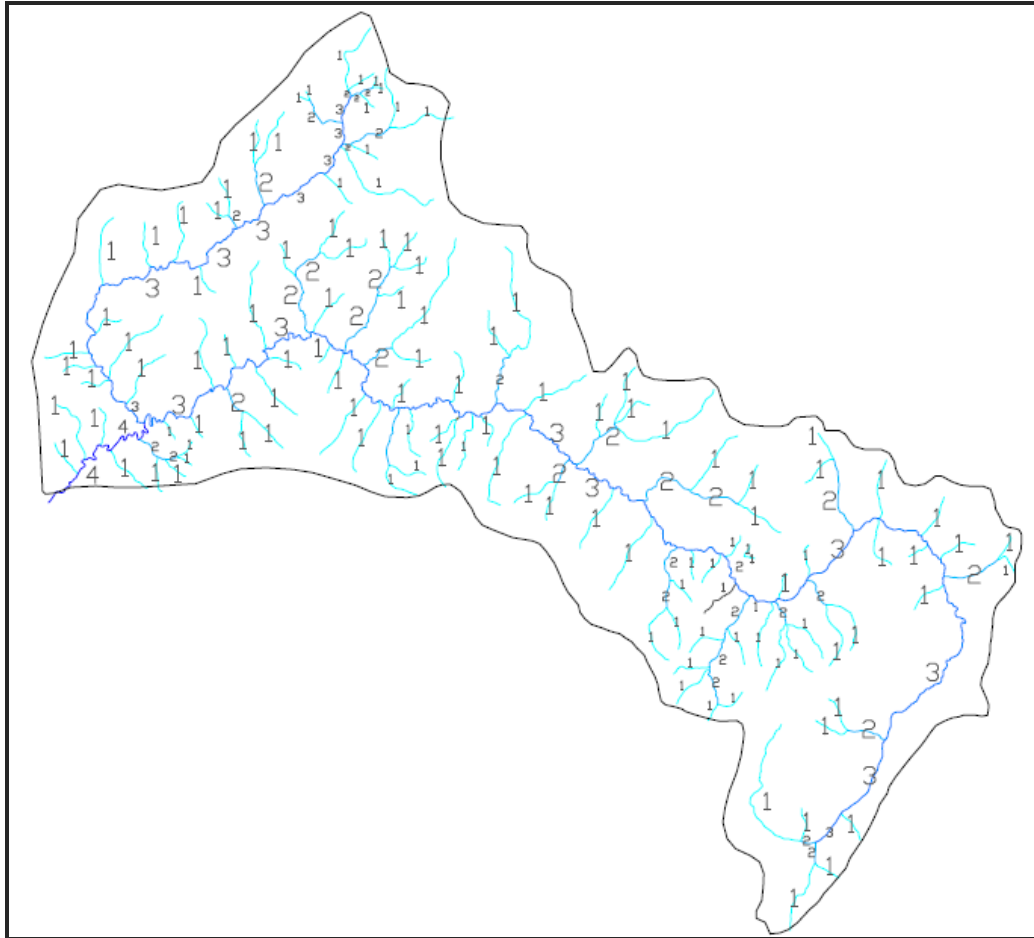


Figura 5.5: Hierarquia dos cursos d'água da bacia do Riachão de acordo com o sistema de ordenamento proposto por STRAHLER (1957).

Tabela 5.1: Caracterização dos cursos da rede de drenagem da bacia do Riachão.

Ordem	Número	Comprimento total (Km)
1	120	352,22
2	25	77,65
3	2	131,82
4	1	951,80
Total	148	1513,48

Tabela 5.2: Características Morfométricas calculadas para a bacia do Riachão.

Parâmetro	Unidade	Valor
Área (A)	Km ²	1115,79
Perímetro (P)	Km	192,84
Comprimento Curso Principal (L)	Km	118,69
Coefficiente de Compacidade ou Índice de Gravelius (Kc)	-	1,62
Fator de Forma (Kf)	-	0,08
Índice de Circularidade (Ic)	-	0,38
Densidade de drenagem (Dd)	Km/Km ²	1,35

A densidade de drenagem obtida foi de $1,35 \text{ km/km}^2$, um valor que indica uma bacia mediana a pouco drenada. Além disso, é importante ter em vista o caráter intermitente ou mesmo seco de muitas drenagens da bacia do Riachão (Erro! Fonte de referência não encontrada. e Erro! Fonte de referência não encontrada.). De acordo com VILLELA E MATTOS (1975) o índice de densidade de drenagem pode variar entre $0,5 \text{ km/km}^2$ em bacias com drenagem pobre a $3,5 \text{ km/km}^2$ ou mais, em bacias bem drenadas. Conforme explicado por FERREIRA *et. al.* (2010), a característica de drenagem pobre, associada às condições climáticas, pode contribuir para necessidade de construção de barragens para que a água permaneça disponível por mais tempo no curso. Ação inclusive já realizada pelo IGAM na área do Riachão, onde foram construídos minibarramentos e bacias de contenção (**Capítulo 2.3**).

Os demais índices morfométricos obtidos para a bacia (coeficiente de compacidade, fator de forma e índice de circularidade) apontam ainda para uma bacia alongada, com forte controle estrutural, mais suscetível ao escoamento das águas do que a enchentes (em condições normais de precipitação).



Figura 5.6: Leito seco do córrego Fábrica, no baixo Riachão.



Figura 5.7: Leito seco e assoreado do córrego Canabrava, afluente do rio São Lourenço.

O mapa hipsométrico da área da bacia mostra altitudes entre 530 e 1040 metros, sendo que a calha do rio chega a cerca de 900 metros de altitude na porção mais à montante da bacia (vereda do Aricuri) e a cerca de 640 metros na sua foz com o rio Pacuí (**Figura 5.8**). O relevo é predominantemente plano a ondulado, segundo as classes de relevo da EMBRAPA. A drenagem

apresenta um padrão retangular, característico do condicionamento estrutural que é bem marcante na região. Esse controle estrutural é responsável pela mudança da direção do curso principal do rio ao longo da bacia, sendo as porções alta e baixa (montante e jusante) da bacia com o curso principal predominantemente NE/SW, e o curso da porção média da bacia, com uma direção NW/SE. Esse padrão estrutural também pode ser observado no rio São Lourenço, afluente pela margem direita do baixo-Riachão (**Figura 5.9**).

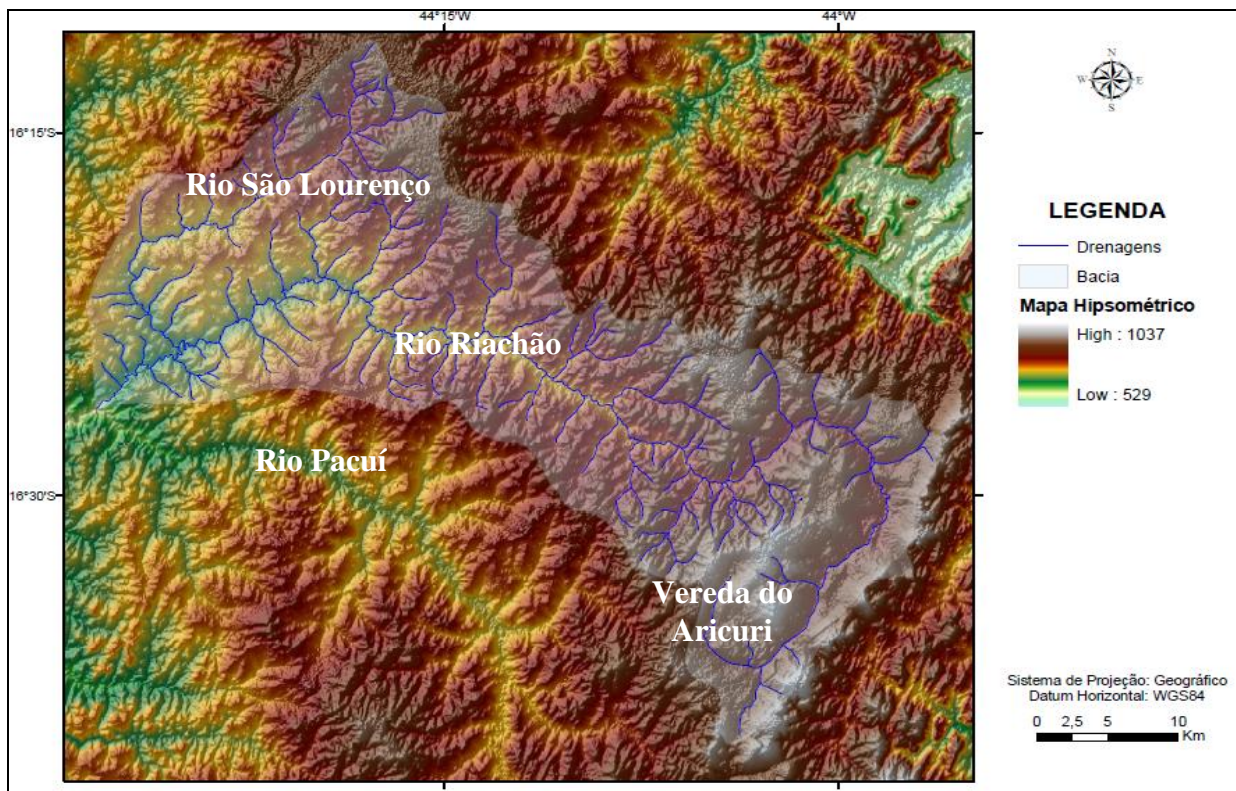


Figura 5.8: Mapa hipsométrico da área com destaque para a rede de drenagem da bacia do Riachão.

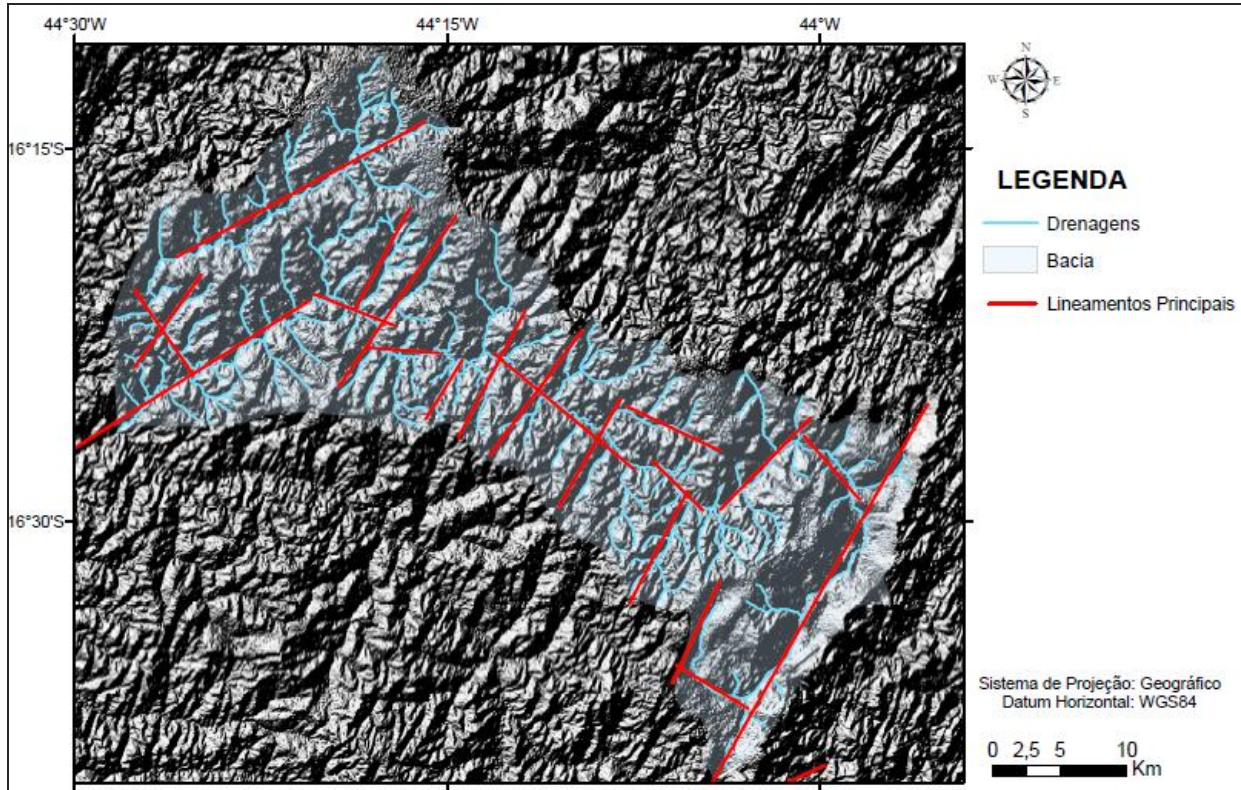


Figura 5.9: Lineamentos principais condicionantes do padrão de drenagem.

5.2. REGIME PLUVIOMÉTRICO

Foram analisadas as informações de quarenta e sete (47) estações pluviométricas localizadas nos municípios de abrangência da bacia, sendo que seis (6) estão localizadas em Mirabela, nove (9) em Brasília de Minas, doze (12) em Coração de Jesus e vinte (20) em Montes Claros. Dentre essas, trinta e seis (36) apresentam dados disponíveis.

As estações pluviométricas fornecem dados de pluviosidade mensal total, número de dias de chuva, pluviosidade diária máxima e total anual. Os dados gerais das estações pluviométricas e os períodos de monitoramento disponíveis para cada uma são apresentados na **Tabela 5.3** e **Tabela 5.4**. A localização destas estações é apresentada no mapa da **Figura 5.10**, onde as estações são diferenciadas de acordo com o município pertencente.

Dentre as estações pesquisadas, foram selecionadas seis (6) para a caracterização pluviométrica da bacia, sendo cinco da SUDENE e uma do DNOCS. Para a seleção das estações, primeiramente procurou-se abranger o maior período de monitoramento possível com dados disponíveis. Dessa forma, foi selecionado o período de tempo de 1965 a 1991. Uma vez definido esse período, as estações foram escolhidas segundo sua localização e consistência dos dados, visando cobrir toda a bacia. A consistência dos dados foi realizada mediante tratamento estatístico descrito a seguir.

Segundo os dados das séries históricas, todas as estações selecionadas utilizam pluviômetros. Como os dados adquiridos não são consistentes, procedeu-se ao tratamento estatístico previamente a interpretação dos dados. Os valores de precipitação anual de cada estação foram avaliados segundo intervalos de confiança de 80, 90, 95 e 99%. Nessa análise foram incluídos apenas os totais anuais com registro completo. Os dados apresentaram desvios padrões altos (entre 29% e 65% em relação à média), por isso optou-se por trabalhar com um intervalo de confiança de 95%, para diminuir a perda de dados e ao mesmo tempo conseguir eliminar valores muito erráticos.

Dessa forma, a precipitação média anual de cada estação (1965 a 1991) foi calculada a partir dos valores anuais localizados dentro do intervalo de confiança de 95%. Do ponto de vista estatístico, é importante ressaltar que as chuvas em análise são amostras de dados correspondentes a observações feitas no passado, não sendo possível conhecer a população dos dados. Então, essa análise de intervalo de confiança, para se estimar a média de chuva, consiste em determinar um intervalo de valores no qual se espera que uma futura observação esteja contida.

Tabela 5.3: Dados gerais das estações pluviométricas pesquisadas no estudo.

Código	Coordenadas				Nome Da Estação	Sub-bacia	Estado	Município	Responsável	Operador a	Dados Disponíveis	Séries Históricas							
	Latitude	Longitude	UTM E (SAD 69)	UTM N (SAD 69)								De	a	De	a	De	a	De	a
1644016	-16:15:0	-44:11:0	587309	8203280	Mirabela	44	MG	Mirabela	SUDENE	Desativada	Sim	1961	1981	-	-	-	-	-	-
1644017	-16:4:0	-44:5:0	598086	8223517	Patis	44	MG	Mirabela	SUDENE	Desativada	Sim	1964	1966	1968	1975	1979	1986	-	-
1644018	-16:8:0	-44:13:0	583796	8216201	São Bento	44	MG	Mirabela	SUDENE	Desativada	Sim	1964	1991	1993	1999			-	-
1644029	-16:20:0	-44:8:0	592613	8194039	Mirabela	44	MG	Mirabela	CODEVASF	Desativada	Não	-	-	-	-	-	-	-	-
1644041	-16:15:54	-44:9:48	589439	8201612	Mirabela	44	MG	Mirabela	COPASA	Copasa	Não	-	-	-	-	-	-	-	-
1644042	-16:9:30	-44:11:20	586755	8213424	Muquem	44	MG	Mirabela	ANA	CPRM	Sim	2002	2010					-	-
1644002	-16:12:0	-44:26:0	560608	8208902	Brasília De Minas	43	MG	Brasília de Minas	DNOCS	Dnocs	Sim	1961	1991	1993	1999			-	-
1644003	-16:12:0	-44:26:0	560608	8208902	Brasília De Minas	43	MG	Brasília de Minas	SUDENE	Desativada	Não	-	-	-	-	-	-	-	-
1644004	-16:29:0	-44:48:0	521385	8177633	Campo Azul	43	MG	Brasília de Minas	SUDENE	Desativada	Sim	1964	1991	-	-	-	-	-	-
1644009	-16:23:0	-44:27:0	558772	8188626	Fernão Dias	43	MG	Brasília de Minas	SUDENE	Desativada	Sim	1964	1991	-	-	-	-	-	-
1644011	-16:18:0	-44:36:0	542772	8197882	Fazenda Macaúbas	43	MG	Brasília de Minas	SUDENE	Desativada	Sim	1964	1971	-	-	-	-	-	-
1644015	-16:6:0	-44:35:0	544597	8220002	Luzilândia	43	MG	Brasília de Minas	SUDENE	Desativada	Sim	1964	1991	1993	2001	-	-	-	-
1644027	-16:12:23	-44:25:31	561111	8208194	Brasília De Minas - Jusante	43	MG	Brasília de Minas	ANA	CPRM	Sim	1975	2010	-	-	-	-	-	-
1644035	-16:12:23	-44:25:43	561111	8208194	Brasília De Minas	43	MG	Brasília de Minas	COPASA	Copasa	Não	-	-	-	-	-	-	-	-
1644043	-16:30:18	-44:48:36	520316	8175237	Campo Azul	43	MG	Brasília De Minas	COPASA	Copasa	Não	-	-	-	-	-	-	-	-
1644000	-16:26:0	-44:17:0	576551	8183039	Alvação	42	MG	Coração de Jesus	SUDENE	Desativada	Sim	1964	1995	1997	2000	-	-	-	-
1644001	-16:40:0	-44:22:0	567572	8157256	Coração De Jesus	42	MG	Coração de Jesus	ANA	Desativada	Sim	1941	1946	1964	1991	1993	1994	1996	2000
1644006	-16:32:0	-44:3:0	601411	8171873	Cantagalo	42	MG	Coração de Jesus	SUDENE	Desativada	Sim	1964	1993	1997	2001	-	-	-	-
1644007	-16:42:0	-44:22:0	567561	8153569	Coração De Jesus	42	MG	Coração de Jesus	DNOCS	Dnocs	Sim	1960	1985	1989	1991	-	-	-	-
1644019	-16:41:0	-44:33:0	548019	8155465	São Geraldo	42	MG	Coração de Jesus	SUDENE	Desativada	Sim	1964	1991	1993	1997	-	-	-	-
1644020	-16:52:0	-44:22:0	567502	8135131	São João Da Lagoa	42	MG	Coração de Jesus	SUDENE	Desativada	Sim	1964	1985	-	-	-	-	-	-
1644022	-16:32:0	-44:32:0	549834	8172055	São João Do Pacuí	42	MG	Coração de Jesus	SUDENE	Desativada	Sim	1964	1991	1993	1994	-	-	-	-
1644023	-16:37:0	-44:42:0	532036	8162870	São Joaquim	42	MG	Coração de Jesus	SUDENE	Desativada	Sim	1964	1991	1993	1994	-	-	-	-
1644032	-16:24:51	-44:13:17	583172	8185135	Alvação	44	MG	Coração de Jesus	ANA	CPRM	Sim	2000	2010	-	-	-	-	-	-

Em azul as estações selecionadas. Fonte: Informações compiladas do HIDROWEB - Sistema de Informações Hidrológicas. Dados disponíveis em: <http://hidroweb.ana.gov.br/>

Tabela 5.4: Dados gerais das estações pluviométricas pesquisadas no estudo (continuação).

Código	Coordenadas				Nome Da Estação	Sub-bacia	Estado	Município	Responsável	Operadora	Dados Disponíveis	Séries Históricas							
	Latitude	Longitude	UTM E (SAD 69)	UTM N (SAD 69)								De	a	De	a	De	a	De	a
1644034	-16:41:0	-44:34:29	545383	8155471	São Geraldo	42	MG	Coração De Jesus	ANA	CPRM	Sim	2000	2010	-	-	-	-	-	-
1644036	-16:41:11	-44:21:53	567773	8155074	Coração De Jesus	42	MG	Coração De Jesus	COPASA	Copasa	Não	-	-	-	-	-	-	-	-
1744003	-17:4:0	-44:29:0	555016	8113041	Fazenda Santo Amaro	42	MG	Coração De Jesus	SUDENE	Desativada	Sim	1964	1969	-	-	-	-	-	-
1643006	-16:54:0	-43:54:0	617195	8131224	Fazenda Pentaura	42	MG	Montes Claros	SUDENE	Desativada	Sim	1965	1994	1998	2001	-	-	-	-
1643008	-16:35:0	-43:57:0	612054	8166289	Miralta	44	MG	Montes Claros	SUDENE	Desativada	Sim	1964	1990	-	-	-	-	-	-
1643009	-16:43:0	-43:52:0	620861	8151488	Montes Claros	44	MG	Montes Claros	INMET	Inmet	Sim (Pluv&Clima)	1961	1963	1968	1970	1975	1984	1991	1998
1643010	-16:44:0	-43:52:0	620851	8149644	Montes Claros	44	MG	Montes Claros	DNOCS	Dnocs	Sim	1950	1957	1963	1976	1979	1985	-	-
1643011	-16:44:0	-43:52:0	620851	8149644	Montes Claros	44	MG	Montes Claros	SUDENE	Desativada	Não	-	-	-	-	-	-	-	-
1643014	-16:9:0	-43:53:0	619430	8214193	São Pedro Das Garças	44	MG	Montes Claros	SUDENE	Desativada	Sim	1964	1977	1981	1985	-	-	-	-
1643015	-16:18:0	-43:57:0	612216	8197635	Santa Rosa De Lima	44	MG	Montes Claros	SUDENE	Desativada	Sim	1964	1991	1993	1994	1998	1999	-	-
1643018	-16:44:0	-43:52:0	620851	8149644	Montes Claros	44	MG	Montes Claros	ANA	Desativada	Sim	1941	1994	-	-	-	-	-	-
1643019	-16:46:0	-43:42:0	638595	8145848	Ponte De Rodagem	44	MG	Montes Claros	ANA	Desativada	Sim	1969	1979	-	-	-	-	-	-
1643031	-16:44:30	-43:50:48	622977	8148710	Montes Claros / R3	44	MG	Montes Claros	COPASA	Copasa	Não	-	-	-	-	-	-	-	-
1643032	-16:42:21	-43:55:46	614174	8152724	Montes Claros / Cór. Bois / Lpgrande/ Pai	44	MG	Montes Claros	COPASA	Copasa	Não	-	-	-	-	-	-	-	-
1643034	-16:51:7	-43:35:21	650343	8136331	Montes Claros / Juramento	44	MG	Montes Claros	COPASA	Copasa	Não	-	-	-	-	-	-	-	-
1643037	-16:34:35	-43:56:36	612769	8167053	Nova Esperança	44	MG	Montes Claros	ANA	CPRM	Sim	2002	2010	-	-	-	-	-	-
1643040	-16:43:0	-43:52:0	620861	8151488	Montes Claros	40	MG	Montes Claros	SUDENE	Desativada	Sim	1985	-	-	-	-	-	-	-
1643041	-16:40:10	-43:49:27	625423	8156687	Se Montes Claros	44	MG	Montes Claros	CEMIG	Cemig	Não	-	-	-	-	-	-	-	-
1644005	-16:39:0	-44:1:0	604905	8158949	Campo Santo Dos Bunitis	42	MG	Montes Claros	SUDENE	Desativada	Sim	1964	1994	-	-	-	-	-	-
1644010	-16:52:0	-44:6:0	595909	8135020	Fazenda Brejinho	42	MG	Montes Claros	SUDENE	Desativada	Sim	1964	1990	1998	-	-	-	-	-
1644021	-16:42:0	-44:7:0	594215	8153467	São João Da Vereda	42	MG	Montes Claros	SUDENE	Desativada	Sim	1964	1977	-	-	-	-	-	-
1644028	-16:42:9	-44:7:2	594155	8153191	São João Da Vereda	42	MG	Montes Claros	ANA	CPRM	Sim	1975	2010	-	-	-	-	-	-
1744004	-17:4:0	-44:2:0	602902	8112859	Trairas	42	MG	Montes Claros	SUDENE	Desativada	Sim	1964	1984	-	-	-	-	-	-

Em azul as estações selecionadas. Fonte: Informações compiladas do HIDROWEB - Sistema de Informações Hidrológicas. Dados disponíveis em: <http://hidroweb.ana.gov.br/>

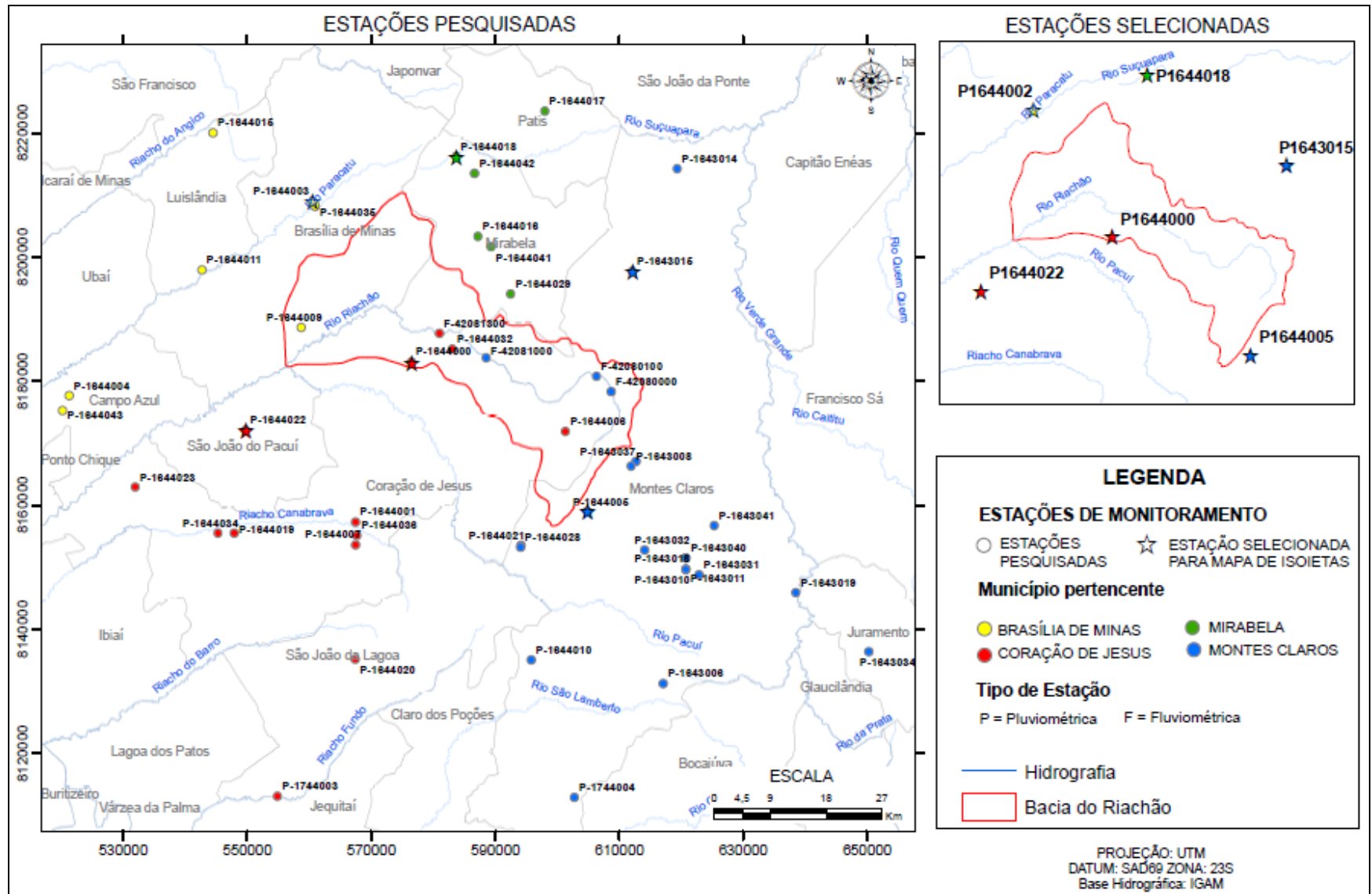


Figura 5.10: Mapa com a localização das estações pluviométricas pesquisadas, com destaque para as estações selecionadas para a caracterização pluviométrica regional.

(Fonte: Informações compiladas do HIDROWEB - Sistema de Informações Hidrológicas. Dados disponíveis em: <http://hidroweb.ana.gov.br/>)

Essa análise estatística foi a etapa final para se determinar quais estações seriam utilizadas para a confecção do mapa de isoietas local para a caracterização pluviométrica da bacia. Assim, foram escolhidas seis estações que apresentaram melhor aproveitamento dos dados (menos perda), dentro do intervalo de confiança selecionado. A **Tabela 5.5** e **Figura 5.11** a seguir apresentam os valores finais de precipitação média anual para cada estação.

Tabela 5.5: Precipitação média anual (1965-1991) para cada estação selecionada.

Estação	Média Anual (mm)
1644018	1210,01
1644002	960,40
1644000	934,83
1644022	1039,51
1643015	1124,61
1644005	1020,26

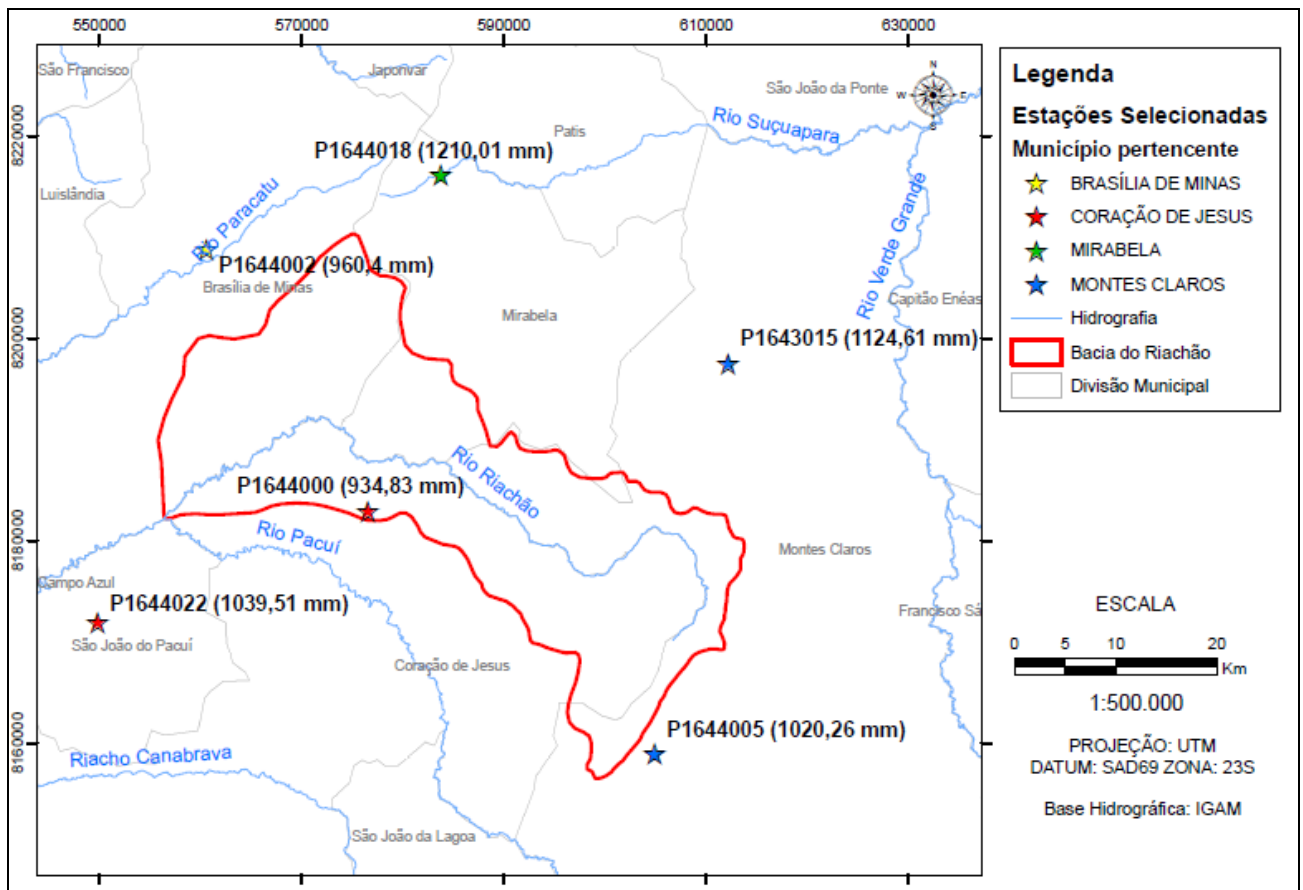


Figura 5.11: Mapa de localização das estações pluviométricas selecionadas com suas respectivas médias anuais.

Os dados mostram uma variação nos valores de precipitação entre as estações, alcançando uma variação de até 13% entre as estações com valores extremos (estações 1644000 e 1644018, vide **Tabela 5.5**), indicando uma heterogeneidade da pluviometria ao longo da bacia.

O ano hidrológico é caracterizado por um regime de precipitação com uma estação chuvosa e uma seca, ambas bem marcadas, conforme pode ser observado pelas precipitações médias mensais para o período de 1965 a 1991 nos gráficos da **Figura 5.12**.

A estação chuvosa começa em outubro e termina em março, atingindo seu máximo no mês de dezembro. A estação seca dura de abril a setembro, sendo o mês de agosto o mais seco (**Figura 5.12**). O período chuvoso concentra a quase totalidade da precipitação anual (em média 90%), sendo que o trimestre chuvoso (novembro, dezembro e janeiro) apresenta em média 56% da precipitação anual, alcançando até 61% no sudeste da bacia, em Montes Claros.

Conforme pode ser observado no mapa da **Figura 5.11**, as seis (6) estações escolhidas estão espacialmente distribuídas de maneira razoavelmente uniforme na bacia, sendo então aceitável considerar a precipitação média da bacia como a média aritmética dos valores observados em cada estação. Dessa forma, calculando-se a média aritmética a partir dos valores calculados de precipitação média anual para cada estação, temos uma precipitação média para a bacia de **1048,27 mm (Tabela 5.6)**.

Tabela 5.6: Precipitação média anual na Bacia do Riachão (1965-1991)

Estação	Média Anual (mm)
1644018	1210,01
1644002	960,40
1644000	934,83
1644022	1039,51
1643015	1124,61
1644005	1020,26
Média Aritmética	1048,27

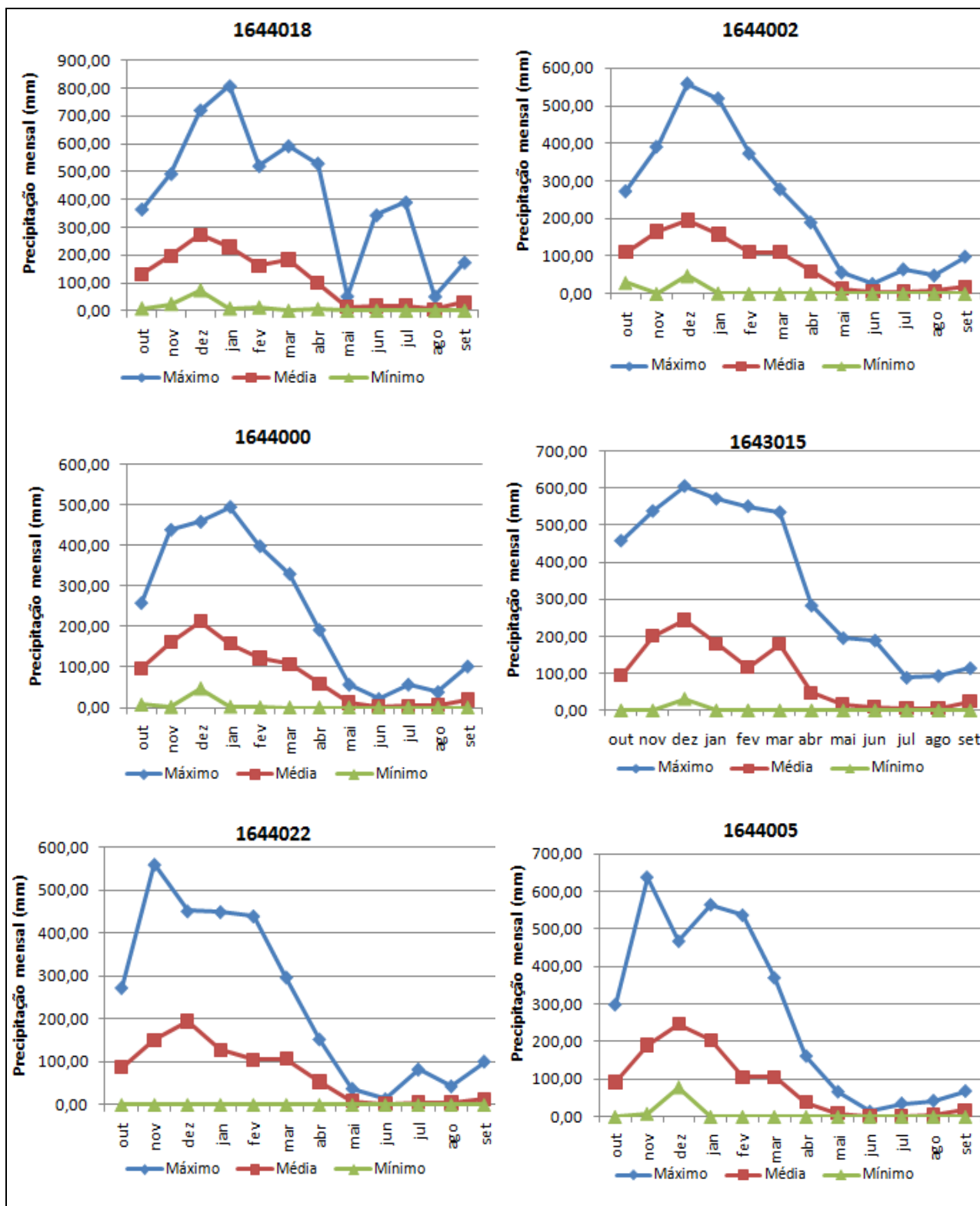


Figura 5.12: Gráficos das precipitações médias mensais do período de 1965 a 1991 para as estações selecionadas.

(Fonte: Informações compiladas do HIDROWEB - Sistema de Informações Hidrológicas. Disponível em:

<http://hidroweb.ana.gov.br/>)

A **Figura 5.13** a seguir apresenta o mapa de isoietas confeccionado para a bacia. Nesse mapa são indicadas as estações utilizadas e seus respectivos valores de precipitação média anual. É importante ressaltar que esse mapa de isoietas foi construído apenas utilizando-se um método matemático de interpolação para os dados de precipitação, sem levar em consideração os aspectos fisiográficos da bacia ou qualquer outro parâmetro do meio físico. Então a configuração das isoietas representa apenas uma aproximação numérica, cujo objetivo é fornecer um valor médio de precipitação para a bacia, que será calculado através do método das isoietas.

A área de estudo foi então dividida em sete (7) partes, definidas pela interseção entre as isoietas e o limite da bacia (**Figura 5.14**). A medição das áreas entre cada par de isoietas foi realizado através do software *AutoCad 2007* e os valores obtidos são apresentados na **Tabela 5.7**.

A partir das áreas e isoietas representadas na **Figura 5.14**, a precipitação média h_m da Bacia do Riachão foi dada por:

$$\text{Precipitação Média } (h_m) = \text{Produtos} / \text{Área Total}$$

Onde: **Produtos** = $(A_1P_1 + A_2P_2 + A_3P_3 + A_4P_4 + A_5P_5 + A_6P_6 + A_7P_7)$

$$\text{Área Total} = \sum_{i=0}^7 A_i$$

Resultando numa precipitação média $h_m = 1007,9$ mm, valor 4% inferior aquele calculado pela média aritmética (1048,27 mm) e 7% inferior à precipitação média anual apresentada pelas Normais Climatológicas da estação climatológica de Montes Claros (1082,3 mm).

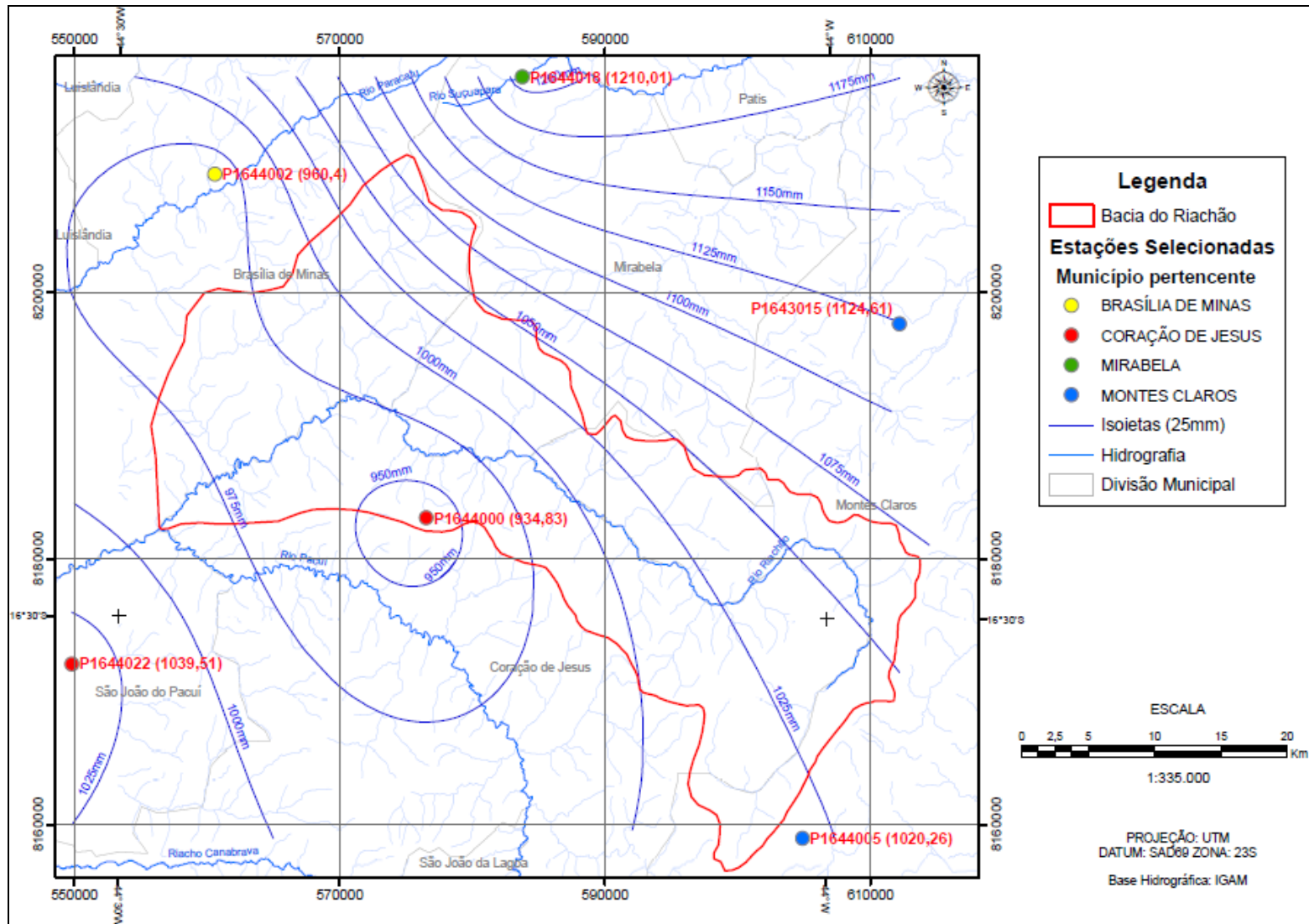


Figura 5.13: Mapa de Isoietas para a Bacia do rio Riachão, com base na interpolação das precipitações das estações selecionadas.

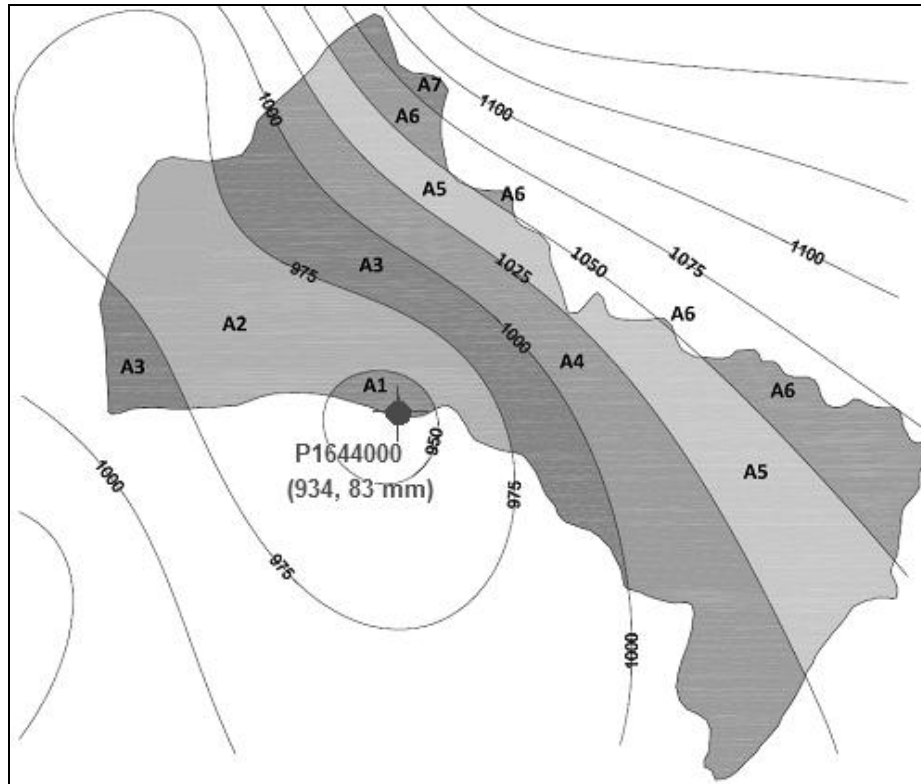


Figura 5.14: Representação das áreas utilizadas no cálculo da precipitação média na Bacia do Riachão pelo Método das Isoietas.

A **Tabela 5.7** e a **Tabela 5.8** apresentam os valores de cada área (A_i) e precipitação (P_i) utilizados na equação do cálculo da precipitação média da Bacia do Riachão. O valor de altura de precipitação P_1 corresponde à média entre a precipitação obtida na estação P1644000 (934,83 mm, vide **Tabela 5.6**) e a altura de precipitação limítrofe da área correspondente (**Figura 5.14**), conforme previsto pelo método.

Tabela 5.7: Valores das áreas calculadas.

Valor das áreas (m ²)						
A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
15.554.557,34	232.739.048,06	203.224.041,97	292.450.398,16	247.381.612,26	113.021.521,92	11.417.811,60

Tabela 5.8: Valores das alturas das precipitações e das médias entre cada par de isoietas.

Valor das alturas de precipitações e das médias das precipitações (mm)							
H0	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7
934,8	950,0	975,0	1000,0	1025,0	1050,0	1075,0	1100,0
$P1=(H0+H1)/2$	$P2=(H1+H2)/2$	$P3=(H2+H3)/2$	$P4=(H3+H4)/2$	$P5=(H4+H5)/2$	$P6=(H5+H6)/2$	$P7=(H6+H7)/2$	-
942,4	962,5	987,5	1012,5	1037,5	1062,5	1087,5	-

5.3. GEOLOGIA E HIDROGEOLOGIA DA BACIA

Segundo o mapa geológico do Estado de Minas Gerais, elaborado pela CODEMIG (2003), na área de abrangência da bacia hidrográfica do rio Riachão ocorrem rochas do Subgrupo Paraopeba, que é constituído, da base para o topo, pelas formações Sete Lagoas, Serra de Santa Helena, Lagoa do Jacaré e Serra da Saudade, mas o subgrupo encontra-se indiviso na área da bacia. O Subgrupo Paraopeba aflora ao longo do leito do rio Riachão e do médio-baixo rio São Lourenço. Afloram ainda as rochas do Grupo Urucuia nos limites da bacia e coberturas detrítico-laterítica no alto-Riachão e alto-São Lourenço (**Figura 5.15**).

De acordo com o mapa geológico da CPRM (2007), ao longo do leito do Riachão, o subgrupo Paraopeba encontra-se individualizado na formação Lagoa do Jacaré, que é diferenciada numa unidade mais pura no alto da bacia, constituída por calcário predominante e outra mais impura, ao longo do médio-baixo Riachão, constituída por calcarenito, calcário e siltito. No médio-baixo São Lourenço afloram os arenitos arcossianos e siltitos subordinados da Fm. Três Marias. Ao longo do leito alto São Lourenço, afloram os siltitos, folhelhos e margas da Fm. Serra de Santa Helena. O Gr. Urucuia, constituído principalmente por arenitos, tem ampla distribuição ao longo da bacia. No alto Riachão e alto São Lourenço, ocorrem coberturas detrítico-lateríticas com concreções ferruginosas (**Figura 5.16**).

MARTÍNEZ (2007) realizou o mapeamento geológico do norte de Minas Gerais, abrangendo o extremo noroeste da bacia hidrográfica do rio Riachão. De acordo com esse trabalho, afloram na região o Gr. Urucuia, Fm. Três Marias e Fm. Lagoa do Jacaré, além de coberturas detrítico-aluvionar em superfícies de aplainamento (**Figura 5.17**).

Com relação às unidades hidrogeológicas, de acordo com os mapas de sistemas aquíferos e de geologia da CPRM (2007), o sistema granular é representado pelas coberturas terciárias, que cobrem cerca de 25% da superfície do total da bacia, e pelos arenitos cretácicos do Gr. Urucuia, que perfazem cerca de 30%. O sistema cárstico-fissural é representado pelas rochas carbonáticas e pelíticas da Fm. Lagoa do Jacaré cerca de 40% da área total da bacia. Ocorre ainda, um sistema poroso-fissural no extremo noroeste da área e de pouca abrangência em superfície na bacia (cerca de 5%), representado pelos psamitos da Fm. Três Marias e pelos pelitos da Fm. Serra de Santa Helena. A distribuição desses sistemas na bacia pode ser observada no mapa da **Figura 5.18**.

O sistema cárstico-fissural, que ocorre desde o alto ao baixo Riachão, apresenta porosidade secundária, resultante do alargamento, por dissolução, de descontinuidades nas rochas, gerando um meio de circulação anisotrópico e heterogêneo formado por uma rede de condutos. As condições de recarga são mais efetivas e pontuais em áreas de afloramento fraturado e carstificado e em locais onde há drenança a partir dos aquíferos granulares sobrepostos e em pontos de aporte dos cursos d'água superficiais, nas zonas de absorção cárstica, propiciando a infiltração direta neste sistema. O fluxo da água e a recarga são condicionados pelas direções e conectividade dessas descontinuidades. Nas demais condições, a recarga ocorre de maneira mais difusa e depende da textura do solo e da declividade do terreno.

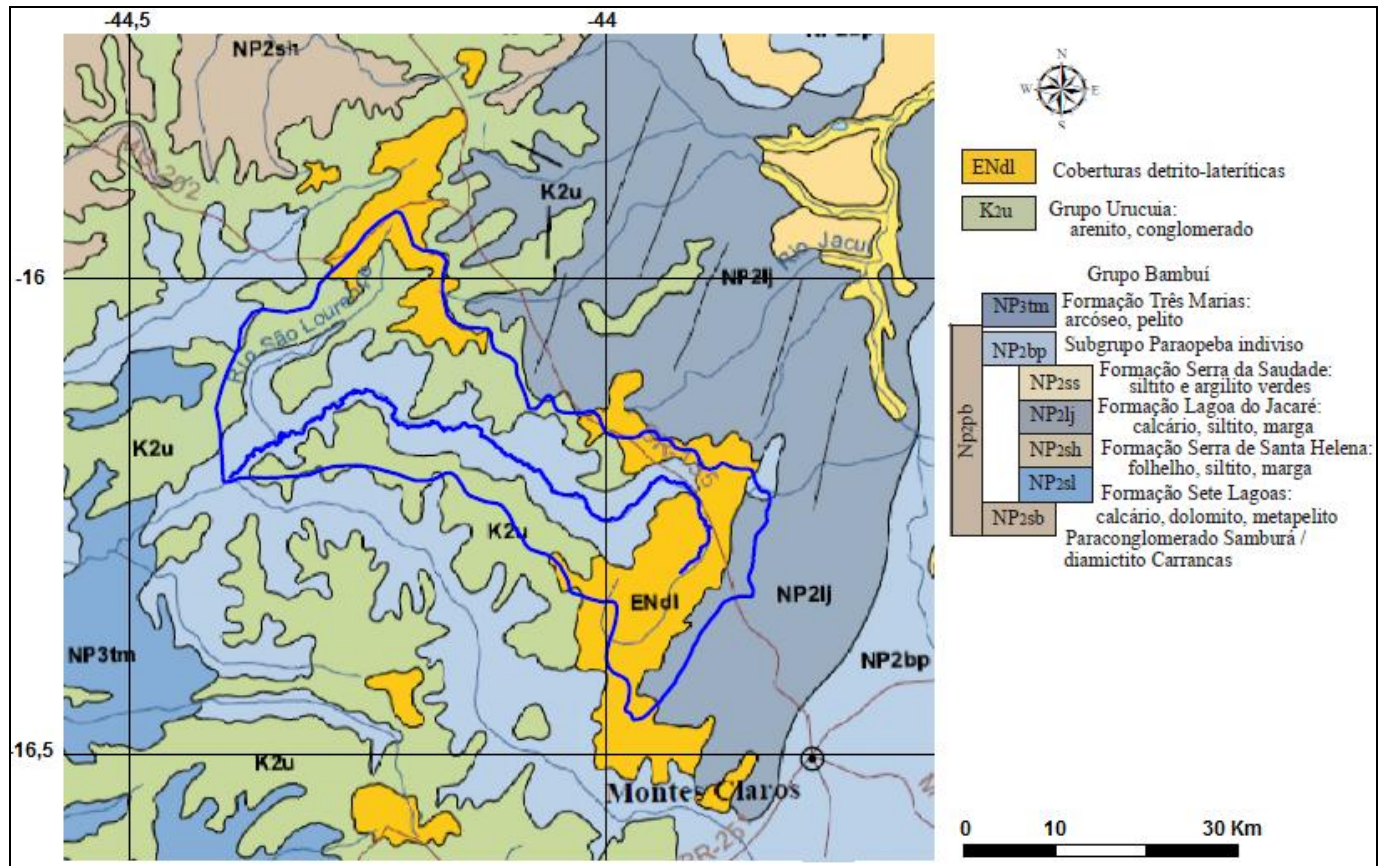


Figura 5.15: Mapa geológico regional da área de abrangência da bacia do rio Riachão, MG, segundo CODEMIG, 2003.

Fonte: CODEMIG (2003).

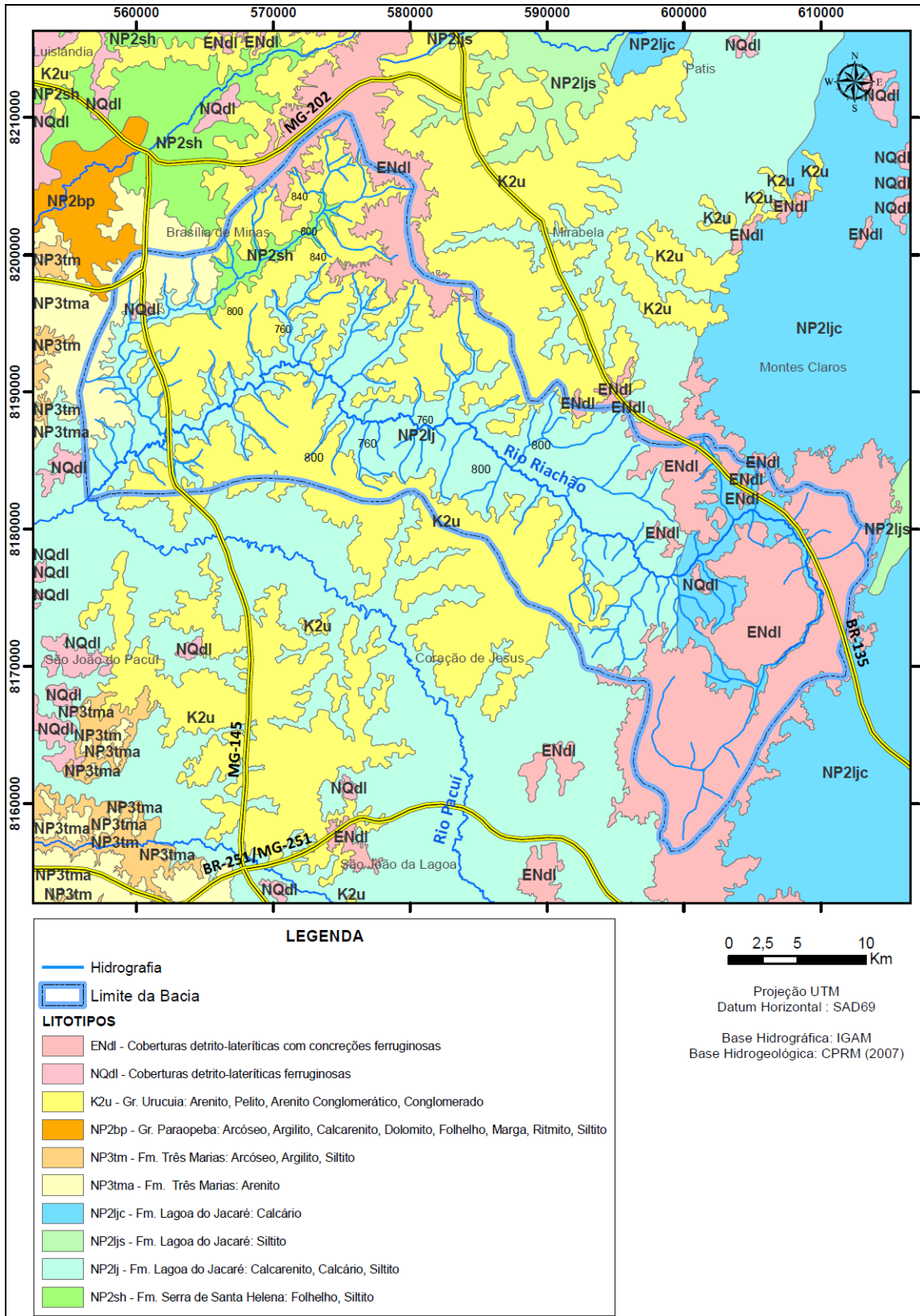


Figura 5.16: Mapa de geológico da Bacia do rio Riachão segundo CPRM (2007).
(Fonte: CPRM, 2007)

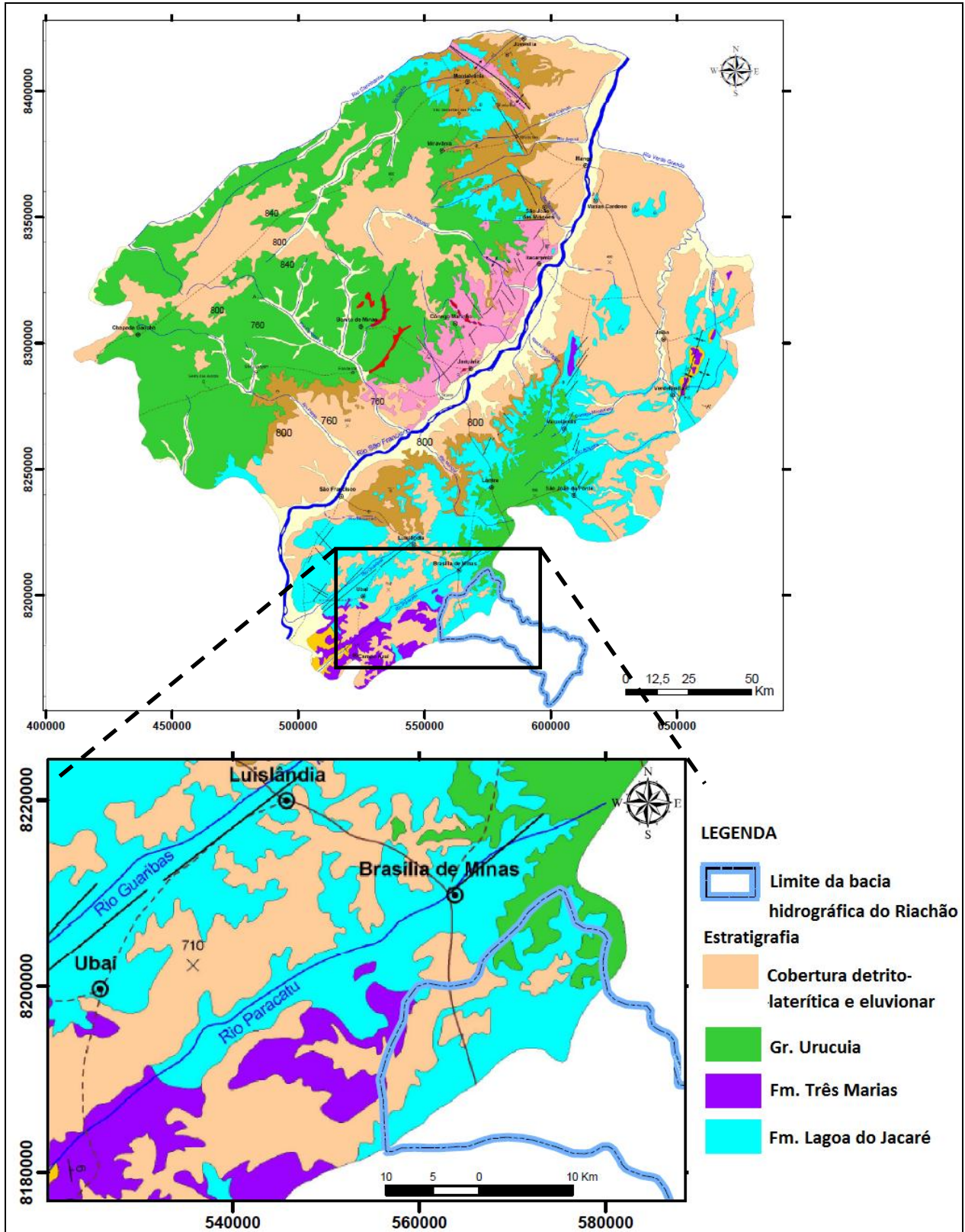


Figura 5.17: Mapa Geológico do vale do Rio São Francisco no norte de Minas Gerais.

Fonte: MARTÍNEZ (2007).

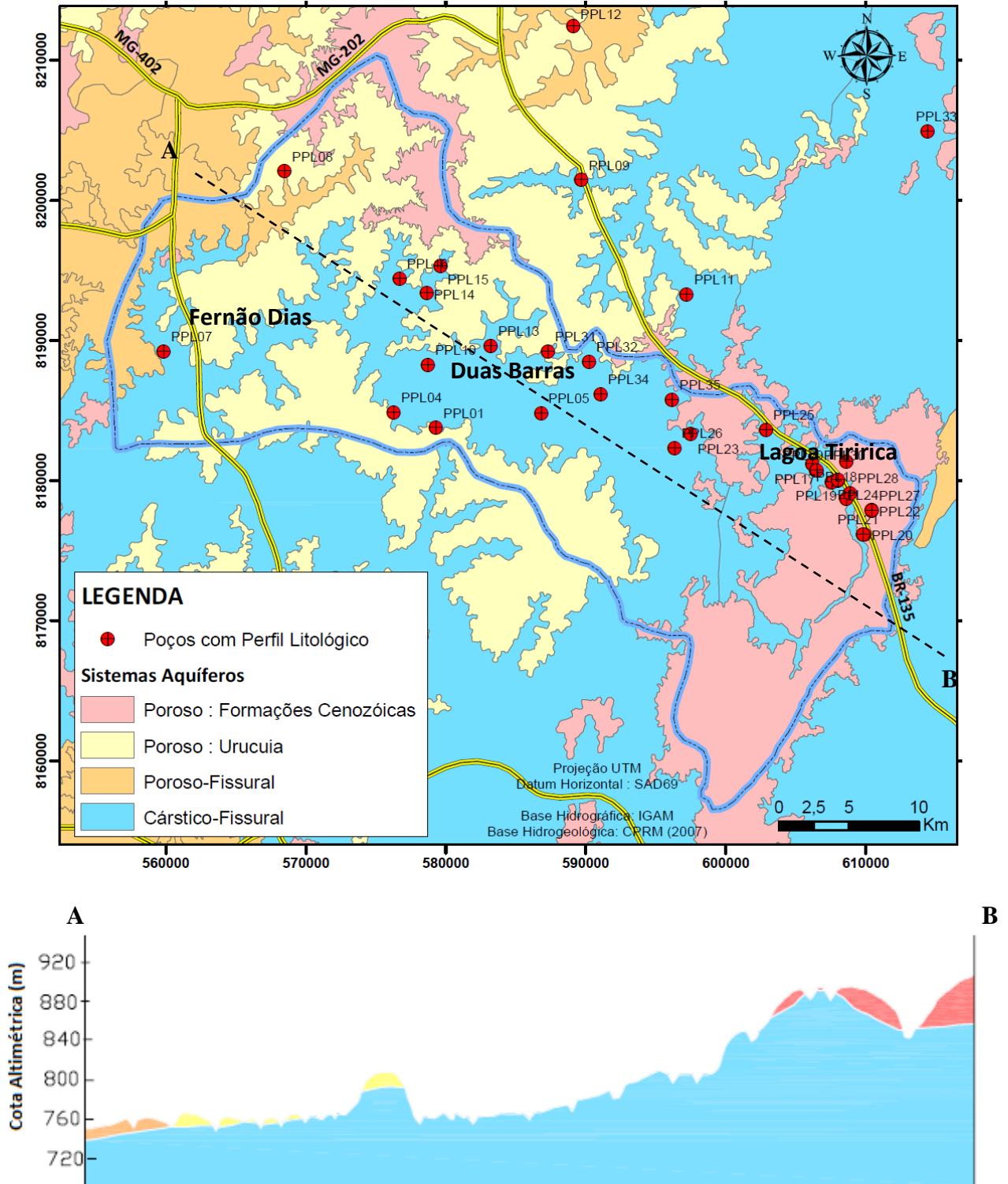


Figura 5.18: Distribuição dos sistemas aquíferos e localização dos poços tubulares com informação de perfil litológico.

Fonte: Mapa de Sistemas Aquíferos CPRM (2007).

5.3.1. O Alto-médio Riachão

A descrição do alto-médio Riachão, apresentada a seguir, é realizada de acordo com ÁGUA (1999a), perfis litológicos de poços tubulares da área e visita de campo.

A bacia do Alto-médio Riachão tem como litologias dominantes metassiltitos e calcários da formação Lagoa do Jacaré, que se apresentam interdigitados. Sobrejacentes a estas rochas, ocorrem sedimentos de cobertura detrítica terciária-quadernária, em extensas zonas de chapadas com cotas entre 860 e 950 metros.

Perfis litológicos de poços tubulares localizados no entorno da lagoa Tiririca (**Figura 5.18**), localidade de Pau D'Óleo, mostram espessura de sedimentos que variam entre 10 e 35 metros. A granulometria desses sedimentos apresenta-se com frações variadas de argila, silte e areia. O calcário como rocha sã ocorre a partir da profundidade média de 10 metros e alcança profundidades superiores a 60 metros.

Essa região caracteriza-se por dois sistemas aquíferos estratigraficamente bem definidos: um aquífero superior, de natureza granular, constituído pelas coberturas detríticas, com porosidade e permeabilidade primárias, e um sistema aquífero inferior, cárstico-fissural, constituído por rochas carbonáticas e pelíticas, de porosidade e permeabilidade secundárias.

O sistema granular é representado pelas coberturas detríticas do terciário-quadernário, pelo material eluvial resultante da decomposição das rochas da Fm. Lagoa do Jacaré e por depósitos aluviais. Através desse sistema se processa grande parte da recarga do sistema inferior, através da infiltração vertical descendente das águas meteóricas.

O sistema cárstico é constituído por rochas carbonáticas cuja circulação da água ocorre através das discontinuidades rochosas, que incluem os planos de acamamentos, planos de fraturas, falhas e vazios gerados pela dissolução. O sistema fissural ocorre no domínio das rochas pelíticas, no qual a água circula por drenança através das fraturas, falhas, planos de acamamento e foliação.

O sistema cárstico nessa região da bacia é bem representado pela lagoa Tiririca (**Figura 5.19** e **Figura 5.20**), a principal nascente do Riachão, caracterizada pelo seu formato afunilado, é desenvolvida em rochas carbonáticas, conforme pode ser observado no solo cinza arenoso local, com forte reação ao ácido clorídrico. De acordo com AGUA (1999a), a lagoa Tiririca constitui uma estrutura cárstica alongada, formada a partir do afundamento de teto de cavernas resultantes

da dissolução de rochas calcárias (dolinas uvalas – sequência de dolinas orientadas). A partir do afundamento, formou-se uma extensa área de depressão do relevo, ao longo do vale do rio, originando um reservatório natural. A lagoa é alimentada por fontes pontuais e difusas que têm como origem os fluxos ascendentes das águas subterrâneas do aquífero cárstico. AGUA (1999a) confirma a intercomunicação da lagoa com o sistema hídrico subterrâneo através da interpretação de análises de isótopos estáveis deutério e oxigênio-18.



Figura 5.19: Lagoa Tiririca, Fazenda Pau d' Óleo.



Figura 5.20: Lagoa Tiririca, Fazenda Pau d' Óleo.

5.3.2. O Baixo-médio Riachão

A descrição do baixo-médio Riachão, apresentada a seguir, é realizada com base no mapa de sistemas aquíferos e de geologia da CPRM (2007), perfis litológicos de poços tubulares e trabalho de campo, cujos pontos de afloramentos são apresentados na **Figura 5.21**.

Na área do baixo-médio Riachão o sistema granular é representado pelas coberturas terciárias e pelos arenitos cretácicos do Gr. Urucuia (**Figura 5.21**). Esse sistema apresenta altas permeabilidade e porosidade primárias, caracterizando um aquífero de alto potencial hidráulico. As altas porosidade e permeabilidade primárias condicionam a infiltração vertical descendente da água meteórica que abastecem o aquífero cárstico-fissural inferior. Nas coberturas, a capacidade de infiltração é influenciada pela espessura e relação entre os conteúdos de argila e areia. Perfis litológicos de poços tubulares, localizados ao longo do baixo-médio da bacia, mostram profundidades médias entre 20 e 30 metros para as coberturas, com frações variadas de argila,

silte e areia. O perfil litológico de um poço tubular localizado no baixo-Riachão, na localidade de Fernão Dias, mostra uma espessura de material coluvionar de cerca de 40 metros (**Figura 5.18**).

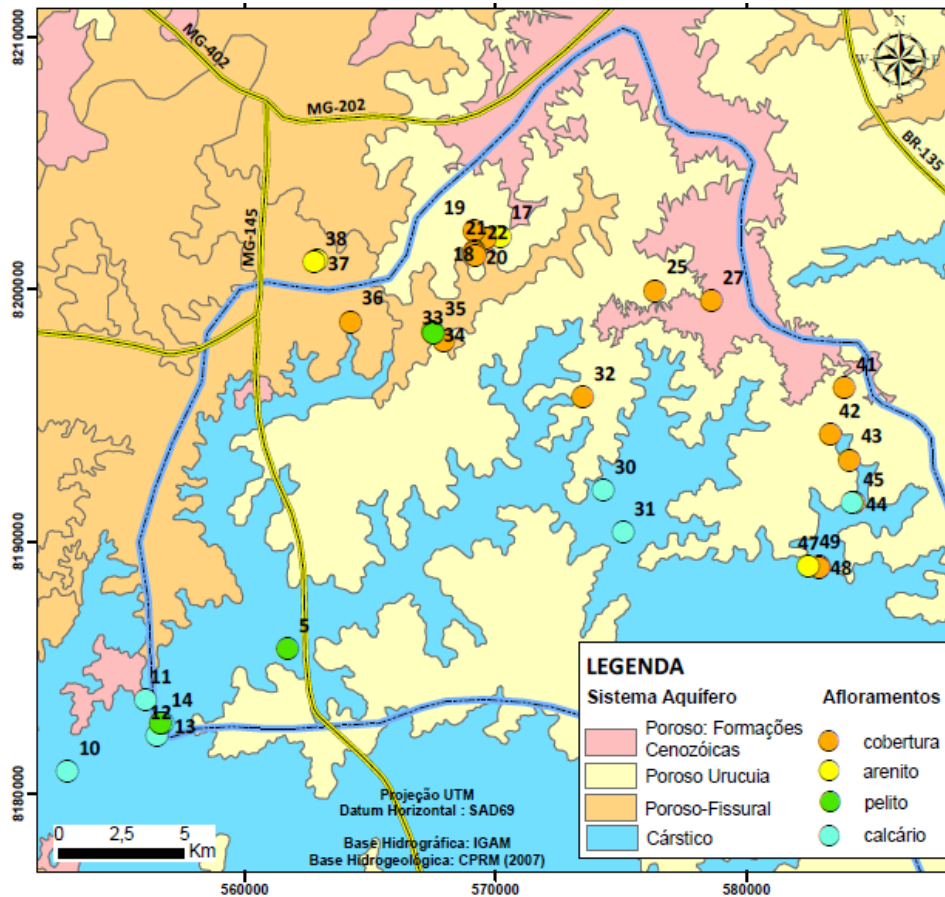


Figura 5.21: Mapa de pontos de afloramento mapeados em trabalho de campo no Baixo-Médio Riachão.

Fonte: Base Hidrogeológica CPRM (2007).

O sistema cárstico-fissural é representado pelas rochas carbonáticas e pelíticas da Fm. Lagoa do Jacaré (**Figura 5.22** a **Figura 5.27**). Os afloramentos desse sistema são mais abundantes nos leitos dos rios, onde os calcários ocorrem com tonalidade cinza e na forma de lajedos em camadas subhorizontais (mergulho máximo observado de 10°). A textura mineralógica dessas rochas varia, conferindo desde calcários puros, cristalinos e compactos, com recristalização de calcita, até calcarenitos. Mostram intenso fraturamento, com planos de fraturas subverticais (mergulho médio observado de 80°) de direção NE/SW e NW/SE (**Figura 5.26** e **Figura 5.27**). Os pelitos apresentam-se com coloração esverdeada, camadas subhorizontais, foliados e fraturados com o mesmo padrão dos calcários (**Figura 5.24**). O padrão estrutural de fraturamento será discutido mais detalhadamente no item 5.3.5.



Figura 5.22: Afloramento de calcário, próximo à foz com o Pacuí (Ponto 11, 556040E/8183709N).



Figura 5.23: Afloramento de calcário, com recristalização de calcita, próximo à foz com o Pacuí (Ponto 11, 556040E/8183709N).

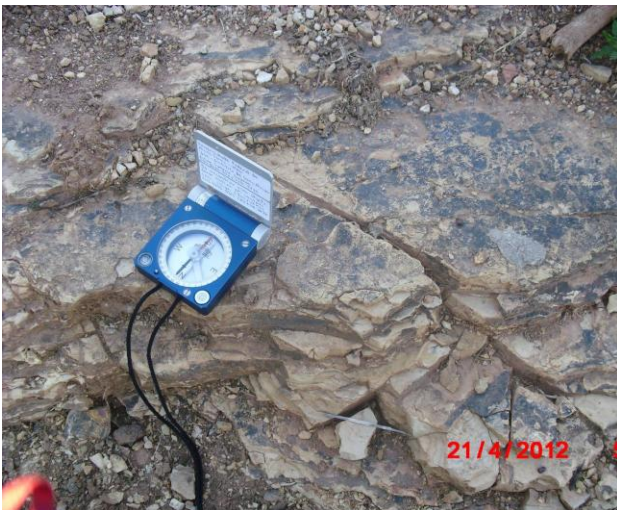


Figura 5.24: Afloramento de pelito, Fazenda Riachão, próximo à foz com o Pacuí (Ponto 14, 556625E/8182782N).



Figura 5.25: Afloramento de calcário, Riacho das Pedras (Ponto 30, 574281E/8192014N).



Figura 5.26: Afloramento de calcário, Córrego Taboquinha (Ponto 31, 575068E/8190382N).



Figura 5.27: Afloramento de calcário, Fazenda Santa Cruz (Ponto 45, 584184E/8191554N).

Os perfis litológicos dos poços localizados na área (**Figura 5.18**) mostram que o calcário (rocha sã) ocorre a partir da profundidade de 20 metros e alcança profundidades superiores a 100 metros. A espessura máxima de calcário observada através dos perfis foi de 70 metros. O perfil litológico de um poço localizado na porção média do rio e próximo a calha do mesmo, na localidade de Duas Barras (**Figura 5.18**), mostra intercalações de siltito e calcário da Fm. Lagoa do Jacaré.

Ocorre ainda um sistema poroso-fissural no extremo noroeste da área, que de acordo com os mapas de sistemas aquíferos e de geologia da CPRM (2007), é representado pelos psamitos da Fm. Três Marias e pelos pelitos da Fm. Serra de Santa Helena.

Segundo MARTÍNEZ (2007), há alguns problemas estratigráficos regionais, como por exemplo, a definição do limite entre as formações Serra de Santa Helena e Lagoa de Jacaré. Em seu trabalho, o critério utilizado para dirimir esse problema foi considerar o primeiro pacote de maior espessura de calcário que aparece após as rochas pelíticas da Fm. Serra de Santa Helena como representando a base da Fm. Lagoa de Jacaré. Dessa forma, MARTÍNEZ (2007) não descreve a Fm. Serra de Santa Helena na área de abrangência da bacia do Riachão, e os pelitos locais estariam associados então a Fm. Lagoa do Jacaré.

Apesar dos problemas estratigráficos e, embora não tenha sido possível realizar um mapeamento geológico de detalhe para classificar os litotipos e caracterizar a compartimentação aquífera local, foi mapeado no extremo noroeste da bacia, um arenito alterado de coloração vermelha, granulometria areia fina, composição quartzosa e ferruginosa, com grãos de quartzo arredondados (**Figura 5.28**). Foi mapeado também um pelito alterado de cor bege, com camadas subhorizontais (mergulho máximo de 10°) e espessura centimétrica (média de 5 cm), foliado e com intenso fraturamento (**Figura 5.29**). Além disso, MARTÍNEZ (2007) descreve que a Fm. Três Marias, nos municípios de Ubaí e Campo Azul (a oeste da bacia e limite com Brasília de Minas), apresenta-se como siltitos cinza-esverdeados, com camadas lenticulares de arenito fino, feldspático e calcífero, que transicionam para arenitos arcócosianos marrom-avermelhados. Essas observações corroboram o caráter poroso-fissural do sistema aquífero local.

Neste sistema, os psamitos apresentam porosidade primária, mas o alto grau de litificação e fraturamento, associada à ocorrência das rochas pelíticas subordinadas, confere também uma

porosidade secundária. Essas características proporcionam um potencial hidráulico menor quando comparados aos arenitos cretácicos do sistema Urucuia.



Figura 5.28: Afloramento de arenito. Localidade de Barreirinho (Ponto 37, E562857/N8201124).



Figura 5.29: Afloramento de pelito, médio Rio São Lourenço, próximo a Faz. Vargem de Capim (Ponto 34, 567468E/8198281N).

5.3.3. Capacidade de produção dos poços

Dentre os 130 poços cadastrados na área de abrangência da bacia, apenas 47 apresentavam informações sobre capacidade específica (**Figura 5.30**) e são associados, de acordo com os perfis construtivos dos poços, à Fm. Lagoa do Jacaré, Gr. Urucuia e coberturas cenozoicas.

Os dados mostraram uma grande amplitude de variação para esse parâmetro, com valores extremos entre 0,014 e 180,5 L/s/m, média de 14,12 L/s/m e moda situada no intervalo de 0,01 a 1,0 L/s/m, abrangendo 75% do conjunto analisado. 30% dos poços apresentaram valores de capacidade específica entre 0,1 e 1,0 L/s/m, 10,5% entre 1,0 e 10 L/s/m, 8,5% entre 10,0 e 100,0 L/s/m e apenas 6% apresentaram valores maiores que 100,0 L/s/m.

Estes valores indicam que poços de grande produtividade ocorrem em áreas localizadas na bacia. Em termos de distribuição espacial, de modo geral, os poços com capacidade específica superior a 10,0 L/s/m concentram-se no alto da bacia, no entorno da Lagoa Tiririca. No médio-baixo da bacia predominam capacidade específica entre 1,0 e 10,0 L/s/m e no baixo da bacia predominam capacidade específica entre 0,1 e 1,0 L/s/m.

Esta distribuição espacial mostra uma relação com os litotipos, sendo que no alto da bacia predominam os calcários mais puros e, conseqüentemente, mais carstificados, relacionando-se às

maiores capacidades específicas ($>10,0$ L/s/m). Os calcários tornam-se mais impuros e com intercalações de siltitos em direção ao médio-baixo da bacia, relacionando-se às capacidades específicas intermediárias (1,0 a 10,0 L/s/m). No baixo da bacia, observa-se uma variedade litológica maior, com ocorrência de rochas pelíticas e psamíticas, associando-se às capacidades específicas mais baixas ($< 1,0$ L/s/m).

Observa-se que capacidades específicas intermediárias (entre 1,0 e 10,0 L/s/m) também ocorreram associadas ao Grupo Urucuia.

Na **Figura 5.30** é apresentado um mapa de capacidade específica para a bacia, obtido por interpolação dos valores disponíveis para os poços.

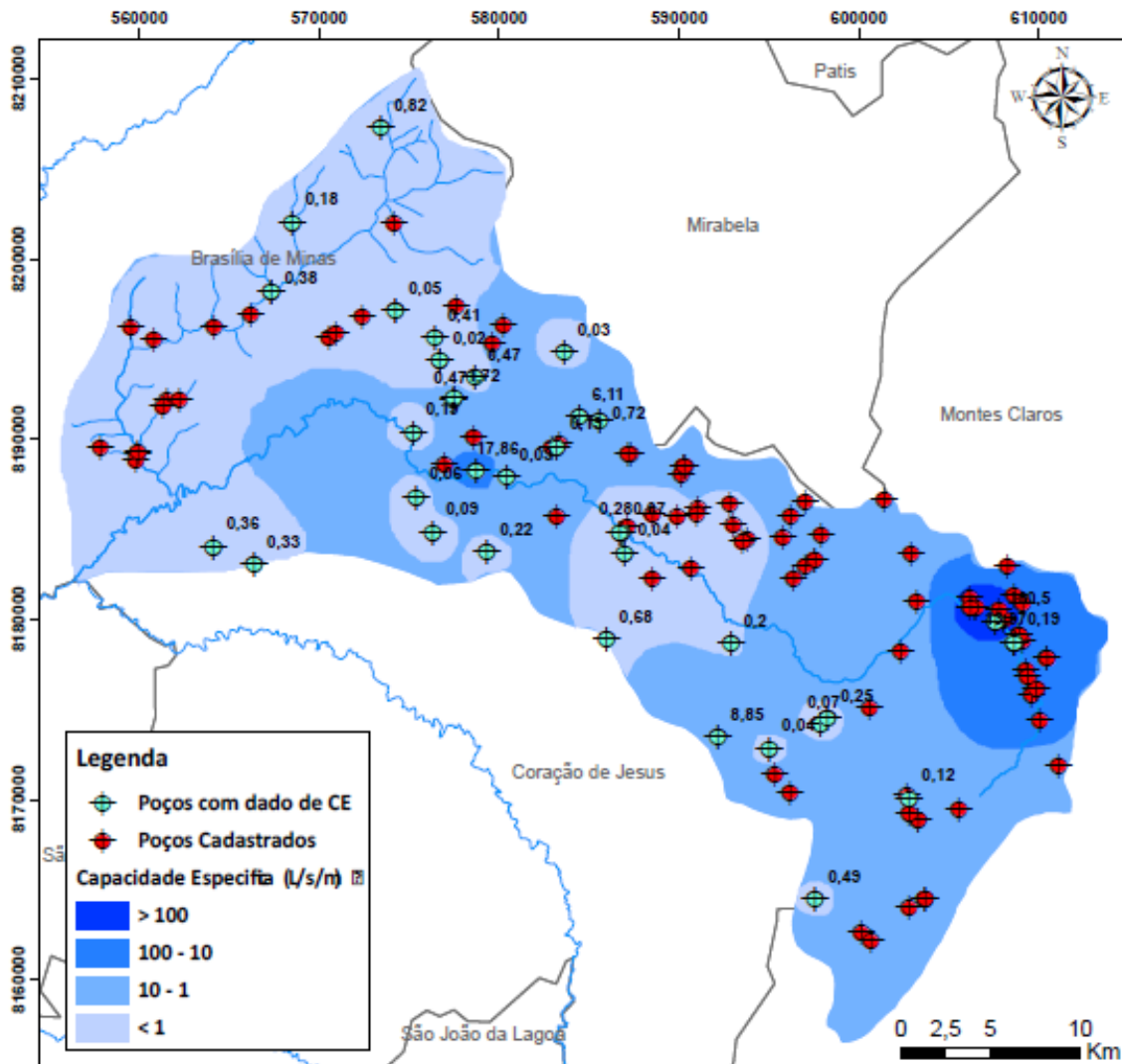


Figura 5.30: Capacidade específica dos poços.

5.3.4. Potenciometria

O mapa potenciométrico local foi elaborado utilizando-se os dados do nível estático de 28 poços, que extraem água da Formação Lagoa do Jacaré, de acordo com a descrição dos perfis litológicos e construtivos dos mesmos.

O mapa obtido (**Figura 5.31**) mostra que as cargas potenciais hidráulicas seguem aproximadamente a topografia, sendo direcionadas para a jusante da bacia e com a região do entorno da Lagoa da Tiririca constituindo uma zona de recarga na bacia.

As linhas equipotenciais indicam a tendência efluente do rio Riachão em relação ao aquífero, apresentando convergência na porção média, possivelmente por influência de uma maior concentração de poços nessa região ou devido às intercalações de siltito, conforme os perfis litológicos desses poços.

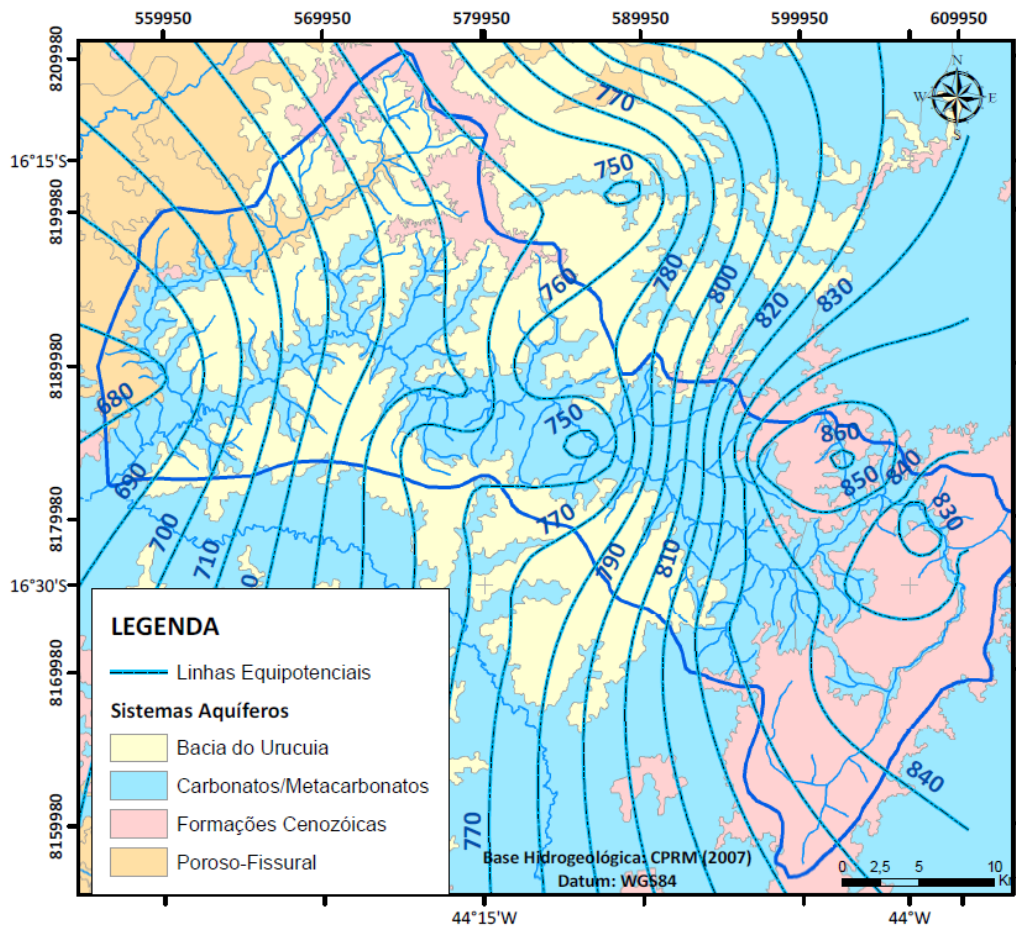


Figura 5.31: Mapa potenciométrico da bacia do Riachão.

Fonte: Base Hidrogeológica CPRM (2007).

Os perfis litológicos dos poços mostram a espessura da cobertura (areias, argilas, calcário alterado, etc.) entre 10 e 35 metros, enquanto o calcário (rocha sã) alcança profundidades de até 100 metros, com espessura máxima observada nos perfis de 70 metros.

Perfis de poços localizados na montante da bacia, no entorno da lagoa Tiririca, com entrada d'água no calcário, mostram nível d'água raso, com profundidades entre 2,0 e 8,0 metros.

Considerando as coberturas como unidades hidrogeológicas distintas do calcário (rocha sã) e considerando o caráter argiloso destas coberturas (calcário alterado, argila, areia-siltosa, solo argiloso, etc.) descrito nos perfis litológicos destes poços, os níveis mais rasos na montante podem indicar uma situação de semiconfinamento local do aquífero cárstico por essas coberturas argilosas. Essa hipótese é corroborada pela observação de que na porção média-baixa da bacia, poços com entrada(s) d'água localizada(s) no calcário, mas com coberturas arenosas, mostram nível estático mais profundo, alcançando até 30 metros de profundidade, indicando situação de aquífero livre.

Contudo, deve-se ressaltar que as grandes variações de nível d'água observadas podem também ser relacionadas simplesmente a natureza cárstica do aquífero.

5.3.5. Lineamentos estruturais

A análise de lineamentos estruturais consistiu na identificação e classificação dos lineamentos com extensão superior a 5,0 km no mapa de relevo sombreado da área, obtendo-se um total de 60 lineamentos (**Figura 5.32** e **Tabela 5.9**). A escala de trabalho foi de 1:350.000 abrangendo uma área total de 5168 Km².

A região é caracterizada por lineamentos principais segundo a direção NE e subordinadamente NW, conforme pode ser observado no mapa da **Figura 5.32** e no diagrama da **Figura 5.33**.

Dentre os lineamentos identificados, 80% são de direção NE e possuem extensões entre 5 e 35 quilômetros (**Tabela 5.9**), predominando os lineamentos com extensão entre 10 e 15 Km, que representam 43% (**Figura 5.34**). Com relação às direções, as predominantes são: N20-30E e N50-60E, que representam, juntas, 57% do total de lineamentos NE identificados no mapa (**Figura 5.35**).

Já os lineamentos NW perfazem apenas 15% do total identificado no mapa de relevo sombreado e possuem extensões entre 5 e 15 quilômetros. Observam-se duas classes de direções predominantes N40-50W e N70-85W (Tabela 5.9, Figura 5.33). Essas classes são correspondentes ao padrão de falhas observadas por MARTÍNEZ (2007) em estudo realizado no norte de MG, que concluiu que o embasamento foi afetado por estruturas tectônicas extensionais durante o Neoproterozóico, gerando estruturas do tipo “Horst-anticlinal”, determinadas por falhas de direções N40-50W e E-W.

MISI *et. al.* (2004) descreve falhas N45W encaixadas em doloarenitos silicificados, Vale do São Francisco, na região de Montalvânia, Januária e Itacarambi, a norte da bacia do Riachão.

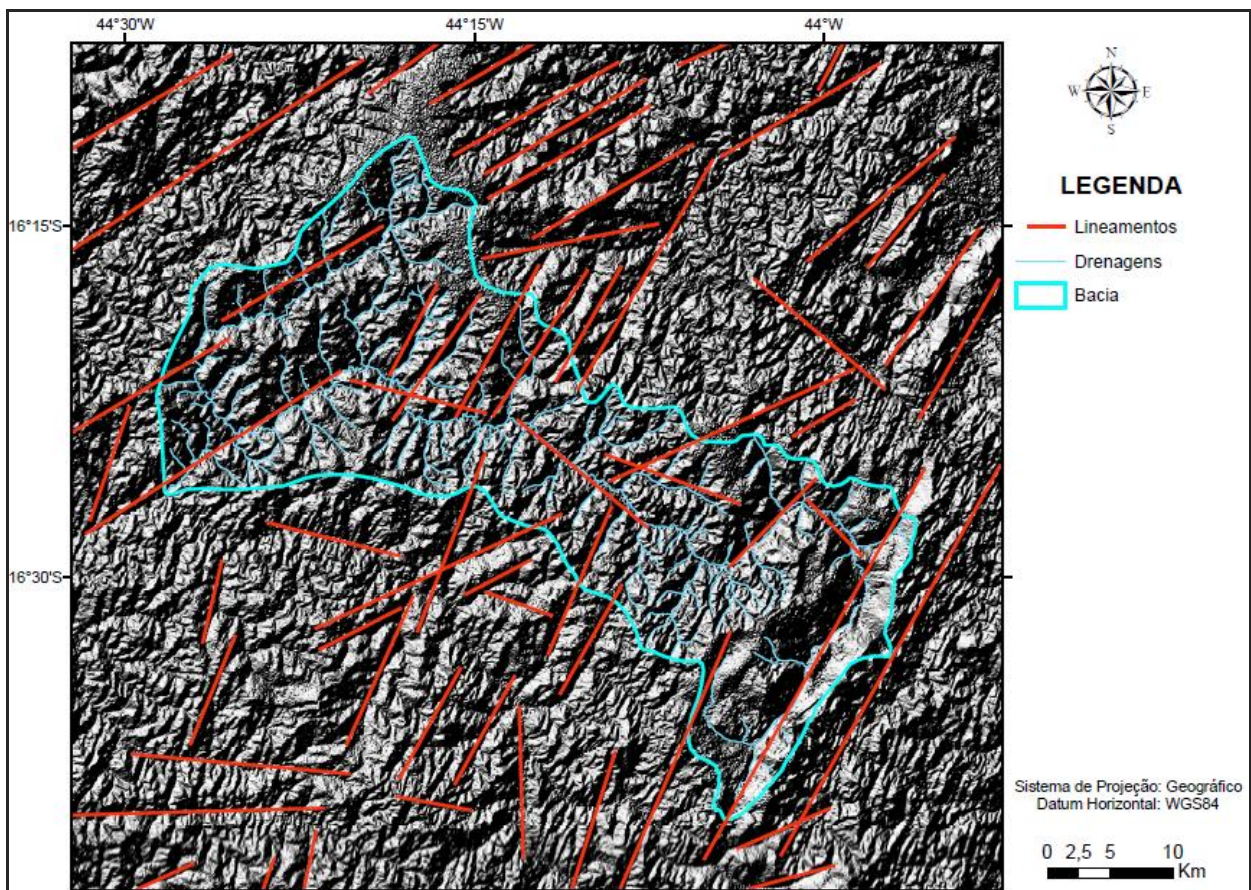


Figura 5.32: Lineamentos principais obtidos a partir da análise do relevo sombreado da área.

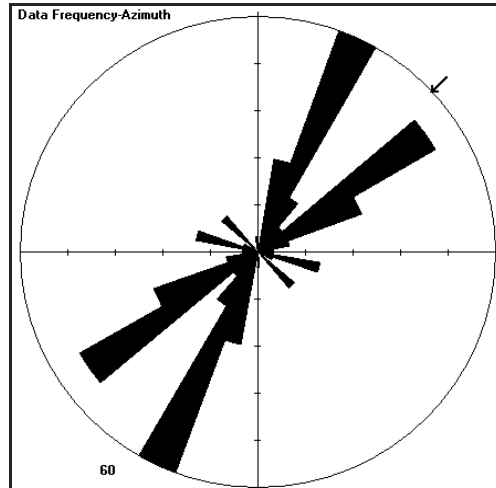


Figura 5.33: Diagrama de rosetas dos lineamentos identificados.

Tabela 5.9: Valores de extensão e azimute medidos nos lineamentos identificados.

Identificação	Extensão (km)	Direção	Identificação	Extensão (km)	Direção
1	5,66	N19E	31	14,33	N59E
2	5,71	N59E	32	14,45	N59E
3	5,77	N62E	33	14,45	N59E
4	6,21	N27E	34	14,45	N59E
5	6,76	N13E	35	14,48	N60E
6	6,91	N75E	36	14,50	N59E
7	7,13	N62E	37	14,53	N59E
8	7,70	N11E	38	14,61	N59E
9	7,88	N66E	39	14,71	N60E
10	8,18	N27E	40	14,94	N49E
11	8,30	N66E	41	15,13	N20E
12	9,17	N54E	42	20,75	N65E
13	9,24	N65E	43	20,92	N30E
14	9,33	N22E	44	20,99	N65E
15	9,48	N39E	45	21,96	N23E
16	9,52	N19E	46	23,38	N57E
17	9,67	N44E	47	28,29	N56E
18	9,73	N29E	48	35,06	N29E
19	9,90	N29E	49	35,10	N29E
20	10,06	N29E	50	19,46	N89E
21	10,44	N29E	51	5,55	N70W
22	12,03	N34E	52	5,88	N79W
23	12,65	N29E	53	6,34	N43W
24	12,68	N23E	54	10,57	N75W
25	12,72	N17E	55	10,72	N75W
26	12,87	N24E	56	11,02	N69W
27	12,97	N34E	57	13,21	N49W
28	13,66	N28E	58	13,33	N49W
29	13,71	N32E	59	16,86	N85W
30	13,81	N79E	60	11,99	N1W

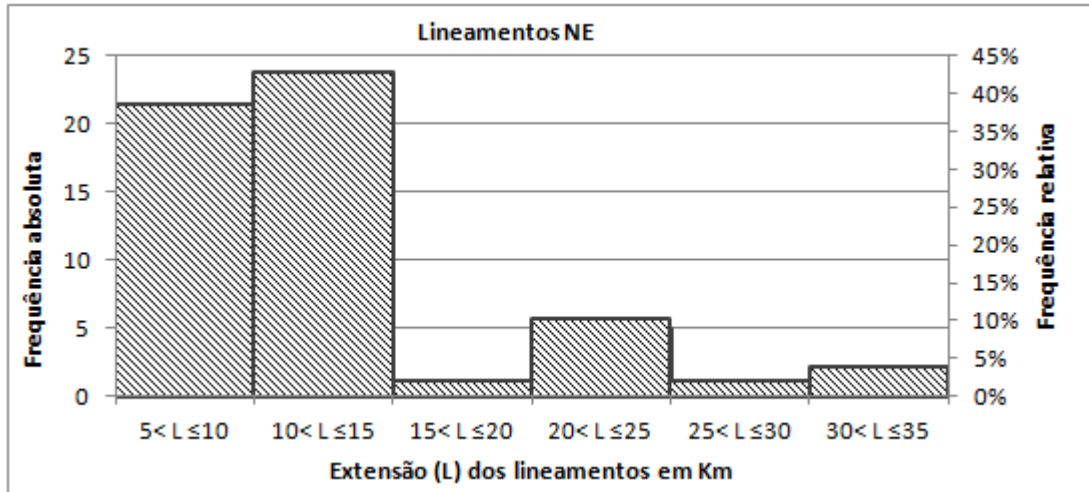


Figura 5.34: Distribuição dos lineamentos NE de acordo com a extensão.

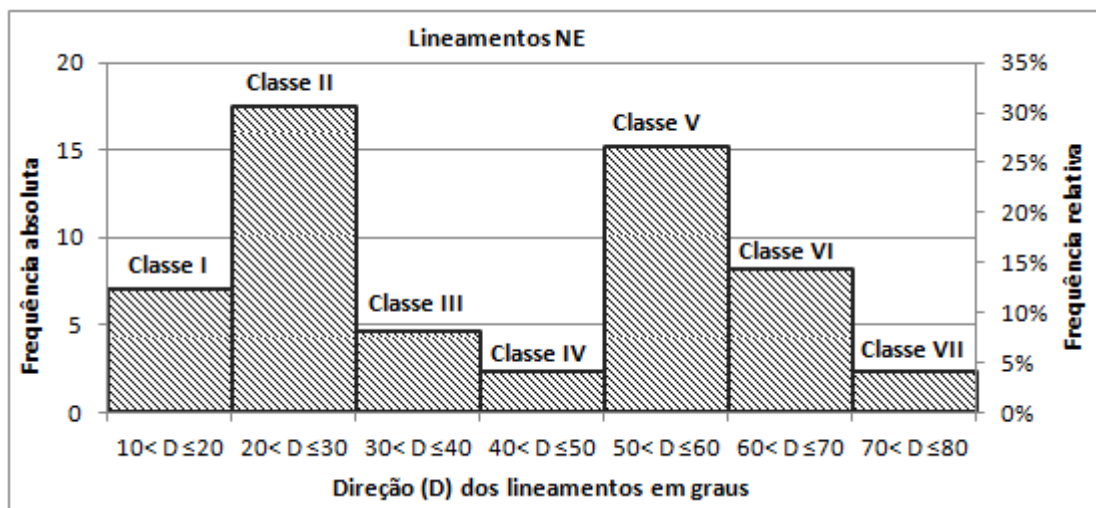


Figura 5.35: Distribuição dos lineamentos NE de acordo com a direção.

Diferentemente dos lineamentos observados em escala de mapa, as atitudes dos planos de fraturas medidas em campo mostram uma distribuição bem proporcional entre as fraturas de direção NE e NW. Segundo IGLESIAS & UHLEIN (2009), eventos de reativação tectônica associados à abertura do Atlântico Sul (Cretáceo-Terciário), resultaram no fraturamento generalizado segundo as direções NE e NW, que inclusive, vem condicionando o padrão de drenagem da região.

Foi obtido um total de 88 medidas de fraturas em calcários e pelitos, sendo que em ambos os litotipos, as fraturas são subverticais a verticais, com um mergulho médio de 80°, um mínimo de 65° e máximo de 90°.

Os pelitos apresentaram as seguintes direções principais de fraturamento: N10E, N80E, N30W, N60W e N70W (**Tabela 5.10**). Os calcários também apresentaram cinco famílias principais, entretanto, com maior amplitude dentro de uma mesma família: N10-30E, N70-90E, N5-10W, N40-50W e N80W (**Tabela 5.11**). Essa maior amplitude observada nos calcários comparativamente aos pelitos, além da diferença de reologia, pode ser resultante da dissolução nos calcários atuando em cima das direções principais de fraturamento, promovendo a abertura das fraturas.

Apesar da diferença observada entre os litotipos, ambos apresentaram o mesmo padrão de famílias: duas de direção NE, sendo uma de baixo e outro de alto ângulo, e três de direção NW, subdivididas em baixo, médio e alto ângulo (**Tabela 5.10** e **Tabela 5.11**). Definiu-se como baixo ângulo valores entre 0 e 30°, médio, de 31 a 60° e alto, de 61 a 90°.

Tabela 5.10: Direções principais de fraturas observadas nos pelitos.

Direção	Família	Descrição	Frequência
N10E	A	NE de baixo ângulo	27,0%
N80E	B	NE de alto ângulo	21,0%
N30W	C	NW de baixo ângulo	15,0%
N60W	D	NW de médio ângulo	21,5%
N70W	E	NW de alto ângulo	15,0%

Tabela 5.11: Direções principais de fraturas observadas nos calcários.

Direção	Família	Descrição	Frequência
N10E	A	NE de baixo ângulo	29%
N20E			
N30E			
N70E	B	NE de alto ângulo	24%
N75E			
N90E			
N5W	C	NW de baixo ângulo	12%
N10W			
N40W			
N50W	D	NW de médio ângulo	24%
N80W			

Comparativamente aos lineamentos identificados no mapa de relevo sombreado, a família de fraturas A, que é a família mais frequente, mostra correspondência com as classes I e II de lineamentos NE (**Figura 5.35**), classes que somam cerca de 43% do total de lineamentos (**Tabela 5.12**), caracterizando-se como o conjunto mais frequente também.

Por outro lado, os lineamentos NE das classes III, IV e V (**Figura 5.35**), embora abundantes, somando 39% do total, não apresentaram correspondência com as fraturas medidas em campo (**Tabela 5.12**).

Os lineamentos identificados no mapa também apresentaram correspondência com as famílias de fratura B, D e E. Já a família C não apresentou correspondência com os lineamentos de grande escala (**Tabela 5.12**).

Observando-se especificamente para o interior da bacia, com base no mapa potenciométrico obtido e na relação entre as classes de lineamentos e as famílias de fraturas, infere-se que as discontinuidades NE de baixo ângulo e NW de médio ângulo (famílias A e D), representam maior importância na condução da água subterrânea e também na descarga de base local do rio Riachão e na direção para a jusante da bacia.

Tabela 5.12: Relação entre as classes de lineamentos e as famílias de fraturas.

Lineamentos NE				
Classe	Intervalo da classe	Frequência relativa		Família de fratura correspondente
I	$10 < D \leq 20$	12,24%	42,86%	A
II	$20 < D \leq 30$	30,61%		
III	$30 < D \leq 40$	8,16%	38,78%	Sem correspondência
IV	$40 < D \leq 50$	4,08%		
V	$50 < D \leq 60$	26,53%		
VI	$60 < D \leq 70$	14,29%	18,37%	B
VII	$70 < D \leq 80$	4,08%		
Lineamentos NW				
Classe	Intervalo da classe	Frequência relativa		Família de fratura correspondente
I	$10 < D \leq 20$	0,00%	0%	C
II	$20 < D \leq 30$	0,00%		
III	$30 < D \leq 40$	0,00%	33,33%	D
IV	$40 < D \leq 50$	33,33%		
V	$50 < D \leq 60$	0,00%		
VI	$60 < D \leq 70$	22,22%	66,66%	E
VII	$70 < D \leq 80$	44,44%		

5.4. AVALIAÇÃO DA RECARGA

5.4.1. Método do Balanço Hídrico-Climatológico da Bacia

Em função dos dados disponíveis, realizou-se o balanço hídrico da bacia para o período de 2007 a 2010, com o ano hidrológico de outubro a setembro, conforme os resultados do estudo da pluviometria da região (**Capítulo 5.2**), obtendo-se três anos hidrológicos (out/2007 a set/2008; out/2008 a set/2009; out/2009 a set/2010).

Conforme descrito no capítulo de materiais e métodos (**Capítulo 4.3.1.1**), a estimativa da recarga através do balanço hídrico foi realizada através da equação: $I = P - ETR - ES$, onde: $I = \text{Recarga}$, $P = \text{Precipitação}$, $ETR = \text{Evapotranspiração Real}$, $ES = \text{Escoamento superficial}$.

A precipitação média mensal da bacia é calculada utilizando-se o Método de *Thiessen*; a evapotranspiração real (ETR) é calculada utilizando-se um programa computacional desenvolvido por ROLIM *et. al.* (1998), que utiliza o método de THORNTHWAITE & MATHER (1955); e, por fim, o escoamento superficial é calculado através da separação de hidrograma.

5.4.1.1. Precipitação (P)

Tendo em vista o período de tempo adotado para o balanço hídrico-climatológico, foram selecionadas três estações pluviométricas ativas e que abrangessem a região de estudo. Os dados cadastrais dessas estações são apresentados na **Tabela 5.13** e sua localização no mapa da **Figura 5.36**. A **Tabela 5.14** apresenta os valores de precipitação mensal de cada estação, referentes aos anos de 2007 a 2010.

Tabela 5.13: Dados cadastrais das estações pluviométricas utilizadas para o cálculo do balanço-hídrico climatológico

Código	Nome	Bacia	Sub-bacia	Município	Responsável/Operadora	Latitude/Longitude
1644027	Brasília de Minas - Jusante	Rio São Francisco (4)	Rios São Francisco, Uruçuia (43)	Brasília de Minas/MG	ANA/CPRM	-16:12:23 -44:25:31
1643037	Nova Esperança	Rio São Francisco (4)	Rios São Francisco, Verde Grande (44)	Montes Claros/MG	ANA/CPRM	-16:34:35 -43:56:36
1644028	São João da Vereda	Rio São Francisco (4)	Rios São Francisco, Paracatu (42)	Montes Claros/MG	ANA/CPRM	-16:42:9 -44:7:2

(Fonte: Informações compiladas do HIDROWEB - Sistema de Informações Hidrológicas. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/>)

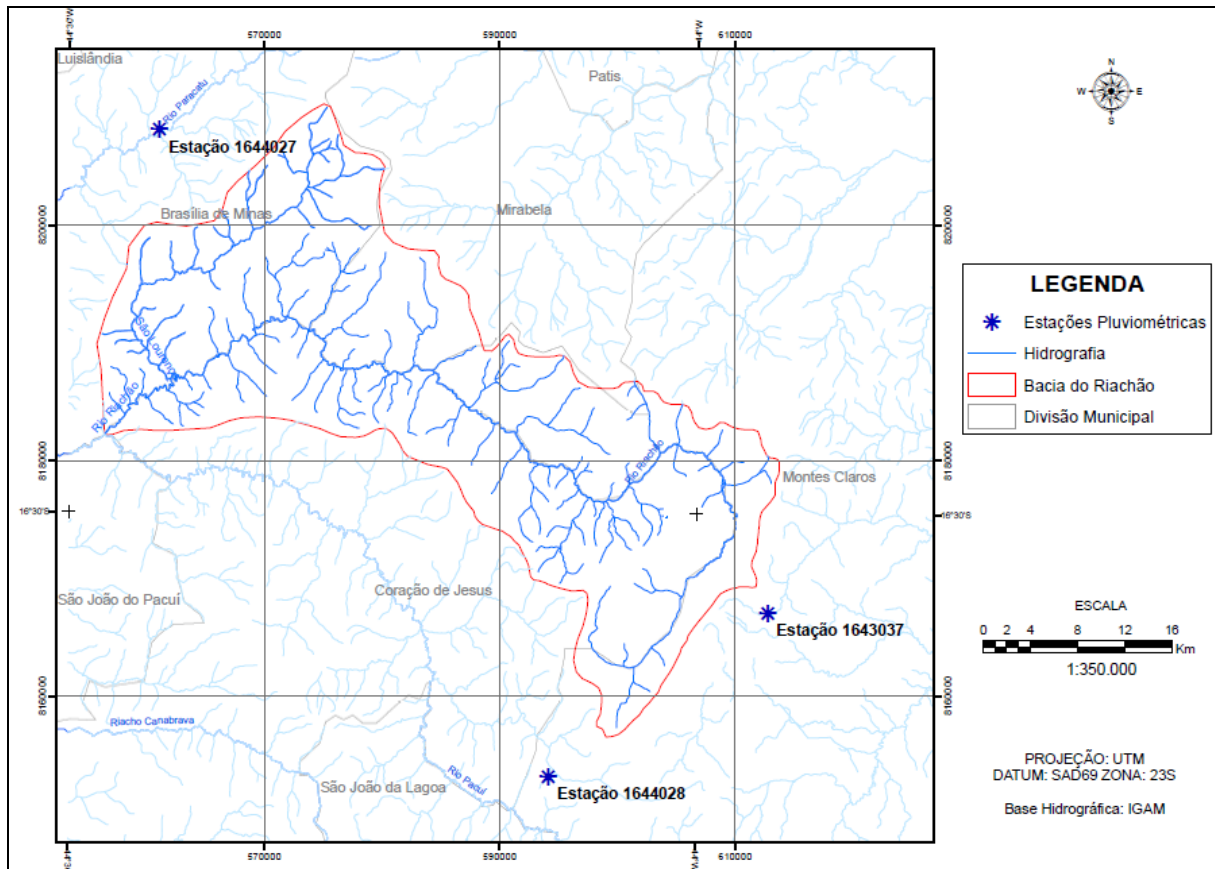


Figura 5.36: Localização das estações pluviométricas selecionadas para o cálculo da precipitação média mensal da bacia através do Método de Thiessen.

Tabela 5.14: Valores de precipitação mensal (período 2007-2010) para as estações selecionadas para o balanço hídrico-climatológico

Código da Estação	Ano hidrológico	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	Total do ano hidrológico
1644027	2007/2008	26,8	79,0	108,9	102,9	105,2	156,4	145,2	0,0	0,0	0,0	0,0	32,4	756,80
	2008/2009	4,0	228,4	347,5	232,8	106,7	150,0	82,6	12,5	8,1	0,3	0,9	33,2	1207,00
	2009/2010	191,4	45,2	272,9	51,1	74,4	155,6	102,1	37,8	0,0	0,0	0,3	32,8	963,60
1644028	2007/2008	6,4	166,1	111,5	125,4	157,2	163,8	63,4	0,6	0,0	0,5	0,0	9,6	804,47
	2008/2009	0,8	265,5	340,8	290,1	122,3	155,6	73,5	2,2	4,4	0,0	0,0	36,8	1292,00
	2009/2010	255,6	43,8	203,8	84,2	58,2	314,3	27,8	9,6	0,0	0,0	0,0	23,2	1020,50
1643037	2007/2008	7,6	164,3	111,3	150,1	125,9	190,1	70,8	12,5	0,0	0,0	0,0	6,7	839,30
	2008/2009	3,9	228,8	157,1	184,1	68,4	39,2	78,7	6,5	1,4	0,0	0,0	53,0	821,05
	2009/2010	300,3	80,7	202,8	38,2	6,9	210,0	53,1	36,8	0,0	0,0	0,0	29,9	958,65

Obs.: Em negrito os valores preenchidos. (Fonte: Informações compiladas do HIDROWEB - Sistema de Informações Hidrológicas. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/>)

As séries históricas apresentavam algumas falhas nos registros mensais. Para o preenchimento dessas falhas utilizou-se a média mensal, calculada a partir dos valores disponíveis de anos anteriores para o respectivo mês em cada estação. Os valores preenchidos são apresentados em negrito na **Tabela 5.14**, totalizando 8 preenchimentos de falhas.

Os polígonos de *Thiessen* resultantes e o valor de suas respectivas áreas em m² estão representados na **Figura 5.37**. A partir destes valores de área realizou-se o cálculo de precipitação média da bacia referente a cada mês de cada ano hidrológico de 2007 a 2010. Os resultados obtidos de precipitação média mensal para a bacia são apresentados na **Tabela 5.15**.

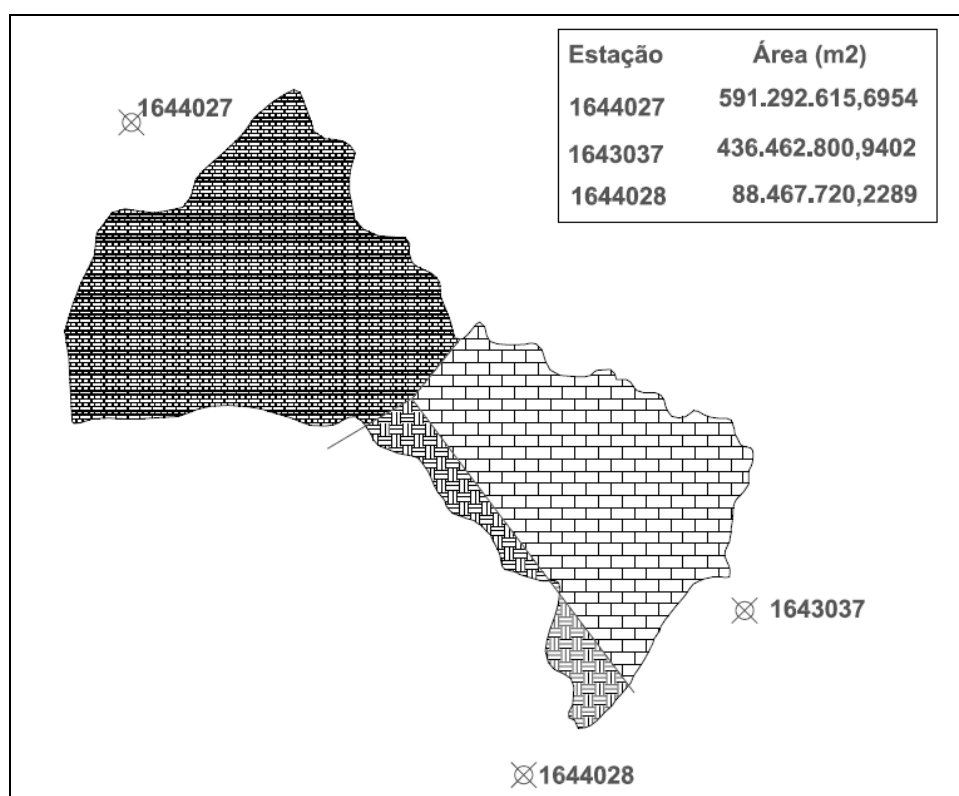


Figura 5.37: Representação dos polígonos de Thiessen e suas respectivas áreas.

Tabela 5.15: Valores de precipitação mensal e anual na bacia (período 2007-2010) segundo o método de Thiessen.

Precipitação média na bacia segundo o Método de Thiessen (Estações 1644027, 1644028 e 1643037)													
Ano Hidrológico	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	Total
2007/2008	17,7	119,3	110,0	123,1	117,4	170,2	109,6	4,9	0,0	0,0	0,0	20,5	792,8
2008/2009	3,7	231,5	272,5	218,3	93,0	107,1	80,4	9,3	5,2	0,2	0,5	41,2	1062,8
2009/2010	239,1	59,0	240,0	48,7	46,7	189,4	77,1	35,2	0,0	0,0	0,2	20,6	955,9

Existe um pluviômetro instalado no alto da bacia do Riachão pelo IGAM, denominado FISCAL020 (ou pluviômetro do “Coca”, **Figura 5.38**), pois se localiza próxima à estação fluviométrica nomeada FISCAL020. Os dados pluviométricos dessa estação foram fornecidos pelo IGAM e verificados em campo diretamente na caderneta da estação, e a partir dos mesmos, foi possível avaliar a precipitação local para o ano hidrológico de 2009/2010. A precipitação registrada para esse pluviômetro para o ano de 2009/2010 foi de 932,10 mm, valor muito próximo (diferença de 2%) àquele calculado para esse ano pelo método de *Thiessen* (**Tabela 5.15**), confirmando a eficácia do método para a escala de trabalho realizada.



Figura 5.38: Estação pluviométrica FISCAL020 (Pluviômetro do “Coca”). Ao centro e a direita o Sr. Joaquim Tarcísio, o “Coca”, morador e observador da estação.

5.4.1.2. Evapotranspiração Real (ETR)

Os dados de entrada para o cálculo da ETR são: temperatura, pluviometria, latitude e capacidade de armazenamento (CAD).

O valor de CAD adotado foi de 100 e a latitude em graus decimais é de -16,4, correspondente à latitude da estação climatológica. Os valores de precipitação utilizados foram aqueles obtidos por *Thiessen* (**Capítulo 5.4.1.1**). O cálculo das temperaturas mensais é apresentado a seguir.

As temperaturas médias mensais foram obtidas a partir das temperaturas médias diárias do ar, que são denominadas Temperaturas Compensadas e que também foram calculadas, conforme descrito no capítulo de materiais e métodos (**Capítulo 4.3.1.1**). As temperaturas compensadas foram calculadas para os anos de 2007 a 2010 a partir dos dados da série histórica da Estação Climatológica de Montes Claros. A partir dessas temperaturas diárias foram então calculadas as temperaturas médias mensais para os anos hidrológicos de 2007/2008, 2008/2009 e 2009/2010 (**Tabela 5.16 e Figura 5.39**).

Para efeito de checagem, as temperaturas mensais calculadas foram comparadas com as normais climatológicas (1969-1990) de Montes Claros. As temperaturas calculadas para o período de 2007 a 2010 apresentaram uma variação entre 0,2% e 9,3% em relação às normais climatológicas, sendo essa variação mais significativa para os meses do inverno (**Tabela 5.16**).

Tabela 5.16: Temperaturas mensais calculadas a partir das temperaturas diárias compensadas e comparação com as Normais Climatológicas (1969-1990)

TEMPERATURAS MÉDIAS MENSAIS												
ANO/MÊS	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET
2007/2008	24,44	25,86	23,93	23,48	23,53	22,55	22,46	19,61	18,16	17,21	19,54	22,24
2008/2009	25,23	24,01	22,78	23,14	23,46	23,98	21,94	19,40	18,98	18,71	20,01	23,73
2009/2010	24,03	23,92	23,30	23,68	24,44	23,27	21,44	20,50	17,64	18,40	18,66	21,88
Média (2007-2010)	24,57	24,59	23,34	23,43	23,81	23,27	21,94	19,84	18,26	18,11	19,40	22,62
Normais climatológicas (1969-1990)	23,7	23,4	23,3	23,5	24,0	24,4	22,7	21,2	19,7	19,4	21,2	22,7
Diferença percentual	3,5%	4,9%	0,2%	0,3%	0,8%	4,9%	3,4%	6,9%	7,9%	7,1%	9,3%	0,4%

Fonte: Informações compiladas do SINDA/INPE, Estação Montes Claros.
 Dados disponíveis em: <http://www.sinda.crn2.inpe.br/PCD/>.

De posse de todos os dados de entrada necessários para o cálculo da ETR, os mesmos foram então inseridos no programa específico e então calculadas as ETRs correspondentes a cada ano hidrológico. A **Tabela 5.17**, **Tabela 5.18** e **Tabela 5.19** apresentam os dados mensais de entrada (T – temperatura, P - Precipitação) e de saída (ETR – evapotranspiração real, DEF – déficit hídrico, EXC – excedente hídrico) para os anos hidrológicos de 2007/2008, 2008/2009 e 2009/2010 calculados pelo programa.

A evapotranspiração real está diretamente relacionada com a quantidade de água disponível na superfície e, portanto, depende não somente da temperatura, mas também da pluviometria. Essa

relação pode ser bem observada comparando-se os gráficos valores mensais de pluviometria, temperatura, evapotranspiração real e potencial (**Figura 5.40**). Contudo, em termos de totais anuais, essa relação não se mostrou rígida. Isso indica que os processos e eventos climáticos no decorrer do ano hidrológico, bem como as condições climáticas iniciais, são também determinantes.

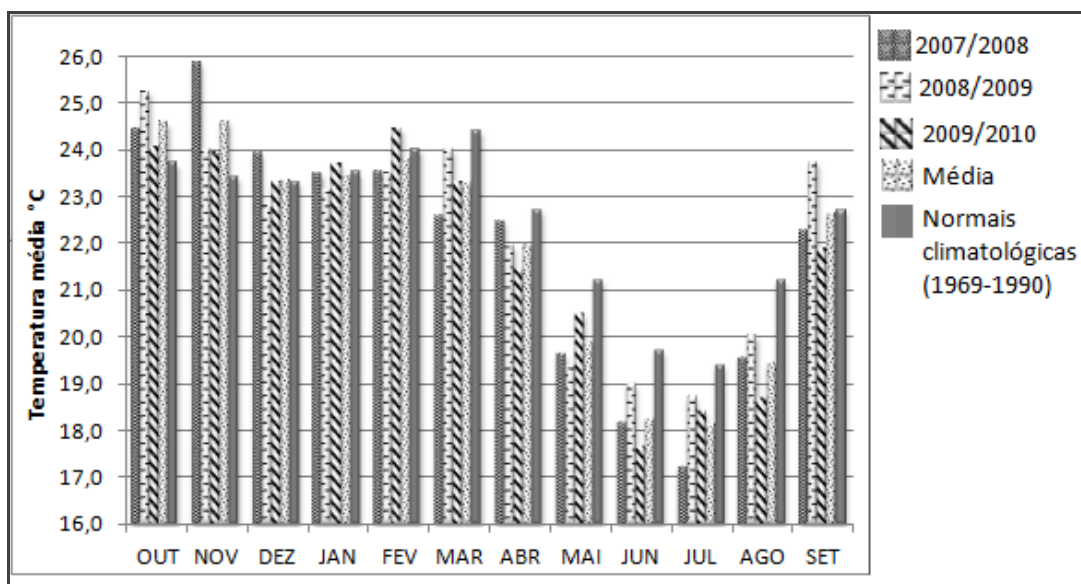


Figura 5.39: Gráfico das temperaturas mensais calculadas a partir das temperaturas diárias compensadas e comparação com as normais climatológicas.

Tabela 5.17: Valores dos parâmetros do balanço hídrico-climatológico para o ano hidrológico de outubro de 2007 a setembro de 2008.

ANO HIDROLÓGICO 2007/2008						
MÊS	T (°C)	P (mm)	ETP (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Out	24,44	17,68	116,35	21,61	94,73	0,00
Nov	25,86	119,26	134,62	119,59	15,03	0,00
Dez	23,93	110,04	117,26	110,18	7,07	0,00
Jan	23,48	123,14	112,34	112,34	0,00	0,00
Fev	23,53	117,41	100,20	100,20	0,00	0,00
Mar	22,55	170,16	96,81	96,81	0,00	3,23
Abr	22,46	109,63	89,06	89,06	0,00	20,57
Mai	19,61	4,94	62,97	48,97	14,01	0,00
Jun	18,16	0,00	48,80	21,61	27,19	0,00
Jul	17,21	0,04	43,75	12,21	31,54	0,00
Ago	19,54	0,00	61,40	10,18	51,22	0,00
Set	22,24	20,54	85,38	26,27	59,10	0,00
TOTAIS	263,01	792,84	1068,93	769,03	299,90	23,80

Tabela 5.18: Valores dos parâmetros do balanço hídrico-climatológico para o ano hidrológico de outubro de 2008 a setembro de 2009.

ANO HIDROLÓGICO 2008/2009						
MÊS	T (°C)	P (mm)	ETP (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Out	25,23	3,71	125,83	7,56	118,27	0,00
Nov	24,01	231,50	111,34	111,34	0,00	21,77
Dez	22,78	272,50	103,12	103,12	0,00	169,38
Jan	23,14	218,30	107,79	107,79	0,00	110,51
Fev	23,46	92,96	99,13	98,94	0,19	0,00
Mar	23,98	107,12	112,63	112,16	0,47	0,00
Abr	21,94	80,35	83,38	83,01	0,37	0,00
Mai	19,40	9,34	60,58	43,95	16,63	0,00
Jun	18,98	5,19	53,88	25,12	28,76	0,00
Jul	18,71	0,16	53,32	13,26	40,06	0,00
Ago	20,01	0,48	64,60	9,32	55,28	0,00
Set	23,73	41,23	100,13	45,61	54,52	0,00
TOTAIS	265,37	1062,82	1075,72	761,17	314,55	301,66

Tabela 5.19: Valores dos parâmetros do balanço hídrico-climatológico para o ano hidrológico de outubro de 2009 a setembro de 2010.

ANO HIDROLÓGICO 2009/2010						
MÊS	T (°C)	P (mm)	ETP (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Out	24,03	239,07	111,80	111,80	0,00	35,17
Nov	23,92	58,97	110,98	99,53	11,46	0,00
Dez	23,30	240,01	110,14	110,14	0,00	89,32
Jan	23,68	48,68	115,16	97,24	17,92	0,00
Fev	24,44	46,72	110,52	70,98	39,54	0,00
Mar	23,27	189,45	105,15	105,15	0,00	11,47
Abr	21,44	77,05	79,74	79,71	0,04	0,00
Mai	20,50	35,17	70,98	64,47	6,51	0,00
Jun	17,64	0,00	45,93	25,06	20,87	0,00
Jul	18,40	0,00	52,42	17,54	34,89	0,00
Ago	18,66	0,16	55,33	10,95	44,38	0,00
Set	21,88	20,59	82,45	27,35	55,10	0,00
TOTAIS	261,15	955,88	1050,61	819,92	230,70	135,96

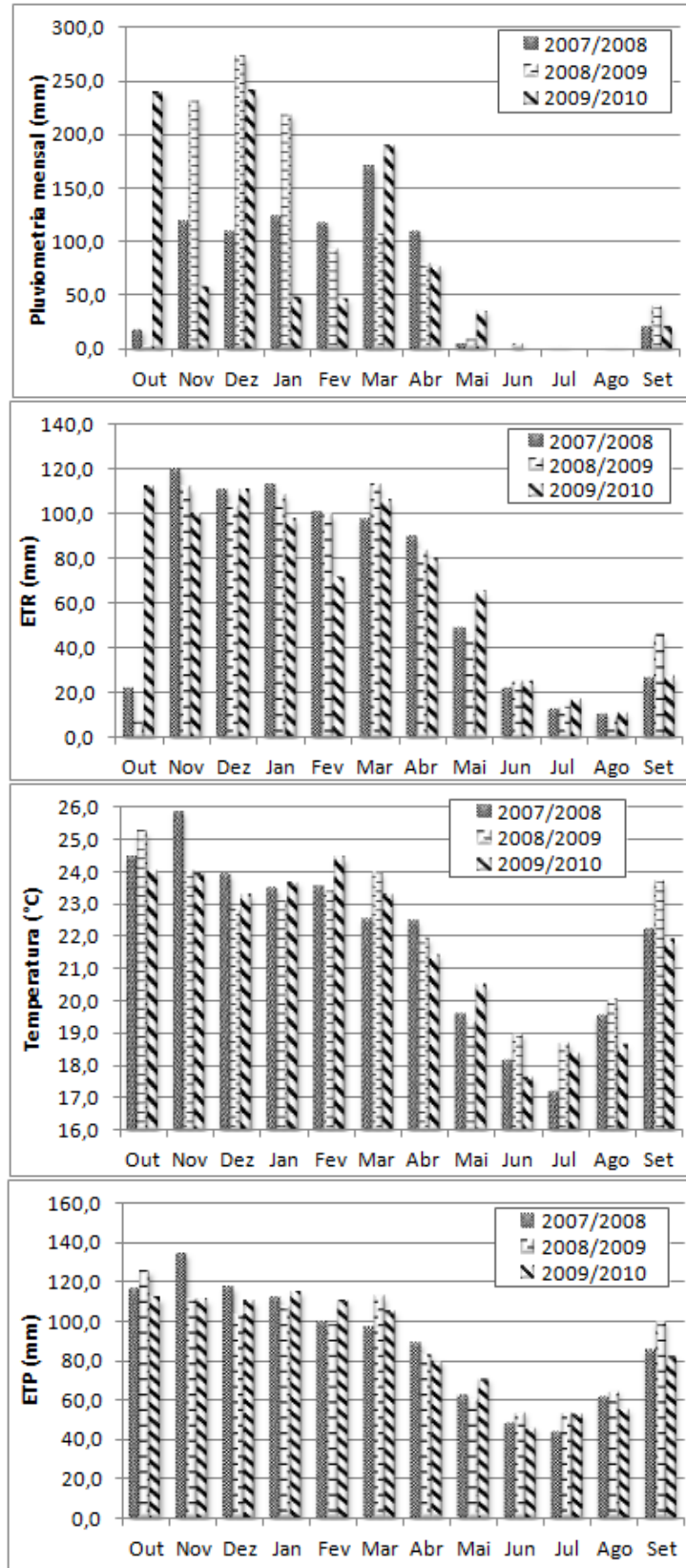


Figura 5.40: Gráficos de Pluviometria, Temperatura, ETP e ETR mensais.

5.4.1.3. *Escoamento Superficial (ES)*

Conforme descrito no capítulo de materiais e métodos (**Capítulo 4.3.1.1**), o escoamento superficial foi calculado a partir da separação de hidrograma que, por sua vez, foi construído a partir de vazões diárias calculadas através da curva-chave característica da estação fluviométrica.

Foram utilizados os dados referentes a três estações fluviométricas, denominadas FISCAL020 - Pau d' Óleo, FISCAL013 - Ponte Alvação e FISCAL014 - Fazenda Fernão Dias (**Figura 5.41** e **Figura 5.42**). A estação FISCAL020 localiza-se no alto Riachão, na Lagoa Tiririca. A estação FISCAL013 localiza-se no médio Riachão e tem o objetivo de registrar o volume d'água após percorrer o alto da bacia. A FISCAL014 localiza-se no baixo Riachão, depois da confluência com o rio São Lourenço e próxima a foz com o rio Pacuí, objetiva monitorar a potencialidade hídrica da bacia, incorporando todas as perdas d'água desde sua nascente até a sua linha de controle (**Tabela 5.20**).

Tabela 5.20: Coordenadas de localização das estações fluviométricas

ESTAÇÃO FLUVIOMÉTRICA	CÓDIGO	LATITUDE	LONGITUDE	LOCAL
Estação Ponte Alvação	FISCAL 013	S 16° 23' 30,9"	W 44° 14' 29,2"	Médio Riachão
Estação Fazenda Fernão Dias	FISCAL 014	S 16° 24' 14,2"	W 44° 25' 36,0"	Baixo Riachão
Pau d' Óleo (jusante passagem)	FISCAL 020	S16° 27' 12,8"	W 44° 00' 46,9"	Alto Riachão

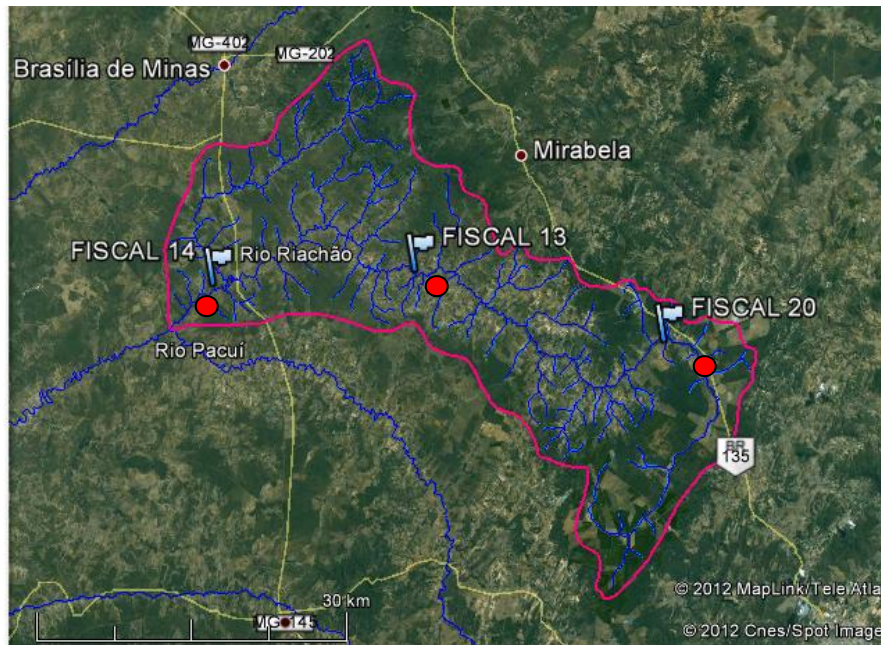


Figura 5.41: Localização das estações fluviométricas.
(Fonte: Google Earth, 2012).



Figura 5.42: Estações fluviométricas FISCAL 014, FISCAL 013 e FISCAL 020.

A escolha dessas estações, bem como da quantidade de estações utilizadas e dos métodos empregados, foi determinada pela disponibilidade de dados contínuos.

Os dados disponíveis consistem de valores mensais de vazão x cota para períodos variados e distintos entre si dentro do intervalo dos anos de 2000 a 2010 e de medições diárias de cotas (nem sempre contínuas) do período de dezembro de 2007 a setembro de 2010.

Observa-se que os dados diários de cota foram o critério principal na escolha do período de tempo a ser calculado o balanço hídrico da bacia. Dessa forma, foi construída uma curva-chave característica de cada estação utilizando-se os dados vazão x cota do período de 2007 a 2010 (**Tabela 5.21**, **Tabela 5.22** e **Tabela 5.23**). Os dados de vazão x cota apresentaram correlação significativa com 95% de confiança pelo teste t, com valores altos de coeficiente de correlação (R): 0,90 (FISCAL 14), 0,97 (FISCAL 13) e 0,80 (FISCAL 20).

Então, a equação da curva-chave de cada estação fluviométrica foi utilizada para calcular as vazões diárias que são correspondentes às cotas bi-diárias disponíveis para o período de dezembro de 2007 a setembro de 2010.

Vale ressaltar que não se dispõe de dados mensais de vazão x cota posteriores ao ano de 2005 para a estação FISCAL 13 (**Tabela 5.21**). Por isso, optou-se por utilizar toda a série de dados de vazão x cota disponíveis para essa estação para construir sua curva-chave. Logo, os resultados obtidos para essa estação devem ser vistos com restrição.

É importante destacar que a curva-chave de um curso d'água sofre variações ao longo dos anos, em decorrência das variações (naturais e/ou antrópicas) no leito do rio, bem como outras alterações que afetam sua descarga no local (seção) de medição da estação fluvial. A rigor, essas alterações devem ser monitoradas juntamente com as medições a fim de se ajustar a curva-chave às condições reais. No entanto, não se dispõe desse tipo de controle para as estações em estudo. Além disso, tendo em vista essas possíveis variações, é recomendável que os dados de cota x vazão (utilizados na construção da curva-chave) sejam contemporâneos às cotas diárias (cujas vazões diárias correspondentes serão obtidas a partir da equação da curva-chave).

Tabela 5.21: Dados de monitoramento da Estação Fluviométrica FISCAL13 (2000 a 2005)

DATA	LARGURA (m)	ÁREA (m²)	PROF. MÉDIA (m)	VEL. MÉDIA (m/s)	DESCARGA (L/s)	COTA (m)	VAZÃO m³/s
16/05/2000	5,40	1,46	0,27	0,09	137,79	-	0,14
31/05/2000	5,40	1,36	0,25	0,05	69,28	-	0,07
20/06/2000	3,55	0,36	0,10	0,22	78,35	-	0,08
28/06/2000	3,47	0,97	0,28	0,17	165,41	-	0,17
17/07/2000	3,50	0,35	0,10	0,15	51,82	-	0,05
11/08/2000	3,30	0,21	0,06	0,10	20,20	-	0,02
07/09/2000	3,70	0,41	0,11	0,21	87,61	0,75	0,09
22/09/2000	3,32	0,26	0,08	0,11	26,93	-	0,03
14/11/2000	5,45	1,22	0,22	0,41	494,73	1,00	0,49
23/01/2001	5,50	1,05	0,19	0,44	458,30	0,96	0,46
08/02/2001	4,00	0,44	0,11	0,25	109,28	-	0,11
19/04/2001	3,75	0,34	0,09	0,14	46,65	0,78	0,05
29/05/2001	3,40	0,28	0,08	0,07	18,72	-	0,02
28/06/2001	3,30	0,26	0,08	0,01	3,20	-	0,00
28/08/2001	2,00	0,13	0,06	0,09	10,77	0,74	0,01
24/09/2001	3,40	0,20	0,06	0,04	8,87	0,74	0,01
24/09/2001	3,40	0,20	0,06	0,04	8,87	0,74	0,01
18/10/2001	4,35	0,55	0,13	0,25	134,88	0,85	0,13
13/11/2001	4,25	0,50	0,12	0,25	121,92	0,84	0,12
15/02/2002	10,10	2,85	0,28	0,32	901,84	1,18	0,90
15/02/2002	10,10	2,85	0,28	0,32	901,84	1,18	0,90
14/03/2002	5,55	0,96	0,17	0,32	309,91	0,93	0,31
21/04/2002	4,60	0,63	0,14	0,27	166,78	0,86	0,17
24/05/2002	4,00	0,38	0,09	0,10	35,76	0,79	0,04
11/06/2002	3,90	0,30	0,08	0,05	13,87	0,77	0,01
12/07/2002	3,90	0,32	0,08	0,05	16,43	0,78	0,02
26/08/2002	4,30	0,50	0,12	0,00	0,00	0,82	-
23/09/2002	6,40	1,34	0,21	0,28	371,47	1,00	0,37
28/04/2003	10,60	3,55	0,33	0,00	0,00	0,83	-
27/08/2004	4,45	1,58	0,35	0,11	170,79	0,94	0,17
20/09/2004	3,15	0,90	0,29	0,08	70,60	0,83	0,07
09/05/2005	10,30	3,62	0,35	0,06	219,66	1,27	-

Tabela 5.22: Dados de monitoramento da Estação Fluviométrica FISCAL14 (2007 a 2010)

DATA	LARGURA (m)	ÁREA (m ²)	PROF. MÉDIA (m)	VEL. MÉDIA (m/s)	COTA MÉDIA (m)	DESCARGA		VAZÃO (m ³ /s)
27/03/2007	12,6	8,34	0,66	0,3000	1,11	2,5	m3/s	2,50
23/04/2007	12,0	7,5	0,62	0,1830	1,05	1,37	m3/s	1,37
25/05/2007	11,4	6,4	0,56	0,1490	0,98	953,82	L/s	0,95
27/06/2007	11,3	5,84	0,52	0,1430	0,03	835,2	L/s	-
21/07/2007	10,9	5,7	0,52	0,1010	0,91	573,87	L/s	0,57
28/08/2007	10,7	5,25	0,49	0,0978	0,90	513,74	L/s	0,51
28/09/2007	10,5	5,1	0,49	0,0554	0,89	282,48	L/s	0,28
29/10/2007	10,3	4,73	0,46	0,0600	0,86	284,08	L/s	0,28
24/11/2007	10,0	4,36	0,44	0,0488	0,82	212,72	L/s	0,21
17/12/2007	12,5	8,52	0,68	0,2590	1,16	2,2	m3/s	2,20
21/01/2008	11,3	6,1	0,54	0,1560	0,95	954,9	L/s	0,95
04/02/2008	10,0	4,69	0,47	0,1300	0,84	608,06	L/s	0,61
20/03/2008	13,2	9,52	0,72	0,3460	1,23	3,29	m3/s	3,29
19/04/2008	11,4	6,21	0,54	0,1900	0,94	1,18	m3/s	1,18
26/05/2008	10,0	4,6	0,46	0,1110	0,81	509,25	L/s	0,51
26/06/2008	9,7	4,38	0,45	0,0782	0,80	342,47	L/s	0,34
23/07/2008	9,8	4,32	0,44	0,0810	0,78	349,59	L/s	0,35
26/08/2008	9,7	3,86	0,40	0,0636	0,74	245,82	L/s	0,25
18/09/2008	9,5	3,63	0,38	0,0642	0,71	232,66	L/s	0,23
06/10/2008	9,5	3,73	0,39	0,0626	0,72	233,44	L/s	0,23
11/11/2008	9,5	3,13	0,33	0,0370	-	115,88	L/s	0,12
23/02/2009	10,4	6,99	0,67	0,2440	1,02	1,71	m3/s	1,71
24/03/2009	10,4	10,5	1,01	0,1810	0,93	1,9	m3/s	1,90
22/04/2009	10,4	6,39	0,61	0,2450	1,08	1,57	m3/s	1,57
23/06/2009	11,7	6,17	0,53	0,1340	0,84	828,63	L/s	0,83
20/07/2009	9,8	4,82	0,49	0,1100	0,80	532,72	L/s	0,53
24/10/2009	10,2	4,51	0,44	0,1450	0,86	651,72	L/s	0,65
25/11/2009	9,9	4,81	0,49	0,1340	0,86	645,02	L/s	0,65
08/12/2009	11,3	7,48	0,66	0,3040	1,05	2,27	m3/s	2,27
22/02/2010	10,0	4,97	0,50	0,1020	-	506,04	L/s	0,51
28/04/2010	10,2	5,73	0,56	0,1850	0,90	1,06	m3/s	1,06
27/05/2010	10,2	5,52	0,54	0,1260	0,89	697,01	L/s	0,70
25/06/2010	9,5	-	-	-	0,85	430,04	L/s	0,43
29/07/2010	10,2	4,77	0,47	0,0665	0,82	317,02	L/s	0,32
26/08/2010	9,8	3,72	0,38	0,0766	0,79	284,84	L/s	0,28
23/10/2010	10,2	4,68	0,46	0,0904	-	422,78	L/s	0,42
22/11/2010	10,7	6,25	0,58	0,2820	0,94	1,76	m3/s	1,76

Tabela 5.23: Dados de monitoramento da Estação Fluviométrica FISCAL20 (2007 a 2010)

DATA	LARGURA (m)	ÁREA (m ²)	PROF. MÉDIA (m)	VEL. MÉDIA (m/s)	COTA MÉDIA (m)	DESCARGA (L/s)	VAZÃO (m ³ /s)
mai-07	4,20	1,93	0,45905	0,2290	0,59	441,61	0,44161
jun-07	4,10	1,96	0,47793	0,1950	0,60	382,19	0,38219
jul-07	4,10	2,04	0,49841	0,1610	0,59	329,41	0,32941
set-07	3,00	1,31	0,43733	0,1460	0,44	191,49	0,19149
out-07	3,20	1,45	0,45313	0,1170	0,44	170,22	0,17022
fev-09	4,20	2,34	0,55619	0,1320	0,62	308,75	0,30875
mar-09	5,30	2,63	0,49708	0,1470	0,68	385,96	0,38596
abr-09	3,90	2,58	0,66077	0,1770	0,67	455,67	0,45567
jun-09	3,70	1,96	0,52959	0,1040	0,52	204,53	0,20453
jul-09	3,30	1,91	0,57970	0,1020	0,50	195,48	0,19548
set-09	3,20	1,75	0,54688	0,0361	0,44	63,1	0,06310
out-09	3,90	2,19	0,56077	0,0955	0,59	208,81	0,20881
nov-09	4,00	2,09	0,52200	0,1060	0,59	221,76	0,22176
jan-10	4,10	2,33	0,56878	0,0978	0,60	228,09	0,22809
fev-10	3,60	1,92	0,53444	0,0422	0,51	81,13	0,08113
mar-10	4,60	2,62	0,57033	0,1150	0,64	301,6	0,30160
abr-10	3,90	2,20	0,56397	0,0861	0,57	189,29	0,18929
mai-10	3,90	2,14	0,54846	0,0730	0,54	156,22	0,15622
jul-10	3,40	1,79	0,52529	0,0813	0,47	145,22	0,14522
ago-10	3,20	2,38	0,74500	0,0618	0,44	147,42	0,14742
out-10	3,50	1,86	0,53086	0,0530	0,44	98,47	0,09847
nov-10	3,20	2,22	0,69500	0,1590	0,59	354,65	0,35465

Para cada estação foram ajustadas três curvas: linear, polinomial de 2º grau e exponencial, apresentadas nos gráficos da **Figura 5.43**. Conforme pode ser observado nos gráficos, para as três estações o melhor ajuste foi dado pela curva polinomial de 2º grau e o pior, pela exponencial. A partir das equações (curva-chave) de cada estação foram calculados os valores diários de vazão (correspondentes às cotas diárias de dezembro de 2007 a setembro de 2010), que são necessários para construir o hidrograma e então realizar a separação do escoamento superficial.

A separação dos escoamentos no hidrograma foi realizada através de cálculos baseados no Método de separação *Sliding Interval Method*, que atribui um escoamento de base para cada registro diário no hidrograma baseado na menor descarga encontrada dentro de um período fixo de tempo anterior e posterior àquele dia. A magnitude do intervalo (2N), calculado de acordo

com a área de drenagem a montante de cada estação (**Figura 5.44**), é apresentada na **Tabela 5.24**.

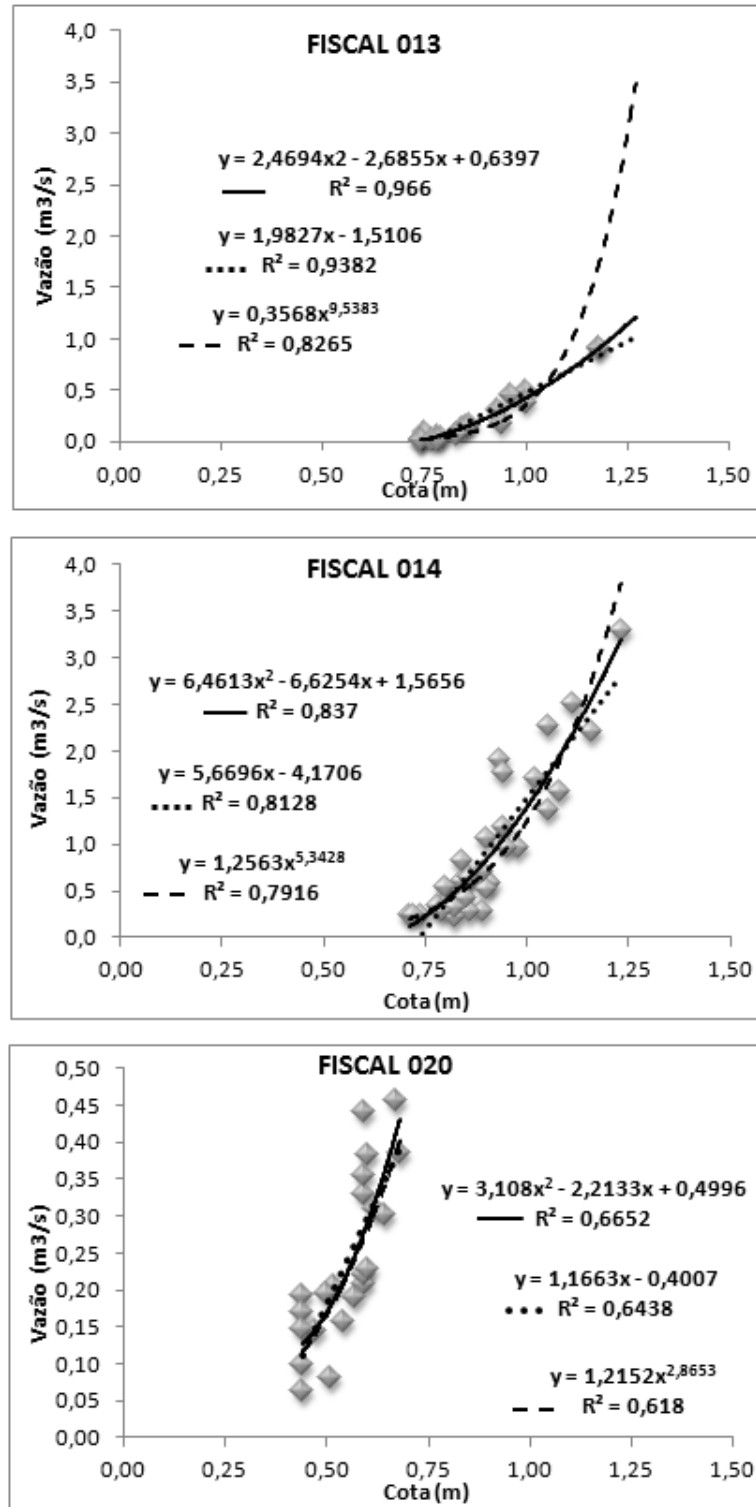


Figura 5.43: Curvas-chaves das estações fluviométricas FISCAL 013, FISCAL 014 e FISCAL 020.

Tabela 5.24: Parâmetros utilizados na separação dos hidrogramas através do Sliding Interval Method.

Estação	Área de drenagem (Km ²)	Duração do escoamento superficial (N) (dias)	Magnitude do Intervalo 2N (dias)
FISCAL 13	600,0	2,984	7
FISCAL 14	1122,0	3,369	7
FISCAL 20	191,0	2,364	5

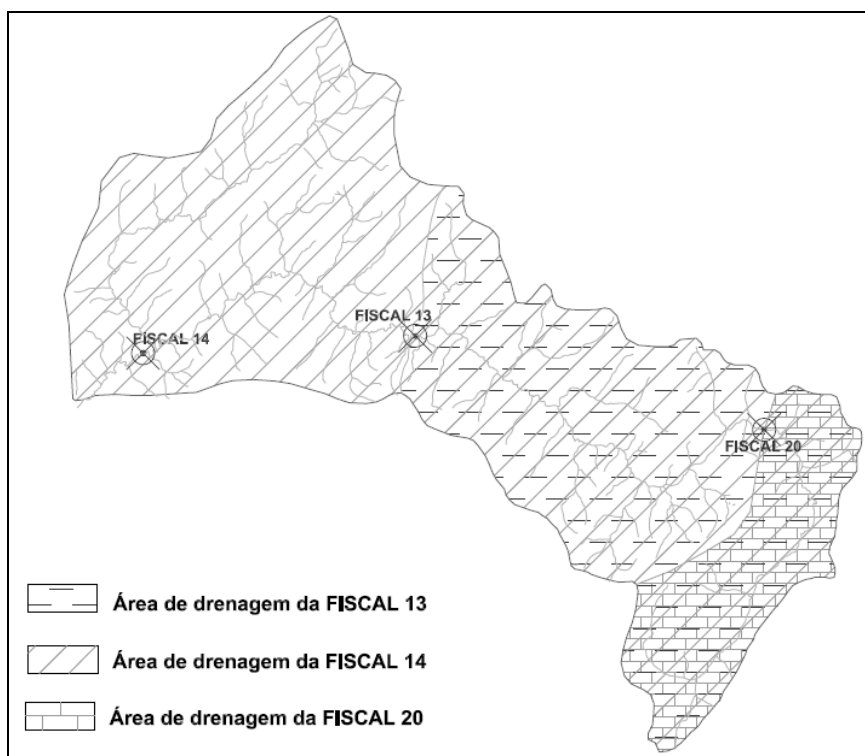


Figura 5.44: Representação da área de drenagem das estações fluviométricas.

Os valores de escoamento superficial e de base calculados são apresentados na **Tabela 5.25**. Esses resultados indicam o predomínio do escoamento de base sobre o superficial em toda a bacia. Contudo, diferenças importantes entre as três estações, mas coerentes com a localização das mesmas, podem ser observadas.

Tabela 5.25: Valores calculados de escoamento de base e superficial para as estações.

Valores de Escoamento (mm/ano)												
Ano Hidrológico	FISCAL 13				FISCAL 14				FISCAL 20			
	EB	EB (%)	ES	ES (%)	EB	EB (%)	ES	ES (%)	EB	EB (%)	ES	ES (%)
2007/2008	43,50	83%	8,77	17%	14,16	75%	4,69	25%	-	-	-	-
2008/2009	78,59	85%	13,66	15%	32,89	54%	28,24	46%	-	-	-	-
2009/2010	57,18	77%	17,03	23%	21,79	64%	12,39	36%	43,390	86%	6,92	14%

A estação FISCAL20 apresentou o menor escoamento superficial comparativamente ao de base. Nesta estação 86% da vazão é proveniente do escoamento de base, mostrando a importância da contribuição aquífera para a manutenção da lagoa da Tiririca. Na estação FISCAL13, o escoamento superficial representou entre 15 e 23% da vazão, e, talvez, represente a condição de maior normalidade da bacia. Já na estação FISCAL14, o escoamento superficial variou entre 25 e 46%, em consequência da contribuição dos afluentes do Riachão. Os resultados indicam ainda que o Rio São Lourenço apresenta influência significativa na vazão do exutório da bacia, conforme pode ser observado pelo aumento de vazão na estação FISCAL14 em relação a FISCAL13.

5.4.1.4. Recarga (I)

A partir da equação básica do balanço hídrico em função da recarga e de posse de todos os parâmetros **Precipitação**, **ETR** e **ES**, calculados nos itens anteriores, obtêm-se os valores de recarga (**I**) para os anos hidrológicos de 2007 a 2010. Os valores de recarga calculados e a porcentagem de recarga em relação à precipitação são apresentados na **Tabela 5.26**.

Os resultados obtidos mostram variações significativas entre as taxas de recarga para cada ano hidrológico (entre 2% e 27%), sendo estas taxas proporcionais às precipitações anuais. Contudo, os resultados não mostram variações expressivas entre as estações, embora possa ser observada uma taxa de recarga maior na região da Lagoa Tiririca (FISCAL20), quando comparada às demais estações no mesmo ano. Vale ressaltar que, nesse caso, a diferença nas taxas de recarga entre as estações é totalmente atribuída ao escoamento, uma vez que os valores dos demais parâmetros foram considerados fixos. Dessa forma, tendo em vista os baixos valores de escoamento superficial obtidos, não são esperadas diferenças expressivas nos resultados de recarga para o método de cálculo empregado.

Tabela 5.26: Valores de recarga calculados pelo balanço hídrico.

Ano Hidrológico	Pluviometria (mm)	ETR (mm)	ES (mm)			I = P - ETR - ES (mm)			Percentual da precipitação		
			Fiscal 13	Fiscal 14	Fiscal 20	Fiscal 13	Fiscal 14	Fiscal 20	Fiscal 13	Fiscal 14	Fiscal 20
2007/2008	792,84	769,03	8,768	4,69	-	15,04	19,12	-	1,9%	2,4%	-
2008/2009	1062,82	761,17	13,659	28,24	-	288,00	273,42	-	27,1%	25,7%	-
2009/2010	955,88	819,92	17,031	12,39	6,92	118,93	123,57	129,04	12,4%	12,9%	13,5%

5.4.2. Método da recessão sazonal ou método de Meyboom (1961)

O método de MEYBOOM (1961) foi aplicado para as estações FISCAL013 e FISCAL014. Para a estação FISCAL020 não foi possível, pois seus dados abrangem apenas um ano hidrológico. Os resultados obtidos são apresentados a seguir. As vazões diárias, utilizadas na confecção dos hidrogramas, foram obtidas a partir da curva-chave de cada estação (**Capítulo 5.4.1.3**). Os valores de Q_0 foram identificados nos hidrogramas a partir da vazão de pico e o valor de N (**Tabela 5.24**).

5.4.2.1. Estação FISCAL 014

A **Figura 5.45** a seguir apresenta o hidrograma obtido para a estação FISCAL014.

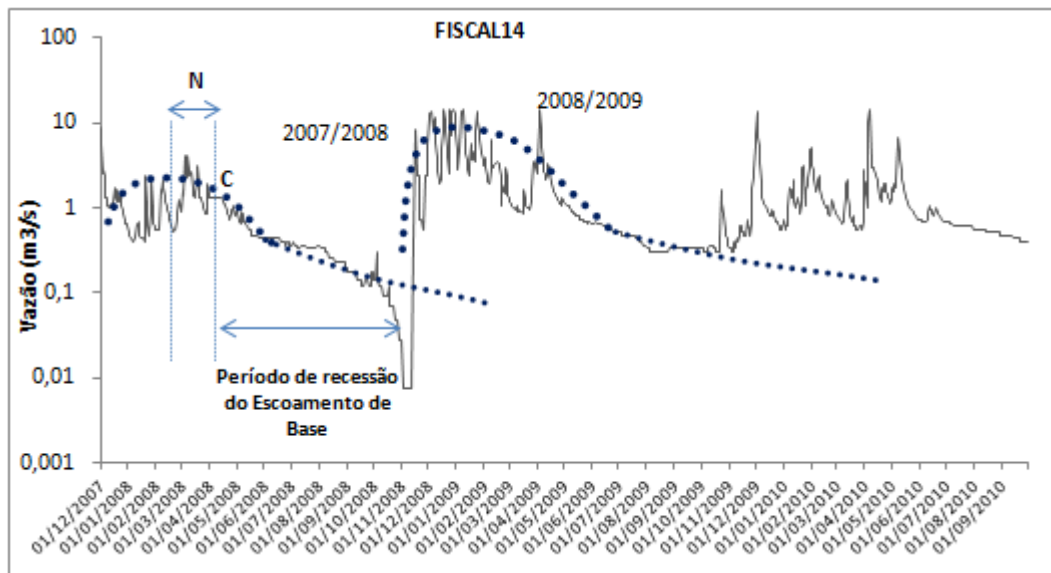


Figura 5.45: Hidrograma da estação FISCAL 014 (2007-2008).

O valor de Q_0 para a primeira recessão (ano de 2007/2008) é $Q_0 = 1,40 \text{ m}^3/\text{s} = 1,21 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{dia}$ e leva o tempo t_1 de 182 dias para alcançar a vazão $0,1Q_0$. O volume potencial total da vazão de água subterrânea V_{tp} é dado por:

$$V_{tp} = \frac{Q_0 t_1}{2,3026} = V_{tp}^{2007/2008} = \frac{(1,21 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{dia} \times 182 \text{ dias})}{2,3026} = 9,57 \times 10^6 \text{ m}^3$$

O valor de V_t ao final da recessão, que leva o tempo t de 238 dias, é dado por:

$$V_t = \frac{V_{tp}}{10^{t_1}} \rightarrow V_t^{2007/2008} = \frac{9,57 \times 10^6 \text{ m}^3}{10^{(238 \text{ dias}/182 \text{ dias})}} = 4,71 \times 10^5 \text{ m}^3$$

Para a próxima recessão (ano de 2008/2009), o valor de $Q_0 = 2,40 \text{ m}^3/\text{s} = 2,08 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{dia}$, e leva o tempo t_1 de 202 dias para alcançar a vazão aproximada de $0,1Q_0$. O volume potencial total da vazão de água subterrânea V_{tp} é dado por:

$$V_{tp} = \frac{Q_0 t_1}{2,3026} = V_{tp}^{2008/2009} = \frac{(2,08 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{dia} \times 202 \text{ dias})}{2,3026} = 1,83 \times 10^7 \text{ m}^3$$

A recarga é igual ao volume remanescente ao fim da primeira recessão (V_t) subtraído do volume potencial total (V_{tp}) para o início da próxima recessão (FETTER, 1994), ou seja:

$$\text{Recarga} = V_{tp}^{2008/2009} - V_t^{2007/2008} = 1,83 \times 10^7 \text{ m}^3 - 4,71 \times 10^5 \text{ m}^3 = 1,78 \times 10^7 \text{ m}^3$$

Considerando-se a área de drenagem da estação FISCAL014 como a área total de influência da bacia, conforme definido anteriormente, com um valor de 1122 km^2 , a recarga em mm é dada por:

$$\text{Recarga} = \frac{1,78 \times 10^7 \text{ m}^3}{1122 \times 10^6 \text{ m}^2 \times 10^3} \approx 16 \text{ mm}$$

Considerando as precipitações de 2007/2008 e 2008/2009 de 792,84 mm e 1062,82 mm respectivamente, a recarga calculada corresponde a uma média de **2%** da precipitação.

5.4.2.2. Estação FISCAL 013

A **Figura 5.46** a seguir apresenta o hidrograma obtido para a estação FISCAL013.

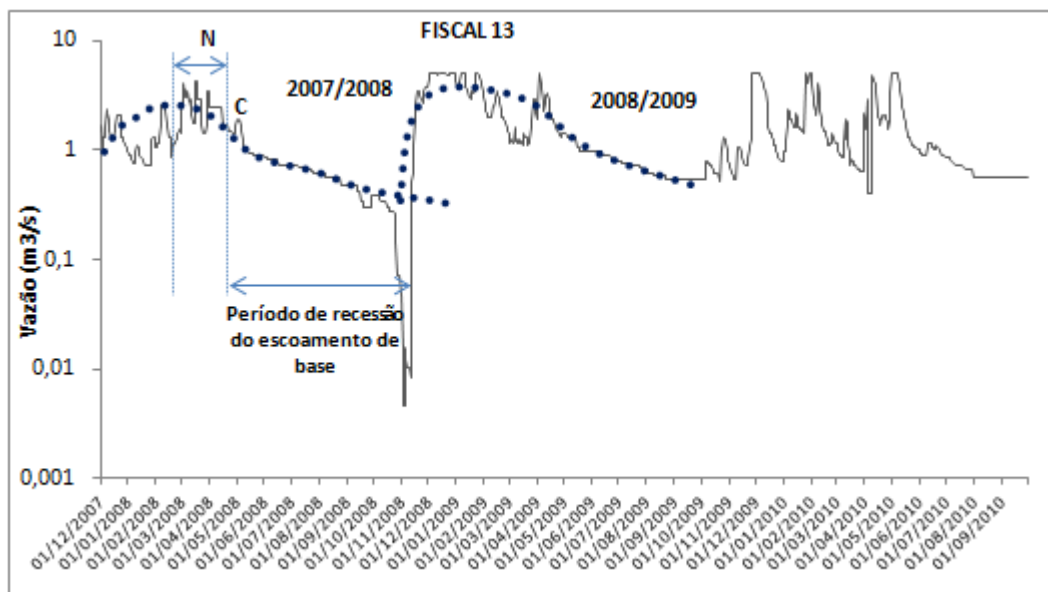


Figura 5.46: Hidrograma da estação FISCAL 013 (2007-2008).

O valor de Q_0 para a primeira recessão (ano de 2007/2008) é $Q_0 = 1,44 \text{ m}^3/\text{s} = 1,24 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{dia}$ e leva o tempo t_1 de 215 dias para alcançar a vazão $0,1Q_0$. O volume potencial total da vazão de água subterrânea V_{tp} é dado por:

$$V_{tp} = \frac{Q_0 t_1}{2,3026} = V_{tp}^{2007/2008} = \frac{(1,24 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{dia} \times 215 \text{ dias})}{2,3026} = 1,16 \times 10^7 \text{ m}^3$$

O valor de V_t ao final da recessão, que leva o tempo t de 227 dias, é dado por:

$$V_t = \frac{V_{tp}}{10^{\frac{t}{t_1}}} = V_t^{2007/2008} = \frac{1,16 \times 10^7 \text{ m}^3}{10^{(227 \text{ dias}/215 \text{ dias})}} = 1,02 \times 10^6 \text{ m}^3$$

Para a próxima recessão (ano de 2008/2009), o valor de $Q_0 = 3,60 \text{ m}^3/\text{s} = 3,10 \times 10^5 \text{ m}^3$, e leva o tempo t_1 de 221 dias para alcançar a vazão aproximada de $0,1Q_0$. O volume potencial total da vazão de água subterrânea V_{tp} é dado por:

$$V_{tp} = \frac{Q_0 t_1}{2,3026} = V_{tp}^{2008/2009} = \frac{(3,60 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{dia} \times 221 \text{ dias})}{2,3026} = 2,98 \times 10^7 \text{ m}^3$$

A recarga é igual ao volume remanescente ao fim da primeira recessão (V_t) subtraído do volume potencial total (V_{tp}) para o início da próxima recessão (FETTER, 1994), ou seja:

$$\text{Recarga} = V_{tp}^{2008/2009} - V_t^{2007/2008} = 2,98 \times 10^7 \text{ m}^3 - 1,02 \times 10^6 \text{ m}^3 = 2,88 \times 10^7 \text{ m}^3$$

Para a área de drenagem da estação FISCAL013, considera-se toda a área de influência da bacia compreendida entre a localização da estação e a montante, conforme definido anteriormente, com um valor de 600 km^2 . Dessa forma, a recarga em mm é dada por:

$$\text{Recarga} = \frac{2,88 \times 10^7 \text{ m}^3}{600 \times 10^6 \text{ m}^2 \times 10^3} = 47,93 \text{ mm}$$

Considerando as precipitações de 2007/2008 e 2008/2009 de 792,84 mm e 1062,82 mm respectivamente, a recarga calculada corresponde a uma média de **5%** da precipitação.

5.4.3. Método da Flutuação do nível d'água (Water-Table Fluctuation Method)

O método da flutuação do nível d'água (*WTF Method*) foi aplicado em dois poços de monitoramento nomeados, nesse trabalho, com os códigos NBSM e KFSM e localizados no entorno da Lagoa Tiririca, na montante da bacia e dentro do domínio dos calcários (**Figura 5.47**). Vale ressaltar que este método foi aplicado apenas nestes dois poços em função dos dados disponíveis.

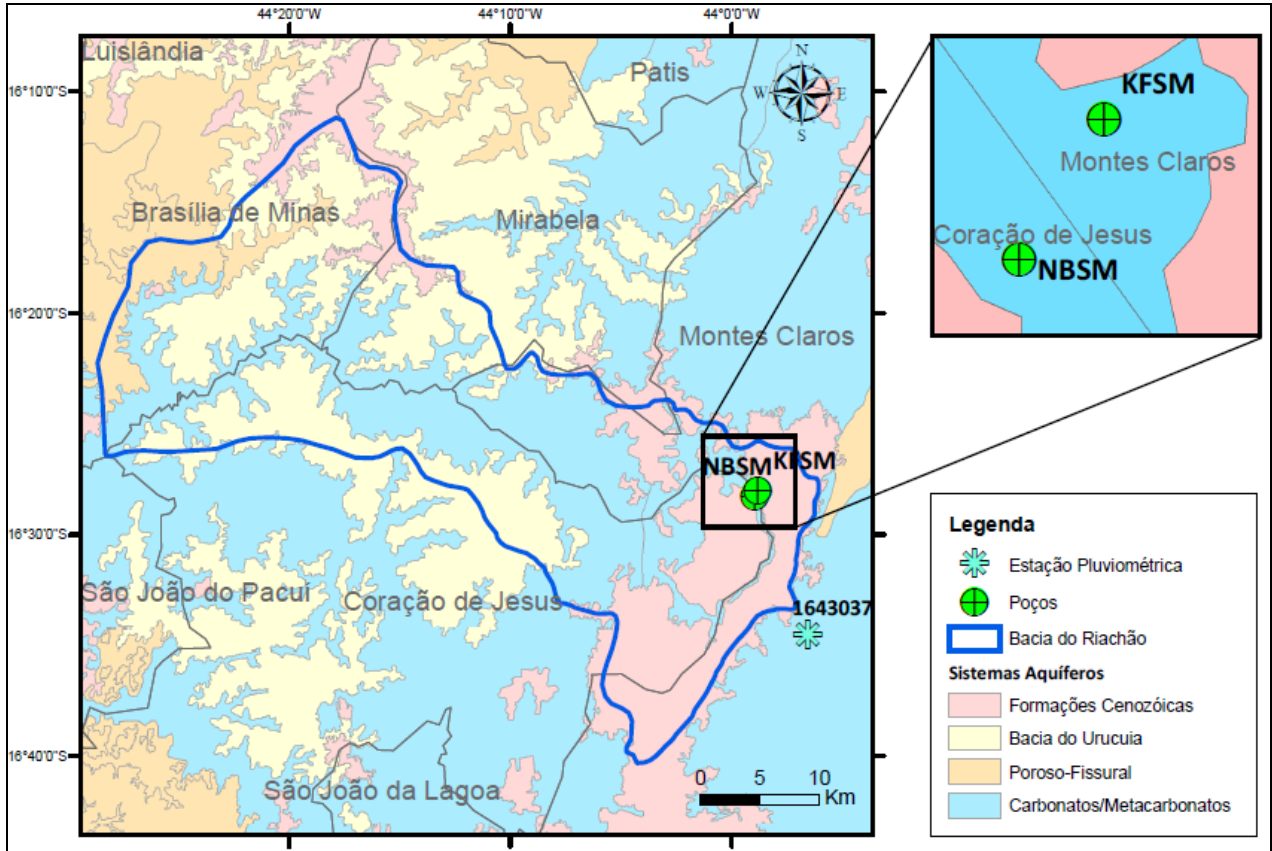


Figura 5.47: Localização dos poços tubulares utilizados no método WTF.

No método WTF, o valor da recarga é estimado em função da porosidade efetiva (S_y) e da elevação do nível d'água (ΔH), que é atribuída à recarga, conforme apresentado no **Capítulo 4.3.1**

Os dados de profundidade de nível d'água dos poços foram fornecidos pelo IGAM e correspondem a medições realizadas com sonda manual entre os anos de 2007 e 2011. Ressalta-se ainda que os perfis construtivos e litológicos desses poços mostram que os mesmos estão completamente inseridos no domínio do calcário (intemperizado e são) e, conseqüentemente, as entradas de água também, além disso, não mostram a ocorrência de coberturas detríticas. Logo, essas variações do nível d'água são relacionadas ao aquífero cárstico.

O valor de porosidade efetiva para essa região (calcário carstificado) foi calculado por ÁGUA (2009a), que obteve valores entre 0,02 e 0,005. Em função dessa faixa de valores de S_y , foi estimada uma recarga máxima (para $S_y = 0,02$) e uma recarga mínima (para $S_y = 0,005$).

5.4.3.1. Poço NBSM

O gráfico da **Figura 5.48** apresenta a variação do nível d'água no poço NBSM. A partir desses dados foi possível avaliar três picos de elevação do nível d'água (atribuídos à recarga). O gráfico mostra picos de elevação do nível d'água entre 0,30 e 0,40 metros.

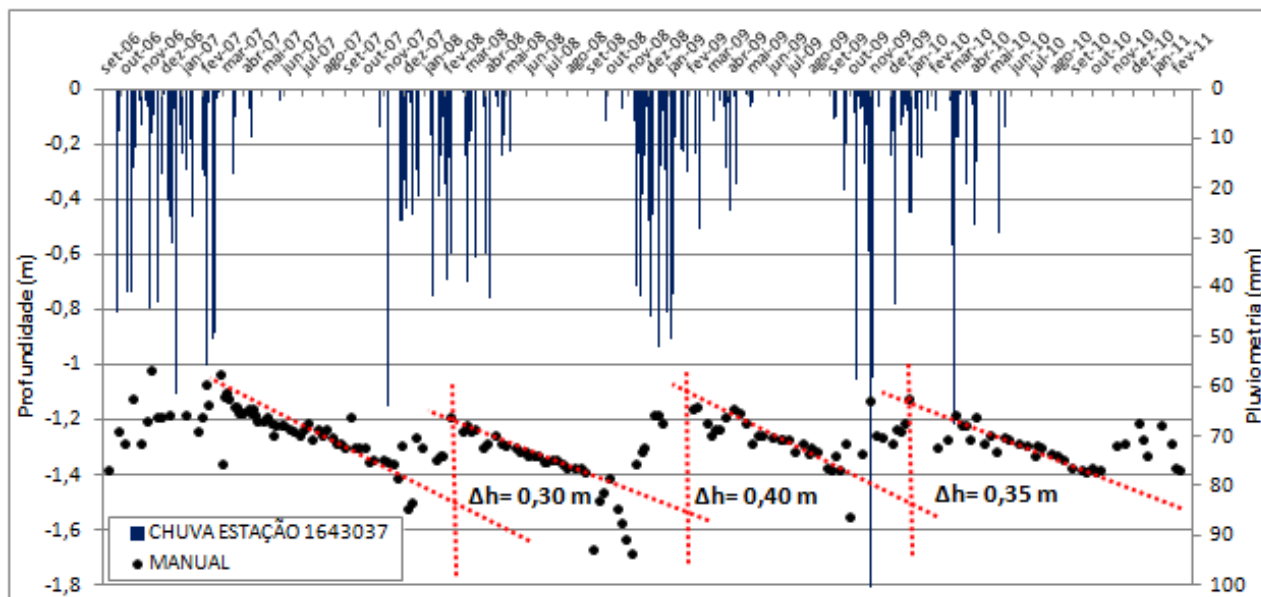


Figura 5.48: Gráfico da variação do nível d'água no poço NBSM.

A **Tabela 5.27** apresenta os valores dos parâmetros obtidos na análise do gráfico, os valores de porosidade efetiva adotados, os valores de precipitação anual utilizados para comparação e, finalmente, os resultados da estimativa da recarga através do método WTF para o poço NBSM.

Tabela 5.27: Resultados obtidos para o poço NBSM.

Parâmetro	Unidade	Pico 1 (2007/2008)	Pico 2 (2008/2009)	Pico 3 (2009/2010)
Precipitação	mm/ano	792,8	1062,8	955,9
Δh	m	0,3	0,4	0,35
Δt	dias	67	92	63
$S_{y_{\min}}$	-	0,005	0,005	0,005
R_{\min}	mm/ano	8,17	7,93	10,14
% da Precipitação	-	1%	1%	1%
$S_{y_{\max}}$	-	0,020	0,020	0,020
R_{\max}	mm/ano	32,69	23,80	34,76
% da Precipitação	-	4%	2%	4%

5.4.3.2. Poço KFSM

O gráfico da **Figura 5.49** apresenta a variação do nível d'água no poço KFSM. A partir desses dados foi possível avaliar dois picos de elevação do nível d'água (atribuídos à recarga). O gráfico mostra picos de elevação de 0,47 e 0,40 metros.

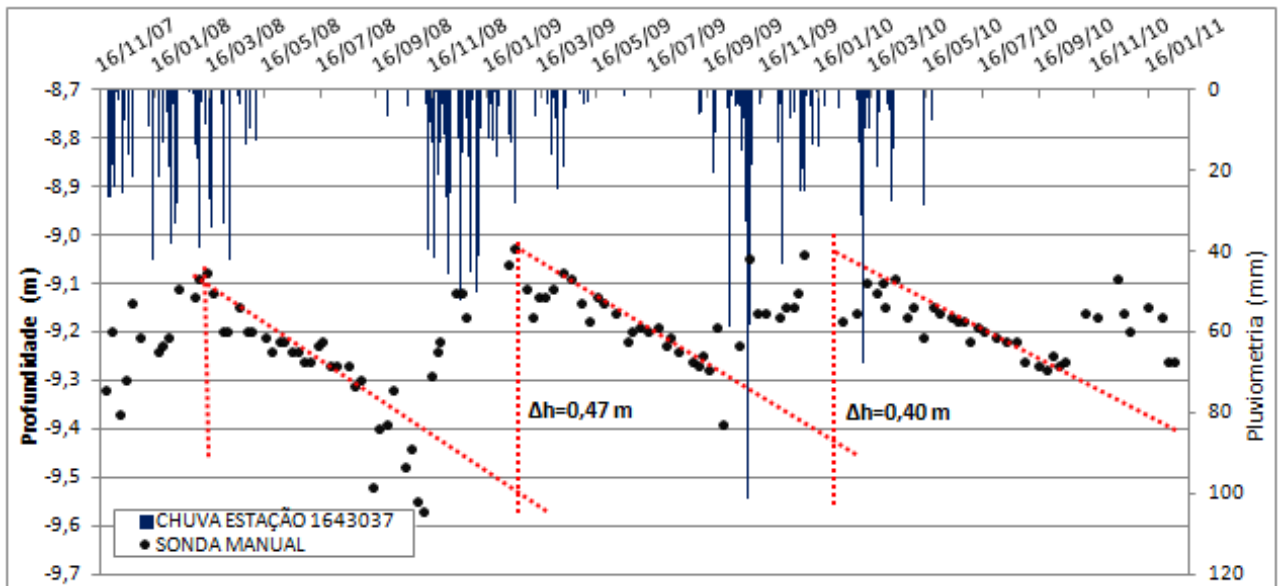


Figura 5.49: Gráfico da variação do nível d'água no poço KFSM.

A **Tabela 5.28** apresenta os valores dos parâmetros obtidos na análise do gráfico, os valores de porosidade efetiva adotados, os valores de precipitação anual utilizados para comparação e, finalmente, os resultados da estimativa da recarga através do método WTF para o poço KFSM.

Tabela 5.28: Resultados obtidos para o poço KFSM.

Parâmetro	Unidade	Pico 1 (2008/2009)	Pico 2 (2009/2010)
Precipitação	mm/ano	1062,8	955,9
Δh	m	0,470	0,400
Δt	dias	133	123
$S_{y\text{mín}}$	-	0,005	0,005
$R_{\text{mín}}$	mm/ano	6,45	5,94
% da Precipitação	-	1%	1%
$S_{y\text{máx}}$	-	0,020	0,020
$R_{\text{máx}}$	mm/ano	25,80	23,74
% da Precipitação	-	2%	2%

5.4.4. Fluxo de base como uma aproximação para recarga

Os valores de escoamento de base foram obtidos através da separação dos hidrogramas de três estações fluviométricas, conforme descrito anteriormente no **Capítulo 5.4.1.3**. Os resultados obtidos são apresentados na **Tabela 5.29**.

A recarga estimada como uma aproximação do fluxo de base apresentou valores entre 14,2 e 79,6 mm/ano, correspondendo a valores entre 2% e 7% da precipitação anual.

Tabela 5.29: Resultados de fluxo de base nas estações fluviométricas utilizadas.

Ano Hidrológico	Precipitação anual (mm)	FISCAL 13		FISCAL 14		FISCAL 20	
		Fluxo de Base (mm)	% da precipitação	Fluxo de Base (mm)	% da precipitação	Fluxo de Base (mm)	% da precipitação
2007/2008	792,84	43,496	5%	14,155	2%	-	-
2008/2009	1062,82	78,586	7%	32,894	3%	-	-
2009/2010	955,88	57,177	6%	21,794	2%	43,390	5%

5.4.5. Método APLIS

O método APLIS foi aplicado a partir de sua equação básica para estimar uma taxa de recarga média para a bacia a partir de valores representativos de cada parâmetro, que são definidos a seguir.

O mapa hipsométrico mostrou altitudes no interior da bacia entre 635 e 985 metros (pontuação 3 a 4), com cotas predominantemente inferiores a 900 metros (pontuação 3) (**Figura 5.50**).

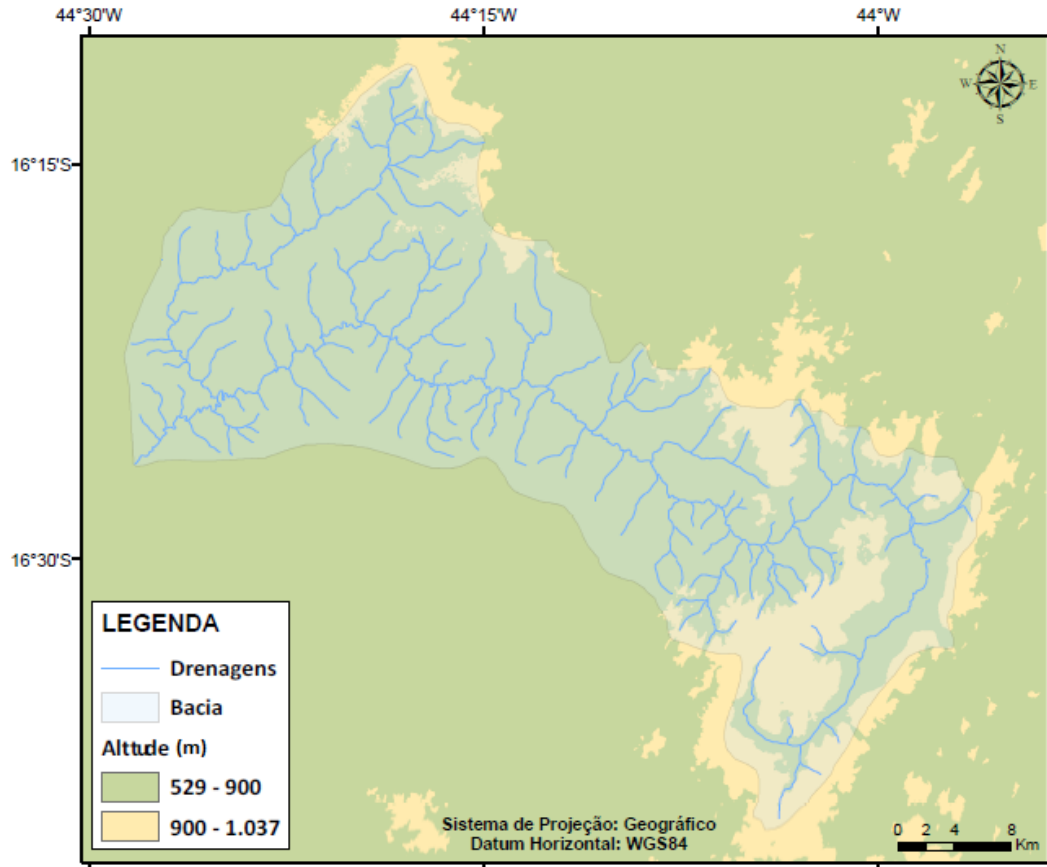


Figura 5.50: Distribuição das classes de altitudes na bacia.

O relevo da região é caracterizado por declives inferiores a 20%, isto é, plano a ondulado (pontuação 10 a 8).

Os litotipos predominantes na bacia são os calcários fraturados/ carstificados, associados à Fm. Lagoa do Jacaré (pontuação 8 a 7), os arenitos diversos, associados ao Gr. Urucua e subordinadamente à Fm. Três Marias (pontuação 4) e as coberturas (pontuação 4). Com abrangência mínima em superfície na bacia (ao longo do curso principal do alto-médio São Lourenço, na região do baixo Riachão) afloram ainda rochas pelíticas (pontuação 1).

Com relação à infiltração preferencial, embora existam feições de carstificação importantes como a lagoa da Tiririca, a bacia não mostra abundantes zonas de infiltração preferencial como dolinas (pontuação 1).

Quanto aos tipos de solo, na região predominam o latossolo vermelho-amarelo associado ao neossolo quartzarênico (nas regiões de coberturas e arenito Urucua) e ao argissolo vermelho-amarelo (sobre os calcários ao longo da drenagem). Apesar do método original não prever

ponderação para esses tipos de solos, uma vez que foi desenvolvido em região de clima mediterrâneo, é possível fazer uma aproximação com base nas características hidráulicas dos mesmos.

Vários estudos realizados no Brasil, como os trabalhos de SOUZA & CAMPOS (2001), GASPAR et. al. (2007), FIORI et. al. (2010), apontam para condições de infiltração favoráveis nos latossolos e neossolos quartzarênico, com altos valores de condutividade hidráulica vertical, favorecendo, portanto, a recarga. De modo geral observa-se a seguinte tendência com relação aos valores de condutividade hidráulica vertical: Neossolo Quartzoarênico > Latossolo > Argissolo > Cambissolo > Gleissolo. Além disso, o Sistema Brasileiro de Classificação de solos da EMBRAPA estabelece uma correspondência aproximada entre os sistemas internacionais e o brasileiro para classes de solos em alto nível categórico, sendo os Neossolos Quartzarênicos correspondentes aos arenossolos. Com base em todos esses aspectos e comparando-se com as classes de solos originais do método, adotou-se uma pontuação entre 9 e 7 para os solos da bacia.

A partir dessa pontuação definida para cada parâmetro obteve-se uma taxa de recarga aproximada de **45%** (moderada) para os calcários, **35%** (baixa) para os arenitos e coberturas e **25%** (baixa) para as rochas pelíticas.

5.4.6. Comparação entre os métodos de estimativa de recarga

De modo geral, os métodos *Balanço hídrico*, *Meyboom*, *Aproximação pelo fluxo de base* e *WTF* possibilitam uma avaliação temporal da recarga através dos anos hidrológicos, e, portanto, uma estimativa da recarga sazonal (**Tabela 5.30**). Estes métodos utilizam medidas diretas ou indiretas de variáveis envolvidas no ciclo hidrológico. Para a área de estudo resultaram em taxas de recarga entre 2 e 27%. Os resultados obtidos por meio destes métodos são compatíveis com a taxa de recarga calibrada no modelo hidrogeológico numérico elaborado por AGUA (1999a) para o alto da bacia (10% da precipitação, cerca de 108 mm/ano).

Por outro lado, o método *APLIS* proporciona uma avaliação atemporal da recarga, através de parâmetros que não variam com o tempo, e fornece uma estimativa do potencial de recarga da área com base nas características do meio físico. Quando aplicado juntamente com técnicas de geoprocessamento, permite uma avaliação da distribuição espacial das taxas de recarga. Para a área de estudo resultou em taxas de recarga entre 27 e 45%.

Em síntese, os resultados obtidos para as taxas de recarga na área de estudo, em relação à precipitação anual (**Tabela 5.30**), podem ser agrupados quanto aos métodos da seguinte forma:

- I. Altos: método *APLIS* (25-45%);
- II. Intermediários: método do *Balanço Hídrico* (2-27%);
- III. Baixos: métodos *WTF*, *Aproximação pelo escoamento de base* e *Meyboom* (1-7%).

Tabela 5.30: Comparação entre as taxas estimadas de recarga através dos métodos aplicados.

Taxas de recarga em relação à precipitação												
Ano Hidrológico	Balanço Hídrico			WTF				Aproximação pelo EB			Meyboom	
	Fisca 1 13	Fisca 1 14	Fisca 1 20	NBS M min	NBS M max	KFS M min	KFS M max	FISCA L 13	FISCA L 14	FISCA L 20	FISCA L 13	FISCA L 14
2007/2008	2%	2%	-	1%	4%	-	-	5%	2%	-	-	-
2008/2009	27%	26%	-	1%	2%	1%	2%	7%	3%	-	5%	2%
2009/2010	12%	13%	14%	1%	4%	1%	2%	6%	2%	5%	-	-

O método *Balanço hídrico* tem a vantagem de avaliar o balanço de água no sistema através dos principais parâmetros de entrada e saída d'água. Contudo, o sucesso do método depende da correta avaliação e dimensionamento de cada parâmetro e da representatividade dos dados utilizados. Até mesmo para a determinação da Pluviometria, cujos dados são obtidos diretamente através de equipamentos próprios, são necessários cálculos para se chegar aos valores a serem empregados na equação do balanço hídrico da bacia (**Capítulo 5.4.1.1**). Para o cálculo da ETR (**Capítulo 5.4.1.2**), é necessário, a priori, o cálculo da temperatura compensada mensal e também da pluviometria mensal. Já para o ES é necessária a confecção de um hidrograma, cujas vazões são calculadas a partir de uma curva-chave, que por sua vez é construída a partir de medições de campo. A qualidade dessa curva é fundamental para a confecção de um hidrograma representativo e está diretamente ligada aos dados de campo. Então, todos os cálculos em cada parâmetro, bem como a consistência dos dados coletados, podem somar erros que se propagam ao longo das etapas.

A utilização do método do balanço-hídrico, no presente estudo, visou à estimativa de uma taxa de recarga média para a bacia, a partir de valores médios de pluviometria e evapotranspiração real que representassem toda a bacia. Sua utilização não objetivou a avaliação da distribuição espacial, uma vez que não é possível, através dos dados disponíveis, avaliar a distribuição espacial dos parâmetros do balanço hídrico. Dessa forma, as variações obtidas nas taxas de

recarga entre as estações fluviométricas, num mesmo ano hidrológico, foram devidas exclusivamente ao escoamento medido em cada uma. As taxas de recarga obtidas variaram entre **2 e 27%** (da precipitação) e mostraram-se proporcionais a precipitação anual. Além disso, a ETR representou um importante fator de perda d'água, reduzindo consideravelmente a quantidade de água disponível para recarga.

Os métodos de *Meyboom* e *Aproximação pelo fluxo de base* são de fácil aplicação uma vez que são aplicados diretamente em hidrogramas. Logo, os resultados são influenciados pela qualidade do hidrograma e pelos métodos utilizados para a limitação de período de recessão (no caso do método de *Meyboom*) e para a separação dos escoamentos (no caso da *Aproximação pelo fluxo de base*). O método de *Aproximação pelo fluxo de base* tende a subestimar a recarga, uma vez que o escoamento de base não é igual à recarga, sendo em geral menor, mas representa uma boa aproximação se não há perdas pela bacia. Os resultados obtidos para este método (**2 a 7%** da precipitação) foram muito semelhantes àqueles obtidos através do método de *Meyboom* (**2 e 5%** da precipitação), indicando que não há perdas significativas pela bacia e corroborando a satisfatoriedade do método de *Aproximação pelo fluxo de base* para o local de estudo.

O método *WTF* tem a vantagem de se utilizar de dados do nível da água subterrânea, monitorados em poços tubulares, que são dados de fácil aquisição e confiabilidade. Contudo, é altamente influenciado pela porosidade efetiva das rochas, portanto, a precisão e representatividade dos valores utilizados para esse parâmetro são fundamentais para o sucesso do método. Este método, que consiste num método direto, uma vez que se utiliza diretamente de informações do nível d'água subterrâneo, resultou em taxas de recargas de **1 a 4%** da precipitação. Estes valores são próximos àqueles obtidos através dos métodos de hidrograma (*Meyboom* e *Aproximação pelo fluxo de base*).

Com relação à variação da recarga ao longo da bacia, comparando-se os resultados obtidos entre os métodos *WTF*, *Meyboom* e *Aproximação pelo fluxo de base*, que são métodos que utilizam apenas dados pontuais, observa-se pouca variação entre as taxas de recarga obtidas entre os pontos de análise, indicando certa homogeneidade de recarga na bacia.

Comparativamente aos outros métodos aplicados, o método *APLIS* resultou em taxas de recarga mais elevadas, com valores entre **25 e 45%** (**Tabela 5.31**). Estes resultados são coerentes com aqueles obtidos em estudos anteriores para aquíferos carbonáticos em regiões com precipitações

anuais entre 500 e 1300 mm, como nos trabalhos realizados por ANDREO *et. al.* (2004), LÓPEZ-GETA *et. al.* (2004), MARTOS-ROSILLO *et. al.* (2010) e FARFÁN, *et. al.* (2010), que também resultaram em taxas de recarga consideradas moderadas, isto é, entre 40 e 60%. No entanto, apresentou os resultados mais discrepantes e elevados em relação aos demais métodos utilizados.

Este método foi desenvolvido para condições de clima mediterrâneo e sua aplicação necessitou de aproximação para um dos parâmetros utilizados (solo), uma vez que o método original não prevê classificação e ponderação para o solo exclusivo de clima tropical (latossolo). Contudo, uma vez bem definidos os demais parâmetros, a aproximação desse não resulta em variações significativas para o cálculo, mostrando-se, portanto, aceitável.

Tabela 5.31: Taxas de recarga obtidas através do método APLIS.

Domínio	Taxa de recarga em relação à precipitação
Calcário	45%
Arenitos e coberturas	35%
Pelitos	25%

No entanto, existem algumas questões inerentes ao método *APLIS* que devem ser ressaltadas. O método é muito sensível ao parâmetro presença de zonas preferenciais de infiltração, em função da ponderação e números de classe definidos para esse parâmetro. Então, o conhecimento e avaliação de feições de carstificação que favoreçam a infiltração são fundamentais. Este método também é sensível ao parâmetro litologia, devido ao grau de ponderação dado ao mesmo, que define uma ponderação três vezes maior para o litotipo em relação ao solo. Contudo, deve-se ressaltar a importância dos solos para a recarga em países de clima tropical. Sabe-se que as espessuras de latossolo podem ser significativas, constituindo importantes armazenadoras de água e alimentando aquíferos subjacentes. Além disso, os afloramentos rochosos podem se tornar mais escassos que as coberturas de solo. O que se torna ainda mais importante quando o método é utilizado para avaliar a distribuição espacial da recarga através de mapas de recarga. Assim, o solo pode vir a representar um parâmetro tão importante quanto à litologia.

Outra questão é que o método não avalia diretamente a influência da evapotranspiração real, parâmetro que se mostrou muito importante na redução da taxa de recarga. Dessa forma, o uso do

método *APLIS* em condições tropicais necessita de maiores estudos nas relações e ponderações dos parâmetros utilizados e sua influência no cálculo da recarga.

Por fim, nota-se que, ao contrário dos demais métodos, o método *APLIS* não envolve medições diretas ou indiretas de água no sistema, tais como medidas de vazão de rios ou variação do nível da água subterrânea. Então a taxa de recarga, estimada através deste método, pode representar um potencial de recarga baseado nas condições físicas do meio, que envolvem a altitude e a declividade do terreno, os tipos de solos e rochas existentes e a presença de estruturas cársticas que favorecem a infiltração da água.

Do ponto de vista prático, os métodos *Meyboom* e *Aproximação pelo fluxo de base* são os de mais fácil aplicação, pois necessitam apenas de dados de hidrograma, e são de baixo custo de implantação, associado apenas a instalação, manutenção e monitoramento de estações pluviométricas.

O método *WTF* também é de fácil aplicação, uma vez que necessita apenas de dados de nível d'água, medidos em poços de monitoramento, e de porosidade efetiva, que pode ser determinada através de testes de aquíferos. Seu custo está associado à instalação e ao monitoramento sistemático de poços de monitoramento, que pode ser manual, através de medidores de nível d'água, ou automático, através de transdutores de pressão.

O método do *Balanço Hídrico*, por sua vez, apresenta um grau maior de dificuldade de aplicação em função da mensuração de cada um dos seus parâmetros. Contudo, a aquisição de dados não é necessariamente mais dispendiosa que os outros métodos. Séries históricas de pluviometria são disponibilizadas para uso público pela Agência Nacional de Águas e valores de evapotranspiração podem ser calculados através de métodos teóricos ou através de programas específicos, como aquele utilizado neste estudo. Entretanto, custos podem ser adicionados no caso da implantação de estações pluviométricas particulares e evaporímetros.

O cálculo realizado através da equação paramétrica do método *APLIS* também se mostrou de fácil aplicação, pois os valores médios dos parâmetros podem ser facilmente estimados através de mapas temáticos e cartas topográficas. Contudo, sua aplicação conforme prevista originalmente pelo método para avaliação espacial da recarga, exige técnicas de geoprocessamento e aquisição de bases digitais que podem dificultar sua aplicação.

5.5. CARACTERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA E QUALIDADE DA ÁGUA

O IGAM tem realizado o monitoramento da qualidade das águas subterrâneas e superficiais na área do rio Riachão através do projeto “Monitoramento das Águas Superficiais e Subterrâneas das Sub-bacias dos rios Verde Grande, Riachão e Jequitaiá na Bacia do rio São Francisco, em Minas Gerais” em convênio com a CODEVASF (Companhia de Desenvolvimento dos Vales São Francisco e Parnaíba).

Esse monitoramento de qualidade das águas teve início em 2005 e contemplou sete pontos de água superficial (**Tabela 5.32**) e quatro poços tubulares (**Tabela 5.33**) na área do Riachão (**Figura 5.51**). Em 2010 houve uma reestruturação da rede de monitoramento de água subterrânea e apenas o poço 5, renomeado como CJ002, foi mantido nessa rede.

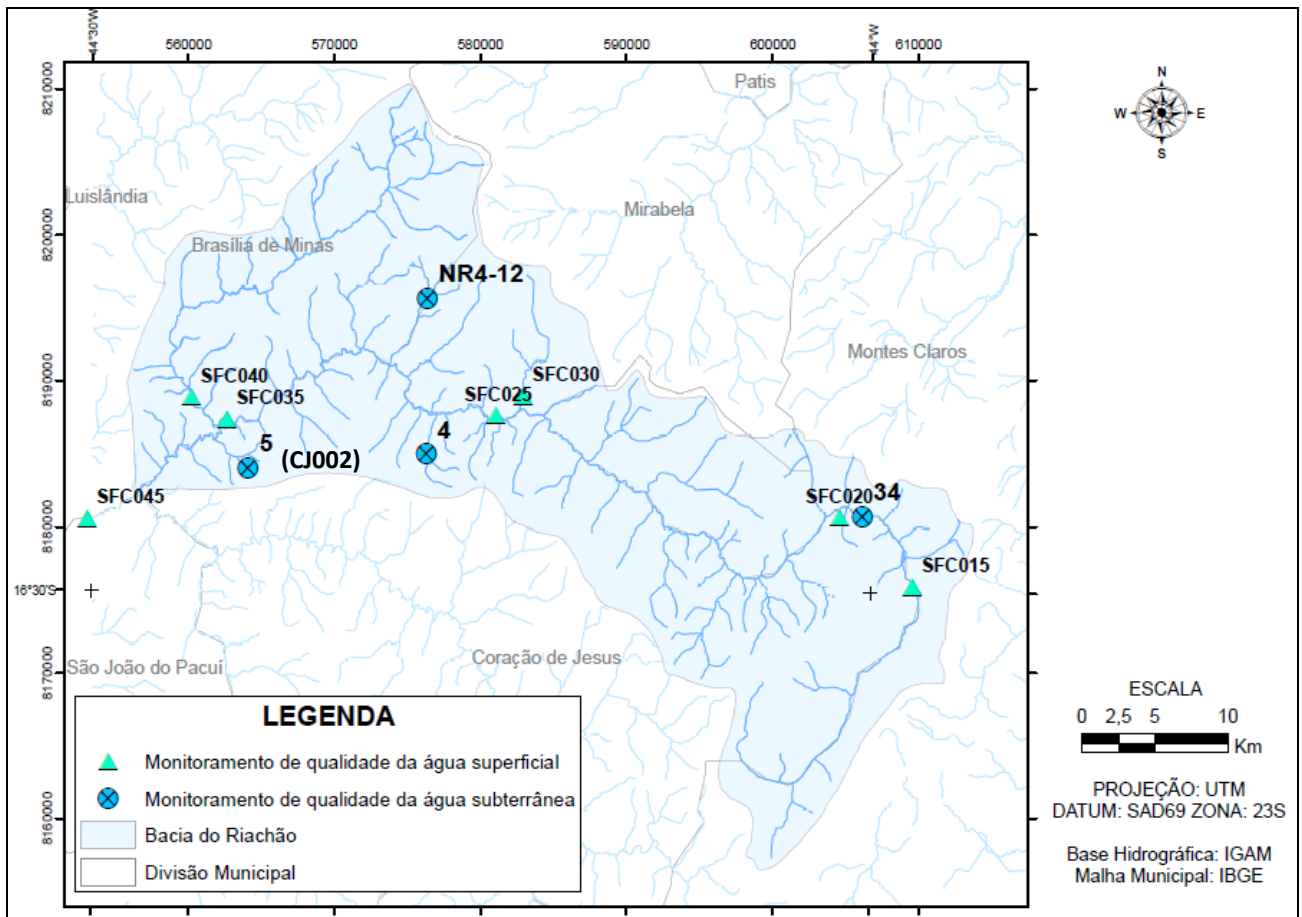


Figura 5.51: Localização dos pontos de monitoramento de qualidade das águas na bacia do Riachão
(Fonte: IGAM).

Tabela 5.32: Dados gerais dos pontos de monitoramento de água superficial na bacia do Riachão.

(Fonte: IGAM, 2005c)

Estação	Corpo/ Curso d'água	Município	Descrição	Coordenadas UTM	Altitude (m)	Data de instalação	Ambiente/ Enquadramento
SFC015	Lagoa Tiririca	Montes Claros	Lagoa Tiririca, região da nascente.	8175795N 609503E	832	02/03/2005	Lêntico / Classe II
SFC020	Lagoa Tiririca	Montes Claros	Lagoa Tiririca.	8180675N 606366E	832	08/12/2004	Lêntico / Classe II
SFC025	Rio Riachão	Mirabela/ Coração de Jesus	Rio Riachão a jusante da foz do Rio Santa Cruz.	8187614N 581054E	744	08/12/2004	Lótico / Classe II
SFC030	Rio Santa Cruz	Mirabela	Rio Santa Cruz próximo à sua foz no Rio Riachão, no povoado Santa Cruz.	8188990N 582894E	752	26/02/2005	Lótico / Classe II
SFC035	Rio Riachão	Coração de Jesus/ Brasília de Minas	Rio Riachão à montante da confluência com o Rio Pacuí.	8187344N 562722E	697	26/02/2005	Lótico / Classe II
SFC040	Rio São Lourenço	Coração de Jesus/ Brasília de Minas	Rio São Lourenço próximo à confluência com o Rio Riachão.	8188914N 560178E	697	26/02/2005	Lótico / Classe II
SFC045	Rio Pacuí	Coração de Jesus/ Brasília de Minas	Rio Pacuí a jusante da confluência com o Rio Riachão.	8180589N 553088E	624	26/02/2005	Lótico / Classe II

Tabela 5.33: Dados gerais dos poços de monitoramento de qualidade de água no Riachão

(Fonte: IGAM).

Código	Município	Coordenadas UTM	Profundidade (m)	NE Teste (m)	ND Teste (m)	Vazão Teste (m ³ /h)	Capacidade Específica (m ³ /h/m)	Uso Água
4	Coração de Jesus	576317E 8184971N	60	3,9	36,05	10,22	0,32	Abastecimento público
5	Coração de Jesus	564099E 8184072N	72	14	33,74	25,7	1,30	Consumo humano
34	Montes Claros	606156E 8180687N	48	2,45	4,14	39,96	23,64	Abastecimento público
NR4-12	Mirabela	576384E 8195639N	-	-	-	-	-	Abastecimento público

5.5.1. Águas subterrâneas

O IGAM forneceu o resultado das análises químicas de quatro campanhas realizadas nos anos de 2005 e 2006 nos poços NR4-12, 4, 5 e 34, e de duas campanhas realizadas em 2010 no poço 5.

As águas dos poços analisadas são caracterizadas por valores de pH em torno do neutro ao básico, com valores médios entre 7,05 e 7,55. A alcalinidade dessas águas varia entre 111,5 e 208,3 mg/L CaCO₃ e é devida exclusivamente à presença de bicarbonatos, sendo as alcalinidades de carbonato e de hidróxido nulas, conforme esperado para o pH das mesmas (a faixa de pH entre 4,4 e 8,3 determina uma alcalinidade resultante apenas do bicarbonato).

Em relação aos teores de dureza total, apresentam teores médios entre 115,62 e 195,13 (mg/L CaCO₃) e são classificadas como intermediárias pelo critério de LOGAN (1965) e como duras de acordo com CUSTÓDIO & LLAMAS (1983), sendo, portanto águas incrustantes, mas ainda dentro do padrão de potabilidade para consumo humano de acordo com a Portaria MS nº 518/2004, que determina um valor máximo permitido de 500 mg/L.

Com relação aos cátions e ânions preponderantes presentes nessas águas, predominam os íons HCO₃⁻ e Ca²⁺ sendo, portanto, classificadas como bicarbonatadas-cálcicas, conforme o diagrama de classificação de fácies hidroquímicas de Piper (**Figura 5.52**).

Essas águas bicarbonatadas-cálcicas são típicas do aquífero cárstico/cárstico-fissural que abrange a bacia (**Figura 5.53**), indicando, portanto, que os poços analisados captam água diretamente desse aquífero. Dessa forma, o nível estático desses poços pode ser usado para estimar a profundidade do aquífero cárstico nessa região.

Assim, as cotas do nível d'água estático desses poços (**Tabela 5.34**) indicam que a superfície potenciométrica do aquífero cárstico está localizada aproximadamente entre 830 e 720 metros, sendo coerente com o mapa potenciométrico regional elaborado, e mostram que a profundidade do nível d'água aumenta em direção à jusante.

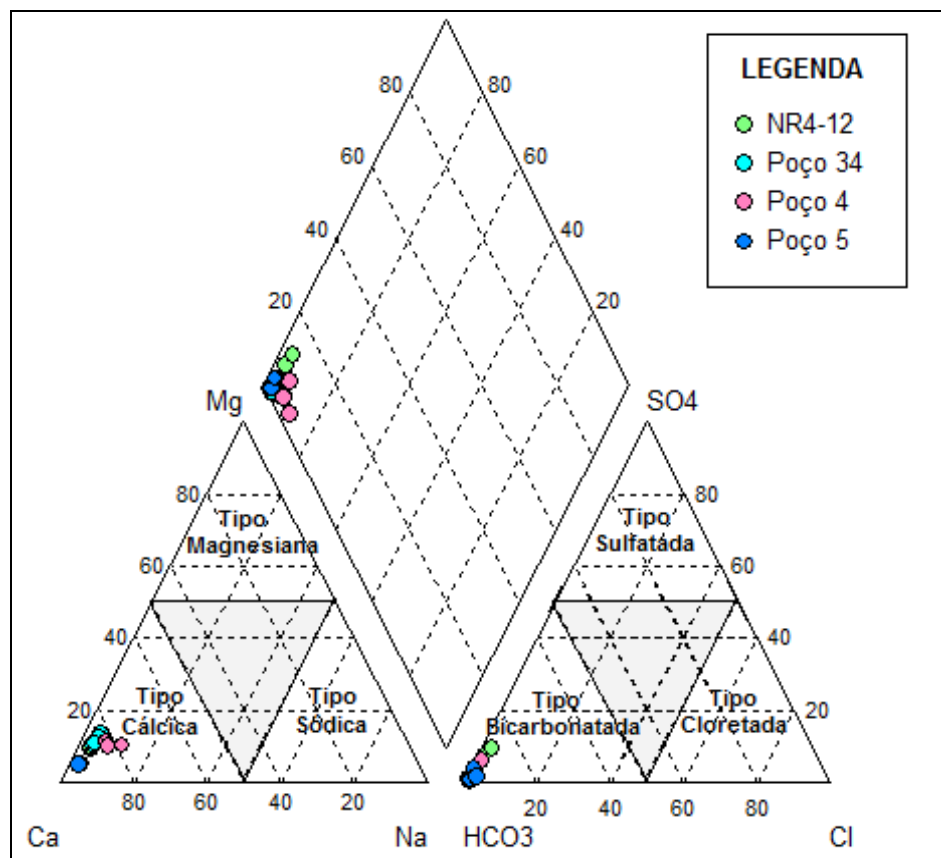


Figura 5.52: Classificação das fácies hidroquímicas segundo os cátions e ânions dominantes.

Os baixos teores de Na^+ e Cl^- (**Figura 5.53**) indicam uma rápida circulação das águas subterrâneas.

Com relação às variações das concentrações dos parâmetros analisados, os dados não são suficientes para caracterizar a evolução hidroquímica ao longo do curso do Riachão. No entanto, pode ser observado que o poço 34, localizado no alto da bacia, apresenta teores mais elevados de HCO_3^- e Ca, conforme evidenciado pelos diagramas de *Stiff*, caracterizando um calcário mais puro, conforme esperado de acordo com geologia da região (**Figura 5.53**).

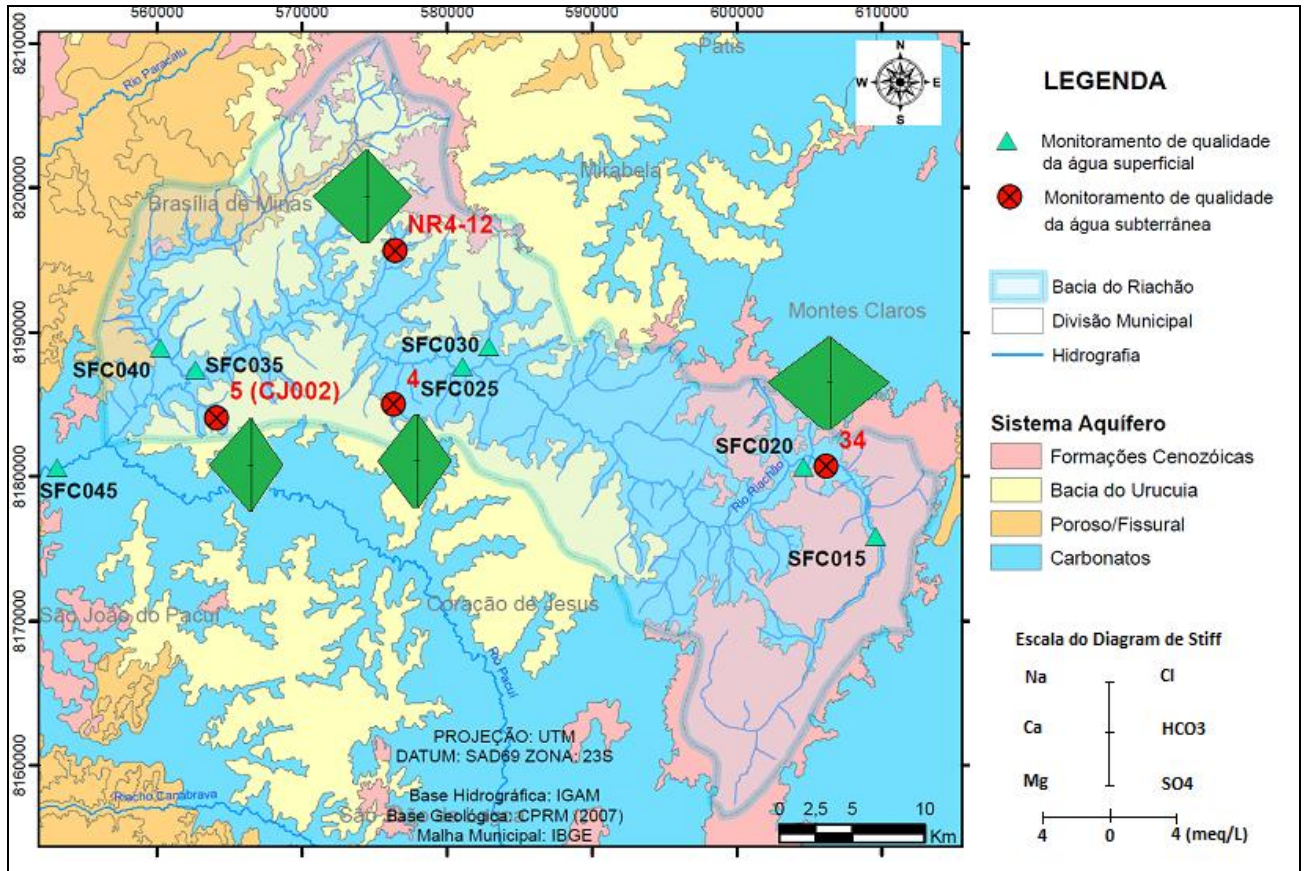


Figura 5.53: Mapa hidrogeoquímico da bacia do Riachão
(Fonte da base Geológica: CPRM 2007).

Tabela 5.34: Comparação entre o nível estático e a hidroquímica dos poços.

Poço	NE (m)	Cota terreno (m)	Cota NE (m)	Teor	Alcalinidade mg/L CaCO ₃	Ca mg/L	Cond µmho/cm	Dureza Total mg/L CaCO ₃	HCO ₃ mg/L	Mg mg/L	pH	TDS mg/L
Poço 5	14,0	730,0	716,0	Mínimo	111,90	37,04	224,20	92,20	136,52	1,52	6,51	138,00
				Média	117,73	47,49	233,86	115,62	143,63	1,75	7,16	143,75
				Máximo	127,00	54,00	239,10	130,40	154,94	1,93	7,40	154,80
Poço 4	3,9	762,0	758,1	Mínimo	111,50	45,70	248,00	118,50	136,03	3,56	7,30	156,00
				Média	120,43	48,95	258,33	125,45	146,92	4,04	7,43	162,25
				Máximo	127,10	52,90	268,00	130,60	155,06	4,44	7,50	169,00
NR4-12	-	775,0	-	Mínimo	145,20	56,10	298,00	145,60	177,14	3,92	6,80	171,00
				Média	151,45	59,70	324,67	163,00	184,77	4,34	7,05	184,75
				Máximo	155,20	63,50	367,00	193,90	189,34	4,90	7,20	210,00
Poço 34	2,5	829,0	826,6	Mínimo	177,20	62,70	373,00	188,40	216,18	5,77	7,40	222,00
				Média	198,25	69,50	380,00	195,13	241,87	6,02	7,55	225,75
				Máximo	208,30	77,60	391,00	199,00	254,13	6,61	7,80	234,00

Nota-se que existem dois grupos de águas, o primeiro caracterizado por águas menos mineralizadas (Poço 4 e Poço 5) e o segundo, por águas mais mineralizadas (Poço NR4-12 e Poço 34) (**Tabela 5.34**). O segundo grupo caracteriza-se por águas enriquecidas em HCO_3 e cotas altimétricas mais elevadas. Os teores mais elevados são observados no Poço 34, localizado na região da Lagoa Tiririca.

Observa-se ainda que, embora não se disponha da profundidade do nível d'água do poço NR4-12, os teores médios de HCO_3 , Ca, dureza, condutividade elétrica e TDS mostram um padrão de variação diretamente proporcional com a cota do nível d'água, com águas mais mineralizadas nas cotas mais altas (**Tabela 5.34**), sugerindo uma estratificação aquífera.

Com relação às qualidades das águas, os resultados (**ANEXO I**) foram comparados com os padrões de qualidade definidos para consumo humano pela Resolução nº 396, de 03 de abril de 2008 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, que “*dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas*”.

A respeito dos parâmetros químicos analisados, o poço 34 apresentou desconformidade para ferro e manganês na primeira campanha realizada (abril/2005), no entanto, nas campanhas seguintes os resultados apresentaram-se dentro dos padrões de qualidade. Os demais poços não apresentaram desconformidades para esses parâmetros.

Já para os parâmetros físicos, valores fora do padrão de qualidade foram observados para a turbidez nos poços NR4-12, 4 e 34.

Quanto aos parâmetros biológicos, coliformes termotolerantes foram detectados nos poços 4, 5 e NR4-12 e o padrão de qualidade determina a ausência em 100 mL. No **ANEXO I** são apresentados os resultados das campanhas e os valores máximos permitidos (VMPs) para cada parâmetro analisado.

Com relação à adequabilidade dessas águas para uso na irrigação, as águas apresentam baixo risco de SAR e baixo a médio risco de salinidade (**Figura 5.54**). Na **Tabela 5.35** são apresentados os valores calculados de SAR e a classe de risco para cada ponto.

Tabela 5.35: Valores calculados de SAR e classes de risco das águas subterrâneas.

Amostra	Data	Na ⁺ (mg/L)	Mg ²⁺	Ca ²⁺ (mg/L)	CE	SAR	CLASSE
Poço 5 (a)	11/04/05	1,63	1,82	54,00	-	0,059	-
Poço 5(b)	26/07/05	1,36	1,86	53,60	237	0,050	C1-S1
Poço 5 (c)	04/11/05	1,36	1,72	48,30	236	0,052	C1-S1
Poço 5 (d)	26/03/06	1,45	1,64	45,30	233	0,058	C1-S1
Poço 5 (e)	03/05/10	1,22	1,93	46,72	224,2	0,048	C1-S1
Poço 5 (f)	21/10/10	1,33	1,52	37,04	239,1	0,058	C1-S1
NR4-12 (a)	11/04/05	2,44	3,97	59,00	-	0,083	-
NR4-12 (b)	26/07/05	3,02	4,90	60,20	309	0,101	C2-S1
NR4-12 (b)	04/11/05	2,62	4,56	63,50	367	0,086	C2-S1
NR4-12 (d)	26/03/06	2,28	3,92	56,10	298	0,079	C2-S1
Poço 4 (a)	11/04/05	7,80	3,89	47,20	-	0,293	-
Poço 4 (b)	26/07/05	5,19	4,44	52,90	259	0,184	C2-S1
Poço 4 (c)	04/11/05	4,54	4,26	50,00	268	0,166	C2-S1
Poço 4 (d)	26/03/06	4,77	3,56	45,70	248	0,183	C1-S1
Poço 34 (a)	05/04/05	3,34	5,77	77,60	-	0,099	-
Poço 34 (b)	19/07/05	3,57	6,61	64,60	373	0,113	C2-S1
Poço 34 (c)	03/11/05	3,39	5,85	62,70	391	0,110	C2-S1
Poço 34 (d)	26/03/06	3,35	5,85	73,10	376	0,101	C2-S1

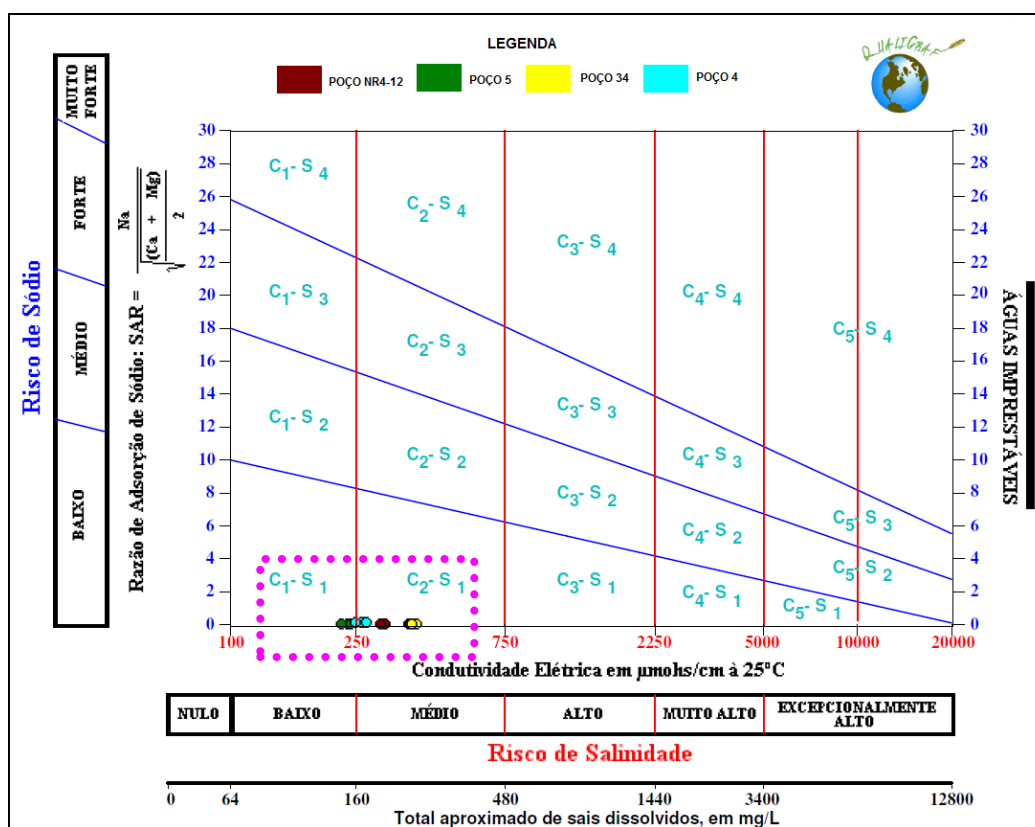


Figura 5.54: Classificação das águas subterrâneas em relação ao risco de salinidade.

5.5.2. Águas superficiais

Analisaram-se quatro campanhas hidroquímicas realizadas nos meses de abril, junho, setembro e dezembro de 2005.

Assim como as águas subterrâneas, as águas superficiais apresentam predominância dos íons HCO_3^- e Ca^{2+} . De acordo com a classificação de GIBBS (1970), as amostras inserem-se no domínio das rochas (**Figura 5.55**), isto é, a interação água-rocha predomina sobre os processos de precipitação e evaporação, indicando pouca renovação pelas águas das chuvas e/ou predomínio do escoamento de base (contribuição aquífera), conforme GIBBS (1970).

Observa-se ainda que os pontos SFC015, SFC020, SFC025, SFC030 e SFC035, localizados no alto e médio riachão, onde predominam as rochas calcárias, apresentam teores mais elevados de bicarbonato e cálcio quando comparados aos pontos SFC040, localizado do rio São Lourenço, e SFC045, localizado no Pacuí após a confluência com o Rio Riachão e, conseqüentemente, após a confluência com o São Lourenço, onde há maior heterogeneidade rochosa, conforme pode ser observado no mapa geológico (**Figura 5.53**). Essa variação hidroquímica na bacia corrobora com a ideia do predomínio do processo de interação água-rocha.

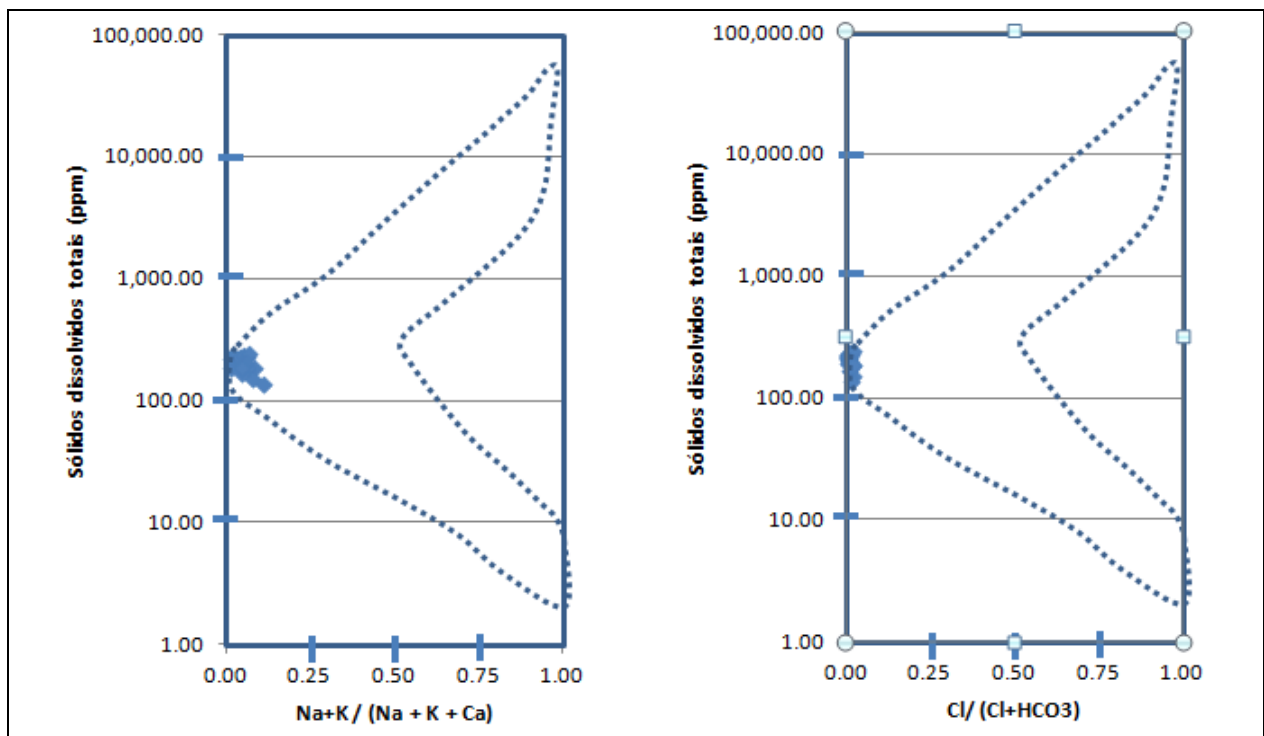


Figura 5.55: Diagramas catiônico e aniônico de GIBBS (1970) para as amostras analisadas.

Com relação à qualidade dessas águas, os resultados dos parâmetros analisados nessas campanhas (**ANEXO II**) foram comparados com os padrões de qualidade estabelecidos para águas de classe II, pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 05 de maio de 2008, “*que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes*”.

Vale ressaltar que, de acordo com o Relatório Anual de Monitoramento da Qualidade das águas Superficiais da Bacia do Rio São Francisco de 2009 (IGAM, 2010b), não há estações de amostragem no rio Riachão, então, as condições de qualidade apresentadas a seguir podem não representar o quadro atual.

Foram verificadas algumas inconformidades para fósforo, manganês total e oxigênio dissolvido indicando influência de matéria orgânica (**ANEXO II**). Observa-se também que os dois pontos localizados na Lagoa Tiririca (SFC015 e SFC020) e o ponto localizado no rio São Lourenço, próximo à confluência com o Rio Riachão (SFC040), apresentaram baixa oxigenação, sendo que nas quatro campanhas realizadas em 2005, os resultados de oxigênio dissolvido apresentaram-se abaixo do mínimo de 5 mg/L estabelecido pela COPAM 01/2008. Além disso, o ponto localizado no rio Pacuí, após confluência com o Rio Riachão (SFC045), apresentou inconformidade para sólidos em suspensão, coliformes termotolerantes e turbidez na campanha realizada em dez/2005. Contudo, deve-se considerar que essa elevação dos teores pode estar associada à incidência das chuvas. Por outro lado, o ponto localizado no rio Riachão, próximo à confluência com o rio Pacuí (SFC035), não mostra inconformidades para os parâmetros analisados em nenhuma das campanhas.

De modo geral, os resultados estão dentro do padrão de qualidade estabelecido pela COPAM 01/2008 e, de acordo com as faixas de índice de qualidade das águas – IQA utilizadas para o Estado de Minas Gerais, 42% das amostras das águas foram classificadas como boas, 46% como regulares e 11,5% como ruins.

Com relação à adequabilidade das águas para irrigação, as águas são classificadas com baixo risco de SAR e baixo a médio risco de salinidade (**Figura 5.56**). Na **Tabela 5.36** são apresentados os valores calculados de SAR e a classe de risco para cada ponto.

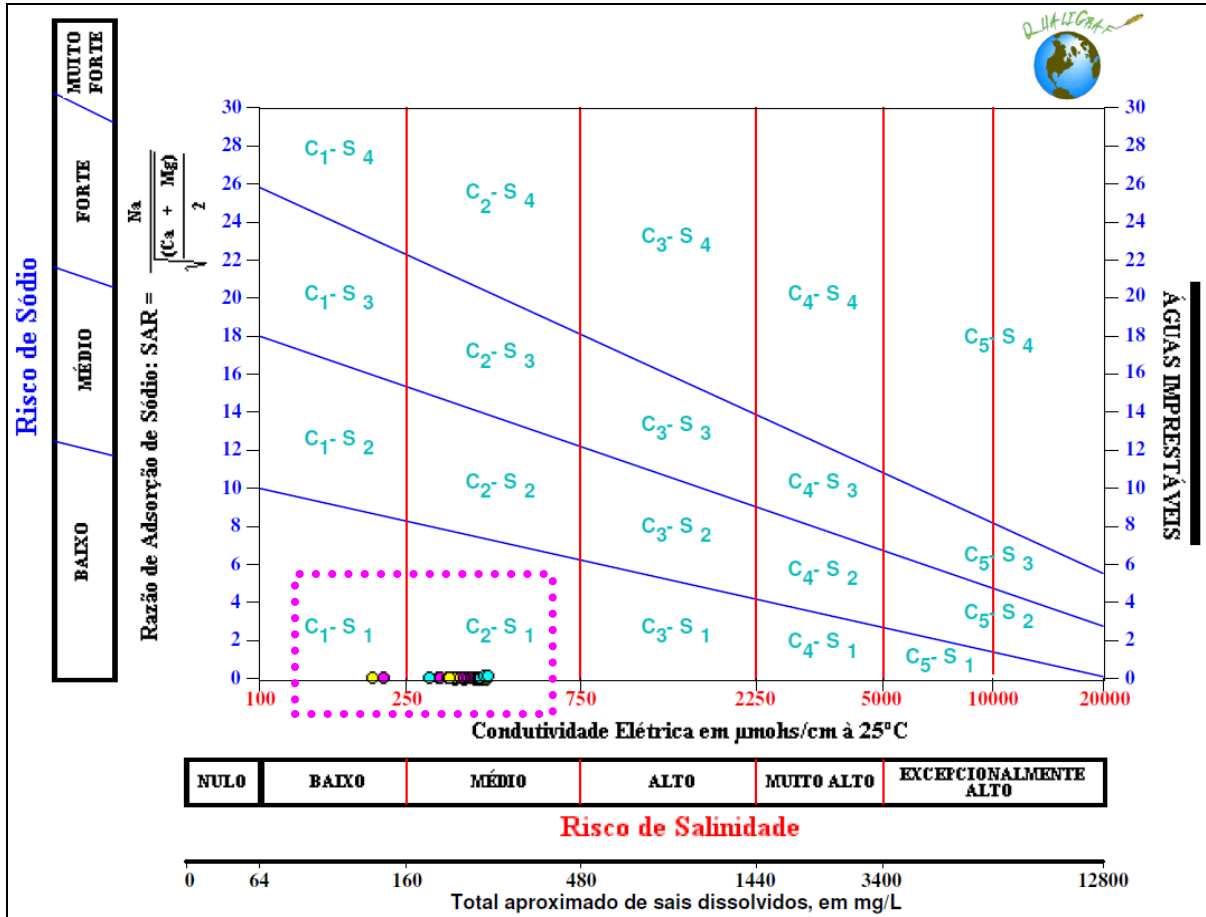


Figura 5.56: Classificação das águas superficiais em relação ao risco de salinidade.

Tabela 5.36: Valores calculados de SAR e classes de risco para as águas superficiais.

Ponto	Data	Na+	Ca++	Mg++	CE	SAR	Classe
SFC015	07/04/2005	1.21	76.10	3.31	389	0.037	C2-S1
SFC015	22/06/2005	1.27	79.30	3.32	394	0.038	C2-S1
SFC015	22/09/2005	1.23	81.60	3.40	400	0.036	C2-S1
SFC015	19/12/2005	1.24	82.70	3.30	413	0.036	C2-S1
SFC020	07/04/2005	1.23	71.60	3.28	357	0.039	C2-S1
SFC020	22/06/2005	1.50	77.50	3.56	384	0.045	C2-S1
SFC020	22/09/2005	1.69	80.70	4.01	398	0.050	C2-S1
SFC020	19/12/2005	1.05	67.60	3.01	339	0.034	C2-S1
SFC025	07/04/2005	2.19	68.00	3.90	361	0.070	C2-S1
SFC025	22/06/2005	2.67	75.50	4.37	379	0.081	C2-S1
SFC025	22/09/2005	3.05	75.30	4.85	390	0.092	C2-S1
SFC025	19/12/2005	1.75	55.50	3.55	304	0.062	C2-S1
SFC030	07/04/2005	2.66	71.90	2.58	370	0.084	C2-S1
SFC030	22/06/2005	2.64	73.00	2.47	356	0.083	C2-S1
SFC030	22/09/2005	2.66	73.30	2.54	357	0.083	C2-S1
SFC030	19/12/2005	2.52	78.00	2.63	394	0.076	C2-S1
SFC035	05/04/2005	3.89	72.00	4.52	398	0.120	C2-S1
SFC035	10/06/2005	4.97	81.10	4.96	408	0.145	C2-S1
SFC035	13/09/2005	4.88	77.30	4.69	418	0.146	C2-S1
SFC035	05/12/2005	2.69	47.90	3.43	287	0.101	C2-S1
SFC040	05/04/2005	2.93	53.40	2.53	308	0.106	C2-S1
SFC040	10/06/2005	3.42	65.80	2.50	351	0.113	C2-S1
SFC040	13/09/2005	3.04	65.70	2.43	342	0.100	C2-S1
SFC040	05/12/2005	1.95	38.00	1.63	215	0.084	C1-S1
SFC045	05/04/2005	2.87	60.20	3.53	334	0.097	C2-S1
SFC045	13/06/2005	2.88	62.00	3.94	322	0.096	C2-S1
SFC045	13/09/2005	2.75	62.80	4.06	328	0.091	C2-S1
SFC045	05/12/2005	1.70	37.10	3.10	201	0.072	C1-S1

6. CONCLUSÕES

Distinguem-se dois sistemas aquíferos principais: I) aquífero superior poroso, com porosidade e permeabilidade primárias, associado à bacia sedimentar Urucuia (30% da bacia) e às coberturas detríticas lateríticas (25%); II) aquífero inferior cárstico-fissural (40%), de porosidade e permeabilidade secundárias, associado às intercalações pelíticas e carbonáticas da Fm. Lagoa do Jacaré.

No alto da bacia, os sistemas aquíferos apresentam-se bem definidos: o aquífero superior, de natureza granular, constituído pelas coberturas detríticas lateríticas, e o inferior, de natureza cárstica-fissural, constituído por rochas carbonáticas e pelíticas da Fm. Lagoa do Jacaré.

No baixo-médio Riachão também predominam um sistema poroso superior (coberturas detríticas lateríticas e arenitos cretácicos do Gr. Urucuia) e um sistema cárstico-fissural inferior (rochas carbonáticas e pelíticas da Fm. Lagoa do Jacaré). De abrangência restrita ao extremo noroeste da bacia (5% da bacia), ocorre um sistema poroso-fissural, que é representado por uma associação de rochas psamíticas e pelíticas, cuja classificação estratigráfica não é bem definida. Neste sistema, a associação de rochas mostra porosidade primária e secundária, conferindo o caráter poroso-fissural.

As cargas hidráulicas do sistema cárstico-fissural indicam que o sentido do fluxo de água subterrânea regional segue aproximadamente a conformação do relevo e que a região da lagoa Tiririca constitui uma área de recarga. O rio Riachão tem um comportamento predominantemente efluente sobre o aquífero. O aquífero cárstico encontra-se em situação de semiconfinamento na região do alto Riachão e em situação de aquífero livre na porção média-baixa da bacia.

A separação do escoamento, realizado no balanço hídrico, mostrou que o fluxo de base predomina sobre o escoamento superficial, especialmente na porção alta da bacia, representando uma média de 77% da vazão medida nas estações fluviométricas. O escoamento superficial aumenta em direção a jusante de 14% a 36%, sendo o Rio São Lourenço o principal contribuinte desse aumento.

A análise dos lineamentos estruturais mostrou que a área é caracterizada por estruturas NE e NW e mostram correspondência com famílias de fraturas medidas em campo. Os calcários e pelitos

apresentam o mesmo padrão de fraturamento, sendo nos calcários observada maior variação nas direções principais em função da dissolução dessas rochas. As descontinuidades NE de baixo ângulo e NW de médio ângulo (famílias A e D) representam maior importância na condução da água subterrânea e também na descarga de base local do rio Riachão e na direção para a jusante da bacia.

Com relação à estimativa da recarga, em termos de porcentagem da precipitação, os métodos resultaram nas seguintes taxas de recarga: *Balanço hídrico*: **1,9** a **27,1%**, *Meyboom*: **2,55** e **7,65%**, *WTF*: **2** a **5%**, *Fluxo de base como aproximação*: **2** a **7%**. Apenas o cálculo através da equação paramétrica do método *APLIS* resultou em valores mais elevados: **45%** (moderada) para os calcários, **35%** (baixa) para os arenitos e coberturas e **25%** (baixa) para as rochas pelíticas.

Os resultados obtidos através do método do balanço hídrico mostraram que a ETR representa um fator importante na redução da quantidade de água disponível no sistema hidrológico, indicando a importância da avaliação da ETR na estimativa da recarga aquífera.

Não obstante às limitações de cada método, bem como da consistência dos dados utilizados, os métodos de *Meyboom*, *WTF* e *Aproximação pelo fluxo de base* resultaram em taxas de recarga muito semelhantes. Além disso, deve-se observar que, enquanto os métodos de *Meyboom* e *Aproximação pelo fluxo de base* utilizam informações de vazões de rios, o método *WTF* utiliza-se de informações de nível d'água de poços, isto é, águas subterrâneas. Ou seja, são métodos cuja natureza dos dados é diferente, mas que obtiveram resultados semelhantes entre si.

O método *APLIS* obteve resultados coerentes com aqueles obtidos em estudos anteriores realizados em aquíferos carbonáticos. Contudo, apresentou os resultados mais discordantes e elevados em relação aos demais métodos utilizados. Sua aplicação necessitou de adequação, entretanto, como os demais parâmetros foram bem definidos, a adequação mostrou-se aceitável. As taxas mais elevadas de recarga obtidas, comparativamente aos demais métodos, parecem ser inerentes ao método e podem representar um potencial de recarga baseado nas características físicas do meio, uma vez que não avalia diretamente a perda por ETR.

A aplicação de diferentes métodos é essencial para se avaliar a representatividade dos resultados obtidos, além de proporcionar uma estimativa de faixa de valores, no qual é possível avaliar uma taxa mínima de recarga, para fins de gerenciamento de recursos hídricos, bem como um potencial máximo de recarga.

Cada método possui vantagens e limitações que devem ser avaliadas e ressalvadas durante sua aplicação, contudo, na prática, a disponibilidade de dados e/ou custo de aquisição dos mesmos são os principais fatores na escolha do método a ser aplicado. Os métodos de *Aproximação pelo fluxo de base*, *Meyboom* e *WTF* mostram-se vantajosos com relação a sua facilidade de aplicação associada ao baixo custo de implantação. O método do balanço hídrico, por sua vez, necessita da mensuração de vários parâmetros que implica no aumento da dificuldade de aplicação e aquisição de dados. Seu custo de implantação é compatível com os métodos da *Aproximação pelo fluxo de base* e *Meyboom*, mas custos adicionais incidem no caso da instalação de estações pluviométricas particulares e evaporímetros.

Com relação à hidroquímica das águas subterrâneas, os resultados das análises das águas dos poços mostram que o nível d'água corresponde ao aquífero cárstico e confirmam as cotas obtidas por meio do mapa potenciométrico. Além disso, corroboram a hipótese de uma situação de semiconfinamento na porção alta da bacia e livre na jusante. Os resultados também indicam um calcário mais puro no alto da bacia. A hidroquímica também indicou uma estratificação aquífera, com águas mais mineralizadas nas cotas mais altas, especialmente na região da Lagoa da Tiririca.

Com relação à qualidade, as águas subterrâneas se enquadram como águas duras a intermediárias, mas ainda dentro do padrão de potabilidade para consumo humano, e apresentam baixo risco de SAR e baixo a médio risco de salinidade.

A hidroquímica das águas superficiais mostrou que a interação água-rocha predomina sobre os processos de precipitação e evaporação, indicando pouca renovação pelas águas das chuvas e/ou predomínio do escoamento de base (contribuição aquífera).

Com relação à qualidade das águas superficiais, de acordo com as faixas de índice de qualidade das águas – IQA utilizadas para o Estado de Minas Gerais, 42% das amostras das águas enquadram-se como boas, 46% como regulares e 12% como ruins. Com relação à adequabilidade das águas para irrigação, as águas superficiais são classificadas com baixo risco de SAR e baixo a médio risco de salinidade.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

A bacia do Riachão é de 4ª ordem segundo o sistema de classificação de STRAHLER (1957), com uma densidade de drenagem de 1,35 km/km² valor que indica uma bacia mediana a pouco drenada. A característica de drenagem pobre, associada às condições climáticas, pode contribuir para necessidade de construção de barragens para que a água permaneça disponível por mais tempo no curso. Ação inclusive já realizada pelo IGAM na área do Riachão, onde foram construídos minibarramentos e bacias de contenção para regularização do rio. Os demais índices morfométricos obtidos para a bacia apontam ainda para uma bacia alongada, com forte controle estrutural, mais suscetível ao escoamento das águas do que a enchentes (em condições normais de precipitação).

As cargas hidráulicas, que indicam a tendência efluente do rio, e a separação do escoamento, que mostra o predomínio do fluxo de base na descarga do rio, explicam a importância das águas subterrâneas na manutenção da vazão do rio. Dessa forma, a exploração descontrolada das águas subterrâneas, principalmente nas áreas de nascentes e em locais próximos a calha do rio, pode, de fato, reduzir consideravelmente a vazão do rio e até mesmo secá-lo em períodos de estiagem (conforme ocorrido no passado da bacia), quando a vazão do rio é devida exclusivamente ao fluxo de base.

As medidas realizadas pelo IGAM na bacia do Riachão, que incluíram a suspensão de outorgas na bacia e construção de barramentos, mostraram resultados favoráveis em relação aos problemas de escassez de água. Conforme depoimentos dos moradores ribeirinhos e do entorno da Lagoa Tiririca, o rio encontra-se estável e os conflitos encontram-se apaziguados.

Com relação aos resultados obtidos, é importante observar que correspondem a um cenário posterior às intervenções realizadas na bacia para controlar os episódios de seca no rio, tais como a construção de barraginhas. Dessa forma, os dados de monitoramento utilizados retratam a dinâmica do rio em condições antropizadas.

Durante a compilação dos dados hidrológicos utilizados nesse trabalho, fornecidos pelo IGAM, algumas inconformidades foram observadas. Dessa forma, são realizadas as recomendações descritas a seguir.

Com relação aos dados de pluviometria, recomenda-se que ao transferir os dados recebidos do campo para planilhas de Excel™, os dias sem chuva sejam preenchidos com o valor de 0 (zero), em vez de se deixar as células vazias, para não ser confundido com ausência de dados. Recomenda-se também que sejam providenciados os dados faltantes (através das cadernetas de campo originais) a fim de completar o banco de dados.

Com relação ao monitoramento do nível do rio, os observadores das estações fluviométricas devem ser reinstruídos a informarem na caderneta de campo os dias em que o nível d'água ultrapassou o valor máximo da régua, isto é, quando o nível do rio cobriu a régua, conforme é descrito nas instruções da própria caderneta de campo. Ressalta-se que os dias onde o nível d'água ultrapassou a régua jamais devem ser indicados com o valor zero ("0") conforme vem sido realizado até então.

Deve-se adotar uma codificação distinta para as situações: I) Rio seco (leitura da régua = 0 metro); II) Ausência de dados (leitura não realizada pelo observador); III) Nível do rio ultrapassou a régua de medição (leitura da régua > 2,0 metros). Durante uma recompilação dos dados, realizada após trabalho de campo, observou-se que essas diferentes situações recebiam a mesma codificação quando seus dados eram digitados nas planilhas de Excel™. Isso implicou, a princípio, numa perda de informações, visto que em alguns dias, de fato, o nível do rio ultrapassou o máximo de 2,0 metros da régua e essa situação não foi indicada no banco de dados digital.

Dessa forma, foi necessário fazer uma conferência dos dados das estações utilizadas nesse estudo, comparando-se os dados das cadernetas originais de campo, preenchidas pelos observadores, com os dados das planilhas digitadas no escritório. Essa conferência foi realizada com o objetivo de confirmar os dias em que o rio realmente ultrapassou o máximo da régua e, dessa forma, os dias em que o escoamento superficial foi maior do que mensurado a princípio.

Recomenda-se que o mesmo processo de conferência seja realizado para as demais estações do Riachão monitoradas pelo IGAM, porém que não foram utilizadas nesse estudo. É importante ainda que o IGAM fique atento à recorrência da submersão da régua pelo nível do rio, para que seja realizada a substituição por régua de maior altura.

Ressalva-se que a situação de submersão da régua pelo rio foi prevista no plano de monitoramento do IGAM, conforme pode ser verificado nas instruções de preenchimento das

cadernetas de campo, onde está indicado para que essa situação seja imediatamente informada ao IGAM. Então se recomenda que seja realizada uma reciclagem dos métodos entre toda a equipe de monitoramento e observadores de campo e que os dados obtidos sejam preservados adequadamente pela equipe de escritório.

É importante ressaltar que os observadores das estações realizam um ótimo trabalho, cumprindo de forma assídua o preenchimento das cadernetas de campo. Todos os dados obtidos pelos observadores são essenciais para o monitoramento da dinâmica do rio, então esses dados não podem ser perdidos através de generalizações realizadas na construção do banco de dados digital.

Recomenda-se que na construção do banco de dados digital, tanto para os dados pluviométricos quanto fluviométricos, seja claramente indicada a justificativa para ausência do dado a fim de eliminar interpretações equivocadas.

Ressalta-se ainda a dificuldade de se obter uma estação que tivesse ao mesmo tempo dados de vazão e cotas mensais (para construir a curva-chave) e cotas diárias que completassem um ou mais anos hidrológicos, restringindo o período de tempo utilizado para a construção do hidrograma e limitando os demais métodos que necessitavam das informações obtidas através do mesmo.

Observou-se ainda que relatórios internos do IGAM informam sobre uma reestruturação das estações fluviométricas que resultou na renomeação das mesmas. Contudo, essa renomeação não foi observada em campo e nem nos dados posteriores a essa renomeação.

Não obstante, aos problemas observados de consistência de dados, os mesmos mostraram-se satisfatórios para aplicação dos métodos utilizados neste trabalho, podendo ser aplicados em outros estudos locais. Então, a fim de se manter a ordem e consistência do banco de dados, recomenda-se que seja realizada uma compilação de dados periódica bem como a elaboração de relatórios anuais sobre o monitoramento na bacia do Riachão.

Recomenda-se ainda que seja expandida a rede de monitoramento qualitativo e quantitativo de águas subterrâneas, através da construção de novos poços de monitoramento e que seja dada continuidade ao monitoramento da qualidade das águas superficiais.

Por fim, uma das dificuldades encontrada neste estudo foi a falta de um mapeamento geológico de detalhe na região. Observou-se que diversos projetos de mapeamentos específicos foram

realizados em todo entorno da área, mas a mesma não foi contemplada. Contudo, um mapa geológico de detalhe é fundamental para se definir adequadamente as unidades hidrológicas e a relação hidráulica entre as mesmas. Dessa forma, recomenda-se que, para trabalhos futuros, seja realizado, a priori, um mapeamento geológico de detalhe na área, com definição das relações estratigráficas entre os litotipos e das feições estruturais e cársticas.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFONSO, PRISCILLA CAIRES SANTANA & JUNIOR, JOÃO CLEPS (2006). **A Questão da Água na Bacia do Riachão - Norte de Minas Gerais: Gestão e Conflitos pelo Uso na Agricultura**. II Encontro De Grupos e Pesquisa. Universidade Federal de Uberlândia – UFU, 20 a 22 de Junho, 2006.

AFONSO, PRISCILLA CAIRES SANTANA (2008). **Gestão e disputa pela água na sub-bacia do Riachão, Montes Claros/MG**. Dissertação de Mestrado. Uberlândia/MG, 2008.

AFONSO, PRISCILLA CAIRES SANTANA (2009). **O uso e a gestão comunitária da água na agricultura geraizeira no vale do Riachão Em Montes Claros/MG**. V Simpósio Nacional de Geografia Agrária. Instituto de Geociências/UFF. Niterói – rio de Janeiro, 29 de out. a 02 de nov., 2009.

ÁGUA-CONSULTORES ASSOCIADOS LTDA (1999a). [COPASA-MG, IGAM]. **Estudo Hidrogeológico da Bacia do Alto-Médio rio Riachão**. Relatório Final. Vol.1. Belo Horizonte, dezembro de 1999.

ÁGUA-CONSULTORES ASSOCIADOS LTDA (1999b). [COPASA-MG, IGAM]. **Estudo Hidrogeológico da Bacia do Alto-Médio rio Riachão**. Relatório Final. Vol.2. Belo Horizonte, dezembro de 1999.

ALKMIM, F. F.; MARSHAK, S (1998). **Transamazonian Orogeny in the Southern São Francisco Craton Region, Minas Gerais, Brazil: evidence for Paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero**. *Precambrian Research*, v. 90, p. 29-58, 1998.

ALKMIM, F. F.; MARTINS-NETO, M.A (2001). **A Bacia Intracratônica do São Francisco: Arcabouço Estrutural e Cenários Evolutivos**. In: PINTO, C.P.; Martins-Neto, M.A. (Org.). *Bacia do São Francisco: Geologia e Recursos Naturais*. Belo Horizonte: SBG/MG, 2001. pp. 9-30.

ANDREO, B.; VÍAS, J.; LÓPEZ-GETA, J.A.; CARRASCO, F.; DURÁN, J.J.; JIMÉNEZ, P. (2004). **Propuesta metodológica para la estimación de la recarga en acuíferos carbonáticos**. *Boletín Geológico y Minero*, v. 115, n.2, pp. 177-186.

ANP – AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. **Carta Estratigráfica da Bacia do São Francisco - São Francisco Basin Stratigraphic Chart**. Coluna estratigráfica da Bacia do São Francisco com base nos poços perfurados. Disponível em: http://www.anp.gov.br/brnd/round9/geral/cartas/ce_saofrancisco.pdf.

BARUD-ZUBILLAGA, A.; SCHULZE-MAKUCH, D (2001). **Characterization of an arid groundwater flow system using satellite imagery**. In: *New Approaches Characterizing Groundwater Flow* (K.P. Seiler and S. Wohnlich (eds.), Balkema Publ., p. 1129-1133, 2001.

CAMPOS, J.E.G & DARDENNE, M.A (1997a). **Estratigrafia e sedimentação da Bacia Sanfranciscana: uma revisão**. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 27, n.3, p.269-282, set 1997.

CAMPOS, J.E.G & DARDENNE, M.A. (1997b). **Origem e evolução tectônica da Bacia Sanfranciscana**. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 27, n.3, p 283-294.

CAMPOS, JOSÉ CLÁUDIO VIÉGAS *et. al.* (2006). Avaliação da recarga do aquífero Urucuia na região de Jaborandi – oeste da Bahia. XIV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2006. 8p.

CODEMIG (2003). Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais. Escala 1:1.000.000.

COMBALICER, E. A.; LEE, S.H.; AHN, S.; KIM, D.Y.; IM, S. (2008). **Comparing groundwater recharge and base flow in the Bukmoongol small-forested watershed, Korea**. *J. Earth Syst. Sci.*, v. 117, n. 5, October 2008, pp. 553–566.

COURA, SAMUEL MARTINS DA COSTA (2007). **Mapeamento de vegetação do estado de minas gerais utilizando dados modis** [Dissertação de mestrado]. São José dos Campos: INPE; 2007.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (2007). **Mapa de domínios/subdomínios hidrogeológicos do Brasil** [mapa]. Escala 1:2.500.000.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (2009). **Levantamento da Geodiversidade** [mapa]. Projeto Atlas Pluviométrico do Brasil - Estado de Minas Gerais - Isoietas anuais médias período 1977 a 2006. Escala: 1:1.000.000. Dezembro de 2009.

- CUSTÓDIO, E. & LLAMAS, M. R (1983). **Hidrologia Subterrânea**. 2. ed. Barcelona. Editora Omega, 1983.
- DELIN, GEOFFREY N.; HEALY, RICHARD W.; LORENZ, DAVID L.; NIMMO, JOHN R. (2007). **Comparison of local- to regional-scale estimates of ground-water recharge in Minnesota, USA**. *Journal of Hydrology*. V.334, p.231–249. USGS Staff – Published Research. Paper 213. <http://digitalcommons.unl.edu/usgsstaffpub/213>.
- DNAEE-DEPARTAMENTO NACIONAL DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (1976). **Glossário de termos hidrológicos**. Brasília, Ministério de Minas e Energia, 1976.
- FARFÁN, H.; CORVEA, J.L.; DE BUSTAMANTE, I. **Sensitivity Analysis of APLIS Method to Compute Spatial Variability of Karst Aquifers Recharge at the National Park of Viñales (Cuba)**. In: ANDREO, B., CARRASCO, F. DURÁN, J.W. LAMOREAUX (eds.). Environmental Earth Sciences. Advances in Research in Karst Media. Springer, 2010.
- FEITOSA, FERNANDO ANTONIO CARNEIRO.; MANOEL FILHO, JOÃO.; FEITOSA, EDILTON CARNEIRO.; DEMETRIO, J. GEILSON A. (2008). **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**. 3ª Edição Revisada e Ampliada. Rio de Janeiro: CPRM, [Recife]: UFPE, LABHID, 2008. 812p.
- FEITOSA, FERNANDO ANTÔNIO CARNEIRO; MANOEL FILHO, JOÃO (coord.) (1993). **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. Fortaleza: CPRM; [Recife]: UFPE, LABHID, 1997. 389 p.
- FETTER, C.W (1994). **Applied Hydrogeology**. 4ª Edição. New Jersey: Prentice Hall, 1994. 598p.
- FIORI, JOYCE PINHEIRO DE OLIVEIRA, CAMPOS, JOSÉ ELOI GUIMARÃES, ALMEIDA, LEONARDO (2010). **Variabilidade da Condutividade Hidráulica das Principais Classes de Solos do Estado de Goiás**. *Geociências*, v. 29, n. 2, p. 229-235, São Paulo, UNESP, 2010.
- FREIRE, CLEUDA CUSTÓDIO (2002). **Outorga e cobrança: instrumentos de gestão aplicados à água subterrânea**. XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Florianópolis, setembro de 2002. 16p.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE - FEAM (2011). **Mapa de solos do estado de Minas Gerais** [mapa]. Escala 1:650.000. Disponível em: <http://www.feam.br/noticias/1/949-mapas-de-solo-do-estado-de-minas-gerais>. Acesso: Agosto de 2012.

GASPAR, MÁRCIA TEREZA PANTOJA ; CAMPOS, JOSÉ ELOI GUIMARÃES; CADAMURO, ANDRÉ LUIZ DE MOURA (2007). **Condições de infiltração em solos na região de recarga do sistema aquífero Urucuaia no oeste da Bahia sob diferentes condições de usos**. Revista Brasileira de Geociências. 37(3): 542-550, setembro de 2007. Arquivo digital disponível on-line no site www.sbgeo.org.br

GIBBS, RONALD J. (1970). **Mechanisms Controlling World Water Chemistry**. *Science*. V. 170, p.1088 -1090, 4 december, 1970.

GROSSI-SAD, J.H.; CARDOSO, R.N; DA COSTA, M.T (1971). **Formações Cretácicas em Minas Gerais: uma revisão**. *Revista Brasileira de Geociências*. V. 1, n.1, p.2-13, dez 1971.

GUANABARA, RAFAEL CHAVES (2011). **Modelo transiente de fluxo em área de afloramento do Sistema Aquífero Guarani**. 114p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

HEALY, RICHARD W & COOK , PETER G (2002). **Using groundwater levels to estimate recharge**. *Hydrogeology Journal*. V. 10, p. 91–109, january 2002.

IGAM (2005a). **Breve histórico referente à bacia hidrográfica do rio Riachão** [Relatório interno]. Divisão de Regulação e Controle do Instituto Mineiro de Gestão das Águas - DvRC/IGAM. Belo Horizonte, abril de 2005.

IGAM (2005b). **Relatório de Atividades na Bacia do rio Riachão** [Relatório interno]. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável- Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Núcleo Norte de Minas-Montes Claros/MG. 2005.

IGAM (2005c). **Programa de monitoramento de águas superficiais**. Relatório 1 - Relatório de Implantação da Rede de Monitoramento das Águas Superficiais das Sub-bacias dos Rios Verde Grande, Riachão e Jequitaiá na Bacia do Rio São Francisco, em Minas Gerais. Janeiro, 2005. 109 pag.

IGAM (2005d). **Programa de monitoramento de águas superficiais e subterrâneas**. Projeto: Monitoramento das águas superficiais e subterrâneas das sub-bacias dos rios Verde Grande, Riachão e Jequitaiá, na Bacia do São Francisco, em Minas Gerais. Implantação e Operacionalização de 44 Pontos de Rede de Amostragem de Água Superficial e Sedimentos Proposta para a Bacia do São Francisco Norte. Belo Horizonte, abril de 2005.

IGAM (2005e). **Programa de monitoramento de águas superficiais e subterrâneas**. Projeto: Monitoramento das águas superficiais e subterrâneas das sub-bacias dos rios Verde Grande, Riachão e Jequitaiá, na Bacia do São Francisco, em Minas Gerais. Implantação e Operacionalização de 44 Pontos de Rede de Amostragem de Água Superficial e Sedimentos Proposta para a Bacia do São Francisco Norte. Belo Horizonte, junho de 2005.

IGAM (2006). **Parecer Técnico/Jurídico**. Solicitação: Parecer do IGAM quanto à solicitação do irrigante e produtor rural Warmillon Fonseca Braga – Fazenda Taguari, localizada na bacia do rio Riachão.

IGAM (2007). **Programa de monitoramento de águas subterrâneas - CONVÊNIO – CODEVASF**. Relatório Anual. Projeto: Monitoramento das Águas Superficiais e Subterrâneas das Sub-bacias dos Rios Verde Grande, Riachão e Jequitaiá na Bacia do rio São Francisco, em Minas Gerais. Belo Horizonte, maio de 2007.

IGAM (2010a). **Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos - Minas Gerais - 2010** [mapa]. Disponível em: <http://www.igam.mg.gov.br/images/stories/mapoteca/upgrhs-minas-gerais.pdf>.

IGAM (2010b). **Monitoramento da qualidade das águas superficiais na bacia do rio São Francisco e seus afluentes em 2009**. Belo Horizonte: Instituto Mineiro de Gestão das Águas, 2010. 287p.

IGLESIAS, MARIO; UHLEIN, ALEXANDRE (2009). **Estratigrafia do Grupo Bambuí e coberturas fanerozóicas no vale do rio São Francisco, norte de Minas Gerais**. *Revista Brasileira de Geociências*, volume 39 (2), 2009.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET (1992). **Normais climatológicas do Brasil (1961-1990)**. Brasília/1992.

LOGAN, J. (1965). **Interpretação de análises químicas de água**. U. S. Agency for International Development. Recife, PE. 75p.

LÓPEZ-GETA, J. A.; ANDREO, B.; VÍAS, J. J.; CARRASCO, F.; JIMÉNEZ, P. (2004). **Aproximación metodológica para evaluar la recarga en acuíferos carbonáticos**. Instituto Geológico y Minero de España y Universidad de Málaga, Madrid.

MARTÍNEZ, MARIO IGLESIAS (2007). Estratigrafia e tectônica do grupo Bambuí no norte do estado de Minas Gerais [Dissertação de Mestrado]. Belo Horizonte, 14 de abril 2007. 122p.

MARTINS-NETO, M.A.; ALKMIM, F.F (2001). **Estratigrafia e evolução tectônica das bacias neoproterozóicas do paleocontinente São Francisco e suas Margens: registro da quebra de Rodínia e colagem de Gondwana**. In: PINTO, C. P.; Martins-Neto, M. A. (Org.). Bacia do São Francisco: Geologia e Recursos Naturais. Belo Horizonte: SBG/MG, 2001. p.31-54.

MARTOS-ROSILLO, SERGIO; RODRÍGUEZ-RODRÍGUEZ, MIGUEL; TIRADO, FÁTIMA; BRUQUE, JOSÉ MANUEL; GONZÁLEZ-RAMÓN, ANTONIO (2010). **La evaluación de la recarga como contribución al conocimiento hidrogeológico del acuífero carbonático de la Sierra de la Silla (Parque Natural de la Sierra de Grazalema, Cádiz)**. *Geogaceta*, 48, p. 139-142, 2010

MAU, DAVID P. & WINTER, THOMAS C. **Estimating Ground-Water Recharge from streamflow hydrographs for a small mountain watershed in a temperate humid climate, New Hampshire, USA**. *Ground Water*, v.35, n.2, march-april, 1997, p.291-304.

MEYBOOM, P. (1961). **Estimating groundwater recharge from stream hydrographs**. *Journal of Geophysical Research*, v.66, p. 1203-1214.

MISI, A.; IYER, S. S. S.; TASSINARI, C. C. G.; FRANCA-ROCHA, W. J. S.; COELHO, C. E. S. ; CUNHA, I. A.; GOMES, A. S. R. (2004). **Dados isotópicos de chumbo em sulfetos e a evolução metalogenética dos depósitos de zinco e chumbo das coberturas Neoproterozóicas do Cráton do São Francisco**. *Revista Brasileira de Geociências*. V.34, n.2, p.263-274.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA (2008). **Resolução nº396, de 03 de abril de 2008**. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas. Diário Oficial da União, nº 066. Brasília-DF, 07 de abril de 2008, p.66-68.

OLIVEIRA, MANUEL M.; COSTA, AUGUSTO MARQUES DA; FRANCÉS, ALAIN (2005). **Estimativa da recarga de águas subterrâneas a partir da análise dos hidrogramas de escoamento superficial na área abrangida pela folha 6 da Carta Hidrogeológica de Portugal à escala 1:200.000.** In: 7º SILUSBA - Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa, Évora, 30 de maio a 2 de junho de 2005.

PENMAM, H. L (1956). **Evaporation: an introductory survey.** *Journal of Agricultural Science.* Cambridge, v.4, p.9-29, 1956.

PETTYJOHN, WAYNE A. & HENNING ROGER (1979). **Preliminary estimate of ground-water recharge rates, related streamflow and water quality in Ohio.** Ohio State University Water Resources Centre. United States, Department of the Interior. Project Completion Report No 552, 323pp.

PFAFSTETTER, OTTO (1989). **Classificação de Bacias Hidrográficas – Metodologia de Codificação.** Rio de Janeiro, RJ: DNOS, 1989.

POTTER, KENNETH W. (2001). **A simple method for estimating baseflow at ungaged locations.** *Journal of the American Water Resources Association.* V.37, n.1, p.177-184, february 2001.

RAMOS, MARIA LUIZA & PAIXÃO, MARICENE (2003). **Gestão de águas subterrâneas: experiência do estado de Minas Gerais.** I Simpósio de Hidrogeologia do Sudeste. p 99-107, setembro de 2003.

RISSER, D. W.; GBUREK, W. J.; FOLMAR, G. J. (2005). **Comparison of methods for estimating ground-water recharge and base flow at a small watershed underlain by fractured bedrock in the eastern United States: U.S.** Geological Survey Scientific Investigations Report 2005-5038, 31 p., pubs.usgs.gov/sir/2005/5038/pdf/sir2005-5038.pdf. Acesso: ago/2012.

RISSER, DENNIS W. (2008). **Spatial distribution of ground-water recharge estimated with a water-budget method for the Jordan Creek watershed, Lehigh County, Pennsylvania: U.S.** Geological Survey Scientific Investigations Report 2008-5041, 26 p., pubs.usgs.gov/sir/2008/5041/pdf/sir2008-5041.pdf (Acesso: ago/2012).

- ROLIM, G. S., SENTELHAS, P. C., BARBIERI, V. (1998). **Planilhas no ambiente EXCEL TM para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial.** *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 6, n.1, p133-137, 1998.
- RUTLEDGE, A. T. (1998). **Computer programs for describing the recession of ground-water discharge and for estimating mean ground-water recharge and discharge from streamflow records** – Update; USGS Water-resources Investigations Report 98-4148, 51p.
- SCANLON, BRIDGET R.; HEALY, RICHARD W.; COOK, PETER G. (2002). **Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge.** *Hydrogeology Journal*, v. 10, p.18–39, 2002.
- SCANLON, BRIDGET. R.; DUTTON, ALLAN. R.; SOPHOCLEOUS, MARIOS. A. (2003). **Groundwater Recharge in Texas:** The University of Texas at Austin, Bureau of Economic Geology, Submitted to Texas Water Development Board. 62p.
- SGARBI, G.N.C., *et al.* (2001). **Bacia Sanfranciscana: O Registro Fanerozóico da Bacia do São Francisco.** *In:* PINTO, C. P.; Martins-Neto, M. A. (Org.). *Bacia do São Francisco: Geologia e Recursos Naturais.* Belo Horizonte: SBG/MG, 2001. p. 93-138.
- SLOTO, RONALD. A., & CROUSE, MICHÉLE. Y. (1996). **HYSEP:** A computer program for streamflow hydrograph separation and analysis. USGS Water Resources Investigations Report 96-4040. Lemoyne, Pennsylvania.
- SOS RIACHÃO (2005). **Riachão: Trajetória documental de um rio marcado para morrer.** Maio, 2005. Disponível em: <http://www.cptmg.org.br/artigo29.htm>.
- SOUZA, MAURÍCIO TEIXEIRA & CAMPOS, JOSÉ ELOI GUIMARÃES (2001). **O papel dos regolitos nos processos de recarga de aquíferos do Distrito Federal.** *Rem, Rev. Esc. Minas*, v.54, n.3. Ouro Preto July/Sept. 2001.
- STEWART, MARK; CIMINO, JOSEPH; ROSS, MARK (2007). **Calibration of Base Flow Separation Methods with Streamflow Conductivity.** *Ground Water*, v. 45, n. 1, January/February 2007, pp. 17–27.

THORNTHWAITE, C. W. & MATHER, J. R (1955). **The water balance**. *Publications in Climatology*, New Jersey, Drexel Inst. of Technology, 1955. 104p.

TUCCI, CARLOS E. M. (org.); SILVEIRA, ANDRÉ L .L. da. (2004). **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 3ª Edição, primeira reimpressão. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH. 943 pp.

UCEMG / PNMA II (2005). MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE/ SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO/ SUSTENTÁVEL DE MINAS GERAIS – SEMAD/Unidade de Coordenação Estadual - UCEMG / PNMA II/ PROGRAMA NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – PNMA II/ Subcomponente Monitoramento da Qualidade da Água. **Sistema de cálculo da qualidade da água (SCQA)** - Estabelecimento das Equações do índice de Qualidade das Águas (IQA). Relatório 1. Junho, 2005. 16p.

VACCARO, J. J. (2007). **A deep percolation model for estimating ground-water recharge**: Documentation of modules for the modular modeling system of the U.S. Geological Survey: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2006-5318, 30 p., <http://pubs.usgs.gov/sir/2006/5318/pdf/sir20065318.pdf> (Acesso: ago/2012).

VAREJÃO-SILVA, MÁRIO ADELMO (2005). **Meteorologia e Climatologia**. Versão Digital. Recife/Pernambuco. 2005. 516p.

WINTER, FLORIAN (2006). **Using Tracer Techniques to Investigate Groundwater Recharge in the Mount Carmel Aquifer, Israel** [Thesis]. Institut für Hydrologie Albert-Ludwigs-Universität at Freiburg im Breisgau. Oktober (2006).

<http://hidroweb.ana.gov.br/>

<http://sinda.crn2.inpe.br/PCD/>

<http://www.ana.gov.br/>

<http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?inford=1351&sid=9>

<http://www.cptmg.org.br/artigo29.htm> acesso maio/2012

<http://www.cptmg.org.br/artigo30.htm> acesso maio/2012

<http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>

<http://www.ibge.gov.br/home/>

9. ANEXOS

ANEXO I - Resultados das análises das águas subterrâneas.

ANEXO II - Resultados das análises das águas superficiais.