CARACTERÍSTICAS DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS JAMARI E MACHADO - RO

Gerson Flôres Nascimento [1]; Catia Eliza Zuffo [2];

Graziela Rocha Torres Goveia [3]; Ilka de Oliveira Mota[4]

RESUMO – Este trabalho foi realizado com dados de parâmetros de águas subterrâneas, disponibilizados por localidades nos arquivos do 2º Zoneamento Sócio-Econômico-Ecológico do Estado de Rondônia – ZSEE/RO. O foco deste trabalho foi a caracterização da qualidade de águas subterrâneas das bacias hidrográficas dos rios Jamari e Machado do Estado de Rondônia, a partir de propriedades físicas e organolépticas (cor, pH e turbidez), químicas (cloreto, ferro total, sulfato, oxigênio consumido, dureza total, dureza em cálcio, dureza em magnésio, sólidos totais, nitrogênio nitrito, nitrogênio nitrato, gás carbônico livre e alcalinidade HCO_3) e bacteriológicas (contagem padrão de bactérias, número mais provável de coliformes totais, número mais provável de coliformes fecais e número mais provável de colônias - método membrana filtrante). Para testar o ajuste dos dados à distribuição normal foi utilizado o método de Kolmogorov-Smirnov modificado por Lilliefors. O estudo demonstrou que as águas subterrâneas estudadas apresentaram boa qualidade físico-organoléptica. A bacia do rio Machado apresentou maiores alterações nos valores de pH, cloreto e nitrato, caracterizando perda de qualidade dos recursos hídricos subterrâneos, em função do adensamento populacional. Em geral, as águas analisadas apresentaram resultados fora dos padrões bacteriológicos de potabilidade, necessitando de tratamento por cloração ou fervura e prévia filtração para consumo humano.

ABSTRACT – This work was done with the data taken from the parameters of subterraneous water, which are available by some files presented in the 2nd Social, Economic and Ecologic Sample of Rondônia State. The focus of this work was to establish the quality of subterraneous water of hydrographic basins of the River Jamari and Machado in the State of Rondônia, from the physic and organoleptic (such as color, pH and opacity), chemical (chlorite, total iron, sulfate, oxygen consumed, total hardness, hardness in calcium, hardness in magnesium, total solid, nitrogen nitrite, nitrogen nitrate, carbon dioxide and alkalinity HCO3) and bacteriological (pattern count of bacterium, the most probable numbers of colonies - membrane filter method) properties. To test the adjustments of the data to the normal distribution was used the method Kolmogorov-Smirnov modified by Lilliefors. The study showed that the subterraneous water presented good physic and organoleptic quality. The basin of the Machado River presented alterations about pH values, chlorite and nitrate, which characterizes lack of quality of the subterraneous water resources, because of the people densification. In general, the water analyzed presented results out of the bacteriologic pattern

[1] Profº Dr. do Departamento de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Rondônia – UNIR; Av. Tancredo Neves 3450, Setor Institucional, CEP 76 872-862 Ariquemes – RO – Brasil; vice coordenador do Grupo Acqua Viva – UNIR. gersonfn@unir.br

[2] Profª.Drª do Departamento de Geografia da Universidade Federal de Rondônia – UNIR; Cx. Postal: 1647, CEP: 76801-974 - Porto Velho – RO – Brasil; coordenadora do Grupo Acqua Viva – UNIR; catiazuffo@gmail.com.

[3] Geógrafa e Mestranda em Geografia pela UNIR; grasiela.torres@gmail.com

[4] Profª.Drª Ilka de Oliveira Mota do Departamento Interdisciplinar de Tecnologia e Educação da Universidade Federal de Rondônia - UNIR, Av. Tancredo Neves 3450, Setor Institucional, CEP 76 872-862 Ariquemes – RO – Brasil. ilka.mota@unir.br

of the portability, what demands a treatment thorough the chlorination or boil and filtration for the human consumption.

Palavras-Chave – Águas subterrâneas, rio Jamari, rio Machado.

1 - INTRODUÇÃO

Em função da própria formação geológica, o Brasil é um país privilegiado em termos de disponibilidade hídrica total, embora geograficamente não exista uma disponibilidade homogênea desses recursos hídricos. Com o crescente avanço do adensamento populacional nas diversas regiões do país são cada vez mais evidentes os contrastes entre abundância e escassez de água e entre qualidade e preço de uso e reuso da água; esses contrastes remetem à sociedade civil e o governo (nas esferas municipal, estadual e federal) a uma real e urgente necessidade de elaboração e execução de projeto de gestão dos recursos hídricos, em intervalos de tempo que sejam capazes de atender estas demandas em quantidade e qualidade.

Na esfera federal, em termos de gestão dos recursos hídricos, o Brasil já obteve avanços significativos, como por exemplo, as diversas ações já realizadas a partir da inclusão do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos na Constituição de 1988, da aprovação da Lei 9433 de 8 de janeiro de 1977 que estabelece a política nacional de recursos hídricos e da criação da ANA – Agência Nacional de Águas pela Lei 9984 de 17 de julho de 2000. Diferentemente do que ocorre na esfera federal, diversas unidades da federação não têm acompanhado com a mesma velocidade as questões associadas à elaboração e execução de ações ligadas à gestão de recursos hídricos; como por exemplo o Estado de Rondônia que ainda não possui comitê de bacia hidrográfica em operação e que seja legalmente constituído, muito embora exista legislação já aprovada que trata da gestão estadual de recursos hídricos e já consta a formalização para criação de três comitê de bacia hidrográfica, protocolada em 2006, nas dependências da SEDAM – Secretaria Estadual de Desenvolvimento Ambiental (Zuffo, 2010; Zuffo & Abreu, 2010 – no prelo).

Uma forma de gerenciar os recursos hídricos de uma região geográfica é considerar a dinâmica que ocorre na divisão natural realizada pelos cursos das águas, ou seja, considerar cada bacia hidrográfica desta região como unidade de gerenciamento e, por conseguinte, as sub-bacias hidrográficas. Por esta razão este trabalho teve como objetivo a caracterização da qualidade das águas subterrâneas das bacias hidrográficas dos rios Jamari e Machado do Estado de Rondônia.

O Estado de Rondônia, localizado na porção sudoeste da Amazônia Legal Brasileira, apresenta algumas características peculiares, tais como, ser uma área de transição entre os domínios morfoclimáticos amazônico e do cerrado, com várias subdivisões geomorfológicas, clima quente, com período mais chuvoso de outubro a abril, refletindo principalmente na vegetação, drenagem superficial e recarga dos aqüíferos.

Com 52 municípios, o Estado de Rondônia localiza-se na Região Norte do Brasil, limitando-se ao norte com o Estado do Amazonas, a leste com o Mato Grosso, a oeste com a República da

Bolívia e Acre e ao sul com a Bolívia, com uma área de 238 512.80 km^2, situando-se entre as coordenadas 07º 58' e 13º 43' de Latitude Sul e 59º 50' e 66º 48' de Longitude Oeste de Greenwich (SEDAM, 2002).

Em relação ao quadro geológico, Scandolara *et al* (*apud* SEDAM, 2002, p. 6), afirmam que Rondônia está localizado "a oeste da região conhecida como Província Tapajós, também recebendo a denominação de Subprovíncia Madeira, segundo a proposta de Amaral (1984)". Sinteticamente, destaca-se a presença de rochas do embasamento formadas desde o Proterozóico (Inferior e Médio), ocorrendo também Granitos Intrusivos (Proterozóico Médio e Superior). Nas coberturas os terrenos vão do Proterozóico Médio a Superior, Paleozóico, Mesozóico (vulcânica e Sedimentar) e destacam-se as coberturas Cenozóicas no Baixo Rio Machado e, especialmente, ao longo do vale dos rios Guaporé, Mamoré e Madeira.

No Decreto nº. 10.114, de 20 de setembro de 2002 (RONDÔNIA 2002b), que regulamenta a Lei Complementar nº. 255, de 25 de janeiro de 2002 (RONDÔNIA, 20002a), são reafirmados os princípios básicos, objetivos e diretrizes da Política Estadual de Recursos Hídricos de Rondônia, bem como os instrumentos de gestão. Nesse decreto é definido como órgão gestor estadual a SEDAM, e também é estabelecida a divisão hidrográfica do Estado de Rondônia. De acordo com o citado decreto, o Estado está dividido em sete bacias hirdrográficas – rio Mamoré (22.790,6631 km^2), rio Abunã (4.792,2501 km^2), rio Madeira (31.422,1525 km^2), rio Jamari (29.102,7078 km^2), rio Machado (80.630,5663 km^2), rio Roosevelt (15.638,1922 km^2) e rio Guaporé (59.339,3805 km^2).

Não existem muitos trabalhos científicos referentes às águas subterrâneas de Rondônia. Dos trabalhos existente;s alguns são relatórios técnicos da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Serviço Geológico do Brasil - Residência de Porto Velho - CPRM/REPO, outros são monografias, dissertações ou teses, e destes, a maioria concentra-se nas áreas de três municípios do Estado: Ariquemes (localizado na área de maior concentração mineral), Ji-Paraná (localizado no centro geográfico do Estado de Rondônia) e a capital Porto Velho.

Nos quadros 1 e 2, apresentados a seguir constam as sínteses de trabalhos, abordando aspectos relacionados à qualidade das águas subterrâneas nas áreas de estudo; o trabalho identificado como de maior abrangência estadual abordando a qualidade das águas subterrâneas de Rondônia foi o relatório técnico de hidrogeologia do 2º ZSEE – Segundo Zoneamento Sócio-economico e e Ecológico do Estado de Rondônia (RONDÔNIA, 1998), porém os dados disponibilizados foram apresentados por cidade/distrito, o que gerou mais uma motivação na realização deste trabalho, implicando em reorganizá-los por bacia hidrográfica e visando subsidiar positivamente o processo de gestão das águas rondonienses.

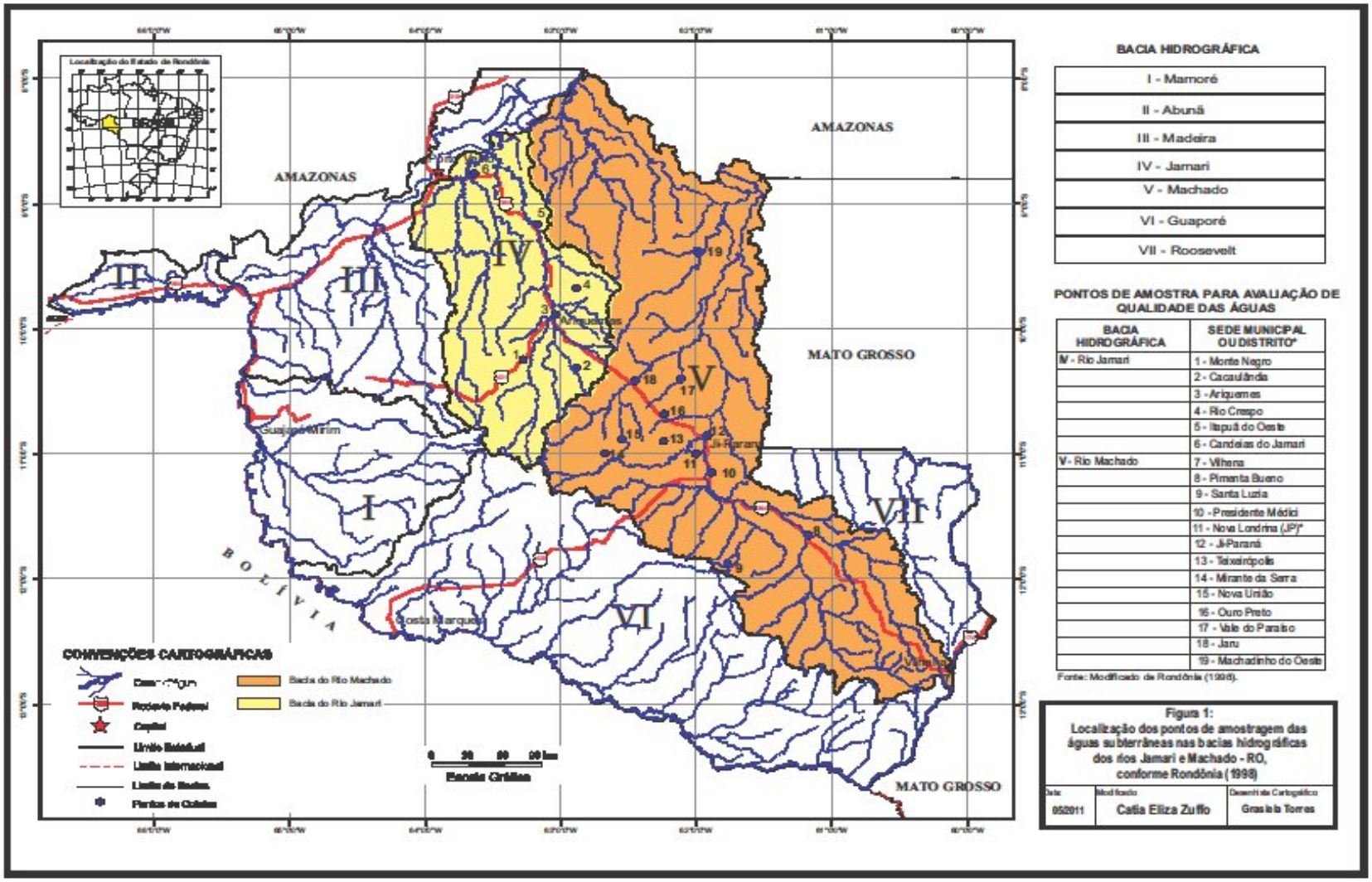
Quadro 1 - Qualidade das águas subterrâneas na bacia hidrográfica do rio Jamari

Autoria	Área Analisada	Resultado(s)
Campos *et al.* (1999a)	Área urbana de Buritis	Ocorrência de contaminação nas águas subterrâneas. Presença de coliformes totais.
Campos *et al.* (1999b)	Área urbana de Campo Novo de Rondônia	Cacimbas contaminadas pelas fossas domésticas e outras fontes poluentes, necessitando de cloração ou fervura da água captada para consumo humano.
Campos & Reis (2002)	Área urbana de Ariquemes	Valores de nitrato próximos do limite máximo permitido para consumo humano de águas subterrâneas.
Zuffo et al (2009)	Áreas urbanas e rurais do Estado de Rondônia	As águas subterrâneas analisadas apresentaram resultados que excederam os padrões bacteriológicos de potabilidade.

Quadro 2 - Qualidade das águas subterrâneas na bacia hidrográfica do rio Machado

Autoria	Área Analisada	Resultado(s)
Reis *et al.* (1998)	Área urbana de Pimenta Bueno	Águas subterrâneas com elevado teor de sais, imprópria para o consumo humano, animal e para irrigação.
Silva (2001)	Bairro Nova Brasília em Ji-Paraná	Índices extremamente elevados de coliformes e nitrato foram detectados, tanto no período das chuvas quanto na estiagem, na maioria dos poços.
Campos (2004)	Área urbana de Mirante da Serra	Evidências de contaminação por cloretos, nitratos e parâmetros bacteriológicos.
Silva (2008)	Bairro Nova Brasília em Ji-Paraná	Ecossistema de forte vulnerabilidade frente aos processos de contaminação.
Zuffo et al (2009)	Áreas urbanas e rurais do Estado de Rondônia	Águas subterrâneas com teores de pH, cloreto e nitrato fora dos padrões estabelecidos.

Na Figura 1 consta o mapa de localização dos pontos amostrados para a realização deste trabalho.


AMAZONAS
MATO GROSSO
BOLÍVIA
Guajará-Mirim
Costa Marques
Ji-Paraná
Alvorada
Pimenteiras
I
II
III
IV
V
VI
VII
CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS
Bacia do Rio Machado
Bacia do Rio Jamari
Escala Gráfica
BACIA HIDROGRÁFICA
I - Mamoré
II - Abunã
III - Madeira
IV - Jamari
V - Machado
VI - Guaporé
VII - Roosevelt
PONTOS DE AMOSTRA PARA AVALIAÇÃO DE QUALIDADE DAS ÁGUAS
BACIA HIDROGRÁFICA
SEDE MUNICIPAL OU DISTRITO*
IV - Rio Jamari
1 - Monte Negro
2 - Cacaulândia
3 - Ariquemes
4 - Rio Crespo
5 - Itapuã do Oeste
6 - Candeias do Jamari
V - Rio Machado
7 - Vilhena
8 - Pimenta Bueno
9 - Santa Luzia
10 - Presidente Médici
11 - Nova Londrina (JP)*
12 - Ji-Paraná
13 - Teixeirópolis
14 - Mirante da Serra
15 - Nova União
16 - Ouro Preto
17 - Vale do Paraíso
18 - Jaru
19 - Machadinho do Oeste
Fonte: Modificado de Rondônia (1998).
Figura 1:
Localização dos pontos de amostragem das águas subterrâneas nas bacias hidrográficas dos rios Jamari e Machado - RO, conforme Rondônia (1998)
Data
052011
Modificado
Catia Eliza Zuffo
Desenho de Cartográfico
Graciela Torres

2 - METODOLOGIA

A coleta e a preservação das amostras de águas subterrâneas foram feitas da seguinte forma: dividiram-se as amostras em partes iguais e preservaram-se, conforme o parâmetro a determinar, (300 ml, coletados em frasco de polietileno esterilizado, foram acondicionados em gelo e destinados para análises bacteriológicas e 3000 ml, para as demais determinações) (RONDÔNIA, 1998).

As coletas foram realizadas no período de janeiro/1995 a dezembro/1997, nos poços escavados e tubulares. No entanto, os dados existentes não permitem realizar um estudo evolutivo da composição química d'água subterrânea ao longo dos tempos, porque não se dispõe de resultados analíticos em distintas datas para um mesmo poço.

Como não foi identificada a profundidade dos poços amostrados além da profundidade dos aquíferos explorados, não foi possível estabelecer relações entre a composição química das águas e a geologia.

Para a caracterização da qualidade de águas subterrâneas em cinco das principais bacias hidrográficas do Estado de Rondônia, foram consideradas propriedades físicas (cor, pH e turbidez), bacteriológicas (contagem padrão de bactérias, número mais provável de coliformes totais, número mais provável de coliformes fecais e número mais provável de colônias, método membrana filtrante) e químicas (cloreto, ferro total, sulfato, oxigênio consumido, dureza total, dureza em cálcio, dureza em magnésio, sólidos totais, nitrogênio nitrito, nitrogênio nitrato (mg/l N), gás carbônico livre e alcalinidade HCO_3). Após coleta e análise laboratorial das amostras, os dados foram organizados em planilha eletrônica, com a utilização do *software Statistica*, foram obtidas informações descritivas sobre valores de mínimo, máximo, média, moda, desvio padrão e coeficiente de variação (Fonseca, 1985; Gomes, 1990).

Para testar o ajuste dos dados à distribuição normal com 5% de significância, ou seja, se a experiência fosse repetida 100 vezes, admitiu-se que a diferença observada poderia ser falsa em cada 5 ocasiões, sendo utilizado o teste de Kolmogorov-Smirnov com a modificação de Lilliefors (Liliefors, 1967); tendo em vista que a grande maioria das estatísticas foi construída sob a hipótese de normalidade, razão pela qual é indispensável a aplicação de um teste para verificar a normalidade de um conjunto de dados (Thode Jr, 2002).

3 – RESULTADOS

Na Tabela 1 consta a distribuição dos pontos de coleta das amostras analisadas, por bacia hidrográfica.

Tabela 1 – Distribuição das amostras analisadas por ponto na área estudada

Bacia Hidrográfica	Ponto	Nome da Localidade	Quantidade de amostras			Total de Amostras
			F	Q	B	
Rio Jamari	1	Monte Negro	1	1	1	3
	2	Cacaulândia	3	3	3	9
	3	Ariquemes	3	3	4	10
	4	Rio Crespo	0	0	2	2
	5	Itapuã	6	3	6	15
	6	Candeias do Jamari	9	9	13	31
Rio Machado	7	Vilhena	28	23	35	86
	8	Pimenta Bueno	2	1	5	8
	9	Santa Luzia	3	1	3	7
	10	Presidente Médici	0	0	3	3
	11	Nova Londrina - DJP	1	1	1	3
	12	Ji-Paraná	19	16	22	57
	13	Teixeirópolis	1	1	1	3
	14	Mirante da Serra	1	1	1	3
	15	Nova União	7	1	1	9
	16	Ouro Preto	4	7	1	12
	17	Vale do Paraíso	1	1	1	3
	18	Jaru	0	0	1	1
	19	Machadinho do Oeste	2	2	2	6
Total de amostras analisadas			91	74	106	271

Observações: F = físicas, Q = químicas, B = bacteriológicas, DJP = distrito de Ji-Paraná
Fonte: Adaptada de Rondônia (1998)

Depois de obter os resultados analíticos das amostras de água, foi realizada uma análise numérica, e obtidos alguns parâmetros estatísticos como valor mínimo, valor máximo, valor médio e coeficiente de variação dos distintos parâmetros analisados nos poços amostrados das bacias hidrográficas estudadas. Para testar o ajuste dos dados à distribuição normal, foi utilizado o método de Kolmogorov-Smirnov com a modificação de Lilliefors (Lilliefors, 1967).

De um modo geral, foi observado que a maior parte das amostras de água analisada apresentou temperatura relacionada com as temperaturas médias do ambiente no momento da coleta, cujas medidas nos poços estudados oscilaram entre 24ºC e 29,5ºC, sendo ambas as medidas no ponto 6 (Bacia do rio Jamari) .

A Tabela 2 mostra a distribuição dos valores médios da cor (mg Pt/l), pH e turbidez (UT) obtidos nas bacias hidrográficas estudadas.

Tabela 2 - Valores médios de propriedades físicas

Bacia	Cor (mg Pt/l)	pH	Turbidez (UT)
Jamari	6.579	5.213	5.992
Machado	6.667	6.011	2.265

Fonte: Modificada de Rondônia (1998)

Embora os valores médios de cor apresentados na Tabela 2 tenham ficado entre 6 mg Pt/l e 7 mg Pt/l, foram identificados cinco valores que ultrapassaram os limites de potabilidade fixados em até 15 mg Pt/l (BRASIL, 2004), sendo três valores (50 mg Pt/l em Cacaulândia, 20 mg Pt/l em Ariquemes e 30 mg Pt/l em Candeias do Jamari) na bacia hidrográfica do rio Jamari e dois valores (28 mg Pt/l em Vilhena e 150 mg Pt/l em Ji-Paraná) na bacia do rio Machado.

Deve-se esperar que as águas de poços com valores de cor maior do que 15 mg Pt/l tenham sua cor devida à existência de substâncias dissolvidas em solução (orgânicas ou inorgânicas). Essas substâncias podem ser devidas, em muitos casos, à dissolução do Fe++ ou de seus complexos metálicos, o que lhes conferem uma coloração característica das águas que percolam em solos lateríticos.

Os dados de pH das amostras analisadas apresentam valores que oscilam entre 3.00 em Vilhena e 9.12 em Nova União, ambas na bacia do rio Machado. Considerando os valores médios (Tabela 2) das bacias estudadas, apenas o valor médio da bacia do rio Machado se mantém na faixa de 6 a 9.5 recomendada para consumo humano (BRASIL, 2004).

No estudo de contaminação de um lençol freático na cidade de Ji-Paraná, Silva (2008) constatou que em todos os pontos e em todas as 12 profundidades amostradas, o ΔpH, (diferença entre o pH em KCl e o pH em H_2O) registrado foi negativo, exceto em duas camadas; tal resultado permitiu concluir que o ΔpH indicou que o íon nitrato, por ser também de carga negativa, não estava sendo adsorvido nessas camadas de solo, facilitando sua permanência em solução na água infiltrada.

Os valores menores de pH (que estariam associados aos solos da região, que são ácidos), devem-se às elevadas concentrações de CO_2 dissolvido na água, resultantes dos processos de decomposição da matéria orgânica que libera CO_2.

Os valores médios de pH encontrados nesta pesquisa se assemelham aos valores médios encontrados em Morais (1998) nas bacias hidrográficas dos rios Jamari (com 2 amostras e valor médio de pH igual a 6,83) e Machado (com 12 amostras e valor médio de pH igual a 5,13).

Os resultados de turbidez das análises das águas de poços da bacia rio Machado apresentaram valores menores que 5 UT, que são aceitáveis para consumo humano, pois os limites recomendados são de no máximo 5 UT (BRASIL, 2004); foram encontrados três valores extremantes de turbidez: dois na bacia do rio Jamari (16 UT em Cacaulândia e 16 UT Candeias do Jamari) e um na bacia do rio Machado (26 UT em Vilhena). Problemas de turbidez são decorrentes da construção inadequada e mal funcionamento dos poços, devido à ausência do filtro e pré - filtro e do regime de sobre-exploração: areia e silte são carregados pela água quando bombeada (RONDÔNIA, 1998).

Com relação aos parâmetros bacteriológicos, em função da complexidade e do custo, foram analisados somente organismos indicadores da ocorrência de contaminação fecal. Esses organismos, quando presentes na água, evidenciam o risco da presença de organismos patogênicos. Os coliformes são indicadores específicos da presença potencial de organismos patogênicos de origem fecal na água.

A presença de coliformes totais (CT) nas águas pode estar associada às características do terreno, uma vez que a textura do solo, a espessura e a permeabilidade da zona não saturada influem na capacidade de purificação do meio.

Foi identificada, nos poços amostrados, a presença de coliformes totais, com teores que variam de 1000 a 2400 NMP/100 ml nas bacias hidrográficas dos rios Jamari (Cacaulândia, Ariquemes, Itapuã e Candeias do Jamari) e Machado (Vilhena, Pimenta Bueno, Presidente Médici, Ji-Paraná e Ouro Preto). Em geral, as águas são inaceitáveis para consumo humano, precisando de fervura e cloração.

A Tabela 3 contém os valores médios amostrados de CPB (Contagem Padrão de Bactérias - Colônias/ml), CT (Número mais provável de Coliformes Totais - NMP/ml), CF (Número mais provável de Coliformes Fecais - NMP/ml) e CMF (Número mais provável de Colônias - Membrana Filtrante - NCMF/ml), nas bacias hidrográficas estudadas.

Tabela 3 - Parâmetros médios bacteriológicos nas bacias hidrográficas estudadas

Bacia	CPB	CT	CF	CMF
Jamari	374.29	631.467	2.00	9.38
Machado	342.53	524.59	1.43	44.90

No contexto das propriedades químicas dos dados analisados, a medida do oxigênio consumido permitiu avaliar a disponibilidade de oxigênio para oxidar a matéria orgânica dissolvida ou em solução, considerando-se que o material redutor existente na água fosse, predominantemente, matéria orgânica.

Nas amostras analisadas, os valores de oxigênio consumido oscilaram entre 0 mg/l de O_2 (em ambas as bacias estudas) e 13 mg/l de O_2 em Vilhena na bacia do rio Madchado; sendo que o maior valor registrado na bacia hidrográfica do rio Jamari foi 7 mg/l de O_2. (Tabela 3).

Os sólidos totais dissolvidos apresentaram valores mais elevados em Ji-Paraná, na bacia do rio Machado. Os valores mais baixos estão associados a terrenos cristalinos. Os valores mais frequentes ficaram em torno de 110 mg/l.

Os valores de alcalinidade HCO_3 expressaram a contribuição dos íons bicarbonato em solução existente nessas águas. A alcalinidade da água reflete sua capacidade de neutralizar ácidos. Nas amostras analisadas, os valores oscilaram entre 0 mg/l de $CaCO_3$ (Pimenta Bueno) e 180 mg/l de $CaCO_3$ (Machadinho D'Oeste), na bacia do Machado.

Nas águas analisadas, foram encontrados valores de dureza total que variaram entre 0 e 100 mg/l de $CaCO_3$. Os valores de dureza em Ca^{++} variaram entre 0 e 37.2 mg/l de $CaCO_3$ e os valores de dureza em Mg^{++} oscilaram entre 0 e 82 mg/l de $CaCO_3$.

A dureza da água é causada pela presença de cátions metálicos divalentes, principalmente Ca^{++} e Mg^{++}. As águas subterrâneas da área estudada são consideradas brandas ou moderadamente duras (águas com dureza até 60 mg/l de $CaCO_3$ são consideradas brandas e de 61 a 120 mg/l de $CaCO_3$ moderadamente duras). As águas analisadas apresentaram teores de dureza total que estavam em conformidade com os valores máximos permitidos de potabilidade (BRASIL, 2004).

Considerando o grau de dispersão proposto por Gomes (1990), dos teores das variáveis, medidos pelo coeficiente de variação (CV), foi possível identificar, de acordo com os dados da Tabela 4, a seguir, que em todas as variáveis constantes na Tabela 4, a dispersão foi muito alta.

Nesta pesquisa, o teor máximo de nitrato na bacia hidrográfica do rio Jamari foi de 4,44 mg/l (Tabela 4), enquanto que na bacia do rio Machado o máximo foi 13,11, que ultrapassou o valor máximo permitido que é de 10 mg/l (BRASIL, 2004).

Após a aplicação do teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov, com a modificação de Lilliefors foi possível identificar que somente as variáveis O_2 consumido, nitrato e Alcalinidade HCO_3 na bacia do Jamari tiveram distribuição normal com 5% de significância.

A Tabela 4 mostra uma descrição estatística dos teores das variáveis V1 = Cloreto (mg/l Cl), V2 = Ferro total (mg/l Fe), V3 = Sulfato (mg/l SO_4), V4 = Oxigênio consumido (mg/l O_2), V5 = Dureza total (mg/l $CaCO_3$), V6 = Dureza em cálcio (mg/l $CaCO_3$), V7 = Dureza em magnésio (mg/l $CaCO_3$), V8 = Sólidos totais (mg/l), V9 = Nitrogênio nitrito (mg/l N), V10 = Nitrogênio nitrato (mg/l N), V11 = Gás carbônico livre (mg/l CO_2) e V12 = Alcalinidade HCO_3 (mg/l $CaCO_3$), nas bacias estudadas.

Considerando a dispersão dos dados, medida pelo coeficiente de variação nos resultados estatísticos das análises químicas para a bacia hidrográfica do rio Machado, identificou-se, a partir da análise e comparação dos resultados de Morais (1998), algumas semelhanças com os dados estatísticos obtidos neste trabalho, nos atributos de cloreto, dureza em cálcio e alcalinidade, na bacia hidrográfica do rio Machado (12 amostras). No caso da bacia hidrográfica rio do Jamari (2 amostras), os valores de dispersão encontrados em Morais (1998), conforme Tabela 5 a seguir, ficaram abaixo dos valores desta pesquisa, considerando os atributos de cloreto, ferro total, sulfato, dureza total, dureza em cálcio, dureza em magnésio, sólidos totais e alcalinidade.

O processo de contaminação de água dos poços das bacias hidrográficas estudadas é diretamente proporcional ao adensamento populacional, conforme disposição dos valores máximos da Tabela 4, tendo em vista que a bacia hidrográfica do rio Jamari tem menor densidade populacional do que a bacia do rio Machado; com destaque para os valores de nitrato (4,44 mg/l na bacia do Jamari e 13,11 mg/l na bacia do rio Machado).

Tabela 4: Distribuição dos dados de propriedades químicas nas bacias hidrográficas estudadas

Bacia	Medida	V 1	V 2	V 3	V 4	V 5	V 6	V 7	V 8	V 9	V 10	V 11	V 12
	Máx	169.90	0.81	37.40	7.00	30.00	9.60	1.94	386.00	0.09	4.44	90.10	40.00
	Mín	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	4.20	6.00
Jamari	X	16.36	0.11	7.66	1.65	4.42	1.12	0.27	63.86	0.01	0.98	74.49	21.32
	CV	241.67	234.65	172.75	102.36	208.31	227.54	231.45	133.11	240.43	115.39	43.21	61.09
	Valor p	0.01	0.01	0.01	0.05	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.05	0.01	0.10
	Máx	464.81	199.90	27.37	13.00	100.00	20.80	82.00	939.00	1.20	13.11	90.10	180.00
	Mín	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.90	3.00
Machado	X	23.62	4.28	1.88	1.82	13.42	3.75	2.56	160.71	0.05	0.73	56.46	45.81
	CV	281.61	673.57	255.44	144.91	175.39	162.07	436.55	100.65	428.88	277.39	66.77	73.6
	Valor p	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

Max = valor máximo, Min = Valor mínimo, X = Média aritmética, CV = Coeficiente de variação, valor p = nível de significância no teste Kolmogorov-Smirnov com modificação de Lilliefors, scna = sem condição numérica para análise.
Fonte: Modificada de Rondônia (1998).

Tabela 5 – Distribuição de dados de propriedades químicas nas bacias dos rios Jamari e Machado

Bacia	Medida	Cloreto	Ferro	Sulfato	Dureza T	Dureza C	Dureza M	STD	Alcalinidade
	Máx	15,3	0,11	101	72,6	12,8	6,82	158	65
	Mín	4,59	0,06	101	63	8,96	6,44	144	62,5
Jamari	X	9,95	0,08	101	67,8	10,88	6,63	151	63,75
	CV	76,15	43,65	0	10,01	24,96	4,05	6,56	2,77
	Máx	101	0,87	101	103,2	15,31	11,36	200	115
	Mín	0,75	0	0,18	2,2	0,26	0,02	18	0,89
Machado	X	12,79	0,11	42,38	34,33	3,9	2,69	82,17	46,52
	CV	219,89	213,65	122,13	104,27	113,66	122,47	65,96	89,72

Max = valor máximo, Min = Valor mínimo, X = Média aritmética, CV = Coeficiente de variação, T = total, C = cálcio, M = magnésio, STD = sólidos totais dissolvidos.
Fonte: Morais (1998)

3.1 - Aptidões das águas subterrâneas para consumo humano

A análise restringiu-se aos aspectos mais genéricos da qualidade das águas para consumo humano, apresentando as principais restrições ao uso com base nas características físicas e químicas conhecidas. Utilizou-se como referência o padrão de potabilidade constante na Portaria nº. 518/2004 do Ministério da Saúde e na Tabela 6 são mostrados os limites máximos permissíveis de alguns parâmetros, seguindo o mesmo padrão utilizado para as observações sobre os resultados das águas subterrâneas do Estado de Rondônia (BRASIL, 2004).

Tabela 6 - Limites para potabilidade das águas subterrâneas

Parâmetros	VMP	Observações
Cor	15 mg Pt/l	Valores excessivos pouco freqüentes
Turbidez	5 UT	Valores elevados em algumas amostras
pH	6.0 a 9.5	Em geral valores muito baixos são freqüentes. Com restrições locais
Sólidos totais dissolvidos	1000 mg/l	Sem restrições
Dureza total	500 mg/l de CaCO3	Sem restrições
Cloretos	250 mg/l	Valores elevados em algumas amostras
Sulfatos	250 mg/l	Sem restrições
Nitratos	10 mg/l	Restrições locais. Teores excessivos são comuns em algumas áreas
Ferro Total	0.3 mg/l	Valores elevados em algumas amostras

VMP = valor máximo permitido
Fonte: Adaptada de Rondônia (1998)

As principais restrições referem-se aos valores muito baixos de pH e aos teores excessivos de nitratos e ferro total. De forma secundária, encontram-se como fatores restritivos, concentrações acima dos limites de cor, turbidez e cloretos em algumas amostras.

3.2 - Aptidão das águas subterrâneas para a dessedentação de animais

Os critérios para estabelecer a qualidade das águas para o consumo por animais não estão bem definidos quanto aos utilizados para o consumo humano. A complexidade para estabelecer parâmetros de água para consumo animal está associada a variáveis que dependem não só da espécie, mas também da variedade dos animais, bem como do tipo de alimentação e do clima. Nas Tabelas 7 e 8, constam alguns valores de referências de STD (sólidos totais dissolvidos) para consumo animal.

Tabela 7 – Limites de STD nas águas subterrâneas para uso em pecuária.

STD (mg/l)	Qualidade
≤ 2.500	Boa
De 2.500 a 3.500	Satisfatória
De 3.500 a 4.500	Ruim
> 4.500	Insatisfatória

Fonte: Logan apud Santos (1997)

Tabela 8 - Limites de STD nas águas subterrâneas para consumo animal.

STD (mg/l)	Animal
2.860	Aves
4.220	Porcos
6.435	Cavalos
7.180	Gado (leite)
10.000	Gado (corte)
12.900	Carneiro

Fonte: Mackee & Wolf apud Santos (1997)

As águas subterrâneas estudadas apresentaram valores médios de sólidos dissolvidos mais baixos do que 250 mg/l. Foi registrado o valor anômalo de 939 mg/l em Ji-Paraná, na bacia do rio Machado, que pode ser explicado pela localização em perímetro urbano com notada concentração populacional e crescente processo de industrialização e, portanto, maior vulnerabilidade à poluição de sólidos dissolvidos.

3.3 - Aptidão das águas subterrâneas para irrigação

Considerando os dados analisados neste trabalho e levando em conta os limites estabelecidos para as águas de classe 3 na Resolução nº. 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA do Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2005a), a Tabela 9 mostra os limites de alguns parâmetros de água para irrigação que foram utilizados para observar as águas subterrâneas estudadas.

Tabela 9 - Limites de parâmetros nas águas subterrâneas para irrigação

Parâmetros	VMP	Valores médios das bacias estudadas
Sólidos dissolvidos totais	500 mg/l	112,29 mg/l
Cloreto total	250 mg/l Cl	19,99 mg/l Cl
Ferro dissolvido	5,0 mg/l Fe	2,20 mg/l Fe
Nitrato	10,0 mg/l N	0,86 mg/l N
Nitrito	1,0 mg/l N	0,03 mg/l N
Sulfato total	250 mg/l SO_4	4,77 mg/l SO_4

VMP = valor máximo permitido pela Resolução nº. 357/2005 do CONAMA
Fonte: Adaptado de Rondônia (1998)

Muito embora os valores médios encontrados nas bacias hidrográficas estudadas não tenham ultrapassado os valores máximos permitidos para as variáveis consideradas na Tabela 9, os valores máximos de sólidos dissolvidos totais, cloreto total, ferro total, nitrito e nitrato encontrados na bacia

hidrográfica do rio Machado ficaram acima do valor máximo permitido; além de nitrato na bacia do rio Machado.

4 - CONCLUSÕES

Levando-se em conta os resultados obtidos e os padrões estabelecidos para cor, potencial hidrogeniônico e turbidez, a maioria das águas subterrâneas das bacias estudadas foram consideradas de boa qualidade físico-organoléptica.

Os dados de parâmetros bacteriológicos nas bacias estudadas, indicadores de contaminação fecal, estão distribuídos de forma não homogênea.

A bacia hidrográfica do rio Machado apresentou maiores alterações no conjunto de informações estudadas, particularmente nos teores de pH, cloreto, nitrito e nitrato, caracterizando perda de qualidade dos recursos hídricos subterrâneos, tendo em vista que a mesma possui maior adensamento populacional do que a bacia do rio Jamari e, não foram adotadas medidas satisfatórias para utilização racional dos referidos recursos.

O grau de heterogeneidade de teores das variáveis foi medida pelo coeficiente de variação com base em valores sugeridos para experimentos de campo com culturas agrícolas, consequentemente, não deve ser aplicado a recursos hídricos onde as condições experimentais diferem significativamente de outros experimentos de campo. Dessa forma fica evidenciada a necessidade de se estudar a distribuição dos valores de coeficiente de variação em pesquisas com recursos hídricos na área estudada.

As informadas utilizados para representarem as características físico-químicas e bacteriológicas das águas subterrâneas das bacias estudadas, além de servirem como um subsídio comparativo a estudos mais recentes podem ser úteis para se estabelecer um índice da qualidade das águas subterrâneas nas bacias hidrográficas em discussão.

5 – BIBLIOGRAFIA

AMARAL, G. (1984). *Províncias Tapajós e Rio Branco, in: F.F.M. de Ameida & Y. Hasui (ed.) O Pré-Cambriano do Brasil.* Edgard Blucher, São Paulo-SP, pp.6-35

BRASIL. (2004). Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Coordenação-Geral de Vigilância em Saúde Ambiental. *Portaria MS nº 518/200.4* Brasília-DF. Disponível em: <http://portal.saude.gov.br/portal/arquivos/pdf/portaria_518_2004.pdf>. Acesso em: Ago. 2009.

BRASIL. (2005a). Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. *Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005*. Brasília. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acesso em: Ago. 2009.

CAMPOS, J.C.V.; DREWS, M.G.P.; SCANDOLARA, J.E. (1999a). *Avaliação do potencial hidrogeológico da área urbana do município de Buritis Estado de Rondônia*. Relatório Técnico – convênio CPRM/FNS, Porto Velho-RO, 26p.

CAMPOS, J.C.V.; DREWS, M.G.P.; SCANDOLARA, J.E. (1999b). *Avaliação do potencial hidrogeológico da área urbana do município de Campo Novo de Rondônia-RO*. Relatório Técnico – convênio CPRM/FNS, Porto Velho-RO, 28p.

CAMPOS, J.C.V.; REIS, M.R.A. 2002. *Subprograma de apoio ao desenvolvimento dos municípios da Amazônia – ADEMA. Município de Ariquemes, Estado de Rondônia. Recursos hídricos*. Série ADEMA, vol. 3. CPRM, Porto Velho-RO, 30p.

CAMPOS, J.C.V. (2004). *"Contaminação das águas subterrâneas na cidade de Mirante da Serra (RO") in Anais (CD-Rom. XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas*, Cuiabá-MT. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/contami_serra_ro.pdf>. Acesso em: Ago. 2009. 11p.

FONSECA, J.S. (1985). *Estatística aplicada*. Editora Atlas, São Paulo-SP, 320p.

GOMES, F.P. (1990). *Curso de estatística experimental*. Editora Nobel, São Paulo-SP, 467p.

LILLIEFORS, H.W. (1967). "*On the Kolmogorov-Smirnov test for normality with mean and variance unknown*". Journal of the American Statistical Association 62(318), pp.399-402.

MORAIS, P.R.C. (1998). *Mapa hidrogeológico do Estado de Rondônia: texto explicativo*. CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Residência de Porto Velho-RO, Porto Velho-RO, 40p.

REIS, M.R.; MORAIS, P.R.C.; ADAMY, A. (1998). *Programa de integração mineral em municípios da Amazônia – Primaz, Pimenta Bueno – Estado de Rondônia. Recursos hídricos*. Série PRIMAZ, vol. 8. CPRM, Porto Velho-RO, 35p.

RONDÔNIA. (1998). *Plano Agropecuário e Florestal de Rondônia – PLANAFLORO. Zoneamento Sócio-econômico-ecológico do Estado de Rondônia. Relatório de Hidrogeologia*. Planafloro, Porto Velho-RO, 264p.

RONDÔNIA. (2002a). *Decreto Nº. 10.114, de 20 de setembro de 2002*. SEDAM, Porto Velho-RO, 22p.

RONDÔNIA. (2002b). *Lei complementar nº 255 de 25 de janeiro de 2002*. SEDAM, Porto Velho-RO, 20p.

SANTOS, A.C. (1997). *Noções de hidroquímica. In: Hidrologeologia: conceitos e aplicações*. CPRM, LABHID-UFPE, Fortaleza, pp. 81-108.

SEDAM - SECRETARIA DE ESTADO DO DESENVOLVIMENTO AMBIENTAL. (2002). *Atlas Geoambiental de Rondônia*. SEDAM, Porto Velho-RO, 73p.

SILVA, A.C. (2001). *Potabilidade das águas subterrâneas de Ji-Paraná. Estudo de caso: Bairro Nova Brasília*. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista - UNESP. Rio Claro-SP, 91p.

SILVA, A.C. 2008. *Estudo da contaminação do lençol freático através da integração de técnicas geoquímicas e geofísicas em Ji-Paraná, RO*. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista - UNESP. Rio Claro-SP, 146p.

THODE JR., H.C. (2002). *Testing for Normality*. Marcel Dekker, New York, 463p.

ZUFFO, C. E. (2010). *Gestão integrada das águas em Rondônia*. Tese (Doutorado em Geologia e Geoquímica). Universidade Federal do Pará – UFPA. Instituto de Geociências. Belém-PA, 186p.

ZUFFO, C. E.; ABREU, F. A. M. *Gestão participativa das águas em Rondônia: ações e propostas para a formação dos comitês de bacias hidrográficas*. Revista Formação – UNESP, Presidente Prudente (artigo aceito e no prelo para edição 2/2010).

ZUFFO, C.E.; ABREU, F.A.M.; CAVALCANTE, I.N.; NASCIMENTO, G.F. 2009. *Águas subterrâneas em Rondônia: análise estatística de dados hidroquímicos, organolépticos e bacteriológicos*. Revista do Instituto Geológico 30 (1/2), pp. 45-59.