



Ministério de Minas e Energia
Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral
CPRM – Serviço Geológico do Brasil
Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial – DHT
Residência de Porto Velho

“MODELO DE GESTÃO DO AQUÍFERO RIO BRANCO”

HOMERO REIS DE MELO JUNIOR

Hidrogeólogo

SEBASTIÃO FERREIRA ROSA FILHO

Geólogo/Geofísico

JULIO CÉZAR SEBASTIANI KUNZLER

Engenheiro Hidrólogo

Setembro 2010



Secretaria de Geologia,
Mineração e Transformação Mineral

Ministério de
Minas e Energia



SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	Pág. 01
2. OBJETIVO	Pág. 03
3. METODOLOGIA	Pág. 04
3.1 Testes de bombeamento	Pág. 04
3.2 Cálculo da condutividade hidráulica da zona não saturada	Pág. 06
3.3 Mapeamento da vulnerabilidade natural das águas subterrâneas	Pág. 08
3.4 Mapa piezométrico	Pág. 13
3.5 Avaliação da qualidade das águas subterrâneas	Pág. 13
3.6 Estudo hidrológico no rio Acre	Pág. 14
3.7 Levantamentos geofísicos	Pág. 15
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	Pág. 17
4.1 Análise dos parâmetros hidráulicos do aquífero	Pág. 17
4.2 Condutividade hidráulica da zona não saturada	Pág. 23
4.3 Mapeamento da vulnerabilidade natural das águas subterrâneas	Pág. 27
4.3.1 Profundidade do nível estático	Pág. 28
4.3.2 Recarga	Pág. 33
4.3.3 Meio Aquífero	Pág. 38
4.3.4 Solo	Pág. 41
4.3.5 Topografia	Pág. 44
4.3.6 Impacto da zona vadosa	Pág. 47
4.3.7 Condutividade Hidráulica	Pág. 51
4.3.8 Índices Finais DRASTIC	Pág. 53

4.4 Análise do fluxo das águas subterrâneas	Pág. 56
4.5 Qualidade das Águas Subterrâneas	Pág. 62
4.5.1 Análises Físico-Químicas e Bacteriológicas	Pág. 62
4.5.2 Classificação das águas subterrâneas	Pág. 81
4.6 Estudo hidrológico no rio Acre	Pág. 82
4.7 Estudos geofísicos	Pág. 86
4.7.1 Sondagens Elétricas Verticais (SEV's)	Pág. 86
4.7.2 Caminhamentos Elétricos (CE's)	Pág. 97
4.8 Cálculo das reservas exploráveis do aquífero Rio Branco	Pág. 100
4.8.1 Equilíbrio dinâmico em aquíferos	Pág. 100
4.8.2 Volume disponível da água subterrânea	Pág. 101
4.9 Modelo de Gestão do Aquífero Rio Branco	Pág. 104
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	Pág.
6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	Pág.

Índice de Ilustrações

Figura 1 – Mapa de localização do Estado do Acre, com destaque em vermelho para o município de Rio Branco	Pág. 02
Figura 2 – Localização da zona urbana de Rio Branco, com destaque para o 2º Distrito (Fonte: Google Earth, 2010)	Pág. 03
Figura 3 - Ensaio de rebaixamento para cálculo da condutividade hidráulica na zona não saturada (ABGE, 1996)	Pág. 07
Figura 4 - Disposição dos eletrodos no campo para execução de SEV através do arranjo Schlumberger (Braga, 2009)	Pág. 16
Figura 5 - Disposição dos eletrodos no campo para CE com arranjo dipolo-dipolo	Pág. 16
Foto 1 – Execução de teste de bombeamento na empresa de captação KM Mastub, na estrada do Amapá	Pág. 18
Foto 2 – Execução de teste de bombeamento na empresa de captação Engenhacre, na vila da Amizade	Pág. 18
Figura 6 – Gráfico rebaixamento versus tempo obtido a partir do teste de bombeamento executado na empresa de captação Dênio KV Martins ME, localizado na AC-01	Pág. 19
Figura 7 – Gráfico rebaixamento versus tempo obtido a partir do teste de bombeamento executado na empresa de captação KM Mastub, localizado na estrada do Amapá	Pág. 20
Figura 8 – Gráfico rebaixamento versus tempo obtido a partir do teste de bombeamento executado na empresa de captação Engenhacre, localizado na vila da Amizade	Pág. 20
Figura 9 – Razões Transmissividade pelo fator Tancredi obtidas para os ensaios de bombeamento do presente estudo, da avaliação hidrogeológica inicial de Rio Branco e dos aquíferos Açu e Bauru	Pág. 22
Figura 10 – Razões capacidade específica (q) pelo índice 3 ($m^3/h/m$), ideal para abastecimento público do presente estudo, da	Pág. 22

avaliação hidrogeológica inicial de Rio Branco e dos aquíferos Açu e Bauru

Foto 3 – Execução de teste de infiltração nos sedimentos constituintes da zona vadosa do aquífero Rio Branco, de acordo com a metodologia proposta pela ABGE (1996)	Pág. 23
Figura 11 – Localização das sondagens onde foram realizados os testes de infiltração no 2º Distrito de Rio Branco	Pág. 24
Figura 12 – Perfis das sondagens HJ-01 e HJ-02	Pág. 26
Figura 13 – Perfis das sondagens HJ-08 e HJ-09	Pág. 26
Figura 14 – Perfis das sondagens HJ-10 e HJ-11	Pág. 26
Figura 15 – Perfis das sondagens HJ-12 e HJ-13	Pág. 26
Figura 16 – Perfis das sondagens HJ-14 e HJ-15	Pág. 27
Figura 17 – Perfis das sondagens HJ-16 e HJ-17	Pág. 27
Figura 18 – Perfil da sondagem HJ-18	Pág. 27
Figura 19 – Mapa de localização dos poços onde foram tomadas as medidas de nível estático e das sondagens a trado no 2º Distrito de Rio Branco	Pág. 30
Figura 20 – Mapa com os índices D obtidos para o nível da água subterrânea através do modelo DRASTIC (Aller et al., 1987)	Pág. 32
Figura 21 – Valores de precipitações médias mensais medidas entre os anos de 1971 a 2000 em Rio Branco (Duarte, 2006) e utilizadas para o cálculo do balanço hídrico local	Pág. 34
Figura 22 – Valores de temperaturas médias mensais medidas entre os anos de 1971 a 2000 em Rio Branco (Duarte, 2006) e utilizadas para o cálculo do balanço hídrico local	Pág. 34
Figura 23 – Extrato do balanço hídrico mensal entre os anos de 1971 a 2000 na cidade de Rio Branco (Duarte, 2006)	Pág. 36

Figura 24 - Mapa com o Índice R obtido para a recarga do aquífero Rio Branco através do modelo DRASTIC (Aller et al., 1987)	Pág. 37
Figura 25 - Mapa com os Índices A obtidos para o meio aquífero através do modelo DRASTIC (Aller et al., 1987)	Pág. 40
Figura 26 - Mapa com os Índices S obtidos para o aquífero Rio Branco através do modelo DRASTIC (Aller et al., 1987)	Pág. 43
Figura 27 - Mapa com os Índices T obtidos para o aquífero Rio Branco através do modelo DRASTIC (Aller et al., 1987)	Pág. 46
Figura 28 - Mapa com os Índices I obtidos para o aquífero Rio Branco através do modelo DRASTIC (Aller et al., 1987)	Pág. 50
Figura 29 - Mapa com os Índices I obtidos para o aquífero Rio Branco através do modelo DRASTIC (Aller et al., 1987)	Pág. 52
Figura 30 – Mapa com os índices finais DRASTIC (Aller et al., 1987) obtidos para o aquífero Rio Branco	Pág. 56
Foto 4 – Medidor de nível utilizado para obtenção do nível estático em poço tubular no 2º Distrito	Pág. 58
Foto 5 – Medidor de nível e GPS utilizados para obtenção do nível estático e cadastro de poço tubular no 2º Distrito	Pág. 58
Figura 31 – Mapa piezométrico da área de ocorrência do aquífero Rio Branco, no 2º Distrito da capital	Pág. 61
Figura 32 – Mapa de localização dos poços amostrados no 2º Distrito de Rio Branco	Pág. 64
Figura 33 – Gráfico com os resultados das análises de nitrato nas amostras de água subterrânea do aquífero Rio Branco	Pág. 68
Figura 34 – Mapa de isovalores de nitrato nas águas subterrâneas do 2º Distrito	Pág. 69
Figura 35 - Gráfico com os resultados das análises de ferro nas	Pág. 71

amostras de água subterrânea do aquífero Rio Branco

Figura 36 – Mapa de isovalores de ferro nas águas subterrâneas do 2º Distrito Pág. 72

Figura 37 - Gráfico com os resultados das análises de manganês nas amostras de água subterrânea do aquífero Rio Branco Pág. 73

Figura 38 – Mapa de isovalores de manganês nas águas subterrâneas do 2º Distrito Pág. 74

Figura 39 - Gráfico com os resultados das análises de alumínio nas amostras de água subterrânea do aquífero Rio Branco Pág. 75

Figura 40 – Mapa de isovalores de alumínio nas águas subterrâneas do 2º Distrito Pág. 76

Figura 41 – Gráfico ilustrando a presença ou ausência de coliformes termotolerantes e totais nas amostras de água subterrânea analisadas Pág. 77

Figura 42 – Mapa de ocorrência de coliformes termotolerantes nas águas subterrâneas do 2º Distrito Pág. 79

Figura 43 – Mapa de ocorrência de coliformes totais nas águas subterrâneas do 2º Distrito Pág. 80

Figura 44 – Diagrama de Piper ilustrando a concentração dos principais cátions e ânions analisados nas amostras de água subterrânea Pág. 81

Foto 6 – Vista das réguas de monitoramento do rio Acre na estação de captação da ETA II, no 2º Distrito de Rio Branco Pág. 82

Foto 7 – Instalação da estação fluviométrica na área de captação da ETA II Pág. 83

Foto 8 – Instalação da estação fluviométrica na área de captação da ETA II Pág. 83

Figura 45 – Variação média mensal do nível do rio Acre entre os anos de 1971 a 2008	Pág. 85
Figura 46 – Mapa de localização das SEV's realizadas no 2º Distrito de Rio Branco	Pág.88
Figura 47 - Gráfico gerado por intermédio do software IPI2Win, utilizando os dados obtidos na SEV 2	Pág. 91
Figura 48 – Gráfico gerado por intermédio do software IPI2Win, utilizando os dados obtidos na SEV 3	Pág. 92
Figura 49 – Gráfico gerado por intermédio do software IPI2Win, utilizando os dados obtidos na SEV 5	Pág. 92
Figura 50 – Gráfico gerado por intermédio do software IPI2Win, utilizando os dados obtidos na SEV 6	Pág. 93
Figura 51 – Gráfico gerado por intermédio do software IPI2Win, utilizando os dados obtidos na SEV 9	Pág. 93
Figura 52 – Gráfico gerado por intermédio do software IPI2Win, utilizando os dados obtidos na SEV 10	Pág. 94
Figura 53– Gráfico gerado por intermédio do software IPI2Win, utilizando os dados obtidos na SEV 11	Pág. 94
Figura 54 – Gráfico gerado por intermédio do software IPI2Win, utilizando os dados obtidos na SEV 13	Pág. 95
Figura 55 – Gráfico gerado por intermédio do software IPI2Win, utilizando os dados obtidos na SEV 14	Pág. 95
Figura 56 – Gráfico gerado por intermédio do software IPI2Win, utilizando os dados obtidos na SEV 15	Pág. 96
Figura 57 – Gráfico gerado por intermédio do software IPI2Win, utilizando os dados obtidos na SEV 17	Pág. 96
Figura 58 – Gráfico gerado por intermédio do software IPI2Win,	Pág. 97

utilizando os dados obtidos na SEV 18

Figura 59 – Gráfico gerado por intermédio do software IPI2Win, utilizando os dados obtidos na SEV 19 Pág. 97

Figura 60 – Gráfico gerado por intermédio do software IPI2Win, utilizando os dados obtidos na SEV 22 Pág. 98

Figura 61 – Gráfico gerado por intermédio do software IPI2Win, utilizando os dados obtidos na SEV 23 Pág. 98

Figura 62 – Gráfico gerado por intermédio do software IPI2Win, utilizando os dados obtidos na SEV 24 Pág. 99

Figura 63 – Caminhamento Geoelétrico 01, realizado no bairro do Amapá, 2º Distrito de Rio Branco Pág. 99

Figura 64 – Caminhamento Geoelétrico 02, realizado no bairro do Amapá, 2º Distrito de Rio Branco Pág. 100

Figura 65 – Caminhamento Geoelétrico 03, realizado no loteamento Santo Afonso, 2º Distrito de Rio Branco Pág. 100

Foto 9 – Construção de poço tubular raso com trado manual Pág. 106

Foto 10 – Detalhe do trado manual utilizado na construção de poço tubular Pág. 107

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Valores de condutividade hidráulica (K) em cm/s para alguns materiais geológicos (Fetter, 2002)	Pág. 08
Tabela 2 - Pesos inferidos para os fatores DRASTIC	Pág. 08
Tabela 3 - Profundidade do nível da água e respectivos valores	Pág. 09
Tabela 4 - Taxas de infiltração (recarga) e seus respectivos valores (Rc)	Pág. 09
Tabela 5 - Litotipos que compõem o aquífero e seus respectivos valores (Ac)	Pág. 10
Tabela 6 - Tipos de solo e seus respectivos valores (Sc)	Pág. 10
Tabela 7 - Inclinação do relevo e seus respectivos valores (Tc)	Pág. 11
Tabela 8 - litotipos que constituem a zona vadosa e seus respectivos valores (Ic)	Pág. 11
Tabela 9 - Condutividade hidráulica e seus respectivos valores (Cc)	Pág. 12
Tabela 10 – Localização, coordenadas UTM e profundidade dos poços onde foram executados os testes de bombeamento	Pág. 17
Tabela 11 – Principais propriedades físicas do aquífero Rio Branco e sistemas de bombeamento utilizados	Pág. 17
Tabela 12 – Parâmetros hidráulicos do aquífero Rio Branco	Pág. 18
Tabela 13 – Valores da condutividade hidráulica vertical (k_v) obtidos nos testes de infiltração realizados no 2º Distrito de Rio Branco	Pág. 25
Tabela 14 – Localização dos pontos de amostragem e valores dos índices D obtidos para a área de estudo	Pág. 28
Tabela 15 – Valores de precipitações e temperaturas médias mensais entre os anos de 1971 a 2000 (Duarte, 2006), utilizados para o cálculo do balanço hídrico local através do método de Thonrtwaithe e Matter (1955)	Pág. 33
Tabela 16 – Elementos do balanço hídrico de Rio Branco, obtidos a partir dos valores de precipitação e temperatura (Duarte, 2006)	Pág. 35
Tabela 17 – Localização dos pontos de amostragem e valores dos índices A obtidos para a área de estudo	Pág. 38

Tabela 18 – Localização dos pontos de amostragem e valores dos índices S obtidos para a área de estudo	Pág. 41
Tabela 19 – Localização dos pontos de amostragem e valores dos índices T obtidos para a área de estudo	Pág. 44
Tabela 20 - Localização dos pontos de amostragem e valores dos índices I obtidos para a área de estudo	Pág. 47
Tabela 21 - Localização dos pontos de amostragem e valores dos índices C obtidos para a área de estudo	Pág. 51
Tabela 22 – Índices finais de vulnerabilidade obtidos através do método DRASTIC para o aquífero Rio Branco	Pág. 53
Tabela 23 – Localização dos poços e parâmetros utilizados para construir o mapa piezométrico do aquífero Rio Branco	Pág. 59
Tabela 24 – localização dos poços onde foram coletadas amostras de água subterrânea para análise físico-química e bacteriológica	Pág. 62
Tabela 25 – Resultados das análises físico-químicas realizadas nas amostras de água subterrânea do aquífero Rio Branco	Pág. 65
Tabela 26 – Série histórica do nível do rio Acre entre os anos de 1971 a 2008, observados em mm na estação 13600002 da ANA (ANA, 2010)	Pág. 84
Tabela 27 – Localização e características das SEVS realizadas no 2º Distrito de Rio Branco	Pág. 87
Tabela 28 - Resumo da interpretação das sondagens elétricas com profundidade em metros (P_n) e resistividade elétrica em ohm.m (ρ_n) das camadas geoeletricas (n=1, 2, 3, 4 e 5)	Pág. 89
Tabela 29 – Profundidade do nível estático atingido pela sondagem elétrica e sua respectiva resistividade elétrica	Pág. 90
Tabela 30 – Empresas de captação licenciadas e volume de água explorado diária e anualmente no aquífero Rio Branco	Pág. 105

1. INTRODUÇÃO

O presente relatório trata dos estudos hidrogeológicos complementares executados no município de Rio Branco (Figura 1) na região conhecida por 2º Distrito (Figura 2), através do Convênio 02/2008 CPRM, celebrado entre o Serviço Geológico do Brasil – CPRM e a Prefeitura Municipal, vigente durante os anos de 2008 e 2009. Os resultados aqui apresentados correspondem a uma evolução dos estudos realizados ao longo do primeiro convênio firmado entre as instituições, sendo que, na oportunidade, foram executadas diversas investigações a respeito do meio físico local, como apoio para a revisão do Plano Diretor Municipal de Rio Branco. Dentre estes, destaca-se a avaliação hidrogeológica do 2º Distrito. Nesta primeira etapa, Melo Junior & Marmos (2007) identificaram inicialmente um aquífero granular raso que apresentou capacidade para abastecimento público. Daí, o interesse pela ampliação do conhecimento acerca das águas subterrâneas locais; o Serviço Geológico do Brasil visando uma ampliação sobre o conhecimento científico a respeito do aquífero e a Prefeitura de Rio Branco buscando a solução do problema de abastecimento público municipal.

Desta forma, visando atender aos anseios de ambas as instituições, foram desenvolvidos múltiplos estudos, com o objetivo de subsidiar um plano de gestão para o aquífero Rio Branco (PGARB), a fim de; explorar este recurso natural de forma sustentável para o abastecimento público de Rio Branco. Dentre estes, se destacam: (1) execução de testes de bombeamento, (2) execução de testes de infiltração na zona não saturada, (3) mapeamento da vulnerabilidade natural das águas subterrâneas, (4) mapeamento do sentido do fluxo das águas subterrâneas (piezometria), (5) realização de estudo hidrológico, (6) avaliação da qualidade físico-química e bacteriológica das águas subterrâneas, (7) execução de levantamentos geofísicos (SEV's e caminhamentos).

Assim, o Plano de Gestão do Aquífero Rio Branco (PGARB) foi elaborado com base no tripé: Propriedades Físicas e Hidráulicas, Mapeamento da Vulnerabilidade Intrínseca das Águas Subterrâneas e Análise da Qualidade de Água.

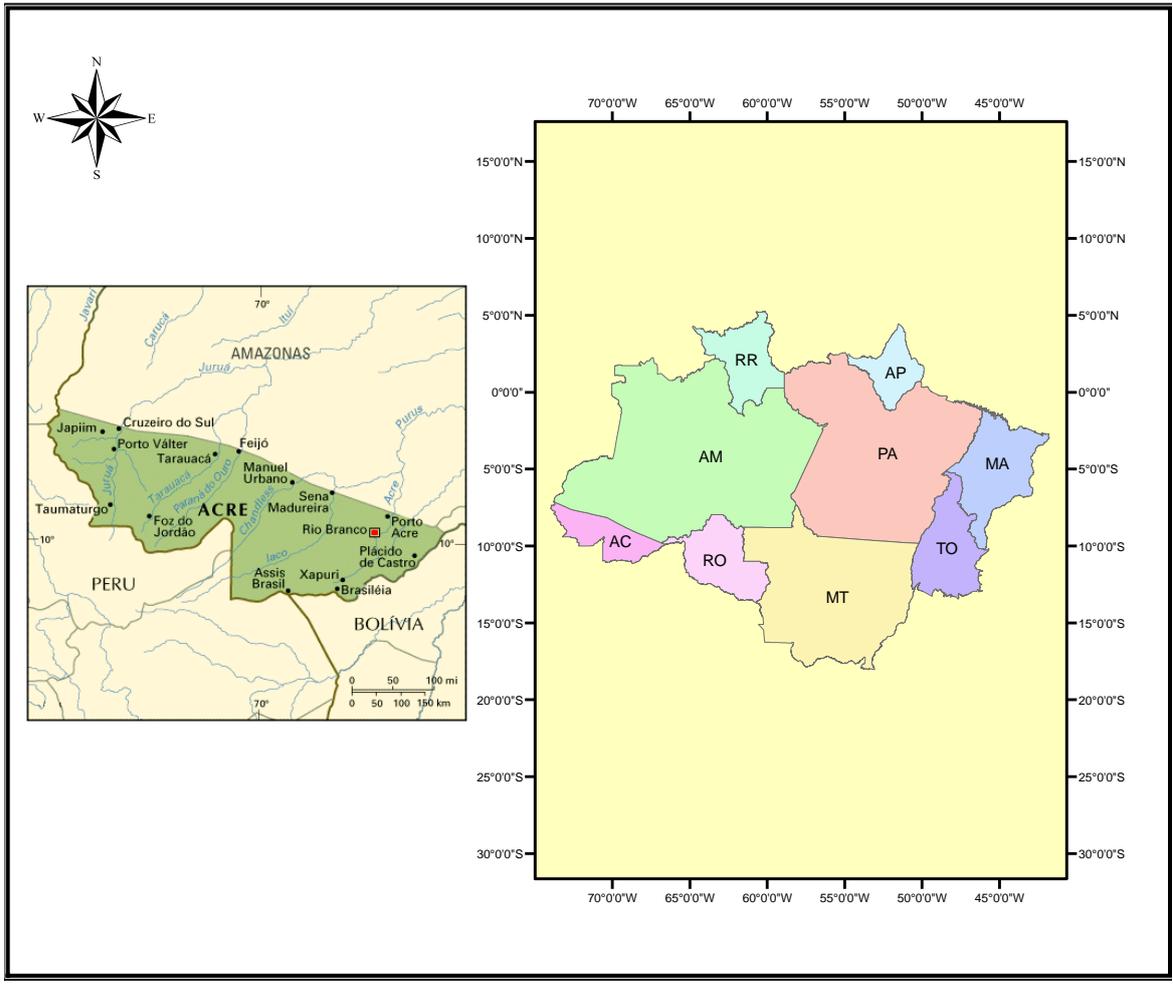


Figura 1 – Mapa de localização do Estado do Acre, com destaque em vermelho para o município de Rio Branco.

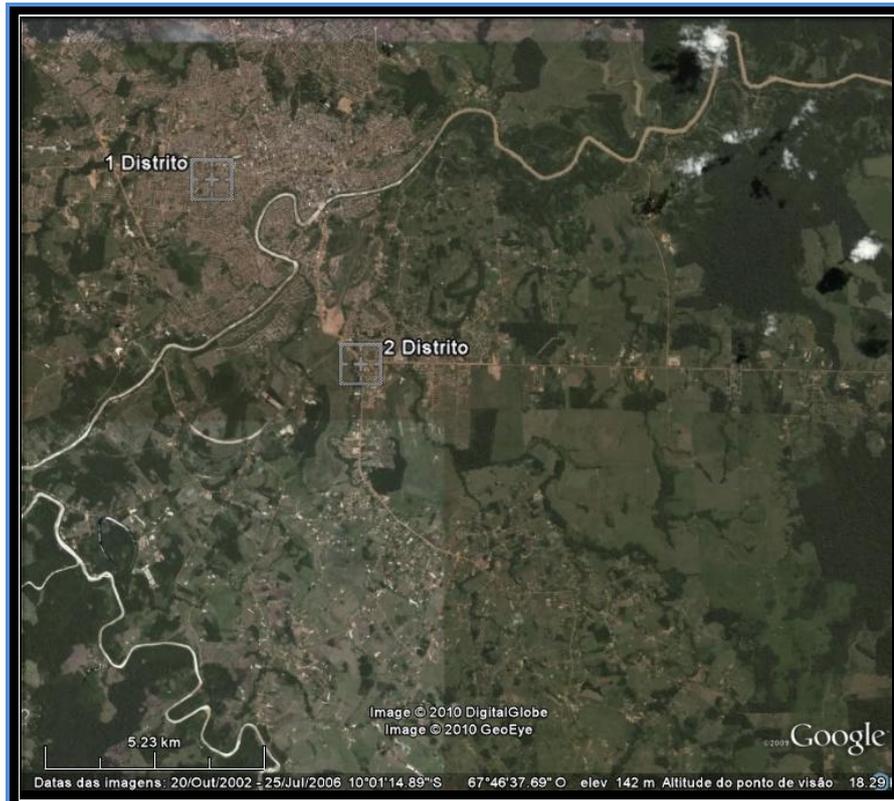


Figura 2 – Localização da zona urbana de Rio Branco, com destaque para o 2º Distrito (Fonte: *Google Earth*, 2010).

2. OBJETIVO

O principal objetivo deste estudo é gerar o Plano de Gestão o Aquífero Rio Branco (PGARB), sendo que, para tal, foi necessário atingir os seguintes objetivos específicos:

- a) Execução de testes de bombeamento para determinar os principais parâmetros físicos (nível estático, nível dinâmico) e hidráulicos (transmissividade, coeficiente de armazenamento e condutividade hidráulica) do aquífero Rio Branco;
- b) Execução de testes de infiltração para determinar a condutividade hidráulica da zona não saturada do aquífero Rio Branco;
- c) Mapeamento da vulnerabilidade natural das águas subterrâneas à contaminação;
- d) Mapeamento do sentido do fluxo subterrâneo, para determinar as principais zonas de recarga e descarga do aquífero;
- e) Avaliação da qualidade das águas subterrâneas através de parâmetros físico-químicos e bacteriológicos;

- f) Instalação de estação hidrológica para monitoramento do nível do rio Acre e verificar a influência sofrida pelo aquífero Rio Branco, através do estudo do fluxo de base;
- g) Execução de levantamentos geofísicos, utilizando o método de eletrorresistividade, por intermédio de sondagens elétricas verticais (SEV's) e caminhamentos elétricos (CE's), para mapear em sub-superfície o aquífero Rio Branco.

3. METODOLOGIA

3.1 Testes de bombeamento

Os principais parâmetros físicos do aquífero Rio Branco (ARB) foram determinados por intermédio da interpretação dos testes de bombeamento, utilizando-se o método de Cooper & Jacob (1946), que propuseram uma simplificação do método de Theis ao constatarem que os valores que variam em função do poço podiam ser desprezados. O método de Theis (1938) apresenta a seguinte equação diferencial geral do fluxo subterrâneo:

$$h_0 - h = \frac{Q}{4\pi T} \int_u^\infty \frac{e^{-u}}{u} \times Du \quad (1)$$

Onde:

$$u = r^2 S_c / 4Tt \quad (2)$$

Como a integral da expressão não tem solução exata, a resolução foi proposta por Theis (*apud* Feitosa & Filho, 2008) através da série convergente:

$$0,5772 - \ln u + u - u^2/2.2! + u^3/3.3! + u^4/4.4! \dots = W(u) \quad (3)$$

Como $h_0 - h = s$ (rebaixamento), tem-se:

$$s = \frac{Q}{4\pi T} W(u) \quad (4)$$

Tirando-se o valor de T em (4) e S em (2), teremos:

$$T = \frac{Q}{4\pi T} W(u) \quad (5)$$

$$S_c = 4Ttu/r^2 \quad (6)$$

Onde:

T = transmissividade (m^2/s);

Q = vazão de bombeamento (m^3/h);

s = rebaixamento a uma distância r o poço bombeado (L);

S_c = coeficiente de armazenamento (adimensional);

t = tempo a partir do início do bombeamento (s);

r = distância do poço de bombeamento ao ponto de rebaixamento s (m);

$W(u)$ = função de poço para aquífero confinado não drenante.

O método de Cooper & Jacob (1946) constatou que quando o valor de u era muito pequeno $< 0,01$, os dois primeiros termos da série de Theis eram suficientes para apresentar uma aproximação bastante confiável do valor de $W(u)$, assim:

$$S = h_0 - h = -2,3Q/4\pi T \times \log_{10} \times 0,445r^2 S_c / Tt \quad (7)$$

Para uma dada vazão (Q) são plotados os dados de rebaixamento (Δh) e tempo de bombeamento, extraídos a partir do gráfico entre o tempo de bombeamento (t, em segundos) em escala logarítmica *versus* rebaixamento (Δh , em metros). Para calcular o valor da transmissividade (T) foi aplicada a equação:

$$T = 2,3Q/4\pi(h_1 - h_2) \times \log_{10}(t_2/t_1) \quad (8)$$

O coeficiente de armazenamento (S_c) pode ser obtido a partir da seguinte equação:

$$S_c = 2,246Tt_0/r^2 \quad (9)$$

Por fim, a condutividade hidráulica pôde ser calculada pela razão entre a transmissividade e a espessura da camada saturada do aquífero.

$$K = T/b \quad (10)$$

Onde: b = espessura do aquífero em metros.

3.2 Cálculo da condutividade hidráulica da zona não saturada

O aquífero Rio Branco, classificado como confinado drenante (Melo Junior e Marmos, 2007) possui uma pequena permeabilidade em sua camada superior ou zona vadosa, e, considerando-se a ocorrência de uma carga hidráulica h_1 constante, acima da camada semi-permeável no plano (x, y) , a taxa de infiltração vertical I_v para o aquífero, através desta camada semi-permeável é dada por:

$$I_v = \frac{k'[h_1 - h]}{b'} \quad (11)$$

Sendo k' e b' , respectivamente, a condutividade hidráulica e a espessura da camada semi-permeável (Feitosa & Filho, 2008).

Alguns autores definem a relação entre k'/b' como coeficiente de drenança (Bear *apud* Feitosa & Filho, 2008) e a relação inversa b'/k' como resistência da camada semipermeável (c):

$$c = b'/k' \quad (12)$$

Logo, em função da resistência hidráulica da camada confinante, a filtração vertical expressa-se por:

$$I_v = \frac{h_1 - h}{c} \quad (13)$$

Este valor da taxa de infiltração vertical deve ser adicionado, no caso, ao termo da recarga (R):

$$\frac{\Phi}{\Phi x} (T_{xx} \Phi) + \frac{\Phi}{\Phi y} (T_{yy} \Phi) + \frac{h_1 - h}{c} + R = S \frac{\Phi h}{\Phi t} \quad (14)$$

Na prática, para calcular a condutividade hidráulica vertical da zona não saturada (k_v), foram realizados testes de infiltração, denominados, ensaio de rebaixamento, de acordo com a metodologia recomendada pela ABGE (1996). Este ensaio consistiu em perfurar-se o solo com um trado mecânico, com broca de 10,16 mm (4") de diâmetro, até a profundidade de 2 metros. A partir de então, inseriu-se um tubo de PVC com 0,5 metro de comprimento dentro do furo. O furo foi então preenchido com água até sua borda durante 10 minutos, até a saturação. Em seguida, interrompeu-se o fornecimento de água, tomando-se este como o instante zero. Durante intervalos curtos no início, e, mais longos em seguida, acompanhou-se o rebaixamento do nível da água. O método recomenda que o ensaio seja concluído quando o rebaixamento atingir 20% da carga inicial aplicada ou 30 minutos de ensaio. A figura 3 ilustra como o método foi executado.

A condutividade hidráulica foi obtida então através da fórmula:

$$K = \frac{\Delta h}{\Delta t} \times \frac{d_1^2}{8h_o \sqrt{d_0 L}} \quad (15)$$

Onde:

Δt = tempo de duração do ensaio;

Δh = Variação do nível d'água durante o ensaio;

d = diâmetro da perfuração;

L = comprimento do intervalo testado ($1 \geq L \leq 3$ m)

h_o = distância do início do ensaio até a metade de L

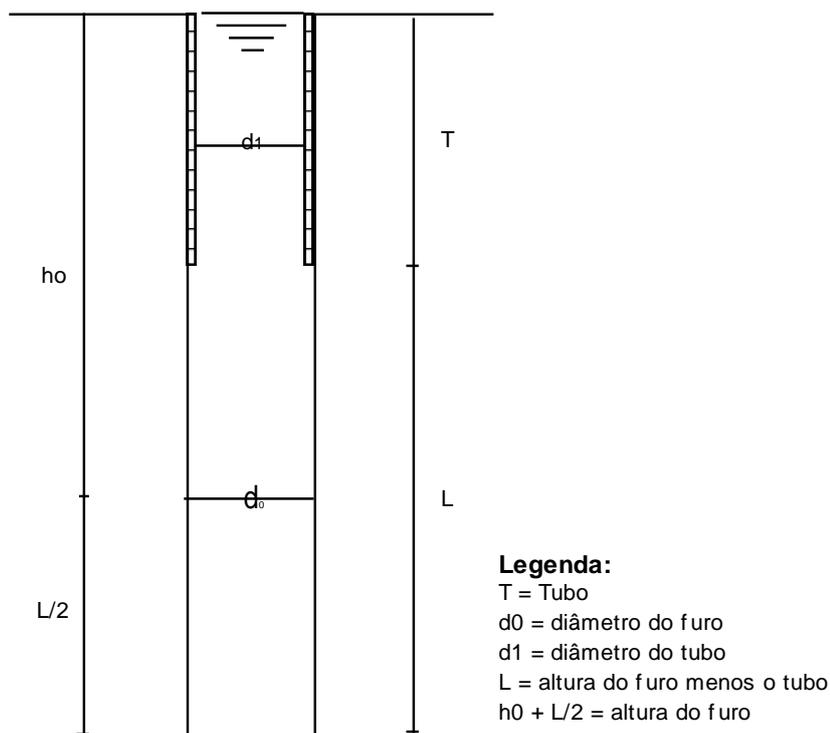


Figura 3 - Ensaio de rebaixamento para cálculo da condutividade hidráulica na zona não saturada (ABGE, 1996).

A tabela 1 apresenta os valores de condutividade hidráulica apresentados por Fetter (2001) para diversos materiais geológicos.

Tabela 1 - Valores de condutividade hidráulica (K) em cm/s para alguns materiais geológicos (Fetter, 2001).

MATERIAL	K (cm/s)
Cascalho bem selecionado	1 a 10^{-2}
Areia bem selecionada	10^{-1} a 10^{-3}
Silte arenoso, areia fina	10^{-3} a 10^{-5}
Silte, areia siltica, argila arenosa	10^{-4} a 10^{-6}

3.3 Mapeamento da vulnerabilidade natural das águas subterrâneas

O mapeamento da vulnerabilidade natural das águas subterrâneas no 2º Distrito de Rio Branco foi desenvolvido por intermédio do modelo DRASTIC, desenvolvido por Aller *et al.* (1987), os quais determinaram pesos relativos que variam entre 1 e 5 (Tabela 2), sendo o peso 5 inferido para o fator mais significativo e 1 para o menos importante parâmetro utilizado pelo método. Estes pesos são uma constante e não podem ser mudados. Existe ainda um segundo peso atribuído ao uso de pesticidas agrícolas, que; no entanto, não compreende o objetivo da presente proposta.

Tabela 2 - Pesos inferidos para os fatores DRASTIC

FATOR DRASTIC	PESO
Profundidade da Água	5
Recarga	4
Meio Aquífero	3
Solo	2
Topografia	1
Impacto da Zona Vadosa	5
Condutividade Hidráulica	3

De acordo com a metodologia, cada fator é avaliado em relação a outro, a fim de determinar o significado relativo de cada parâmetro com respeito ao potencial de contaminação. Com base em gráficos, a cada fator DRASTIC é inferida uma

pontuação que varia entre 1 a 10 (Tabelas 3 a 9). Para os fatores D, R, S, T e C foram atribuídos valores específicos. Por sua vez, os fatores A e I, possuem seus valores atribuídos de acordo com os diversos ambientes hidrogeológicos identificados.

Esse sistema permite ao usuário determinar um valor numérico para cada ambiente hidrogeológico, utilizando um modelo aditivo. A equação para determinar o índice final DRASTIC é, portanto:

$$\text{Índices DRASTIC} = D_p D_c + R_p R_c + A_p A_c + S_p S_c + T_p T_c + I_p I_c + C_p C_c \quad (12)$$

onde: D_p , R_p , A_p , S_p , T_p , I_p , C_p correspondem aos pesos dos fatores DRASTIC que não podem ser modificados, enquanto que:

D_c , R_c , A_c , S_c , T_c , I_c , C_c correspondem aos fatores de carga das variáveis nos seus respectivos intervalos de ocorrência, cujo valor varia de acordo com o nível identificado pelo usuário do método.

Tabela 3 - Profundidade do nível da água e respectivos valores.

Profundidade (m)	Valor Atribuído (Dc)
0 – 1.5	10
1.5 – 4.5	9
4.5 – 9.0	7
9.0 – 15.0	5
15.0 – 22.5	3
22.5 – 30.0	2
> 30.0	1
Peso: 5	

Tabela 4 - Taxas de infiltração (recarga) e seus respectivos valores (Rc).

Taxa de infiltração (mm/ano)	Valor Atribuído
< 51	1
51 – 102	3

102 – 178	6
178 – 254	8
> 254	9
Peso: 4 (Rp)	

Tabela 5 - Litotipos que compõem o aquífero e seus respectivos valores (Ac).

Litotipo	Valor Atribuído	Valor Médio Adotado
Folhelho maciço	1 – 3	2
Ígneas/metamórficas	2 – 5	3
Ígneas/metamórficas intemperizadas	3 – 5	4
Till glacial	4 – 6	5
Arenito acamadado, calcário e folhelho seqüencial	5 – 9	6
Arenito maciço	4 – 9	6
Calcário maciço	4 – 9	6
Areia e cascalho	4 – 9	8
Basalto	2 – 10	9
Calcário cárstico	9 – 10	10
Peso: 3 (Ap)		

Tabela 6 - Tipos de solo e seus respectivos valores (Sc).

Tipo de solo	Valor Atribuído
Fino ou ausente	10
Cascalho	10
Arenoso	9
Turfoso	8
Argila agregada e/ou contraída	7
Marga arenosa	6
Marga	5
Silte margoso	4
Argila margosa	3

Lixo/esterco	2
Argila desagregada e não expansível	1
Peso: 2 (Sp)	

Tabela 7 - Inclinação do relevo e seus respectivos valores (Tc).

Inclinação do relevo (%)	Valor Atribuído
0 – 1	10
1 – 6	9
6 – 12	5
12 – 18	3
> 18	1
Peso: 1 (Tp)	

Tabela 8 - litotipos que constituem a zona vadosa e seus respectivos valores (Ic).

Zona vadosa	Valor Atribuído	Valor Médio Atribuído
Camada confinante	1	1
Silte/argila	2 – 6	3
folhelho	2 – 5	3
Calcário	2 – 7	6
Arenito	4 – 8	6
Calcário acamadado, arenito, folhelho	4 – 8	6
Areia e cascalho com significativo silte e argila	4 – 8	6
Ígneas/metamórficas	2 – 8	4
Areia e cascalho	6 – 9	8
Basalto	2 – 10	9
Calcário cárstico	8 – 10	10
Peso: 5 (Ip)		

Tabela 9 - Condutividade hidráulica e seus respectivos valores (Cc).

Condutividade Hidráulica (m/dia)	Valor Atribuído
0 – 4,1	1
4,1 – 12,2	2
12,2 – 28,5	4
28,5 – 40,7	6
40,7 – 81,5	8
> 81,5	10
Peso: 3 (Cp)	

Em seguida, utilizando os dados da base cartográfica do município de Rio Branco, com arquivos *raster* e vetoriais editáveis (IBGE, 2010) somados aos dados de campo referentes ao método DRASTIC (Aller *et al.*, 1987) tratados no *software* Arc Gis 9.3, foram gerados os mapas temáticos através do processo de *krigagem* referentes aos índices intermediários DRASTIC e ao índice final DRASTIC (Aller *et al.*, 1987). A *krigagem* é um processo de estimativa de valores de variáveis distribuídas no espaço, a partir de valores adjacentes enquanto considerados como interdependentes pelo semivariograma. Trata-se em ultimo caso, de um método de estimativa por médias móveis (Landim, 2003). Seja um ponto, uma área ou um bloco que se deseja estimar, sendo o valor real desconhecido representado por V. O valor estimado (V^*) é calculado, utilizando n amostras localizadas segundo coordenadas conhecidas, com valores $x_1, x_2, x_3...x_n$ (conjunto S), de forma linear, como, por exemplo, por meio da técnica da ponderação pelo inverso das distâncias.

$V^* = P_1x_1 + P_2x_2 + P_3x_3 + \dots + P_nx_n$, onde os p_i são os pesos atribuídos a cada amostra.

É evidente que existe associado a este estimador um erro $\epsilon = V - V^*$ e que se, teoricamente, diversas estimativas forem feitas, a média de erros será 0 (zero) (Landim, 2003).

3.4 Mapa piezométrico

O potencial piezométrico da área estudada foi obtido por intermédio do nível estático das águas subterrâneas e das cotas topográficas de cada ponto. O primeiro parâmetro foi medido diretamente em quarenta e três poços tubulares ou amazonas, o segundo parâmetro foi obtido através das curvas de nível da base cartográfica de Rio Branco, com intervalos de nível de 5 metros. A partir daí, a cota piezométrica em metros, foi obtida através da subtração dos valores do nível estático a partir da cota topográfica, como demonstra a fórmula:

$$CP = CT - NE \quad (13)$$

Onde:

CP = Cota Piezométrica

CT = Cota Topográfica

NE = Nível Estático

Em seguida, os dados de potencial piezométrico foram adicionados aos elementos da base cartográfica de Rio Branco no *software* Arc Gis 9.3, para, em seguida, serem geradas linhas de isovalores de piezometria, com as setas apontando o sentido do maior para o menor potencial piezométrico.

3.5 Avaliação da qualidade das águas subterrâneas

A análise da qualidade das águas subterrâneas foi realizada por intermédio da coleta de vinte e quatro amostras em poços para análise de coliformes termotolerantes, coliformes totais, alcalinidade total, DQO e dureza total no laboratório da Unidade Tecnológica de Alimentos (UTAL) da Universidade Federal do Acre, localizado em Rio Branco. Os parâmetros físico-químicos foram avaliados no Laboratório de Análises Mineraias (LAMIN) do Serviço Geológico do Brasil, situado no Rio de Janeiro e os elementos analisados foram Al, Ba, Ca, Sr, Cr, Fe, Mg, Na, K, Mn, Si, NH₄, F⁻, Cl⁻, NO₂⁻, NO₃⁻, SO₄⁻. A classificação das águas subterrâneas foi realizada com base na Resolução CONAMA 396, publicada em 03 de abril de 2008 e que “*dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências*”.

3.6 Estudo hidrológico no rio Acre

Para realizar um estudo hidrológico no rio Acre se fez necessária a instalação de uma estação hidrológica na margem do rio Acre, realizada de acordo com a metodologia descrita por Santos *et al.* (2001) através de nivelamento geométrico realizado com nível topográfico, com base na diferença de leituras na mira graduada; considerando-se que, a cota de um ponto é a distância, medida na vertical, entre um plano horizontal de referência e o ponto em questão. Como não havia na área da estação pontos de altitudes conhecidas foram utilizadas cotas arbitrárias e, a partir de um ponto inicial foi procedido o levantamento altimétrico. a cota foi então arbitrada no momento da instalação da estação fluviométrica, quando foi definida a posição do “zero da régua”. Quando a cota é zero e conseqüentemente o nível da água também será zero, ou seja, o pé do primeiro lance de régua ficou com a cota entre um e zero. Durante a execução do nivelamento geométrico, o mesmo foi amarrado a um ponto de Referência de Nível (RN), no qual foi realizada uma visada de referência, chamada de visada de ré. A leitura feita na visada foi somada à cota da RN em que a visada foi feita, obtendo-se o plano de referência ou altura do instrumento, através da seguinte fórmula:

$$AI = Cota + R \quad (14)$$

Onde:

AI = Altura do Instrumento;

R = Visada de ré.

Em seguida, passou-se para a visada de vante, que foi executada com a mira graduada sobre o ponto que se atribuiu uma nova cota. Para calcular a cota neste novo ponto bastou diminuir a visada de vante (V) da altura do instrumento obtida com a visada de ré, conforme a fórmula:

$$Cota \text{ (novo ponto)} = AI - V \quad (15)$$

Este procedimento foi repetido até que todas as régua necessárias foram instaladas.

3.7 Levantamentos geofísicos

O mapeamento em sub superfície do aquífero Rio Branco foi realizado através do método geofísico da eletrorresistividade por meio da técnica da sondagem elétrica vertical (SEV), que consiste em uma sucessão de medidas de um parâmetro geoelétrico (resistividade e/ou cargabilidade aparentes), efetuadas, a partir da superfície do terreno, mantendo-se uma separação crescente entre os eletrodos de emissão de corrente e recepção de potencial. Quando os eletrodos são alinhados na superfície do terreno de maneira simétrica, e durante a sucessão de medidas, a direção do arranjo e o centro do dipolo de recepção de potencial permanecem fixos, tem-se a sondagem vertical (Braga, 2009).

O arranjo de eletrodos utilizado no levantamento realizado no 2º Distrito de Rio Branco foi o arranjo Schlumberger (Figura 4), que tem por conceito básico, manter a distância a que separa os eletrodos M e N fixa, e que tenda a zero em relação à distância crescente de L (entre AO e OB). O modelo geoelétrico final obtido, através da interpretação dos dados, é atribuído ao ponto central do arranjo. As leituras, neste tipo de arranjo, estão menos sujeitas às variações laterais no parâmetro físico medido, irregularidades na superfície topográfica e ruídos produzidos por fontes artificiais. Com isto as leituras de campo apresentam maior precisão, resultando numa interpretação mais próxima da realidade e coerente com os princípios gerais que norteiam a técnica da SEV. Foram realizados também caminhamentos elétricos no levantamento geofísico executado, sendo que, a técnica do caminhamento elétrico determina a descontinuidades ou continuidades horizontais que podem ocorrer dentro de um mesmo pacote investigado. A investigação foi definida para alcançar até 5 níveis de profundidade, mapeando o material existente e o disperso no solo/subsolo, o espaçamento entre os eletrodos foi de 30 metros, com o objetivo de atingir 75 metros de profundidade. A técnica consiste em introduzir a corrente elétrica no subsolo, através de dois eletrodos de corrente A e B (fixos), e recebê-la, através de dois eletrodos de potencial M e N (móveis), a diferença de potencial. À medida que o par de eletrodos de potencial, se movimentam, alternando-se a cada leitura um fixo e o outro móvel, a avaliação se estabelece ate alcançar horizontalmente o limite desejado. Deve-se observar que a distancia entre os pares de eletrodos é sempre igual no arranjo Dipolo-Dipolo, ilustrado na figura 5. Os equipamentos utilizados no

estudo foram um Resistivímetro Tectrol Modelo TDC 1000/12R2A – 1000w, um multivoltímetro Tectrol Modelo TDC 1000/12R2A além de um GPS Garmin modelo G72.

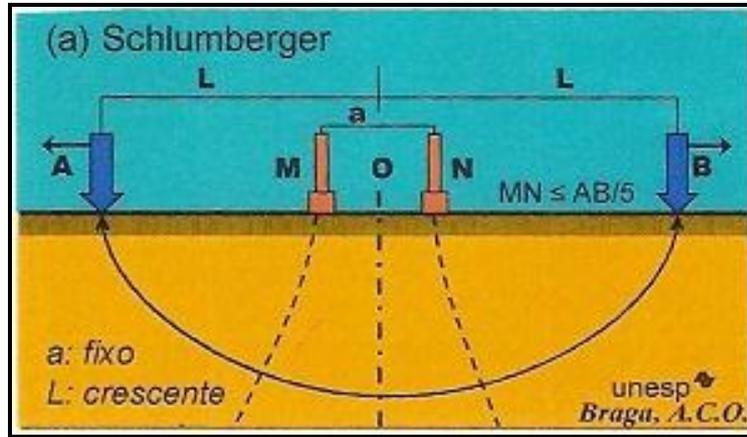


Figura 4 - Disposição dos eletrodos no campo para execução de SEV através do arranjo Schlumberger (Braga, 2009).

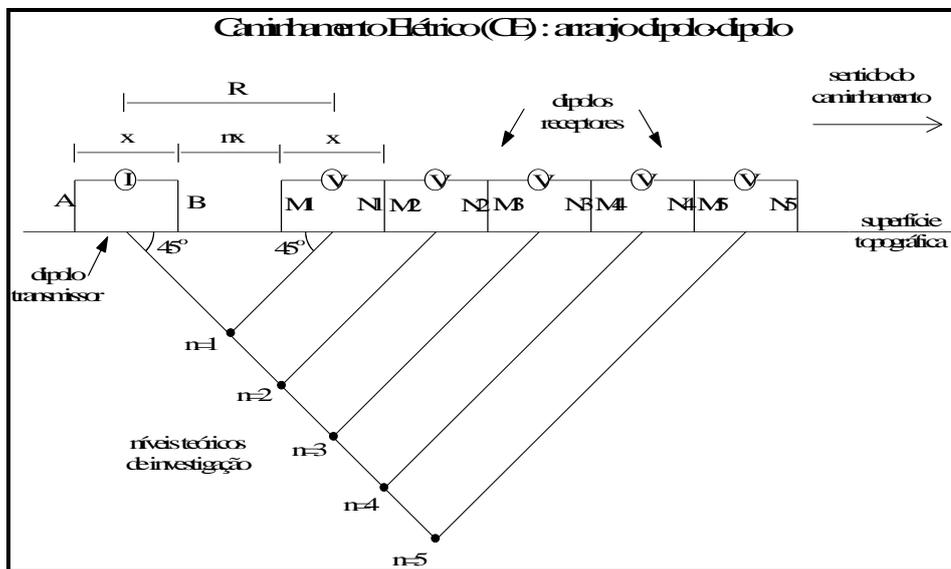


Figura 5 - Disposição dos eletrodos no campo para CE com arranjo dipolo-dipolo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análise dos parâmetros hidráulicos do aquífero

As principais propriedades hidráulicas do aquífero Rio Branco foram obtidas por intermédio da interpretação dos testes de bombeamento através do método de Cooper e Jacob (1946), realizados em poços tubulares rasos de empresas de captação na Estrada do Amapá (Foto 1), na via Chico Mendes e na vila Amizade (Foto 2); cujas coordenadas UTM, localização e da profundidade se encontram na tabela 10. Os testes foram realizados no mês de julho de 2008, correspondendo ao verão na região amazônica, quando o nível do lençol freático se encontra mais profundo.

Tabela 10 – Localização, coordenadas UTM e profundidade dos poços onde foram executados os testes de bombeamento.

Localização	UTM_E	UTM_N	Profundidade (m)
AC-01	631459	8893396	9,5
Estrada do Amapá	630424	8892914	9,5
Vila da Amizade	631116	8891155	12

O teste de aquífero foi realizado somente na via Chico Mendes, onde havia um poço de monitoramento para acompanhar a cunha de rebaixamento do lençol freático; enquanto que, nos demais poços, o nível dinâmico foi acompanhado no mesmo poço onde o bombeamento foi realizado, caracterizando o teste de poço.

A tabela 11 apresenta as principais propriedades físicas do aquífero obtidas a partir dos testes de bombeamento desenvolvidos.

Tabela 11 – Principais propriedades físicas do aquífero Rio Branco e sistemas de bombeamento utilizados.

Poço	Localização	Bomba	NE (m)	ND (m)	ΔH (m)	Q (m ³ /h)	q (m ³ /h/m)
1	AC-01	WEG 3/4 cv	4,6	4,85	0,24	4,8	19,59
2	Estrada do Amapá	Schneider 3.0 cv	4,2	8,07	3,87	4,77	1,23
3	Vila da Amizade	WEG 5.0 cv	4,13	7,58	3,45	11,43	3,31

Onde:

NE = Nível Estático;

ND = Nível Dinâmico;

Q = Vazão final de bombeamento;

q = Capacidade específica.



Foto 1 – Execução de teste de bombeamento na empresa de captação KM Mastub, na estrada do Amapá.

Foto 2 – Execução de teste de bombeamento na empresa de captação Engenhacre, na vila da Amizade.

Posteriormente, de posse dos parâmetros rebaixamento, medido em metros, e, tempo, medido em minutos, foram calculados os parâmetros hidráulicos como Transmissividade, Coeficiente de Armazenamento e Condutividade Hidráulica do aquífero Rio Branco, por intermédio do método de Cooper & Jacob (1946). A tabela 12 apresenta os parâmetros hidráulicos obtidos nos testes de bombeamento executados.

Tabela 12 – Parâmetros hidráulicos do aquífero Rio Branco.

Poço	Localização	T (m ² /dia)	S _c	k (m/dia)
1	AC-01	213,2	7,66 x 10 ⁻¹	42,64
2	Estrada do Amapá	33,51	5,6 x 10 ⁻³	6,7
3	Vila da Amizade	22,18	3,7 x 10 ⁻³	4,43

Sendo:

T = Transmissividade;

S_c = Coeficiente de armazenamento;

k = Condutividade hidráulica.

De acordo com os dados apresentados nas tabelas 11 e 12, as vazões finais de bombeamento variaram entre 4,7 m³/h e 11,3 m³/h, obtidas com bombas injetoras de 3.0 cv e 5.0 cv, respectivamente. A capacidade específica, por sua vez, apresentou valores entre 1,23 m³/h/m e 19,59 m³/h/m. A transmissividade variou entre 22,18 m²/dia e 213,2 m²/dia, assim como o coeficiente de armazenamento e a condutividade hidráulica variaram entre 3,7 x 10⁻³ a 7,66 x 10⁻¹ e 6,7 m/dia a 42,64 m/dia, respectivamente. Os gráficos das figuras 6 a 8 apresentam a relação rebaixamento *versus* tempo obtidas durante os testes de bombeamento realizados no presente estudo.

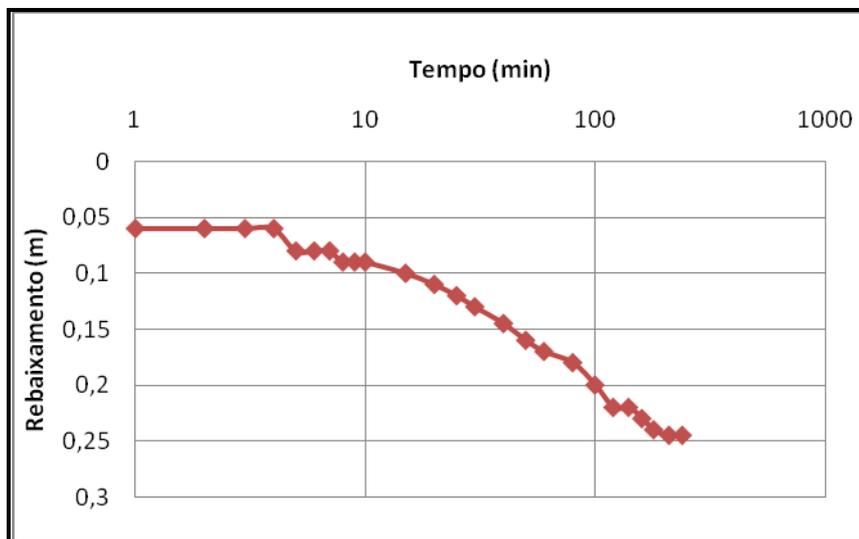


Figura 6 – Gráfico rebaixamento *versus* tempo obtido a partir do teste de bombeamento executado na empresa de captação Dênio KV Martins ME, localizado na AC-01.

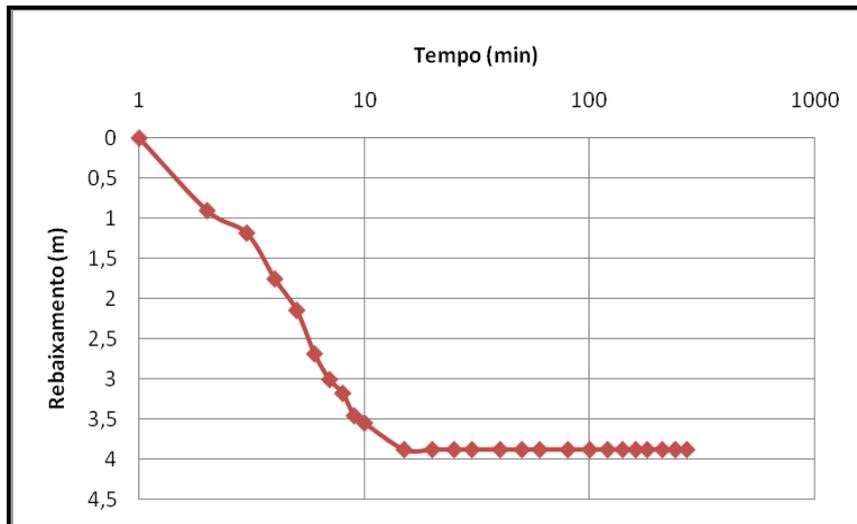


Figura 7 – Gráfico rebaixamento *versus* tempo obtido a partir do teste de bombeamento executado na empresa de captação KM Mastub, localizado na estrada do Amapá.

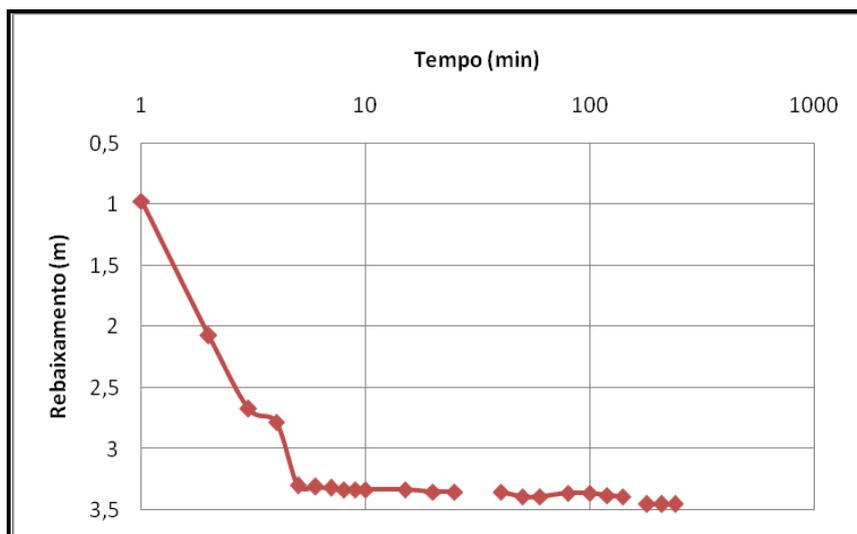


Figura 8 – Gráfico rebaixamento *versus* tempo obtido a partir do teste de bombeamento executado na empresa de captação Engenhacre, localizado na vila da Amizade.

Os principais parâmetros de uma aquífero para se identificar sua real capacidade de produção, são sua capacidade específica e a sua transmissividade. A capacidade específica (q) é a relação entre a vazão, em m^3/h , de um poço e o rebaixamento do nível d'água em metros. Este conceito é a melhor forma de se comparar a produtividade de aquíferos distintos. Um bom aquífero apresenta q média de $3 m^3/h/m$, enquanto que, aquíferos mais pobres apresentam q média de

0,5 m³/h/m, ou menos (Fetter, 2001). A transmissividade é definida como a descarga através de uma faixa vertical de largura unitária e espessura igual à da camada saturada, sob um gradiente hidráulico unitário, expressando o produto da condutividade hidráulica (k) pela espessura saturada do aquífero livre ou espessura total do aquífero confinado (b). O coeficiente de transmissividade varia de < 0,5 m²/h a mais de 500 m²/h. Um aquífero no qual T < 0,5 m²/h tem capacidade para abastecer, via de regra, apenas as necessidades de residências isoladas; quando este valor for superior a 5 m²/h ou 120 m²/dia, o aquífero poderá servir para abastecimento público, industrial e para projetos de irrigação de grande porte (Tancredi, 1996; Souza, 2000).

Em ambientes geológicos similares ao do mapeado em Rio Branco, para aquíferos constituídos por sedimentos inconsolidados, como é o caso do aquífero Açú, na borda leste da bacia potiguar, foram identificados valores de capacidade específica na ordem de 0,08 m³/h/m a 23,2 m³/h/m; enquanto a transmissividade foi estabelecida entre 1,23 m²/dia a 224 m²/dia (Melo *et al.*, 2007). No aquífero Bauru, composto por arenitos e conglomerados em sua porção basal na região de Araguari, Estado de Minas Gerais, foram identificados valores médios de 1,3 m³/h/m para a capacidade específica e 82,94 m²/dia para a transmissividade (Oliveira e Campos, 2004).

Considerando-se, portanto, os valores de Transmissividade (T) de 120 m²/dia e da capacidade específica (q) de 3 m³/h/m como ideais para que um aquífero possa ser explorado para o abastecimento público, objetivo principal do presente estudo; foram concebidos os gráficos com os valores de transmissividade e da capacidade específica obtidos neste estudo, no estudo hidrogeológico inicial de Rio Branco (T1 a T4) e nos aquíferos Açú e Bauru para fins de comparação, divididos pelos Fatores Tancredi, de 120 (m²/dia) e “q ideal” de 3 (m³/h/m) (aqui denominados); com o objetivo de caracterizar a potencialidade do ARB.

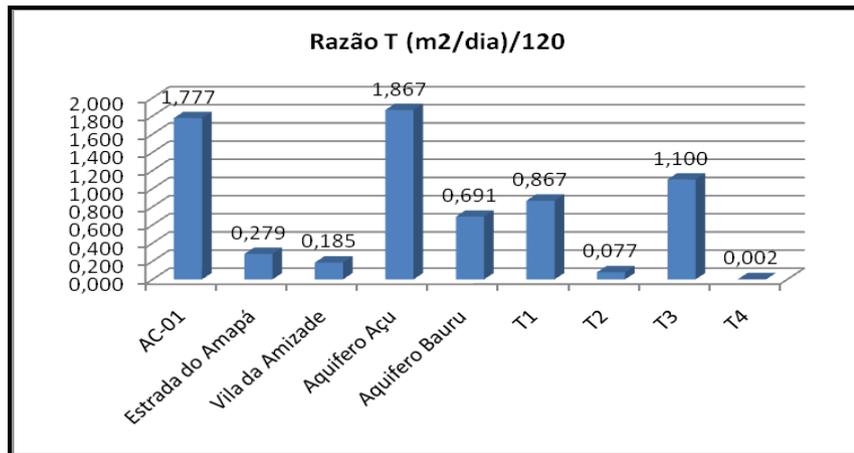


Figura 9 – Razões Transmissividade pelo fator Tancredi obtidas para os ensaios de bombeamento do presente estudo, da avaliação hidrogeológica inicial de Rio Branco e dos aquíferos Açú e Bauru.

De acordo com os valores observados no gráfico da figura 9, os ensaios de bombeamento realizados na AC-01, no T3 e no aquífero Açú superaram o fator Tancredi de 120 m²/dia. Enquanto que, os ensaios do Aquífero Bauru e do T1 atingiram 69% e 86% deste fator, respectivamente.

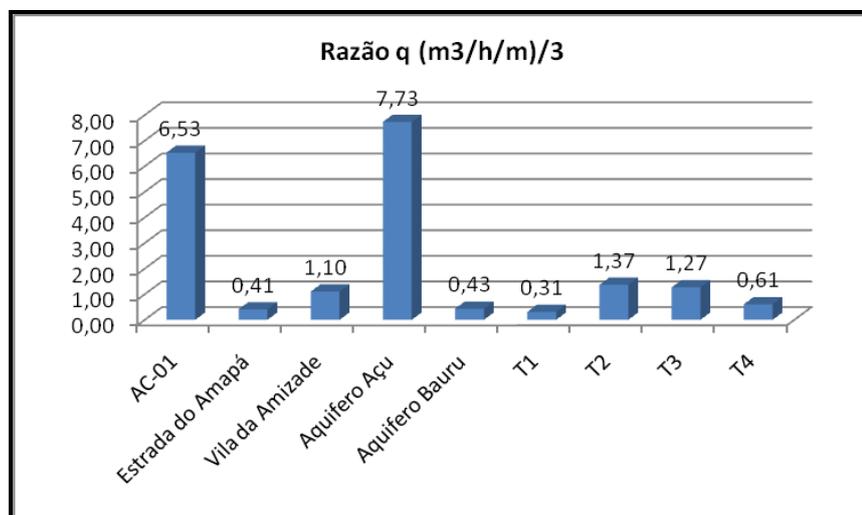


Figura 10 – Razões capacidade específica (q) pelo índice 3 (m³/h/m), ideal para abastecimento público do presente estudo, da avaliação hidrogeológica inicial de Rio Branco e dos aquíferos Açú e Bauru.

No gráfico da figura 10, por sua vez, os valores obtidos para o índice q/3 que superaram a razão 1, foram identificados nos testes realizados na AC-01, na vila Amizade, no T2 e no T3; assim como no aquífero Açú, na bacia Potiguar.

4.2 Condutividade hidráulica da zona não saturada

Os sedimentos constituintes da zona vadosa ou zona não saturada, de um aquífero livre ou em um aquífero confinado drenante, são a primeira barreira natural contra uma carga contaminante imposta em superfície até esta atingir a zona saturada. Daí a importância em se conhecer a condutividade hidráulica vertical (k_v) dos sedimentos constituintes desta camada, uma vez que, quanto menor os índices identificados para este parâmetro, menor será a vulnerabilidade natural das águas subterrâneas à contaminação.

Para se determinar a condutividade hidráulica vertical (k_v) dos sedimentos que compõem a zona vadosa do aquífero Rio Branco foram realizados ensaios de rebaixamento, de acordo com a metodologia apresentada pela ABGE (1996) e ilustrada na foto 3. Foram executados treze testes de infiltração distribuídos espacialmente no 2º Distrito (Figura 11), cujos valores de k_v variaram entre os índices 10^{-3} cm/s a 10^{-5} cm/s, conforme apresentado na tabela 13.



Foto 3 – Execução de teste de infiltração nos sedimentos constituintes da zona vadosa do aquífero Rio Branco, de acordo com a metodologia proposta pela ABGE (1996).

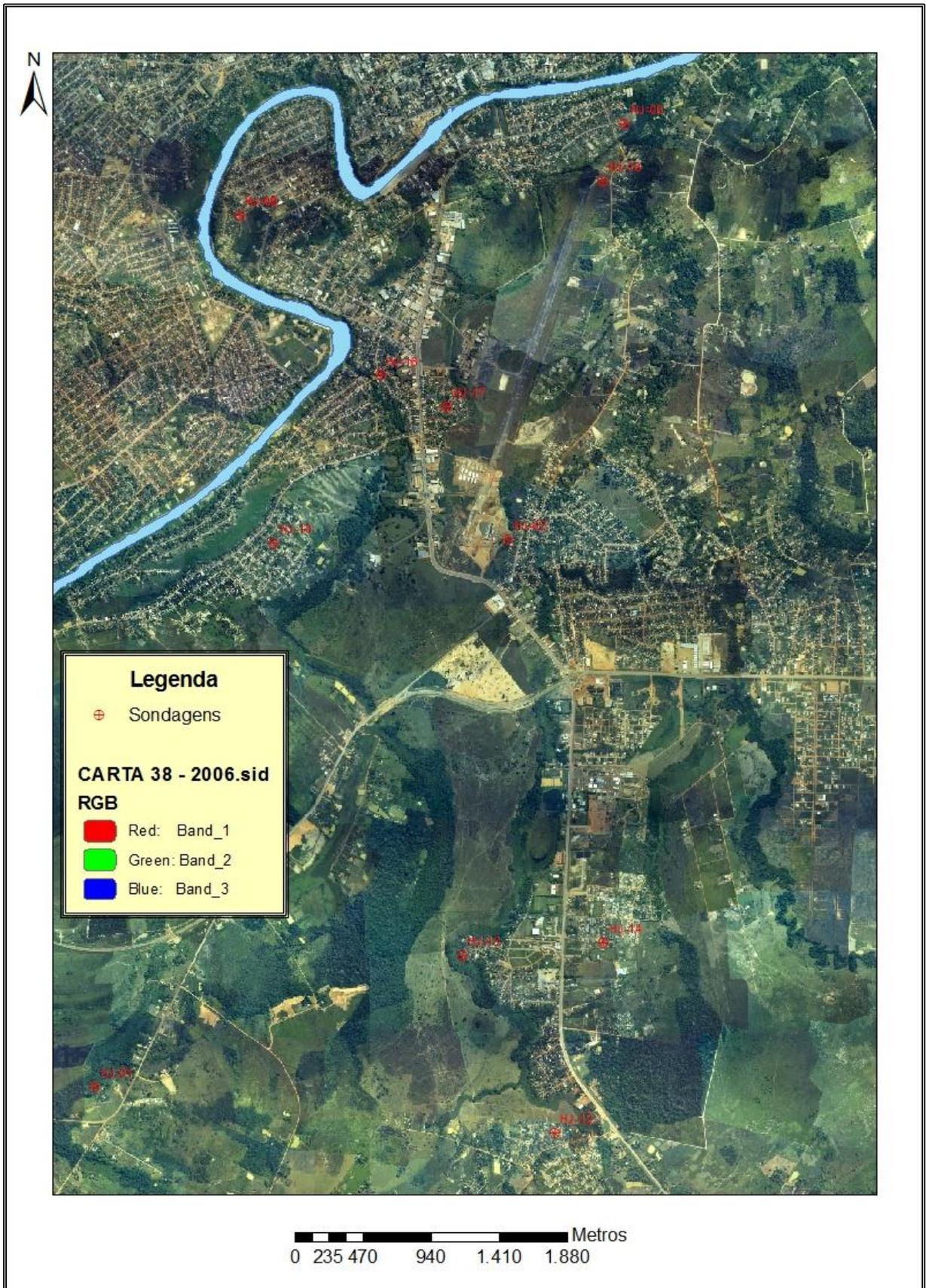


Figura 11 – Localização das sondagens onde foram realizados os testes de infiltração no 2º Distrito de Rio Branco.

Tabela 13 – Valores da condutividade hidráulica vertical (k_v) obtidos nos testes de infiltração realizados no 2º Distrito de Rio Branco.

Sondagem	Bairro	UTM_E	UTM_N	k (cm/s)	k (m/dia)
HJ-01	Estrada do Amapá	628495	8890246	0,0000795	0,06
HJ-02	Areial	631340	8894045	0,000069	0,057
HJ-08	06 de Agosto	632142	8896930	0,0000603	0,05
HJ-09	Cidade Nova	629491	8896294	0,0000543	0,047
HJ-10	Taquari	629726	8894020	0,0000463	0,039
HJ-11	Loteamento Amapá	627988	8893289	0,000187	0,16
HJ-12	Vila Acre	631660	8889928	0,00129	1,11
HJ-13	Vila Amizade	631025	8891159	0,000101	0,087
HJ-14	Santa Helena	632000	8891247	0,00113	0,97
HJ-15	Anel Viário	626982	8893139	0,000105	0,09
HJ-16	Triângulo Velho	630461	8895185	0,000102	0,08
HJ-17	Comara	630917	8894968	0,0000521	0,04
HJ-18	Santa Terezinha	631988	8896531	0,000121	0,1

Através de análise táctil visual, realizada durante as coletas das amostras, anteriormente à execução dos ensaios de infiltração, os sedimentos identificados como constituintes da zona vadosa no 2º Distrito de Rio Branco são predominantemente argilosos, argilo arenosos e argilo siltosos, com alguns níveis de argila cinza, rica em matéria orgânica e areia fina. Os valores de condutividade hidráulica proposta por Fetter (2001) para diversos materiais geológicos apresentada na tabela 1 confirmam os tipos de sedimentos identificados para o aquífero Rio Branco; uma vez que, os índices entre 10^{-3} cm/s a 10^{-5} cm/s compreendem classes granulométricas que vão de silte arenoso a argila arenosa.

Os perfis dos sedimentos obtidos nos treze testes de infiltração realizados são apresentados nas figuras 12 a 18.

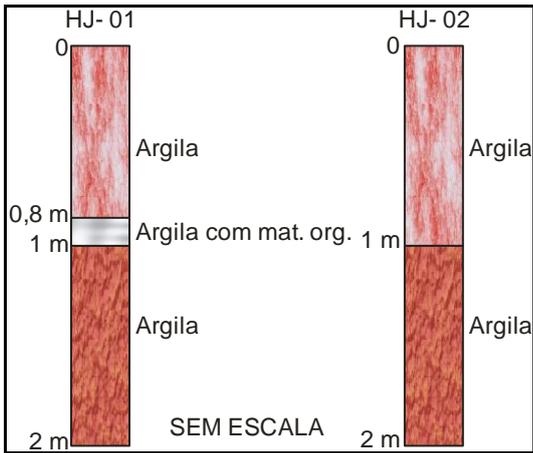


Figura 12 – Perfis das sondagens HJ-01 e HJ-02.

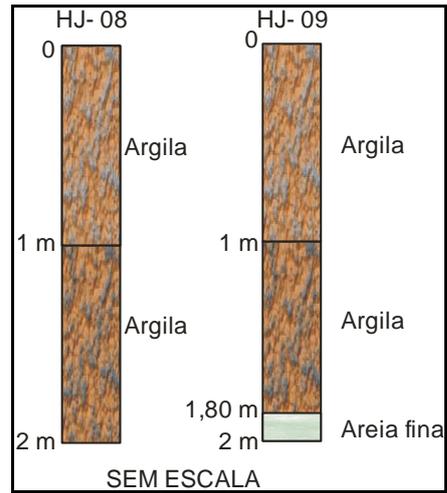


Figura 13 – Perfis das sondagens HJ-08 e HJ-09.

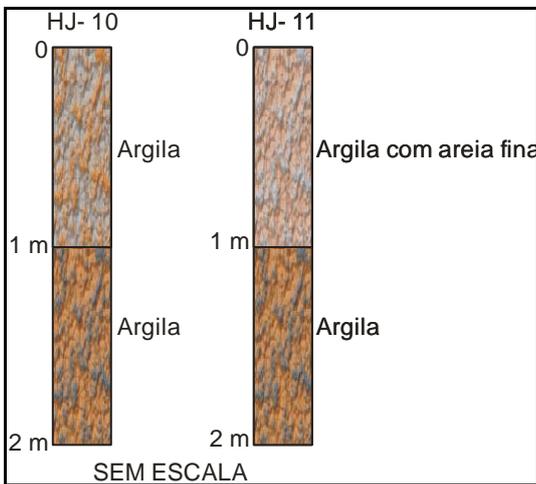


Figura 14 – Perfis das sondagens HJ-10 e HJ-11.

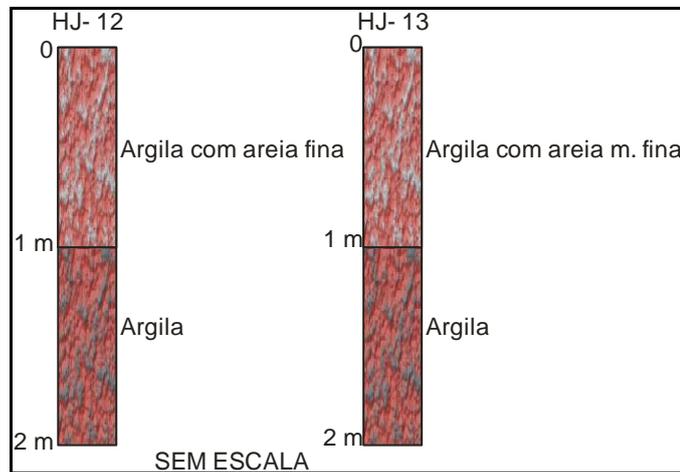


Figura 15 – Perfis das sondagens HJ-12 e HJ-13.

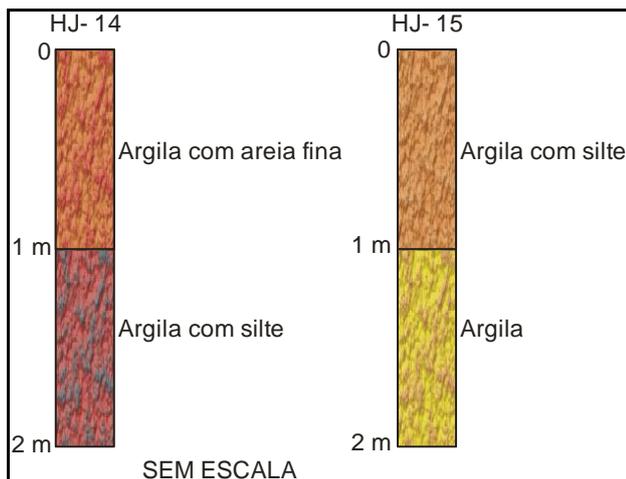


Figura 16 – Perfis das sondagens HJ-14 e HJ-15.

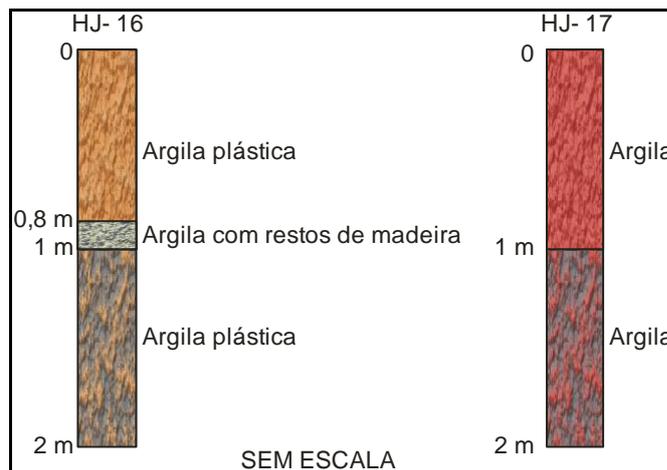


Figura 17 – Perfis das sondagens HJ-16 e HJ-17.

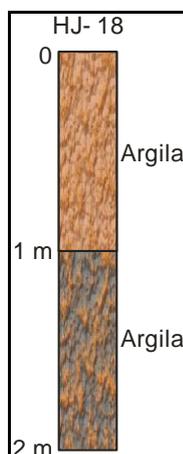


Figura 18 – Perfil da sondagem HJ-18.

4.3 Mapeamento da vulnerabilidade natural das águas subterrâneas

O mapeamento da vulnerabilidade natural das águas subterrâneas no presente estudo foi desenvolvido de acordo com o método DRASTIC, idealizado por Aller *et al.* (1987) e detalhado no item 3.3. De acordo com o método, os parâmetros analisados para determinar a vulnerabilidade do aquífero são: a) profundidade do nível estático (índice D), b) recarga do aquífero (índice R), c) tipo de sedimentos que constituem o aquífero (índice A), d) tipos de solo que se sobrepõem ao aquífero (índice S), e) topografia local (índice T), f) litotipos que constituem a zona vadosa (índice I) e, g) condutividade hidráulica da zona vadosa (índice C). Desta forma, se

apresenta em seguida todos os parâmetros utilizados pelo método DRASTIC e como estes foram obtidos na área de estudo.

4.3.1 Profundidade do nível estático

A profundidade do nível estático, correspondente ao índice D do método DRASTIC foi obtida na área de estudo através de medições diretas em quarenta e três poços tubulares e cacimbas, investigados em diversos bairros do 2º Distrito de Rio Branco; além dos dados de sondagens a trado realizadas para determinar a condutividade hidráulica da zona não saturada (índice C), somando um total de sessenta e um pontos amostrados. Nestes últimos, os valores do nível estático foram inferidos, pois cada ponto se encontrava intermediário aos poços investigados, permitindo desta forma, uma previsão do nível do lençol freático com bastante acurácia. A tabela 14 apresenta as coordenadas UTM assim como os índices DRASTIC obtidos para cada ponto avaliado. A figura 19 por sua vez, ilustra a localização dos pontos onde a investigação do nível estático foi realizada.

Tabela 14 – Localização dos pontos de amostragem e valores dos índices D obtidos para a área de estudo.

Ponto	UTM_N	UTM_E	NE (m)	Índices Dc	Peso	Índices D
9	8893894	632009	1.54	10	5	50
3	8893778	631529	1.76	9	5	45
10	8894698	630224	1.90	9	5	45
7	8893840	631476	1.96	9	5	45
34	8892558	633660	2.10	9	5	45
2	8893794	631433	2.20	9	5	45
17	8893200	629109	2.31	9	5	45
5	8893952	631409	2.48	9	5	45
33	8892674	633532	2.56	9	5	45
19	8894534	630096	2.68	9	5	45
30	8891392	632000	2.90	9	5	45
42	8892642	633906	3.07	9	5	45
18	8893894	629615	3.10	9	5	45
1	8893824	631410	3.13	9	5	45
6	8894170	631501	3.21	9	5	45
25	8891510	631478	3.22	9	5	45
26	8890204	631570	3.36	9	5	45
28	8890482	631605	3.50	9	5	45
16	8893412	628875	3.55	9	5	45

15	8893668	628392	3.78	9	5	45
21	8890846	631436	3.80	9	5	45
29	8891116	631866	3.83	9	5	45
20	8890952	631344	4.09	9	5	45
4	8893700	631382	4.32	9	5	45
8	8894160	631802	4.39	9	5	45
36	8892194	633478	4.62	7	5	35
22	8890992	631455	4.64	7	5	35
43	8889160	632538	4.79	7	5	35
11	8894800	630020	4.80	7	5	35
23	8891060	631421	4.81	7	5	35
35	8892414	633406	4.82	7	5	35
14	8894078	629084	4.86	7	5	35
27	8890344	631613	4.98	7	5	35
32	8892984	633380	4.98	7	5	35
24	8891302	631363	5.34	7	5	35
13	8894420	629477	5.50	7	5	35
38	8896606	629778	5.6	7	5	35
41	8893532	633265	5.6	7	5	35
31	8892824	633359	5.67	7	5	35
39	8895790	629618	6.24	7	5	35
12	8894632	629694	6.55	7	5	35
40	8893412	634589	6.63	7	5	35
37	8896880	629661	9.37	5	5	25
HJ-01	8891069	628485		7	5	35
HJ-02	8894039	631334		7	5	35
HJ-03	8893938	631955		7	5	35
HJ-04	8893469	631831		7	5	35
HJ-05	8892480	633259		9	5	45
HJ-06	8893445	633335		7	5	35
HJ-07	8894322	633804		9	5	45
HJ-08	8896905	632133		9	5	45
HJ-09	8896291	629487		9	5	45
HJ-10	8894017	629714		9	5	45
HJ-11	8893274	627985		9	5	45
HJ-12	8889903	631648		9	5	45
HJ-13	8891131	631019		9	5	45
HJ-14	8891226	631984		9	5	45
HJ-15	8893108	626961		10	5	50
HJ-16	8895176	630434		9	5	45
HJ-17	8894953	630905		9	5	45
HJ-18	8896500	631976		9	5	45



Figura 19 – Mapa de localização dos poços onde foram tomadas as medidas de nível estático e das sondagens a trado no 2º Distrito de Rio Branco.

De acordo com a tabela 14, os valores do nível estático variaram durante o período chuvoso do ano de 2008 entre 1,54 metros no poço 09, localizado na travessa São Bento do bairro Mauri Sérgio e 9,37 metros no poço 37, situado na rua Barra do Sol na Cidade Nova. O valor médio obtido para o nível estático foi de 4,06 metros sendo que, os índices D_c atribuídos foram: $D_c = 5$ para valores de Nível Estático superiores a 9 metros de profundidade; $D_c = 7$ para valores de Nível Estático entre 9 metros e 4,5 metros de profundidade; $D_c = 9$ para valores de Nível Estático entre 4, 5 metros e 1,6 metros e; $D_c = 10$ para valores de Nível Estático inferiores a 1,6 metros de profundidade. Estes valores multiplicados pelo peso do parâmetro D conferiram aos índices D valores iguais a 25, 35, 45 e 50, conforme podem ser ilustrados na figura 20.

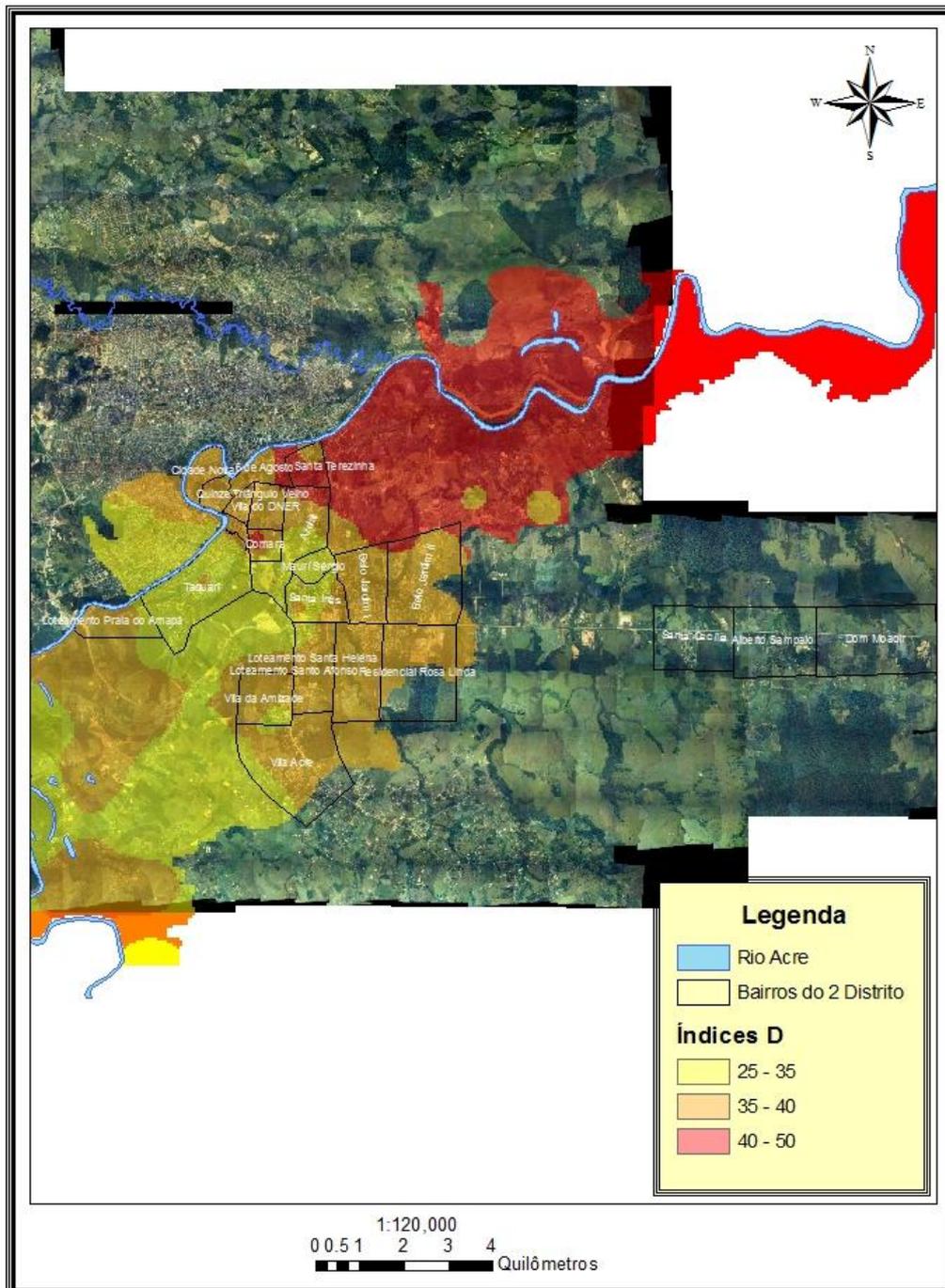


Figura 20 – Mapa com os índices D obtidos para o nível da água subterrânea através do modelo DRASTIC (Aller *et al.*, 1987).

4.3.2 Recarga

Para estimar a recarga do aquífero Rio Branco foram utilizados dados climatológicos disponíveis entre os anos de 1971 a 2000 (Duarte, 2006). Estes dados foram interpretados por intermédio de uma planilha Excel (Microsoft Office) desenvolvida pelo Departamento de Física e Meteorologia da ESALQ – USP, com o objetivo de se obter todos os elementos do balanço hídrico local. A tabela 15 apresenta os valores utilizados das precipitações e das temperaturas médias mensais para o cálculo do balanço hídrico, que também estão ilustrados nas figuras 21 e 22.

Tabela 15 – Valores de precipitações e temperaturas médias mensais entre os anos de 1971 a 2000 (Duarte, 2006), utilizados para o cálculo do balanço hídrico local através do método de Thornthwaithe e Matter (1955).

	1971 – 2000											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Precipitações Médias Mensais (mm)	293	301	252	182	93	33	43	50	104	154	204	249
Temperatura (C)	25.8	25.7	25.8	25.6	24.9	23.7	23.7	24.8	25.6	26.3	26.0	25.9

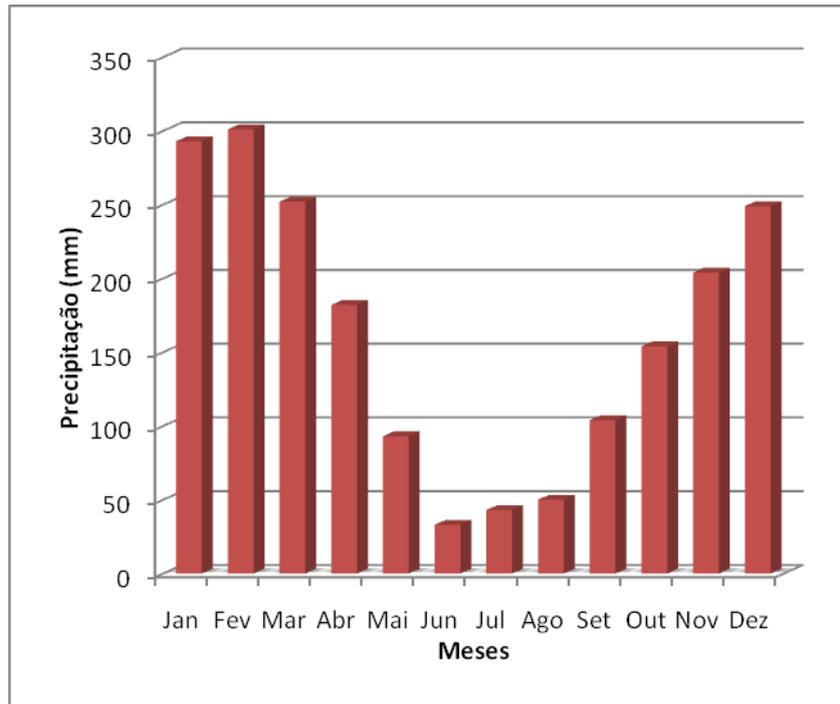


Figura 21 – Valores de precipitações médias mensais medidas entre os anos de 1971 a 2000 em Rio Branco (Duarte, 2006) e utilizadas para o cálculo do balanço hídrico local.

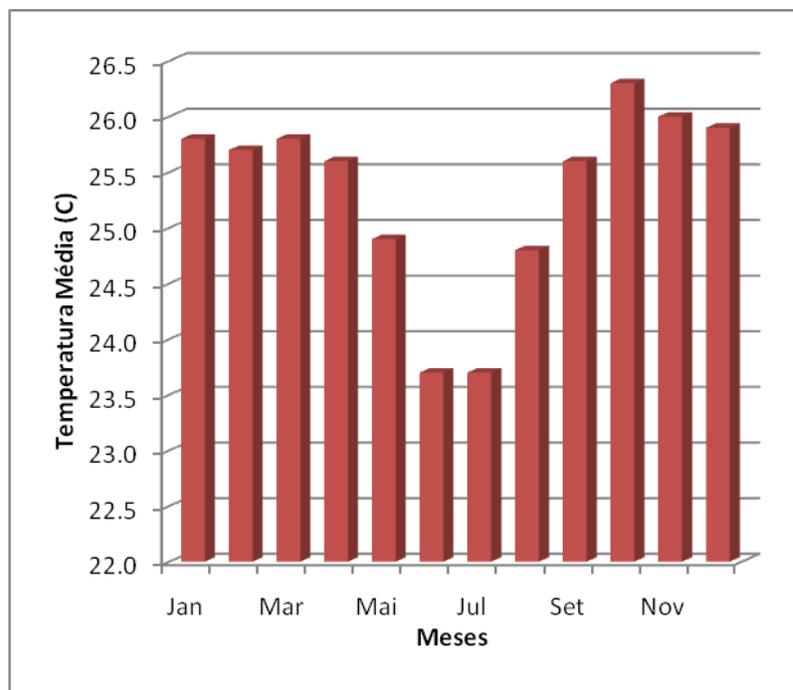


Figura 22 – Valores de temperaturas médias mensais medidas entre os anos de 1971 a 2000 em Rio Branco (Duarte, 2006) e utilizadas para o cálculo do balanço hídrico local.

De acordo com a tabela 16, que apresenta todos os elementos do balanço hídrico local, a taxa de infiltração direta no solo corresponde ao valor de precipitação (P) subtraída a evapotranspiração real (ETR).

Tabela 16 – Elementos do balanço hídrico de Rio Branco obtidos a partir dos valores de precipitação e temperatura (Duarte, 2006).

Meses	T(°C)	P (mm)	ETP	P-ETP (mm)	NEG-AC	ARM (mm)	ALT (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Jan	25.8	293.0	125.29	167.7	0.0	100.00	0.00	125.3	0.0	167.7
Fev	25.7	301.0	115.24	185.8	0.0	100.00	0.00	115.2	0.0	185.8
Mar	25.8	252.0	128.90	123.1	0.0	100.00	0.00	128.9	0.0	123.1
Abr	25.6	182.0	121.13	60.9	0.0	100.00	0.00	121.1	0.0	60.9
Mai	24.9	93.0	113.78	-20.8	-20.8	81.24	-18.76	111.8	2.0	0.0
Jun	23.7	33.0	93.22	-60.2	-81.0	44.49	-36.75	69.8	23.5	0.0
Jul	23.7	43.0	96.28	-53.3	-134.3	26.11	-18.38	61.4	34.9	0.0
Ago	24.8	50.0	112.14	-62.1	-196.4	14.03	-12.09	62.1	50.1	0.0
Set	25.6	104.0	120.97	-17.0	-213.4	11.84	-2.19	106.2	14.8	0.0
Out	26.3	154.0	137.20	16.8	-125.1	28.64	16.80	137.2	0.0	0.0
Nov	25.0	204.0	112.55	91.5	0.0	100.00	71.36	112.5	0.0	20.1
Dez	25.9	249.0	131.10	117.9	0.0	100.00	0.00	131.1	0.0	117.9
TOTAIS	302.8	1958.0	1407.80	550.2		806	0.00	1282.6	125.2	675.4
MÉDIAS	25.2	163.2	117.32	45.8		67.2		106.9	10.4	56.3

Desta forma, a recarga do aquífero Rio Branco pôde ser obtida através da equação:

$$I = P - ETR \quad (16)$$

Assim, $I = 1958 - 1282,6$

$$I = 675,4 \text{ mm}$$

Desta forma, a recarga calculada para o aquífero Rio Branco equivale a 34,5% da precipitação média anual entre os anos de 1971 a 2000. Como a área de ocorrência do aquífero possui dimensões de apenas 122 km², aproximadamente; se deve considerar a taxa de recarga homogênea em toda sua extensão. Foi verificado ainda que a cidade de Rio Branco sofre um regime de déficit hídrico durante os

meses de maio a outubro, caracterizando o período de estiagem na região, como pode ser observado na figura 23.

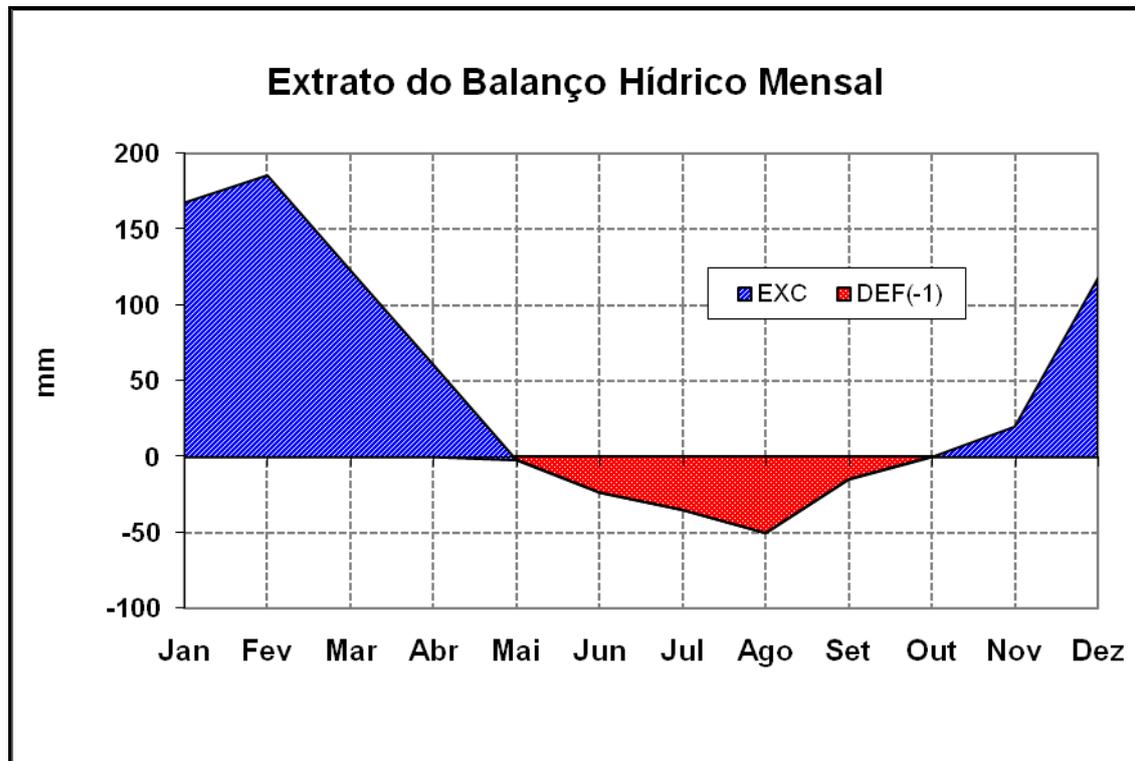


Figura 23 – Extrato do balanço hídrico mensal entre os anos de 1971 a 2000 na cidade de Rio Branco (Duarte, 2006).

Com base nos dados de infiltração e a base cartográfica municipal utilizada, foi possível gerar o mapa de recarga do aquífero Rio Branco, apresentado na figura 24.

4.3.3 – Meio Aquífero

O meio aquífero (Índice A) corresponde ao aquífero em si, ou seja, onde a água subterrânea está armazenada, sendo que, esta é retida nos espaços porosos de sedimentos e rochas clásticas, assim como nas fraturas e dissoluções de rochas ígneas ou metamórficas. No caso do aquífero Rio Branco, o índice A da classificação de Aller *et al.* (1987) é composto quase que exclusivamente por areia fina, sendo identificado raramente nas sondagens realizadas, um pequeno teor de material silto-argiloso na região centro-leste do bairro 6 de Agosto, centro norte do bairro areal e cerca de 75% da área do bairro Santa Terezinha. Desta forma, os valores do índice A do método DRASTIC variaram entre 24 (95% das amostras) e 27 (5% das amostras), como pode ser observado na Tabela 17

Tabela 17 – Localização dos pontos de amostragem e valores dos índices A obtidos para a área de estudo.

Ponto	UTM_N	UTM_E	Tipo de Sedimentos	Índice Ac	Peso	Índice I
HJ-01	8887405	628485	Areia fina silto arenosa	9	3	27
HJ-02	8890436	631334	Areia fina	8	3	24
HJ-03	8890347	631955	Areia fina	8	3	24
HJ-04	8889873	631831	Areia fina	8	3	24
HJ-05	8888908	633259	Areia fina	8	3	24
HJ-06	8889877	633335	Areia fina	8	3	24
HJ-07	8890765	633804	Areia fina	8	3	24
HJ-08	8893326	632133	Areia fina	8	3	24
HJ-09	8892662	629487	Areia fina	8	3	24
HJ-10	8890385	629714	Areia fina	8	3	24
HJ-11	8889607	627985	Areia fina	8	3	24
HJ-12	8886293	631648	Areia fina	8	3	24
HJ-13	8887514	631019	Areia fina	8	3	24
HJ-14	8887626	631984	Areia fina	8	3	24
HJ-15	8889423	626961	Areia fina	8	3	24
HJ-16	8891560	630434	Areia fina	8	3	24
HJ-17	8891345	630905	Areia fina	8	3	24
HJ-18	8892917	631976	Areia fina	8	3	24
1	8893824	631410	Areia fina	8	3	24
2	8893794	631433	Areia fina	8	3	24
3	8893778	631529	Areia fina	8	3	24
4	8893700	631382	Areia fina	8	3	24
5	8893952	631409	Areia fina	8	3	24
6	8894170	631501	Areia fina	8	3	24
7	8893840	631476	Areia fina	8	3	24

8	8894160	631802	Areia fina	8	3	24
9	8893894	632009	Areia fina	8	3	24
10	8894698	630224	Areia fina	8	3	24
11	8894800	630020	Areia fina	8	3	24
12	8894632	629694	Areia fina	8	3	24
13	8894420	629477	Areia fina	8	3	24
14	8894078	629084	Areia fina	8	3	24
15	8893668	628392	Areia fina	8	3	24
16	8893412	628875	Areia fina	8	3	24
17	8893200	629109	Areia fina	8	3	24
18	8893894	629615	Areia fina	8	3	24
19	8894534	630096	Areia fina	8	3	24
20	8890952	631344	Areia fina	8	3	24
21	8890846	631436	Areia fina	8	3	24
22	8890992	631455	Areia fina	8	3	24
23	8891060	631421	Areia fina	8	3	24
24	8891302	631363	Areia fina	8	3	24
25	8891510	631478	Areia fina	8	3	24
26	8890204	631570	Areia fina	8	3	24
27	8890344	631613	Areia fina	8	3	24
28	8890482	631605	Areia fina	8	3	24
29	8891116	631866	Areia fina	8	3	24
30	8891392	632000	Areia fina	8	3	24
31	8892824	633359	Areia fina	8	3	24
32	8892984	633380	Areia fina	8	3	24
33	8892674	633532	Areia fina	8	3	24
34	8892558	633660	Areia fina	8	3	24
35	8892414	633406	Areia fina	8	3	24
36	8892194	633478	Areia fina	8	3	24
37	8896880	629661	Areia fina	8	3	24
38	8896606	629778	Areia fina	8	3	24
39	8895790	629618	Areia fina	8	3	24
40	8893412	634589	Areia fina	8	3	24
41	8893532	633265	Areia fina	8	3	24
42	8892642	633906	Areia fina	8	3	24
43	8889160	632538	Areia fina silto arenosa	9	3	27

O mapa da figura 25 apresenta a distribuição espacial dos valores do índice A na área de ocorrência do aquífero Rio Branco, no 2º Distrito da capital.

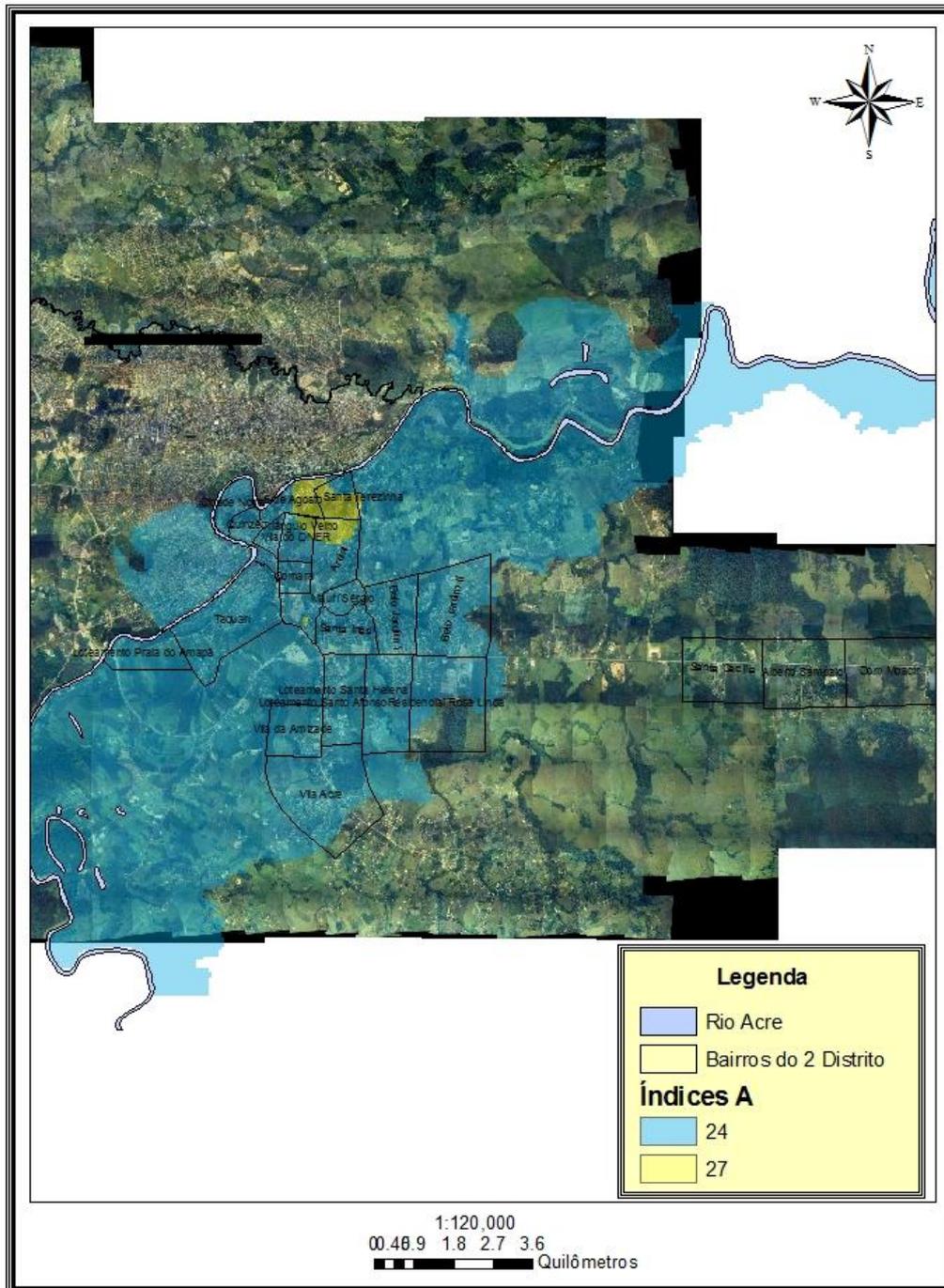


Figura 25 - Mapa com os Índices A obtidos para o meio aquífero através do modelo DRASTIC (Aller *et al.*, 1987).

4.3.4 Solo

Os valores do índice S, definidos por Aller *et al.* (1987), variaram na área estudada entre 2, 4 e 6; sendo característicos de argila, argila siltosa e argila arenosa, conforme apresentado na tabela 18. A figura 26 por sua vez apresenta a distribuição geográfica do índice S no 2º Distrito de Rio Branco.

Tabela 18 – Localização dos pontos de amostragem e valores dos índices S obtidos para a área de estudo.

Ponto	UTM_N	UTM_E	Tipo de Solos	Índice Sc	Peso	Índice S
HJ-01	8887405	628485	Argila	1	2	2
HJ-02	8890436	631334	Argila	1	2	2
HJ-03	8890347	631955	Argila	1	2	2
HJ-06	8889877	633335	Argila	1	2	2
HJ-08	8893326	632133	Argila	1	2	2
HJ-10	8890385	629714	Argila	1	2	2
HJ-16	8891560	630434	Argila	1	2	2
HJ-17	8891345	630905	Argila	1	2	2
1	8893824	631410	Argila	1	2	2
2	8893794	631433	Argila	1	2	2
3	8893778	631529	Argila	1	2	2
4	8893700	631382	Argila	1	2	2
5	8893952	631409	Argila	1	2	2
6	8894170	631501	Argila	1	2	2
7	8893840	631476	Argila	1	2	2
8	8894160	631802	Argila	1	2	2
9	8893894	632009	Argila	1	2	2
10	8894698	630224	Argila	1	2	2
11	8894800	630020	Argila	1	2	2
12	8894632	629694	Argila	1	2	2
13	8894420	629477	Argila	1	2	2
14	8894078	629084	Argila	1	2	2
17	8893200	629109	Argila	1	2	2
18	8893894	629615	Argila	1	2	2
19	8894534	630096	Argila	1	2	2
32	8892984	633380	Argila	1	2	2
41	8893532	633265	Argila	1	2	2
HJ-15	8889423	626961	Argila siltosa	2	2	4
HJ-18	8892917	631976	Argila siltosa	2	2	4
HJ-04	8889873	631831	Argila arenosa	3	2	6
HJ-05	8888908	633259	Argila arenosa	3	2	6
HJ-07	8890765	633804	Argila arenosa	3	2	6
HJ-09	8892662	629487	Argila arenosa	3	2	6

HJ-11	8889607	627985	Argila arenosa	3	2	6
HJ-12	8886293	631648	Argila arenosa	3	2	6
HJ-13	8887514	631019	Argila arenosa	3	2	6
HJ-14	8887626	631984	Argila arenosa	3	2	6
15	8893668	628392	Argila arenosa	3	2	6
16	8893412	628875	Argila arenosa	3	2	6
20	8890952	631344	Argila arenosa	3	2	6
21	8890846	631436	Argila arenosa	3	2	6
22	8890992	631455	Argila arenosa	3	2	6
23	8891060	631421	Argila arenosa	3	2	6
24	8891302	631363	Argila arenosa	3	2	6
25	8891510	631478	Argila arenosa	3	2	6
26	8890204	631570	Argila arenosa	3	2	6
27	8890344	631613	Argila arenosa	3	2	6
28	8890482	631605	Argila arenosa	3	2	6
29	8891116	631866	Argila arenosa	3	2	6
30	8891392	632000	Argila arenosa	3	2	6
31	8892824	633359	Argila arenosa	3	2	6
33	8892674	633532	Argila arenosa	3	2	6
34	8892558	633660	Argila arenosa	3	2	6
35	8892414	633406	Argila arenosa	3	2	6
36	8892194	633478	Argila arenosa	3	2	6
37	8896880	629661	Argila arenosa	3	2	6
38	8896606	629778	Argila arenosa	3	2	6
39	8895790	629618	Argila arenosa	3	2	6
40	8893412	634589	Argila arenosa	3	2	6
42	8892642	633906	Argila arenosa	3	2	6
43	8889160	632538	Argila arenosa	3	2	6

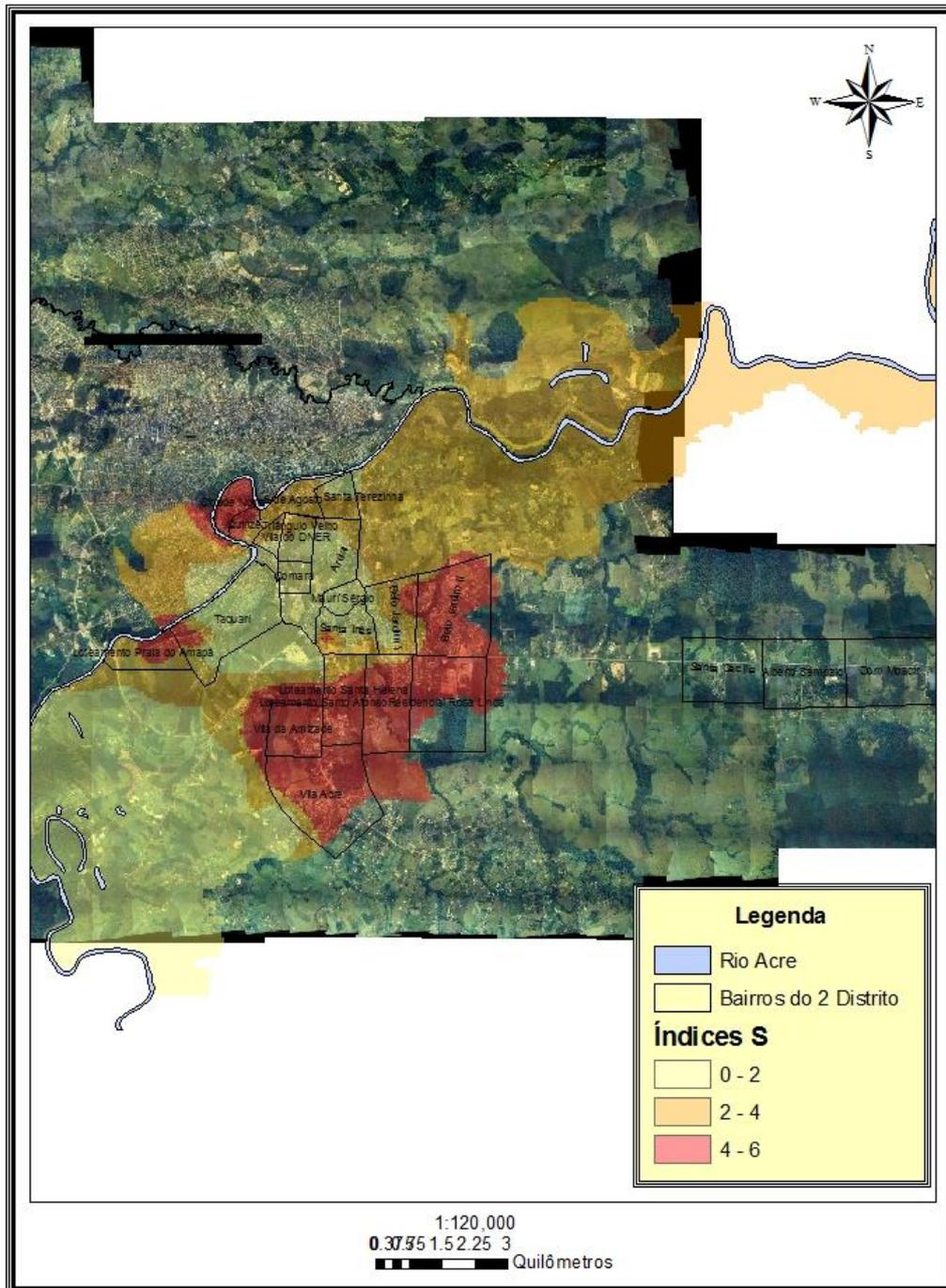


Figura 26 - Mapa com os Índices S obtidos para o aquífero Rio Branco através do modelo DRASTIC (Aller *et al.*, 1987).

4.3.5 Topografia

A topografia corresponde ao índice T do método DRASTIC (Aller *et al.*, 1987) sendo que, na área estudada, que compreende uma expressiva porção da planície de inundação do rio Acre, esta se encontra bastante pediplanizada. De acordo com a tabela 19, o índice T na área estudada foi praticamente constante, onde somente um ponto apresentou o valor 9, e todos os demais atingiram o índice 10. Este fato deve ser considerado negativo, pois, quanto mais plano o terreno, maior a probabilidade de penetração de uma carga contaminante no solo e, conseqüentemente no lençol freático.

Tabela 19 – Localização dos pontos de amostragem e valores dos índices T obtidos para a área de estudo.

Ponto	UTM_N	UTM_E	Inclinação do relevo (%)	Índice Tc	Peso	Índice D
Poço 1	8893824	631410	0 a 1	10	1	10
Poço 2	8893794	631433	0 a 1	10	1	10
Poço 3	8893778	631529	0 a 1	10	1	10
Poço 4	8893700	631382	0 a 1	10	1	10
Poço 5	8893952	631409	0 a 1	10	1	10
Poço 6	8894170	631501	0 a 1	10	1	10
Poço 7	8893840	631476	0 a 1	10	1	10
Poço 8	8894160	631802	0 a 1	10	1	10
Poço 9	8893894	632009	0 a 1	10	1	10
Poço 10	8894698	630224	0 a 1	10	1	10
Poço 11	8894800	630020	0 a 1	10	1	10
Poço 12	8894632	629694	0 a 1	10	1	10
Poço 13	8894420	629477	0 a 1	10	1	10
Poço 14	8894078	629084	0 a 1	10	1	10
Poço 15	8893668	628392	0 a 1	10	1	10
Poço 16	8893412	628875	0 a 1	10	1	10
Poço 17	8893200	629109	0 a 1	10	1	10
Poço 18	8893894	629615	0 a 1	10	1	10
Poço 19	8894534	630096	0 a 1	10	1	10
Poço 20	8890952	631344	0 a 1	10	1	10
Poço 21	8890846	631436	0 a 1	10	1	10
Poço 22	8890992	631455	0 a 1	10	1	10
Poço 23	8891060	631421	0 a 1	10	1	10
Poço 24	8891302	631363	0 a 1	10	1	10
Poço 25	8891510	631478	0 a 1	10	1	10
Poço 26	8890204	631570	0 a 1	10	1	10
Poço 27	8890344	631613	0 a 1	10	1	10
Poço 28	8890482	631605	0 a 1	10	1	10

Poço 29	8891116	631866	0 a 1	10	1	10
Poço 30	8891392	632000	0 a 1	10	1	10
Poço 31	8892824	633359	0 a 1	10	1	10
Poço 32	8892984	633380	0 a 1	10	1	10
Poço 33	8892674	633532	0 a 1	10	1	10
Poço 34	8892558	633660	0 a 1	10	1	10
Poço 35	8892414	633406	0 a 1	10	1	10
Poço 36	8892194	633478	0 a 1	10	1	10
Poço 37	8896880	629661	0 a 1	10	1	10
Poço 38	8896606	629778	0 a 1	10	1	10
Poço 39	8895790	629618	0 a 1	10	1	10
Poço 40	8893412	634589	0 a 1	10	1	10
Poço 41	8893532	633265	0 a 1	10	1	10
Poço 42	8892642	633906	0 a 1	10	1	10
Poço 43	8889160	632538	0 a 1	10	1	10
HJ-01	8887405	628485	0 a 1	10	1	10
HJ-02	8890436	631334	0 a 1	10	1	10
HJ-03	8890347	631955	0 a 1	10	1	10
HJ-04	8889873	631831	0 a 1	10	1	10
HJ-05	8888908	633259	0 a 1	10	1	10
HJ-06	8889877	633335	0 a 1	10	1	10
HJ-07	8890765	633804	0 a 1	10	1	10
HJ-08	8893326	632133	0 a 1	10	1	10
HJ-09	8892662	629487	0 a 1	10	1	10
HJ-10	8890385	629714	0 a 1	10	1	10
HJ-11	8889607	627985	0 a 1	10	1	10
HJ-12	8886293	631648	0 a 1	10	1	10
HJ-13	8887514	631019	0 a 1	10	1	10
HJ-14	8887626	631984	0 a 1	10	1	10
HJ-15	8889423	626961	1 a 6	9	1	9
HJ-16	8891560	630434	0 a 1	10	1	10
HJ-17	8891345	630905	0 a 1	10	1	10
HJ-18	8892917	631976	0 a 1	10	1	10

A figura 27 apresenta, portanto, o mapa com a distribuição espacial do índice T em toda a área investigada no 2º Distrito de Rio Branco.

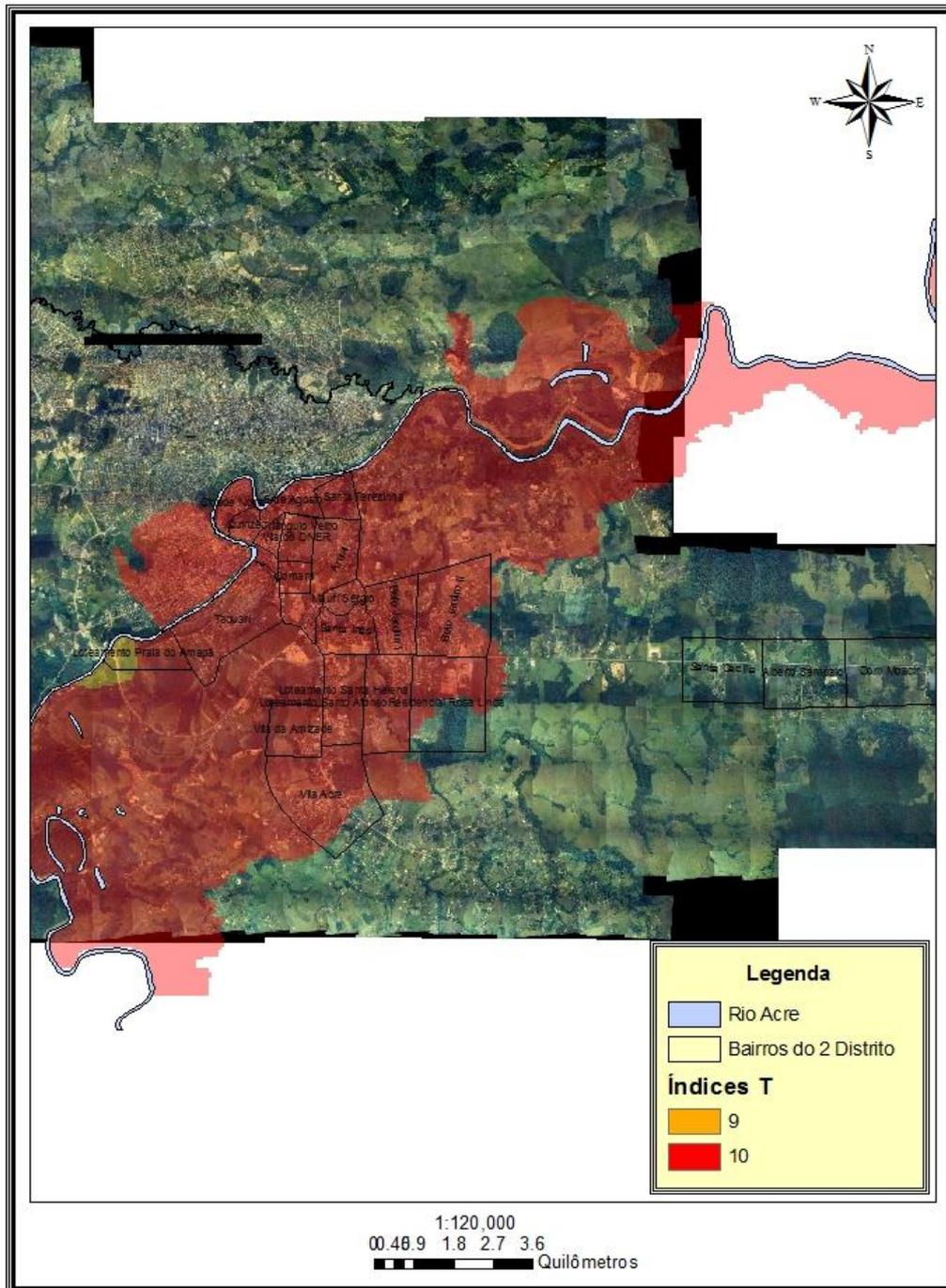


Figura 27 - Mapa com os Índices T obtidos para o aquífero Rio Branco através do modelo DRASTIC (Aller *et al.*, 1987).

4.3.6 – Impacto da zona vadosa

A zona vadosa é definida como a zona acima do nível da água, insaturada, em qualquer tipo de aquífero. O tipo de meio da zona vadosa determina as características de atenuação do material abaixo do horizonte de solo e acima do nível estático. Biodegradação, neutralização, filtração mecânica, reação química, volatilização e dispersão são todos os processos que podem ocorrer dentro da zona vadosa com uma diminuição geral da biodegradação e da volatilização com a profundidade. O meio também controla o caminho percorrido pela água, afetando assim, o tempo disponível para atenuação e a quantidade de material encontrado.

De acordo com a tabela 20, os valores obtidos para os índices I variaram entre 15, 20 e 30; correspondendo a sedimentos inconsolidados constituídos por argila, argila siltosa e argila arenosa, respectivamente, de acordo com o material coletado nas sondagens realizadas e nos perfis dos poços cadastrados no 2º Distrito de Rio Branco.

Tabela 20 - Localização dos pontos de amostragem e valores dos índices I obtidos para a área de estudo.

Ponto	UTM_N	UTM_E	Tipo de Sedimentos	Índices Ic	Peso	Índices I
Poço 1	8893824	631410	Argila	3	5	15
Poço 2	8893794	631433	Argila	3	5	15
Poço 3	8893778	631529	Argila	3	5	15
Poço 4	8893700	631382	Argila	3	5	15
Poço 5	8893952	631409	Argila	3	5	15
Poço 6	8894170	631501	Argila	3	5	15
Poço 7	8893840	631476	Argila	3	5	15
Poço 8	8894160	631802	Argila	3	5	15
Poço 9	8893894	632009	Argila	3	5	15
Poço 10	8894698	630224	Argila	3	5	15
Poço 11	8894800	630020	Argila	3	5	15
Poço 12	8894632	629694	Argila	3	5	15
Poço 13	8894420	629477	Argila	3	5	15
Poço 14	8894078	629084	Argila	3	5	15
Poço 18	8893894	629615	Argila	3	5	15
Poço 19	8894534	630096	Argila	3	5	15
Poço 41	8893532	633265	Argila	3	5	15
HJ-01	8887405	628485	Argila	3	5	15
HJ-02	8890436	631334	Argila	3	5	15
HJ-03	8890347	631955	Argila	3	5	15
HJ-06	8889877	633335	Argila	3	5	15

HJ-08	8893326	632133	Argila	3	5	15
HJ-10	8890385	629714	Argila	3	5	15
HJ-16	8891560	630434	Argila	3	5	15
HJ-17	8891345	630905	Argila	3	5	15
HJ-15	8889423	626961	Argila siltosa	4	5	20
HJ-18	8892917	631976	Argila siltosa	4	5	20
Poço 15	8893668	628392	Argila arenosa	6	5	30
Poço 16	8893412	628875	Argila arenosa	6	5	30
Poço 17	8893200	629109	Argila arenosa	6	5	30
Poço 20	8890952	631344	Argila arenosa	6	5	30
Poço 21	8890846	631436	Argila arenosa	6	5	30
Poço 22	8890992	631455	Argila arenosa	6	5	30
Poço 23	8891060	631421	Argila arenosa	6	5	30
Poço 24	8891302	631363	Argila arenosa	6	5	30
Poço 25	8891510	631478	Argila arenosa	6	5	30
Poço 26	8890204	631570	Argila arenosa	6	5	30
Poço 27	8890344	631613	Argila arenosa	6	5	30
Poço 28	8890482	631605	Argila arenosa	6	5	30
Poço 29	8891116	631866	Argila arenosa	6	5	30
Poço 30	8891392	632000	Argila arenosa	6	5	30
Poço 31	8892824	633359	Argila arenosa	6	5	30
Poço 32	8892984	633380	Argila arenosa	6	5	30
Poço 33	8892674	633532	Argila arenosa	6	5	30
Poço 34	8892558	633660	Argila arenosa	6	5	30
Poço 35	8892414	633406	Argila arenosa	6	5	30
Poço 36	8892194	633478	Argila arenosa	6	5	30
Poço 37	8896880	629661	Argila arenosa	6	5	30
Poço 38	8896606	629778	Argila arenosa	6	5	30
Poço 39	8895790	629618	Argila arenosa	6	5	30
Poço 40	8893412	634589	Argila arenosa	6	5	30
Poço 42	8892642	633906	Argila arenosa	6	5	30
Poço 43	8889160	632538	Argila arenosa	6	5	30
HJ-04	8889873	631831	Argila arenosa	6	5	30
HJ-05	8888908	633259	Argila arenosa	6	5	30
HJ-07	8890765	633804	Argila arenosa	6	5	30
HJ-09	8892662	629487	Argila arenosa	6	5	30
HJ-11	8889607	627985	Argila arenosa	6	5	30
HJ-12	8886293	631648	Argila arenosa	6	5	30
HJ-13	8887514	631019	Argila arenosa	6	5	30
HJ-14	8887626	631984	Argila arenosa	6	5	30

O mapa da figura 28 ilustra a distribuição espacial dos Índices I identificados na área de ocorrência do aquífero Rio Branco. De acordo com este, os sedimentos argilo-arenosos ocorrem predominantemente nos bairros Belo Jardim I e II, Santo

Afonso, Santa Helena, Cidade Nova, 6 de Agosto, Santa Terezinha, Triangulo Velho e Vila do DNER; além do Loteamento Praia do Amapá e a Vila Acre, assim como, boa porção da APA do Amapá. Os índices correspondentes a argila siltosa foram identificados nos bairros Areial, Maurisérgio, Santa Inês e partes da Comara, Vila Amizade e Vila Acre. O material argiloso do índice I foi identificado principalmente, na APA do Amapá e no Taquari.

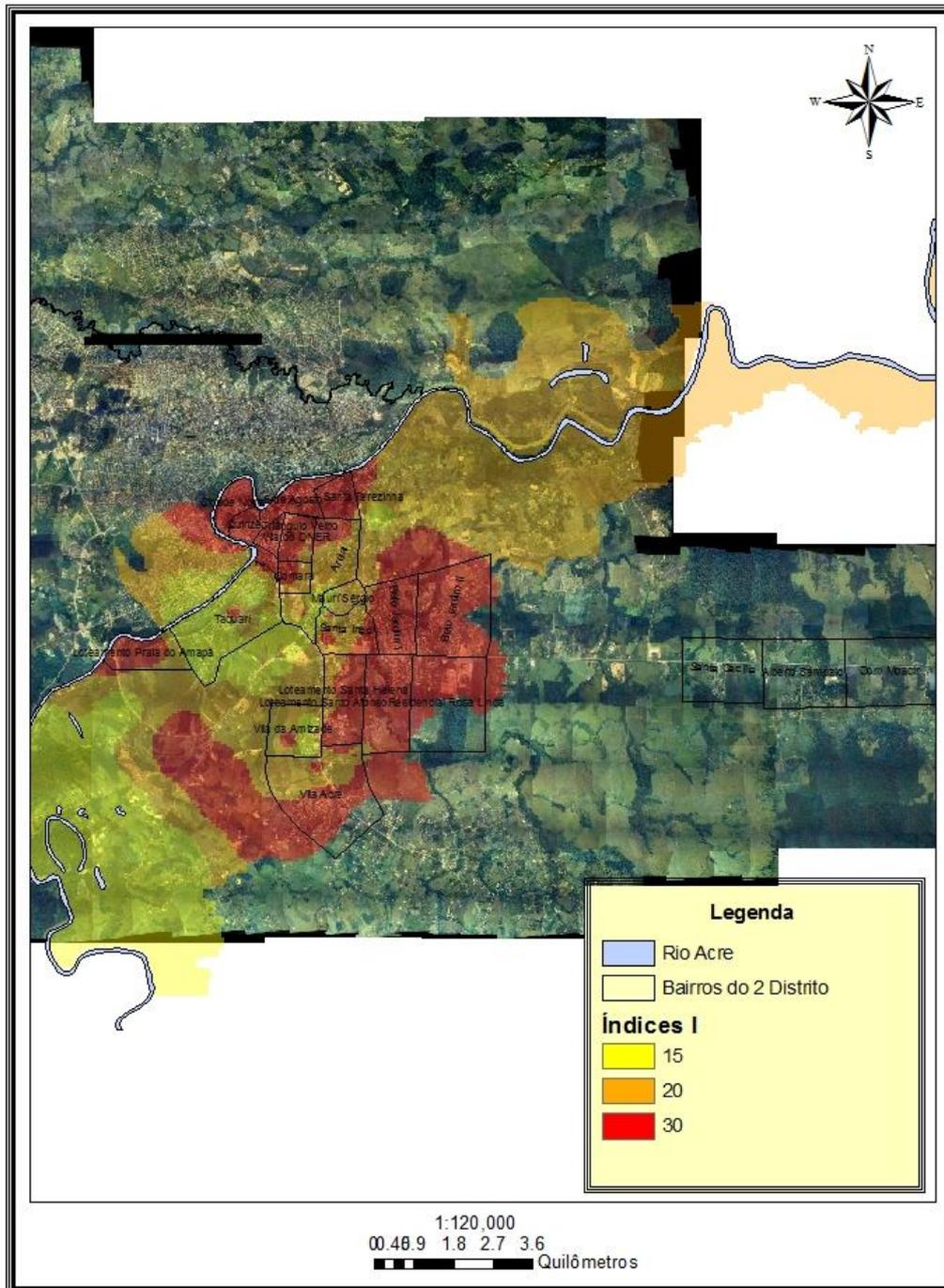


Figura 28 - Mapa com os Índices I obtidos para o aquífero Rio Branco através do modelo DRASTIC (Aller *et al.*, 1987).

4.3.7 Condutividade Hidráulica

A condutividade hidráulica corresponde à habilidade do material aquífero transmitir água, que por sua vez, controla a taxa pela qual a água flui sob um determinado gradiente hidráulico. A taxa de fluxo da água subterrânea também controla a taxa pela qual uma carga contaminante se move de sua fonte até o aquífero. Na área estudada, devido a homogeneidade dos sedimentos constituintes da zona vadosa, a condutividade hidráulica obtida por meio dos testes de infiltração (ABGE, 1996) realizados variou entre 0,0062 m/dia, onde predominavam sedimentos argilosos, a 1,09 m/dia, onde predominavam sedimentos arenosos, conforme pode ser observado na tabela 21.

Tabela 21 - Localização dos pontos de amostragem e valores dos índices C obtidos para a área de estudo.

Ponto	UTM_N	UTM_E	K (cm/s)	K (m/dia)	Índices Dc	Peso	Índices C
HJ-01	8887405	628485	0.000086	0.074	1	3	3
HJ-02	8890436	631334	0.0000072	0.0062	1	3	3
HJ-08	8893326	632133	0.000065	0.056	1	3	3
HJ-09	8892662	629487	0.000061	0.05	1	3	3
HJ-10	8890385	629714	0.00005	0.043	1	3	3
HJ-11	8889607	627985	0.00014	0.12	1	3	3
HJ-12	8886293	631648	0.0012	1.09	1	3	3
HJ-13	8887514	631019	0.00011	0.09	1	3	3
HJ-14	8887626	631984	0.001	0.86	1	3	3
HJ-15	8889423	626961	0.00011	0.09	1	3	3
HJ-16	8891560	630434	0.00011	0.09	1	3	3
HJ-17	8891345	630905	0.00057	0.49	1	3	3
HJ-18	8892917	631976	0.00013	0.11	1	3	3

O primeiro intervalo de valores da condutividade hidráulica para o índice DRASTIC varia entre 0 a 4,1 m/dia, correspondendo ao índice Cc igual a 1, como pode ser observado na tabela 9. Sendo que, no aquífero Rio Branco, todos os valores de condutividade hidráulica identificados se encontram dentro deste intervalo. Logo, o índice C na área estudada foi uniforme, como pode ser observado no mapa da figura 29.

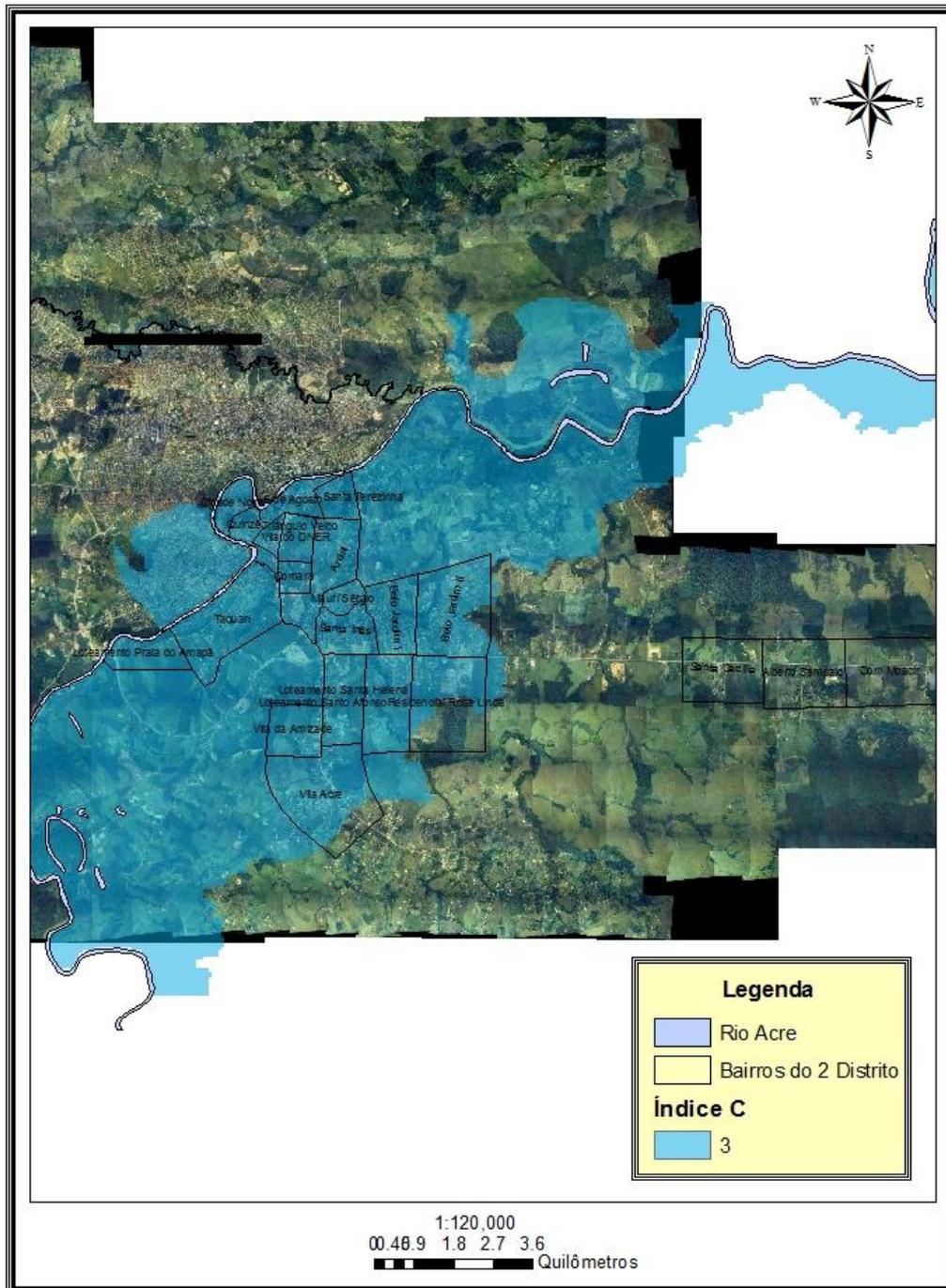


Figura 29 - Mapa com os Índices I obtidos para o aquífero Rio Branco através do modelo DRASTIC (Aller *et al.*, 1987).

4.3.8 – Índices Finais DRASTIC

Os índices finais DRASTIC correspondem à somatória de todos os sete parâmetros que envolvem o método DRASTIC (Aller *et al.*, 1987) em cada ponto avaliado, sendo posteriormente relacionados com suas zonas vizinhas através do modelagem pelo método da krigagem, de acordo com Landim (2003). Conforme os próprios autores do método, todos os parâmetros DRASTIC são interativos e sua seleção é baseada não somente em dados disponíveis, desenvolvidos quantitativamente e rigorosamente aplicados, mas dependem, principalmente, de um entendimento subjetivo das condições hidrogeológicas da área avaliada (Aller *et al.*, 1987). Desta forma, os índices DRASTIC identificados para o aquífero Rio Branco variaram entre 118 e 164, conforme pode ser observado na tabela 22, sendo que, estes valores correspondem a índices de vulnerabilidade DRASTIC média a alta, de acordo com Melo Junior (2008), sendo representados graficamente no mapa da figura 30.

Tabela 22 – Índices finais de vulnerabilidade obtidos através do método DRASTIC para o aquífero Rio Branco.

Ponto	UTM_N	UTM_E	Índices DRASTIC	Índices DRASTIC (Qualitativo)
R31	8885316	628497	118	Médio
R37	8889171	630803	131	Alto
Poco 10	8894698	630224	128	Alto
Poco 11	8894800	630020	128	Alto
Poco 12	8894632	629694	128	Alto
Poco 13	8894420	629477	128	Alto
Poco 14	8894078	629084	128	Alto
Poco 17	8893200	629109	128	Alto
Poco 18	8893894	629615	128	Alto
Poco 19	8894534	630096	128	Alto
Poco 2	8893794	631433	128	Alto
Poco 3	8893778	631529	128	Alto
Poco 4	8893700	631382	128	Alto
Poco 5	8893952	631409	128	Alto
Poco 6	8894170	631501	128	Alto
Poco 7	8893840	631476	128	Alto
Poco 8	8894160	631802	128	Alto
Poco 9	8893894	632009	128	Alto
R27	8890680	625856	128	Alto
R29	8888487	628370	128	Alto

R33	8889111	626057	128	Alto
Poco 15	8893668	628392	132	Alto
Poco 16	8893412	628875	132	Alto
Poco 20	8890952	631344	132	Alto
Poco 21	8890846	631436	132	Alto
Poco 22	8890992	631455	132	Alto
Poco 23	8891060	631421	132	Alto
R36	8890204	629442	141	Alto
R28	8889528	627077	138	Alto
R30	8887019	628329	138	Alto
R32	8887153	627250	138	Alto
R34	8890358	624642	138	Alto
R35	8891859	627210	138	Alto
Poco 24	8891302	631363	142	Alto
Poco 25	8891510	631478	142	Alto
R4	8895916	635911	145	Alto
R10	8895765	637349	145	Alto
Poco 26	8890204	631570	147	Alto
Poco 27	8890344	631613	147	Alto
HJ-01	8891069	628485	153	Alto
HJ-02	8894039	631334	153	Alto
HJ-03	8893938	631955	153	Alto
HJ-06	8893445	633335	153	Alto
HJ-08	8896905	632133	153	Alto
HJ-10	8894017	629714	153	Alto
HJ-16	8895176	630434	153	Alto
Poco 32	8892984	633380	153	Alto
Poco 41	8893532	633265	153	Alto
HJ-15	8893108	626961	154	Alto
HJ-04	8893469	631831	157	Alto
HJ-05	8892480	633259	157	Alto
HJ-07	8894322	633804	157	Alto
HJ-09	8896291	629487	157	Alto
HJ-11	8893274	627985	157	Alto
HJ-12	8889903	631648	157	Alto
HJ-13	8891131	631019	157	Alto
HJ-14	8891226	631984	157	Alto
Poco 28	8890482	631605	157	Alto
Poco 29	8891116	631866	157	Alto
Poco 30	8891392	632000	157	Alto
Poco 31	8892824	633359	157	Alto
Poco 33	8892674	633532	157	Alto
Poco 34	8892558	633660	157	Alto
Poco 35	8892414	633406	157	Alto
Poco 36	8892194	633478	157	Alto
Poco 37	8896880	629661	157	Alto

Poco 38	8896606	629778	157	Alto
Poco 39	8895790	629618	157	Alto
Poco 40	8893412	634589	157	Alto
Poco 42	8892642	633906	157	Alto
Poco 43	8889160	632538	157	Alto
R3	8894769	634979	154	Alto
R1	8896204	633015	145	Alto
R8	8897565	635398	147	Alto
R9	8896889	636620	147	Alto
R5	8896573	634818	150	Alto
R6	8897554	633996	150	Alto
R7	8895558	636368	150	Alto
R11	8897206	637836	150	Alto
R12	8897608	639068	150	Alto
R13	8898525	640069	150	Alto
R14	8899166	640625	150	Alto
R15	8900279	640624	150	Alto
R16	8899239	641336	150	Alto
R17	8899483	642263	150	Alto
R18	8899281	643459	150	Alto
R19	8899036	644735	150	Alto
R20	8899043	645776	150	Alto
R21	8900642	646330	150	Alto
R22	8901838	645855	150	Alto
R23	8902388	646409	150	Alto
R24	8902872	647009	150	Alto
R25	8901436	647054	150	Alto
R26	8900602	647016	150	Alto
HJ-17	8894953	630905	158	Alto
R2	8895265	633866	157	Alto
Poco 1	8893824	631410	122	Médio
HJ-18	8896500	631976	164	Alto

As principais propriedades geológicas e hidrogeológicas da área de estudo, que resultaram em índices de vulnerabilidade médios a altos se destacam nos bairros do 2º Distrito de Rio Branco. A vulnerabilidade alta domina praticamente toda a área de ocorrência do aquífero Rio Branco (98%), restando porções restritas dos bairros Mauri Sérgio, Taquari e ao longo da estrada do Amapá, assim como em pequenas manchas na vila da Amizade e na APA do Amapá, cujos índices de vulnerabilidade foram classificados como médio. Este fato se dá, principalmente, em função da pouca profundidade do lençol freático (índice D), assim como pelo baixo gradiente topográfico (índice T), pelos sedimentos areno-argilosos constituintes da

zona não saturada (índice I) e pelo elevado índice pluviométrico que domina na região amazônica, refletindo na recarga do aquífero Rio Branco (índice R).

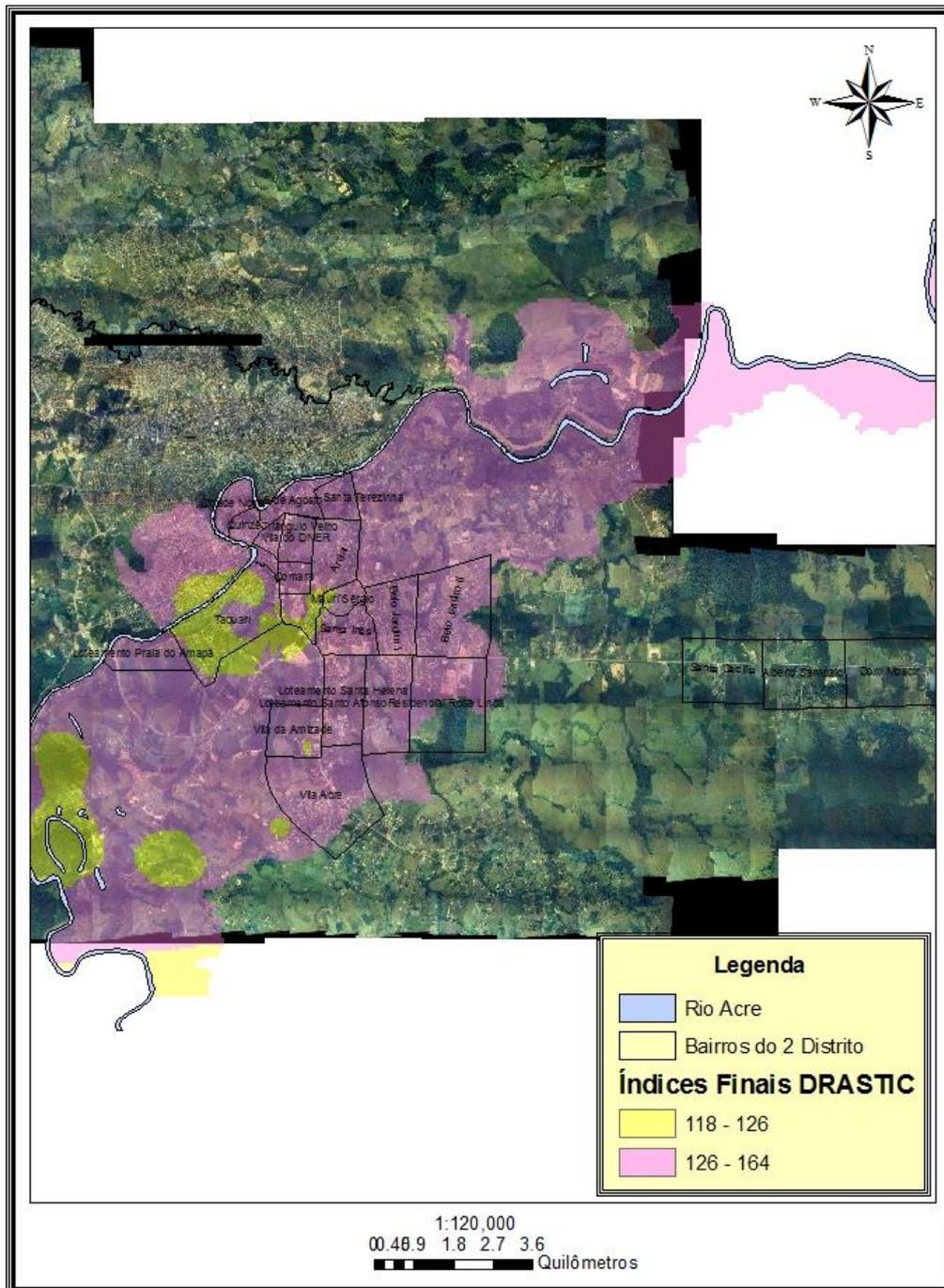


Figura 30 – Mapa com os índices finais DRASTIC (Aller *et al.*, 1987) obtidos para o aquífero Rio Branco.

4.4 Análise do fluxo das águas subterrâneas

O conhecimento do fluxo das águas subterrâneas é de extrema importância para o desenvolvimento de qualquer tipo de estudo hidrogeológico, principalmente, quando este recurso natural vem sendo amplamente utilizado pela maioria da população local, e, de forma indiscriminada como é o caso do aquífero Rio Branco. Assim como as águas subterrâneas apresentam um fluxo preferencial, que tende a seguir a morfologia do terreno, qualquer carga contaminante que atinja o lençol freático irá acompanhar este fluxo, em direção a nascentes e drenagens locais, podendo ser consumido em porções intermediárias do terreno, através de poços cacimba e tubulares que abastecem a população local. Desta forma, foi desenvolvido durante o presente estudo uma avaliação do sentido do fluxo das águas subterrâneas no aquífero Rio Branco, a fim de orientar os tomadores de decisões locais em relação a futuras obras civis e de captação dos recursos hídricos subterrâneos na região do 2º Distrito de Rio Branco.

O mapa potenciométrico consiste na representação do topo do lençol freático durante um determinado intervalo de tempo hidrológico; sendo obtido, por intermédio da subtração do valor do nível estático em um determinado ponto a partir da cota topográfica, conforme ilustra a fórmula 16.

$$CP = CT - NE \quad (16)$$

Onde:

CP = Cota Piezométrica

CT = Cota Topográfica

NE = Nível Estático

Para determinar o potencial piezométrico do aquífero Rio Branco, foram utilizados quarenta e dois poços tubulares ou cacimba com o objetivo de aferir o nível estático, conforme ilustram as fotos 4 e 5. A partir da localização de cada poço, foi subtraído da cota topográfica o valor do nível estático, de acordo com a fórmula 16, cujos valores são apresentados na tabela 23. Em seguida, foi determinado o potencial piezométrico do aquífero Rio Branco, que migra das porções de maior potencial para as de menor potencial, sendo geradas linhas de isovalores

piezométricos, cujo sentido do fluxo subterrâneo é indicado por intermédio de setas, conforme apresentado na figura 33.



Foto 4 – Medidor de nível utilizado para obtenção do nível estático em poço tubular no 2º Distrito.



Foto 5 – Medidor de nível e GPS utilizados para obtenção do nível estático e cadastro de poço tubular no 2º Distrito.

De acordo com as cotas piezométricas, o sentido do fluxo das águas subterrâneas no aquífero Rio Branco se dá em direção ao Rio Acre, conforme apresentado na figura 31. Este fato se torna mais evidente ainda, ao se constatar que, o rio Acre é alimentado no período de estiagem pelo aquífero local. Desta forma, uma fonte contaminante que atinja o aquífero Rio Branco nos bairros Belo Jardim I ou a Vila Acre, por exemplo, dependendo da persistência da fonte e da

velocidade do fluxo da água subterrânea, esta poderia atingir um poço de uma residência no loteamento do Amapá ou no Taquari.

Tabela 23 – Localização dos poços e parâmetros utilizados para construir o mapa piezométrico do aquífero Rio Branco.

Ponto	UTM_N	UTM_E	NE (m)	Cota (m)	Cota Piezométrica (m)
Poço 1	8893824	631410	3.13	140	136.87
Poço 2	8893794	631433	2.20	140	137.80
Poço 3	8893778	631529	1.76	139	137.24
Poço 4	8893700	631382	4.32	140.5	136.18
Poço 5	8893952	631409	2.48	139	136.52
Poço 6	8894170	631501	3.21	137	133.79
Poço 7	8893840	631476	1.96	139	137.04
Poço 8	8894160	631802	4.39	137	132.61
Poço 9	8893894	632009	1.54	140	138.46
Poço 10	8894698	630224	1.90	135	133.10
Poço 11	8894800	630020	4.80	135	130.20
Poço 12	8894632	629694	6.55	131	124.45
Poço 13	8894420	629477	5.50	130	124.50
Poço 14	8894078	629084	4.86	134	129.14
Poço 15	8893668	628392	3.78	134	130.22
Poço 16	8893412	628875	3.55	136	132.45
Poço 17	8893200	629109	2.31	137	134.69
Poço 18	8893894	629615	3.10	134	130.90
Poço 19	8894534	630096	2.68	134	131.32
Poço 20	8890952	631344	4.09	145	140.91
Poço 21	8890846	631436	3.80	145	141.20
Poço 22	8890992	631455	4.64	145	140.36
Poço 23	8891060	631421	4.81	145	140.19
Poço 24	8891302	631363	5.34	145	139.66
Poço 25	8891510	631478	3.22	145	141.78
Poço 26	8890204	631570	3.36	145	141.64
Poço 27	8890344	631613	4.98	145.5	140.52
Poço 28	8890482	631605	3.50	146	142.50
Poço 29	8891116	631866	3.83	145	141.17
Poço 30	8891392	632000	2.90	145	142.10
Poço 31	8892824	633359	5.67	143	137.33
Poço 32	8892984	633380	4.98	142	137.02
Poço 33	8892674	633532	2.56	143	140.44
Poço 34	8892558	633660	2.10	144	141.90
Poço 35	8892414	633406	4.82	145	140.18
Poço 36	8892194	633478	4.62	145	140.38
Poço 37	8896880	629661	9.37	132	122.63
Poço 38	8896606	629778	5.6	135	129.40

Poço 39	8895790	629618	6.24	134	127.76
Poço 40	8893412	634589	6.63	145	138.37
Poço 41	8893532	633265	5.6	146	140.40
Poço 42	8892642	633906	3.07	145	141.93
Poço 43	8889160	632538	4.79	149	144.21

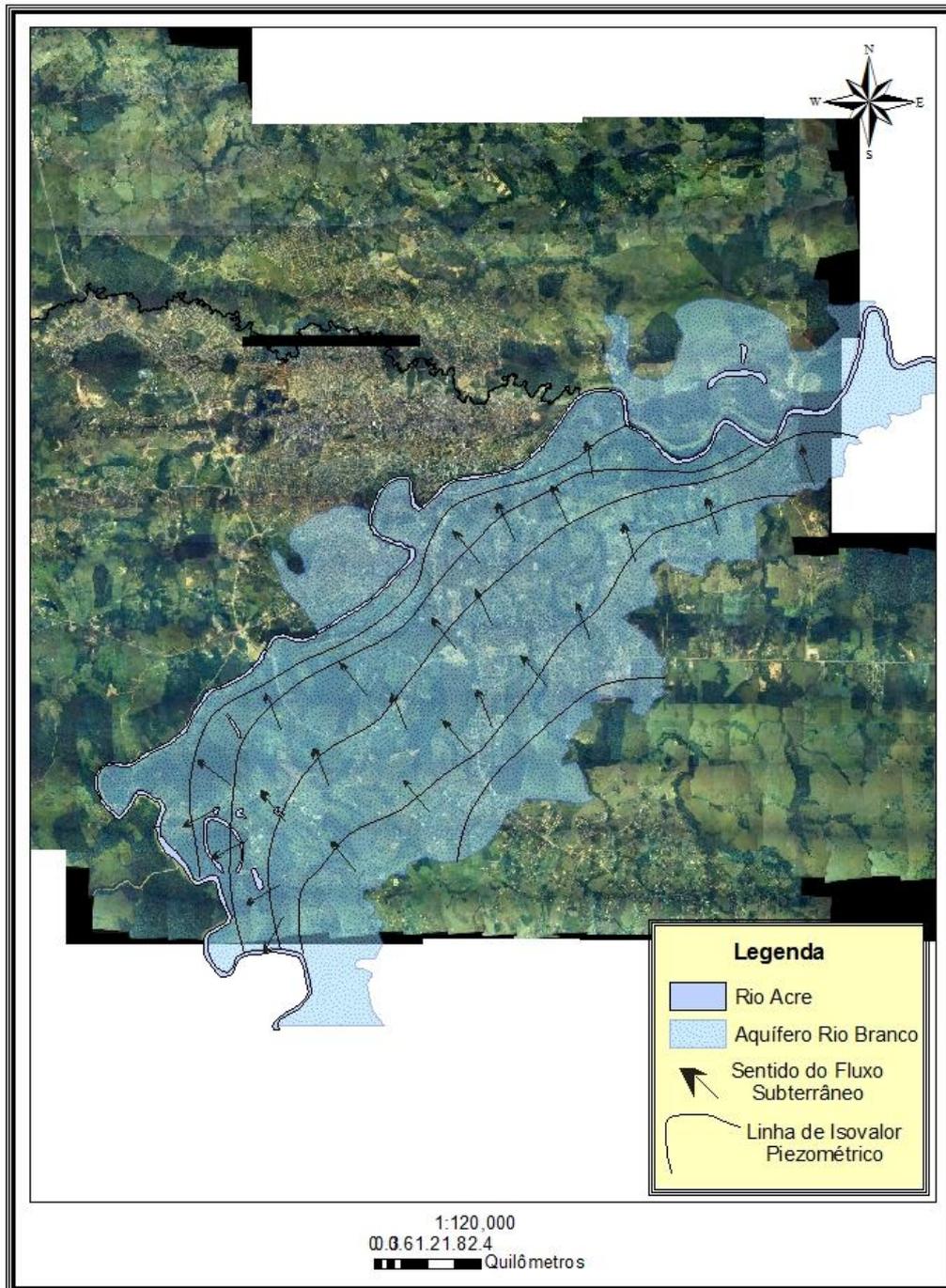


Figura 31 – Mapa piezométrico da área de ocorrência do aquífero Rio Branco, no 2º Distrito da capital.

4.5 Qualidade das Águas Subterrâneas

4.5.1 Análises Físico-Químicas e Bacteriológicas

A avaliação da qualidade das águas subterrâneas no aquífero Rio Branco partiu da premissa que, o monitoramento deste parâmetro é imprescindível para se acompanhar a evolução de uma pluma de contaminação no aquífero, caso esta exista. Desta forma, os poços monitorados foram os mesmos da primeira etapa de estudos hidrogeológicos realizados por Melo Junior e Marmos (2007), com exceção aos pontos onde não foi possível acessá-los, como ocorreu nos pontos RB-13 e RB-25, devido a falta de moradores no local. Entretanto, foram utilizados para o presente estudo, poços vizinhos a estes, minimizando a diferenciação físico-química das águas subterrâneas. A localização dos vinte e quatro poços amostrados se encontra na tabela 24, assim como, sua distribuição espacial é apresentada no mapa da figura 32.

Os elementos analisados foram Al, Ba, Ca, Mg, Cr, Sr, Fe, Mn, Si, Na, K, NH_4^- , F^- , Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , e SO_4^{-2} , sendo que, as análises foram realizadas no Laboratório de Análises Mineraias – LAMIN, da CPRM, no Rio de Janeiro. As análises de coliformes totais e termotolerantes, alcalinidade, DQO e dureza total foram realizadas no Laboratório da Unidade de Tecnologia de Alimentos – UTAL, da Universidade Federal do Acre, em Rio Branco; devido à necessidade das amostras serem avaliadas em um período inferior a 24 horas após sua coleta. Foram realizadas ainda, análises *in situ* da condutividade elétrica, pH e temperatura das amostras de água subterrânea.

Para classificar as amostras de água subterrânea coletadas nos poços que captam o aquífero Rio Branco, foi utilizada, no presente estudo, a Resolução CONAMA 396 (2008), que trata especificamente deste recurso.

Tabela 24 – localização dos poços onde foram coletadas amostras de água subterrânea para análise físico-química e bacteriológica.

Poço	UTM_E	UTM_N	Toponímia
RB-01	632211	8889698	Captação do Deda
RB-02	631368	8891300	Captação do Zé Airton
RB-03	631743	8890784	Fonte Santa Luzia
RB-04	628486	8889870	Captação MGM
RB-05	631737	8894664	Captação Julio Batista

RB-06	630323	8893852	Fonte Monte Mário
RB-07	631860	8892166	Delegacia do Min. Da Agricultura
RB-08	631714	8893190	Fonte do Antonio Lopes
RB-09	631482	8893456	Fonte Canaã
RB-10	630316	8892750	Estrada do Amapá, Km 01. - Resid. Raimundo Frota
RB-11	630097	8892508	Loteamento Girassol. R. das Flores 39 - Resid. Audicelio dos Santos
RB-13	631560	8890853	Vila da Amizade. Rua E, n 132.
RB-14	633703	8892760	Santo Afonso - Resid. Nilsolino de Sousa
RB-15	633370	8892864	Santo Afonso - R. Roque Garcia 350. Resid. Francisco Araújo
RB-16	633898	8893314	Belo Jd. II - R. 12 de Outubro 118. Resid. Darci Souza
RB-17	633101	8893492	Belo Jd. I - Ramal da Judia 1612. Resid. Cleonice Almeida
RB-18	632044	8893588	Santa Inês. R. Edmundo Pinto 608. Resid. Juventino Pego
RB-19	632312	8893680	Santa Inês. R. da Sanacre 442. Resid. Rodomilson Araújo
RB-22	628886	8893554	Taquari. R. Baguari 2255. Resid. Francisca de Souza
RB-23	629680	8894116	Taquari. R. Baguari S/N. Resid. Maria Lucia Silva
RB-24	630661	8894894	Triangulo Novo. R. Padre José 675. Resid. Joaquim Silva
RB-25	629641	8896392	Cidade Nova. R. Palmeiral Esq. Rodoviária. Restaurante Comodoro
RB-26	631401	8896818	6 de Agosto. R. 6 de Agosto 753. Restaurante do Mineiro.
RB-31	631737	8891132	Rodovia AC 40, km 07. Fonte Caramuru

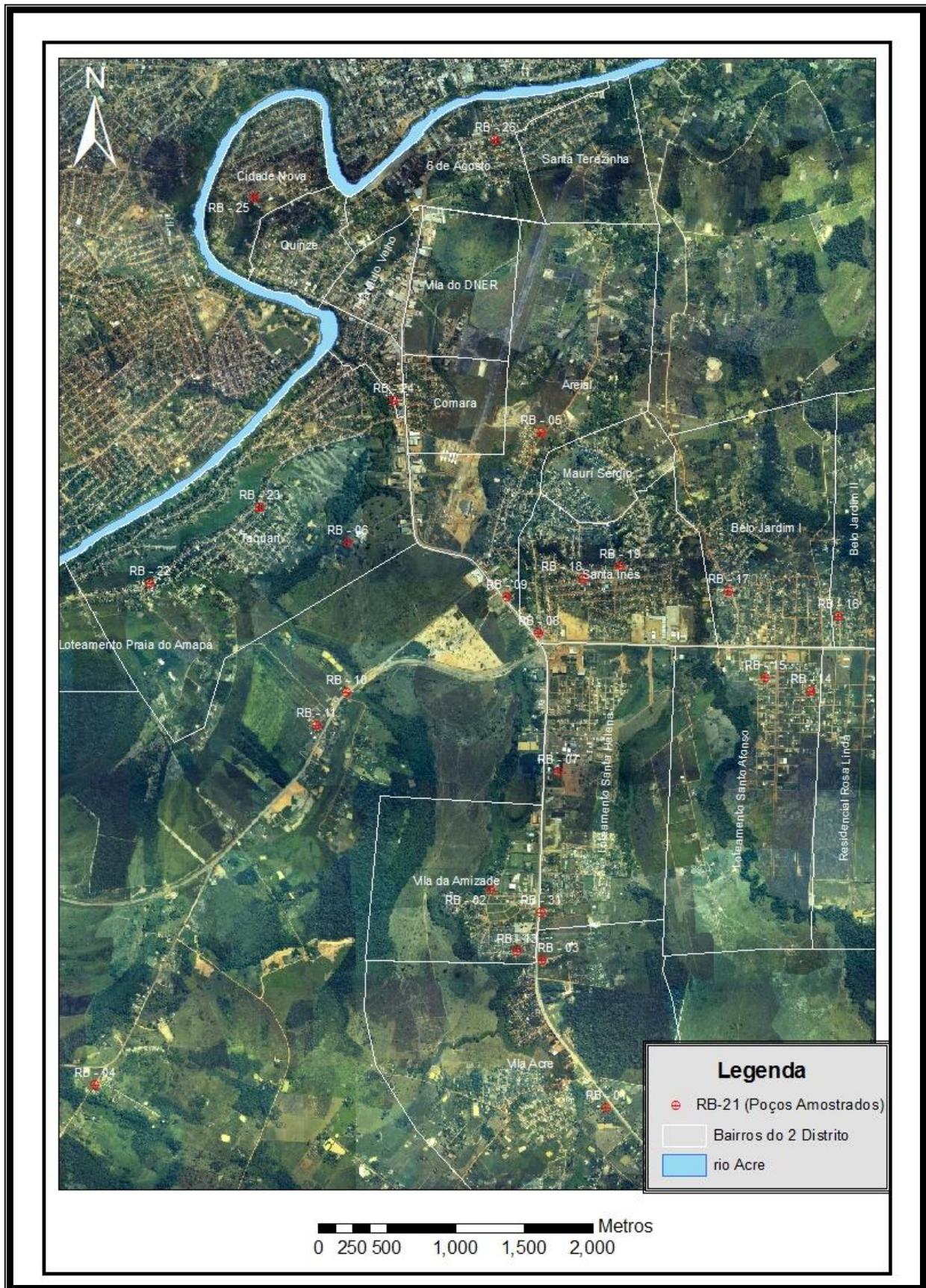


Figura 32 – Mapa de localização dos poços amostrados no 2º Distrito de Rio Branco.

A tabela 25, por sua vez, apresenta os resultados das análises físico-químicas realizadas no LAMIN.

Tabela 25 – Resultados das análises físico-químicas realizadas nas amostras de água subterrânea do aquífero Rio Branco.

Ponto	Al (mg/L)	Ba (mg/L)	Ca (mg/L)	Cr (mg/L)	Sr (mg/L)	Fe (mg/L)	Mg (mg/L)	Mn (mg/L)	Si (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)
RB - 01	0.011	0.006	2.581	0.003	0.007	0.077	0.467	0.036	16.740	0.967	0.664
RB - 02	0.098	0.037	0.499	0.003	0.002	0.032	0.281	0.035	7.256	2.078	0.948
RB - 03	0.016	0.025	1.528	0.003	0.007	0.008	0.358	0.012	8.362	1.076	1.085
RB - 04	0.069	0.030	0.518	0.003	0.002	0.049	0.322	0.046	5.905	1.375	0.871
RB - 05	0.013	0.130	1.568	0.003	0.024	0.011	1.684	0.036	11.740	3.788	1.095
RB - 06	0.005	0.020	0.760	0.003	0.005	0.006	0.670	0.012	9.045	2.110	1.452
RB - 07	0.037	0.025	1.778	0.003	0.008	0.106	0.454	0.069	8.380	1.258	1.431
RB - 08	1.333	0.208	1.213	0.003	0.009	0.009	1.457	0.407	5.382	14.570	3.851
RB - 09	0.121	0.071	0.193	0.003	0.001	0.008	0.441	0.068	5.742	2.554	1.135
RB - 10	0.020	0.058	0.464	0.003	0.004	0.080	0.421	0.034	10.830	1.660	1.013
RB - 11	0.077	0.046	3.036	0.003	0.024	1.215	2.468	0.347	19.620	17.040	0.988
RB - 13	0.194	0.049	0.662	0.003	0.003	0.044	0.433	0.060	5.720	5.781	0.909
RB - 14	0.288	0.049	0.100	0.003	0.003	0.003	0.551	0.189	8.166	6.228	0.702
RB - 15	0.107	0.041	0.211	0.003	0.003	0.118	0.331	0.108	9.026	1.332	1.042
RB - 16	0.013	0.119	1.371	0.003	0.019	0.010	1.289	0.163	11.290	2.575	1.384
RB - 17	0.011	0.031	1.764	0.003	0.012	0.512	0.717	0.071	12.480	3.001	1.233
RB - 18	0.242	0.382	1.060	0.003	0.020	0.008	1.779	0.483	6.249	39.660	3.697
RB - 19	0.734	0.263	0.849	0.003	0.018	0.002	2.312	0.302	7.716	28.650	4.285
RB - 22	2.740	0.080	14.000	0.003	0.076	0.234	3.191	0.084	24.110	27.440	1.577
RB - 23	3.800	0.154	3.524	0.003	0.028	0.533	3.170	0.539	16.730	38.470	3.942
RB - 24	0.014	0.039	7.491	0.003	0.037	1.807	5.737	1.565	17.600	18.300	3.618
RB - 25	0.025	0.255	7.844	0.003	0.118	0.461	5.678	0.258	23.930	50.500	2.418
RB - 26	0.043	0.105	3.956	0.003	0.044	1.214	2.916	0.308	18.990	49.030	1.702
RB - 31	0.177	0.060	0.245	0.003	0.002	0.226	0.244	0.365	9.715	5.484	1.464

Tabela 25 (Continuação) – Resultados das análises físico-químicas realizadas nas amostras de água subterrânea do aquífero Rio Branco.

Ponto	NH ₄ ⁻ (mg/L)	F ⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	NO ₂ ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	SO ₄ ⁼ (mg/L)	CE	pH
RB - 01	0.050	0.008	0.670	0.001	0.484	5.373	37	5.110
RB - 02	0.050	0.016	2.446	0.001	5.870	0.934	31	4.590
RB - 03	0.050	0.007	0.543	0.002	1.115	4.539	33	4.910
RB - 04	0.050	0.016	1.703	0.001	2.132	0.731	26	4.500
RB - 05	0.050	0.017	6.493	0.002	9.615	1.727	63	5.120
RB - 06	0.050	0.009	2.343	0.002	3.405	1.891	34	4.980
RB - 07	0.050	0.035	1.152	0.012	3.354	3.869	37	4.910
RB - 08	1.500	0.092	23.850	0.001	41.639	0.449	192	4.350
RB - 09	0.050	0.019	3.347	0.001	8.854	0.542	43	4.310
RB - 10	0.050	0.021	0.533	0.001	1.063	1.314	26	4.740

RB - 11	0.050	0.011	25.976	0.035	8.558	8.195	159	5.010
RB - 13	0.200	0.008	9.585	0.001	6.760	0.246	61	4.350
RB - 14	0.050	0.036	8.620	0.001	12.359	0.242	71	4.140
RB - 15	0.050	0.027	0.994	0.003	5.979	0.064	28	4.550
RB - 16	0.050	0.016	10.014	0.001	6.284	1.293	66	4.720
RB - 17	0.050	0.012	5.000	0.001	1.504	5.290	52	4.950
RB - 18	2.500	0.052	58.842	0.001	47.372	1.242	323	4.410
RB - 19	0.050	0.084	44.180	0.001	41.229	0.715	253	4.090
RB - 22	0.050	0.008	49.336	0.001	15.919	14.275	275	5.300
RB - 23	0.050	0.043	61.763	0.001	13.906	9.317	283	4.930
RB - 24	0.050	0.054	37.898	0.568	12.593	4.572	248	5.780
RB - 25	0.050	0.009	78.016	0.001	34.406	10.105	397	5.190
RB - 26	0.050	0.016	46.777	0.001	16.102	32.505	319	5.360
RB - 31	0.200	0.015	6.035	0.001	8.181	0.410	56	4.210

Tabela 25 (Continuação) – Resultados das análises físico-químicas realizadas nas amostras de água subterrânea do aquífero Rio Branco.

Ponto	Temperatura (°C)	Alcalinidade de hidróxido (mg/L)	Alcalinidade total (mg/L)	DQO (mg/L)	Dureza total (mg/L)
RB - 01	29.9	0,00	12,50	< 5,00	34,00
RB - 02	30.1	0,00	7,29	< 5,00	30,00
RB - 03	28.6	0,00	9,37	< 5,00	38,00
RB - 04	28.3	0,00	10,50	< 5,00	32,00
RB - 05	33.0	0,00	15,62	< 5,00	26,00
RB - 06	29.1	0,00	13,50	< 5,00	26,00
RB - 07	30.9	0,00	10,50	5,00	40,00
RB - 08	29.0	0,00	4,16	< 5,00	24,00
RB - 09	29.6	0,00	5,20	< 5,00	10,00
RB - 10	28.8	0,00	10,50	< 5,00	22,00
RB - 11	26.9	0,00	15,62	< 5,00	50,00
RB - 13	29.0	0,00	6,24	< 5,00	20,00
RB - 14	27.4	0,00	10,41	< 5,00	20,00
RB - 15	27.9	0,00	7,29	< 5,00	10,00
RB - 16	27.6	0,00	9,37	8,35	24,00
RB - 17	28.3	0,00	16,66	< 5,00	40,00
RB - 18	31.4	0,00	10,40	< 5,00	18,00
RB - 19	29.7	0,00	9,37	< 5,00	14,00
RB - 22	27.5	0,00	13,54	< 5,00	80,00
RB - 23	27.0	0,00	13,54	< 5,00	50,00
RB - 24	28.9	0,00	44,78	< 5,00	74,00
RB - 25	31.5	0,00	18,74	< 5,00	110,00
RB - 26	29.8	0,00	26,04	< 5,00	50,00
RB - 31	30.1	0,00	10,50	5,08	6,00

De acordo com o resultado das análises, verificou-se que, de uma maneira geral, a qualidade das águas subterrâneas encontra-se em pior estado que no primeiro estudo realizado pela CPRM (Melo Junior e Marmos, 2007). Conforme estes autores, nenhuma das amostras analisadas no ano de 2006 apresentaram teores elevados de nitrato, ao passo que, em nove amostras, das vinte e quatro analisadas nesta etapa, foi ultrapassado o limite de 10 mg/L de nitrato, estabelecido pela Portaria 396 do CONAMA (2008). O que corresponde a 37,5% do total de amostras, como pode ser verificado na figura 33. Deve se destacar ainda que, quatro amostras (16,6% do total) apresentaram teor de nitrato superior a 20 mg/L e, três amostras (12,5% do total) apresentaram teores deste elemento superior a 40 mg/L, evidenciando a considerável alteração da qualidade das águas subterrâneas por intermédio do nitrato. O mapa da figura 34 ilustra a distribuição da pluma de contaminação por nitrato no 2º Distrito de Rio Branco.

O elemento nitrato é um bom parâmetro para se avaliar a contaminação das águas subterrâneas destinadas ao consumo humano, em altas concentrações pode trazer graves problemas de intoxicação tanto para o ser humano como para os animais, quando ingerido durante longos períodos; sendo reduzido a nitrito (NO_2^-) por microorganismos na cavidade bucal e depois em óxido nítrico no estômago, formando nitrosaminas, substâncias reconhecidas como agentes cancerígenos potenciais (Lima, 2007; Freitas *et al.*, 2001) devido às condições ali existentes. O nitrato que não sofreu modificação é absorvido no trato intestinal e entram na corrente sanguínea, (Mondim, 1996). Estes elementos podem ser considerados fonte de duas vias de perigo. A primeira é a disfunção celular causando câncer na cavidade bucal, nasofaríngeo, no esôfago e no estômago. A segunda é que com a entrada na corrente sanguínea, o nitrito oxida o ferro (Fe^{+2} , Fe^{+3}) da hemoglobina, produzindo a metahemoglobinemia, doença que conduz à hipoxigenação no sangue em crianças, podendo causar a morte (Lima, 2007).

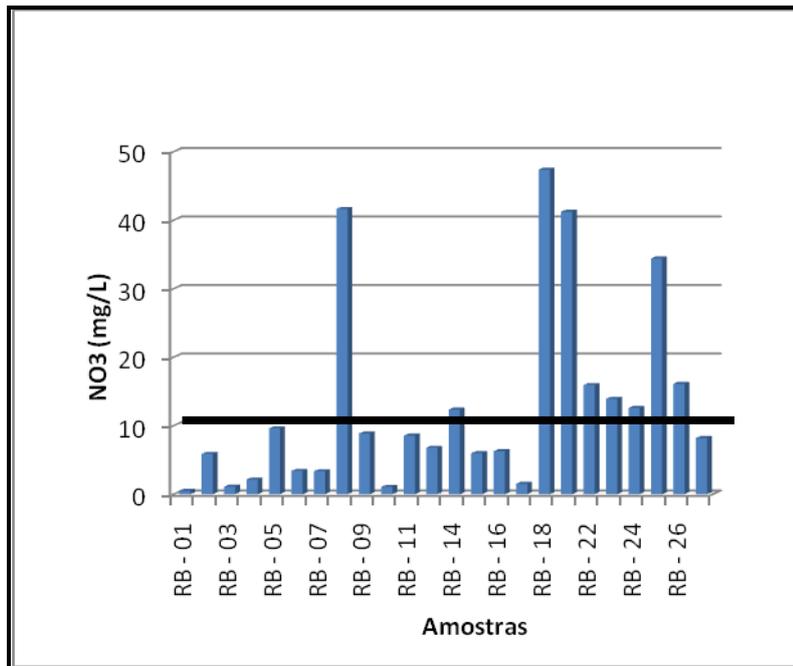


Figura 33 – Gráfico com os resultados das análises de nitrato nas amostras de água subterrânea do aquífero Rio Branco.

De acordo com o mapa da figura 37, a pior situação entre as amostras analisadas para o nitrato se encontra nos poços RB-08, RB-18 e RB-19, localizados na vila da Amizade e no loteamento Santa Inês. Em seguida vem os poços RB-24, RB-25 e RB-26 nos bairros Triangulo Novo, Cidade Nova e 6 de Agosto; além do bairro Taquari, onde foi identificada contaminação nos poços RB-22 E RB-23.

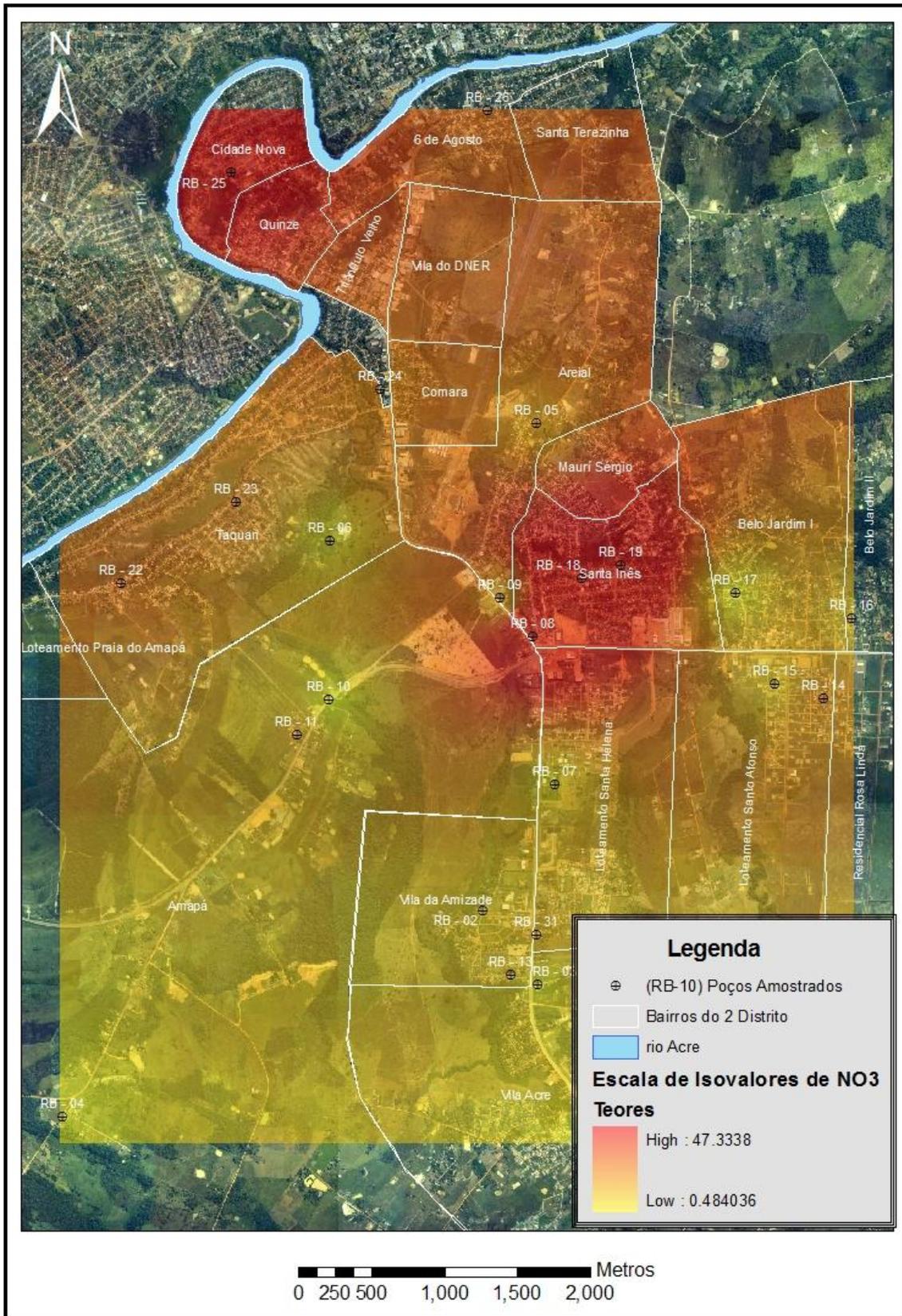


Figura 34 – Mapa de isovalores de nitrato nas águas subterrâneas do 2º Distrito.

Vale destacar que, a principal fonte de contaminação pelo elemento nitrato nas águas subterrâneas do 2º Distrito de Rio Branco, assim como nas demais cidades de nosso país e ao redor do planeta, são os sistemas de saneamento *in situ*. A proximidade fossa-poço é responsável pela má qualidade de muitas fontes de abastecimento público e privado, sendo a causa, em grande parte, pela alta taxa de mortalidade infantil. Estes problemas têm merecido pouca atenção por parte dos técnicos e principalmente das autoridades responsáveis pelo setor. O uso da norma de 15 m de distância entre fossa e poço não tem nenhum rigor científico, sendo necessário, para cada caso, estudos integrando dados sobre as características naturais do terreno, como profundidade do nível d'água, litologia e tipo construtivo do sistema de disposição de efluentes domésticos (Ferreira & Hirata, 1993).

De acordo com vários estudos realizados pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), teores de nitrato superiores a 3 mg/L já são indicativos de alteração do estado natural das águas subterrâneas (Campos, 2003), por isso, vale destacar que, nove poços dentre os investigados no 2º Distrito de Rio Branco apresentaram teores entre 3,4 mg/L de nitrato (RB-06) e 9,6 mg/L de nitrato (RB-05), o que corresponde a 37,5% do total dos poços avaliados. Ou seja, dos vinte e quatro poços analisados, dezoito amostras, correspondentes a 75% do total, apresentaram contaminação ou indício de alteração de sua qualidade original por atividade antrópica.

O saneamento *in situ*, no entanto, representa uma fonte de contaminação pontual, ou seja, pode ser que um sistema poço-fossa se encontre contaminado e que, a uma distância de cem metros apenas, dependendo das condições hidrogeológicas locais, outro poço não apresente sequer indícios de contaminação. Porém, não se pode deixar de considerar a contaminação que atinja determinado poço, pois, isto estará afetando diretamente a saúde da população que faz uso deste recurso natural.

Em relação aos demais elementos químicos analisados, nas amostras de água subterrânea do aquífero Rio Branco, não foi identificado nenhum tipo de alteração/contaminação indicativa de origem antrópica. Entretanto, alguns elementos como o ferro total, o manganês e o alumínio apresentaram em alguns poços, teores acima do permitido pela Resolução 396 (2008) do CONAMA.

O ferro total analisado apresentou teores acima de 0,3 mg/L em seis amostras de água subterrânea, sendo que, este valor corresponde a 25% das amostras analisadas, conforme pode ser observado no gráfico da figura 38. Entretanto, estes teores estão relacionados diretamente às características geológicas locais, ou seja, o ferro em excesso na água subterrânea é proveniente de antigas superfícies expostas que passaram por um processo de ferruginização e que, posteriormente foram soterradas por camadas mais novas, caracterizando os lateritos imaturos autóctones da Amazônia, constituídos por nódulos, concreções, esferólitos e fragmentos compostos de oxi-hidróxidos de ferro em matriz argilosa a arenosa (Costa, 1991). Estas concreções ferruginosas podem ser geradas também pela variação sazonal do lençol freático que, com o passar do tempo geológico concentra o ferro nas porções superiores do aquífero. O mapa da figura 35 ilustra a distribuição espacial dos teores de ferro identificados na água subterrânea no 2º Distrito.

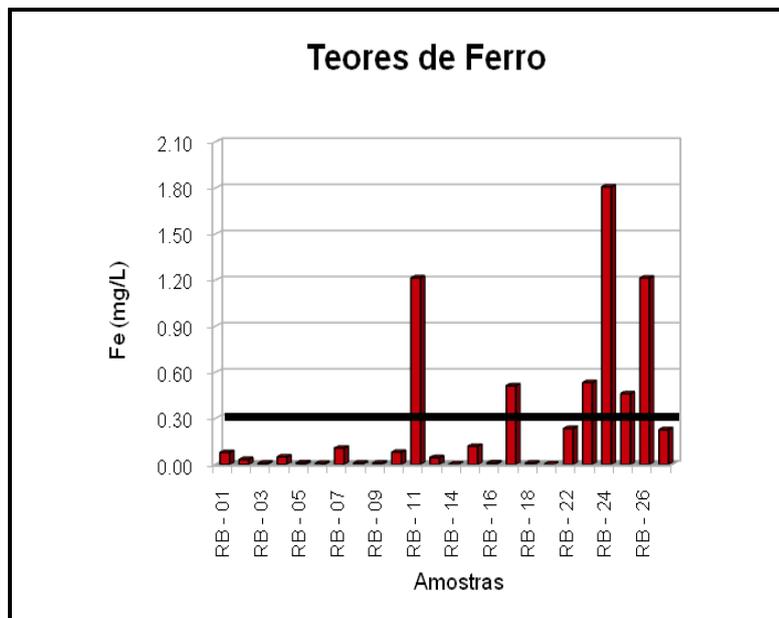


Figura 35 - Gráfico com os resultados das análises de ferro nas amostras de água subterrânea do aquífero Rio Branco.

De acordo com o mapa da figura 36, as maiores concentrações de ferro nas águas subterrâneas foram identificadas nos bairros Amapá (RB-11), Triângulo Novo (RB-24) e 6 de Agosto (RB-26).

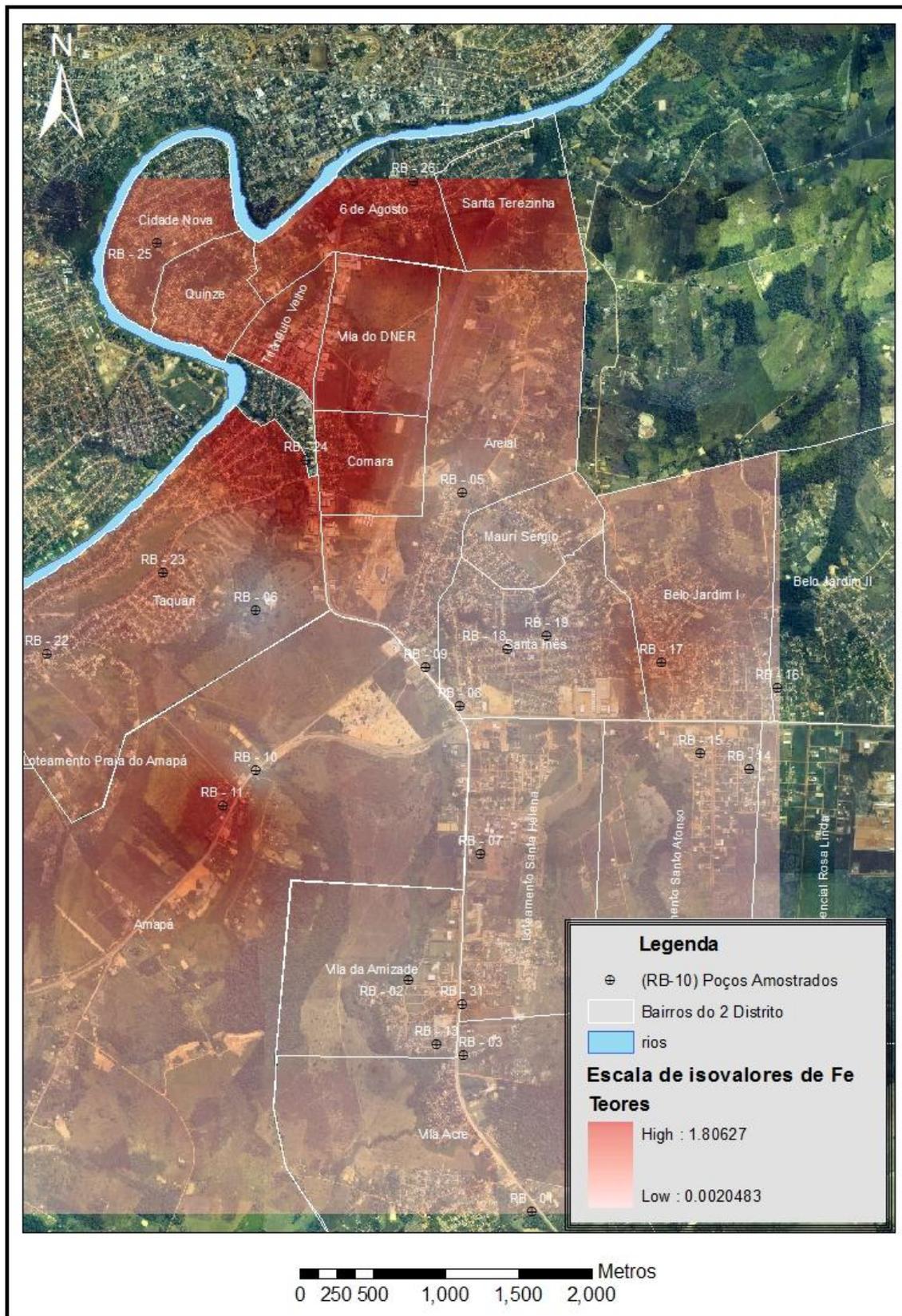


Figura 36 – Mapa de isovalores de ferro nas águas subterrâneas do 2º Distrito.

O teor de manganês identificado acima do valor estabelecido pela Portaria 386/2008 do CONAMA em 45,8% das amostras analisadas (Figura 37) se dá em decorrência do mesmo processo de formação de carapaças ferruginosas que constituem os lateritos imaturos autóctones da Amazônia, ou seja, a concentração deste elemento ocorre através da formação de minerais de hematita, goethita e caulinita, influenciando diretamente a composição química da água subterrânea. As principais anomalias foram identificadas nos bairros Taquari, Triangulo Novo, Comara, Cidade Nova, 6 de Agosto, Santa Inês e Loteamento Santa Helena, conforme apresentado no mapa da figura 38.

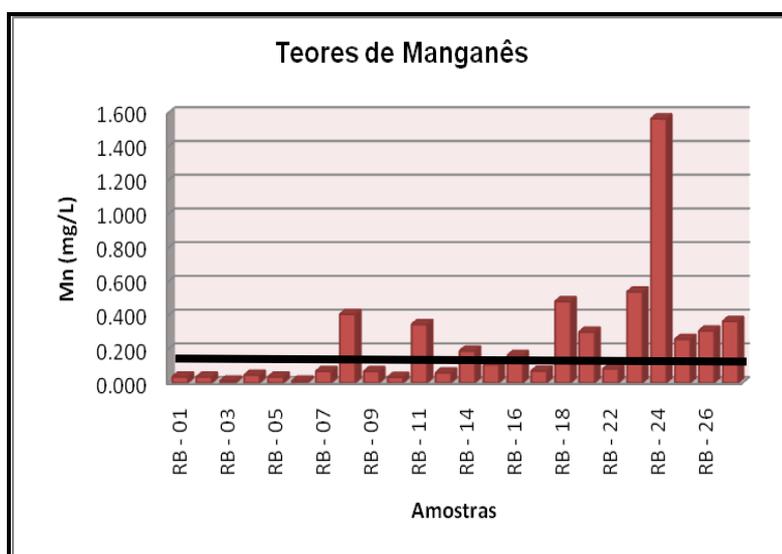


Figura 37 - Gráfico com os resultados das análises de manganês nas amostras de água subterrânea do aquífero Rio Branco.

O alumínio apresentou também alguma alteração em seu teor, que se apresenta acima do estabelecido pela Portaria 396/2008 do CONAMA, entretanto, este elemento é adicionado à composição das águas subterrâneas através de processos naturais, uma vez que, o arcabouço geológico local é rico em caulinita em sua composição, que corresponde a um argilo-mineral de alumínio hidratado ($\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 + 4\text{H}_4\text{SiO}_4 + 2\text{K}^+ + 2\text{OH}^-$).

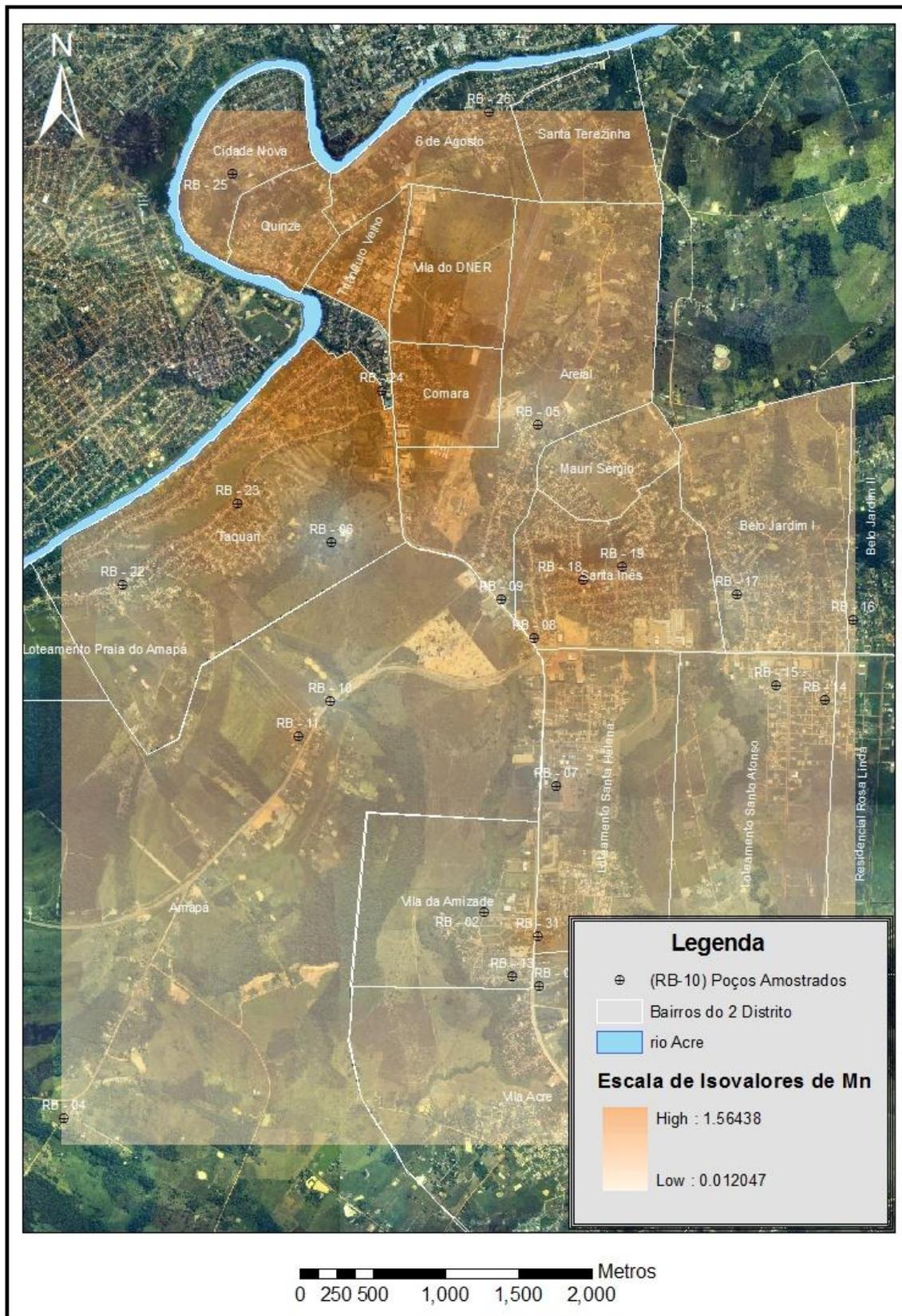


Figura 38 – Mapa de isovalores de manganês nas águas subterrâneas do 2º Distrito.

O gráfico da figura 39 ilustra os teores de Al nas amostras analisadas de água subterrânea, no 2º Distrito de Rio Branco. As anomalias de alumínio foram identificadas principalmente nas amostras RB-22 e RB-23 no bairro Taquari, RB-08, RB-18 e RB-19 no Loteamento Santa Inês, como é apresentado no mapa da figura 40.

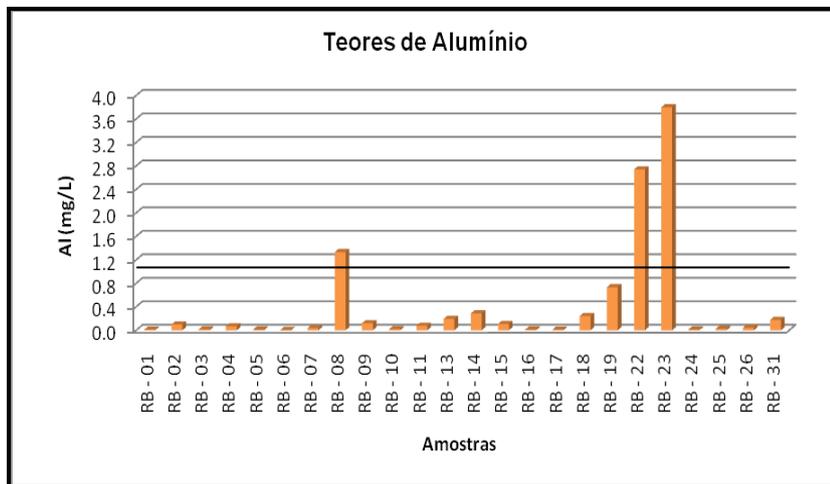


Figura 39 - Gráfico com os resultados das análises de alumínio nas amostras de água subterrânea do aquífero Rio Branco.

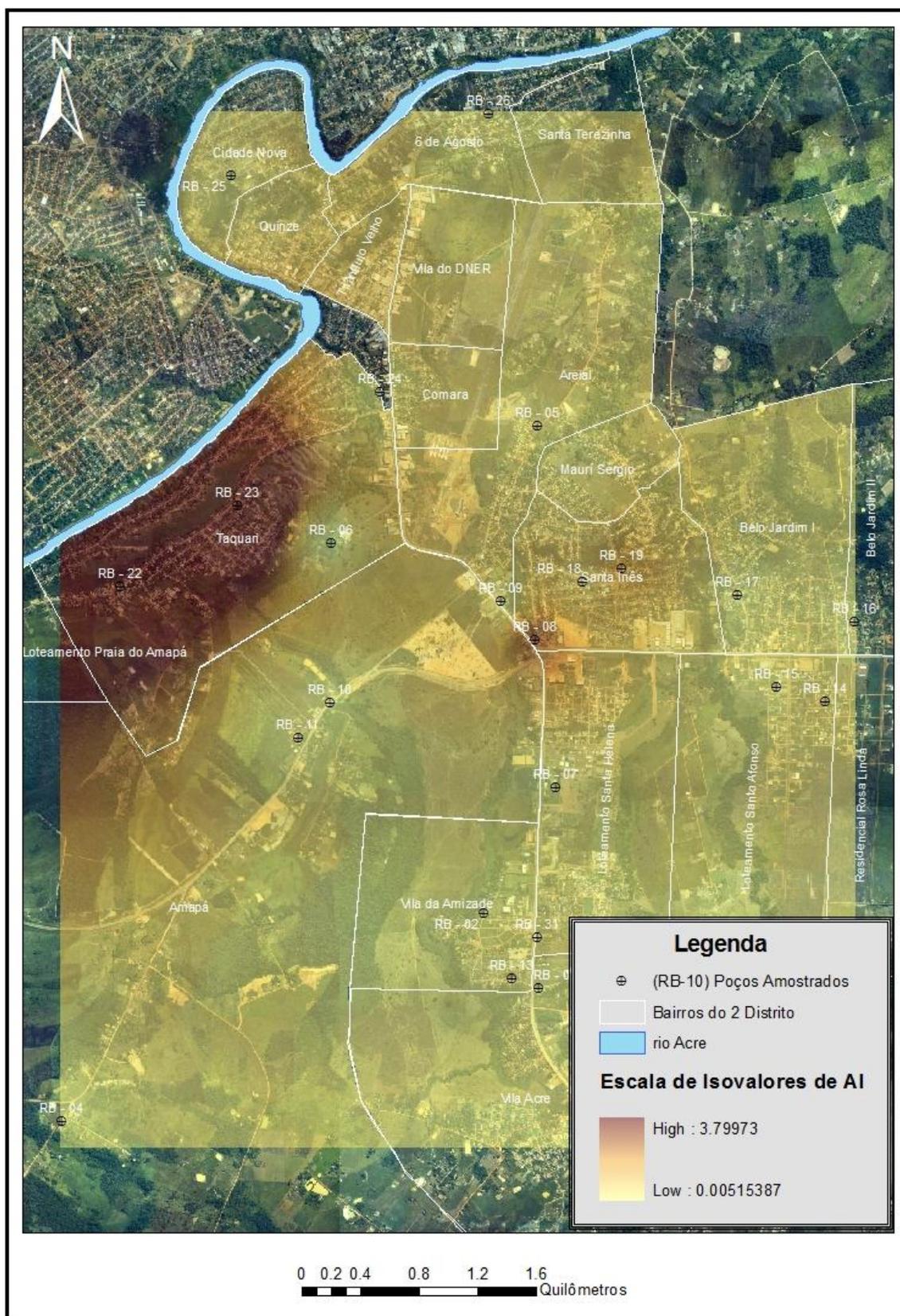


Figura 40 – Mapa de isovalores de alumínio nas águas subterrâneas do 2º Distrito.

Em relação às análises bacteriológicas realizadas nas amostras de água subterrânea do 2º Distrito de Rio Branco, verificou-se a presença expressiva de coliformes totais em 70,83% das amostras analisadas. Estes elementos representam grupos de bactérias gram-negativas, que podem ou não necessitar de oxigênio, aeróbicas ou anaeróbicas, que não formam esporos, e são associadas à decomposição de matéria orgânica em geral. Tratando-se dos coliformes termotolerantes, associados às bactérias identificadas em fezes de animais de sangue quente, pois toleram temperaturas acima de 40°C e reproduzem-se nessa temperatura em menos de 24 horas, representando, portanto, muito mais risco para a saúde da população local; sua presença foi identificada em apenas três poços investigados nos bairros Taquari, correspondendo a 12,5% do total de amostras analisadas.

No gráfico da figura 41, o número 1 representa a presença de coliformes termotolerantes ou totais, e, o número 0 representa a ausência de qualquer tipo destas bactérias.

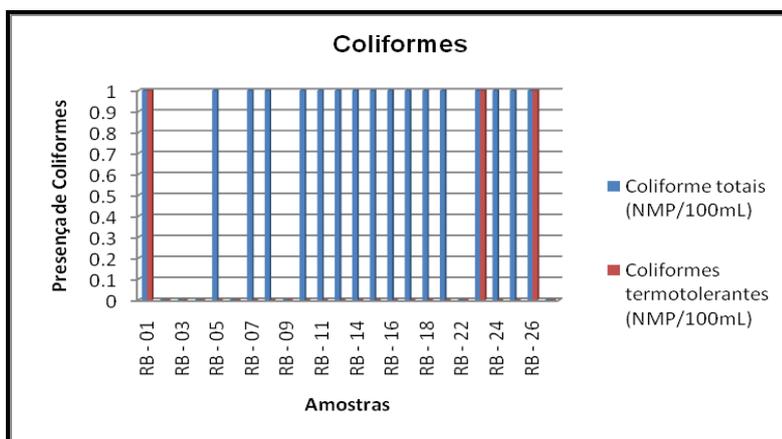


Figura 41 – Gráfico ilustrando a presença ou ausência de coliformes termotolerantes e totais nas amostras de água subterrânea analisadas.

A presença limitada de coliformes termotolerantes é um fato positivo para a qualidade das águas subterrâneas no 2º Distrito, uma vez que, os coliformes totais não representam tanto risco para a saúde humana e podem ser facilmente eliminados da água por um simples processo de cloração. Evidentemente que, a cloração deve ser executada de maneira correta e eficiente, como através da instalação de um clorador por difusão no poço. A ocorrência de coliformes termotolerantes e coliformes totais está representada nos mapas das figuras 42 e 43.

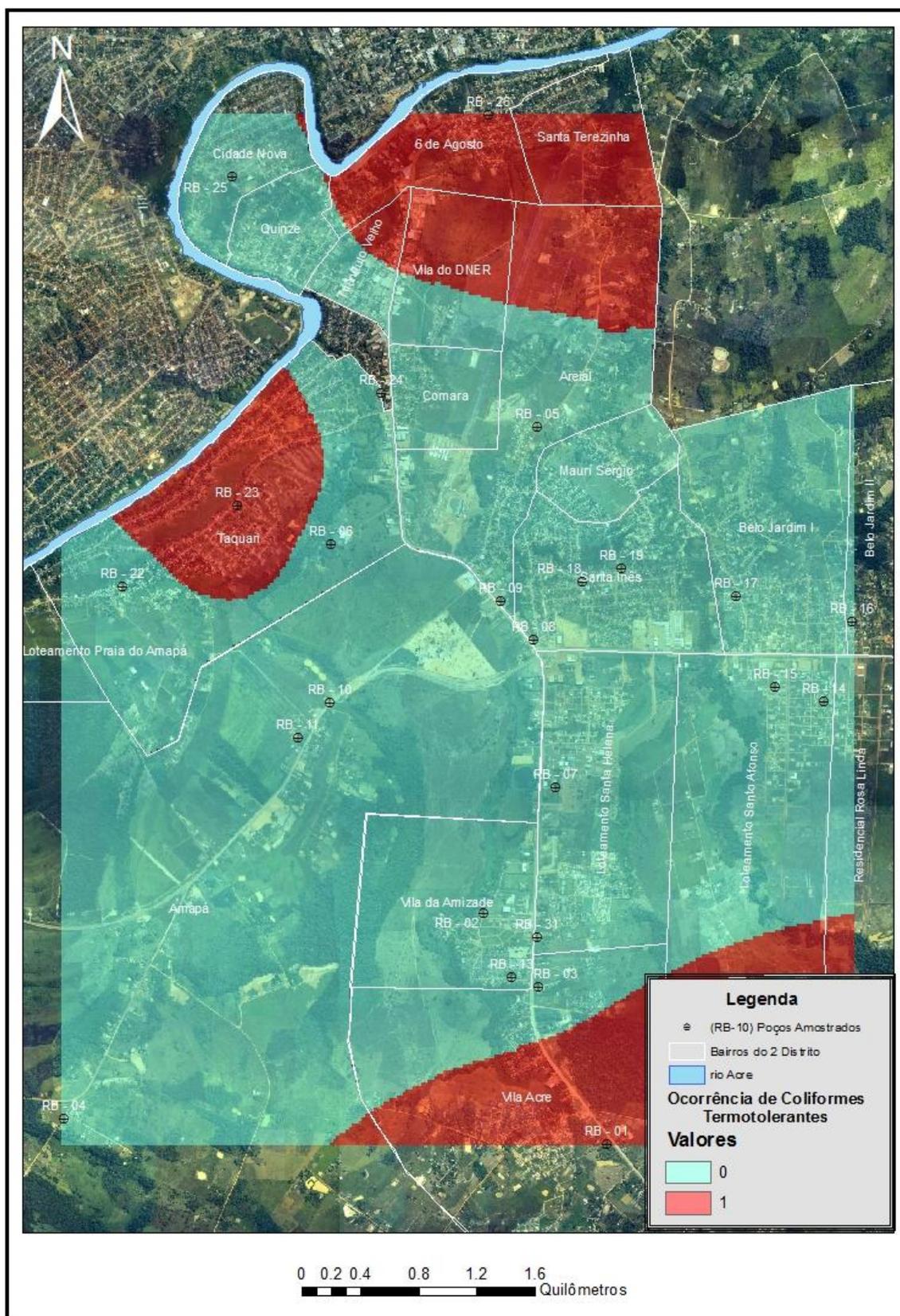


Figura 42 – Mapa de ocorrência de coliformes termotolerantes nas águas subterrâneas do 2º Distrito.

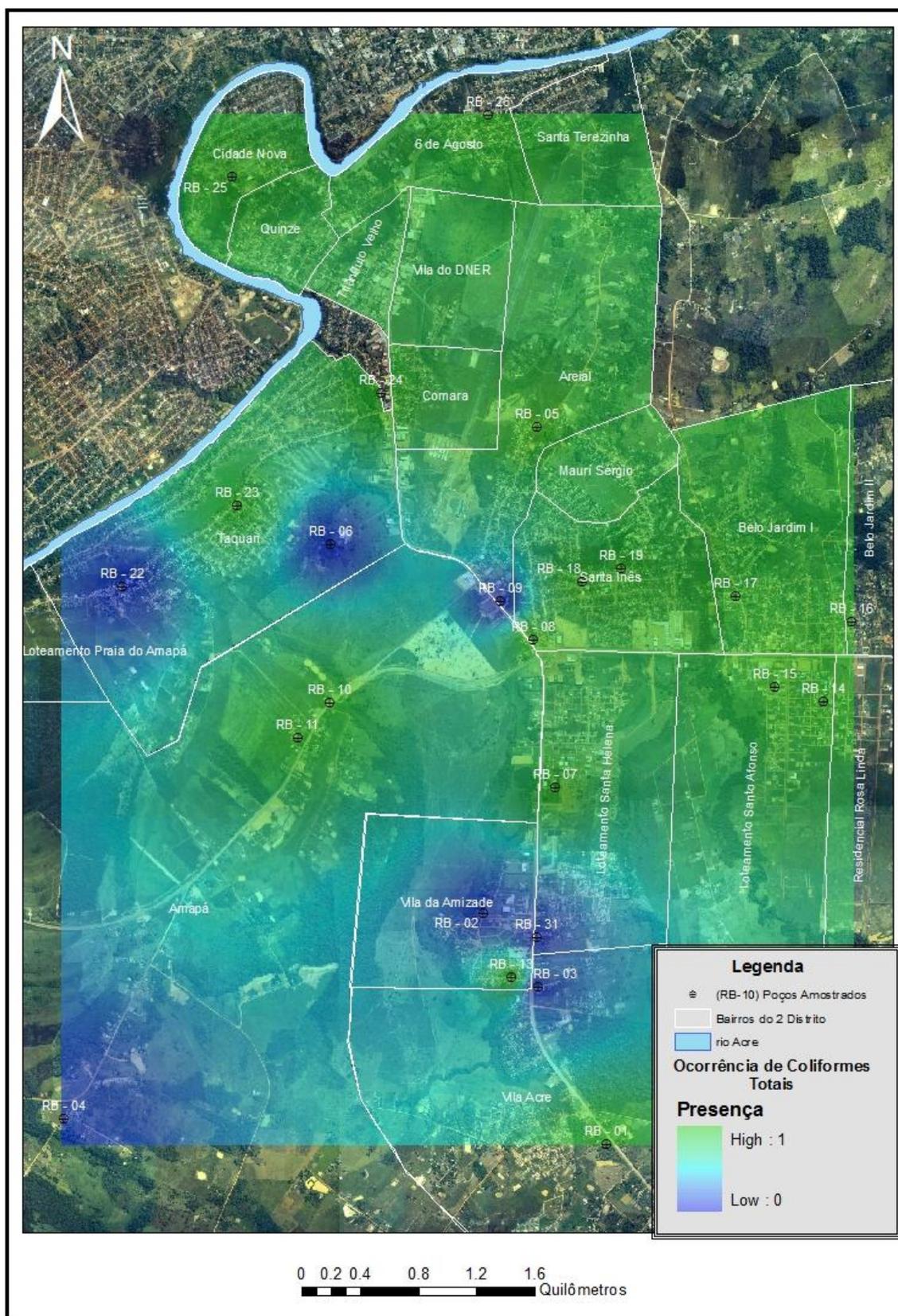


Figura 43 – Mapa de ocorrência de coliformes totais nas águas subterrâneas do 2º Distrito.

4.5.2 Classificação das águas subterrâneas

Para classificar as águas subterrâneas do aquífero Rio Branco, em relação ao teor de cátions e ânions em sua composição, foi utilizado o diagrama de Piper por intermédio do *software* Qualigraf. De acordo com a plotagem dos valores dos principais elementos analisados, foi possível obter o gráfico da figura 44, ilustrando as classificações obtidas. O grupo de amostras que se apresentou mais preservado, sem elevados teores de nitrato caiu no campo das águas sódicas ou bicarbonatadas sódicas, podendo ser consideradas sem indícios de contaminação. O segundo grupo de amostras, que apresentou elevados teores de nitrato, engloba o grupo das águas bicarbonatadas, cloretadas ou cloretadas sódicas.

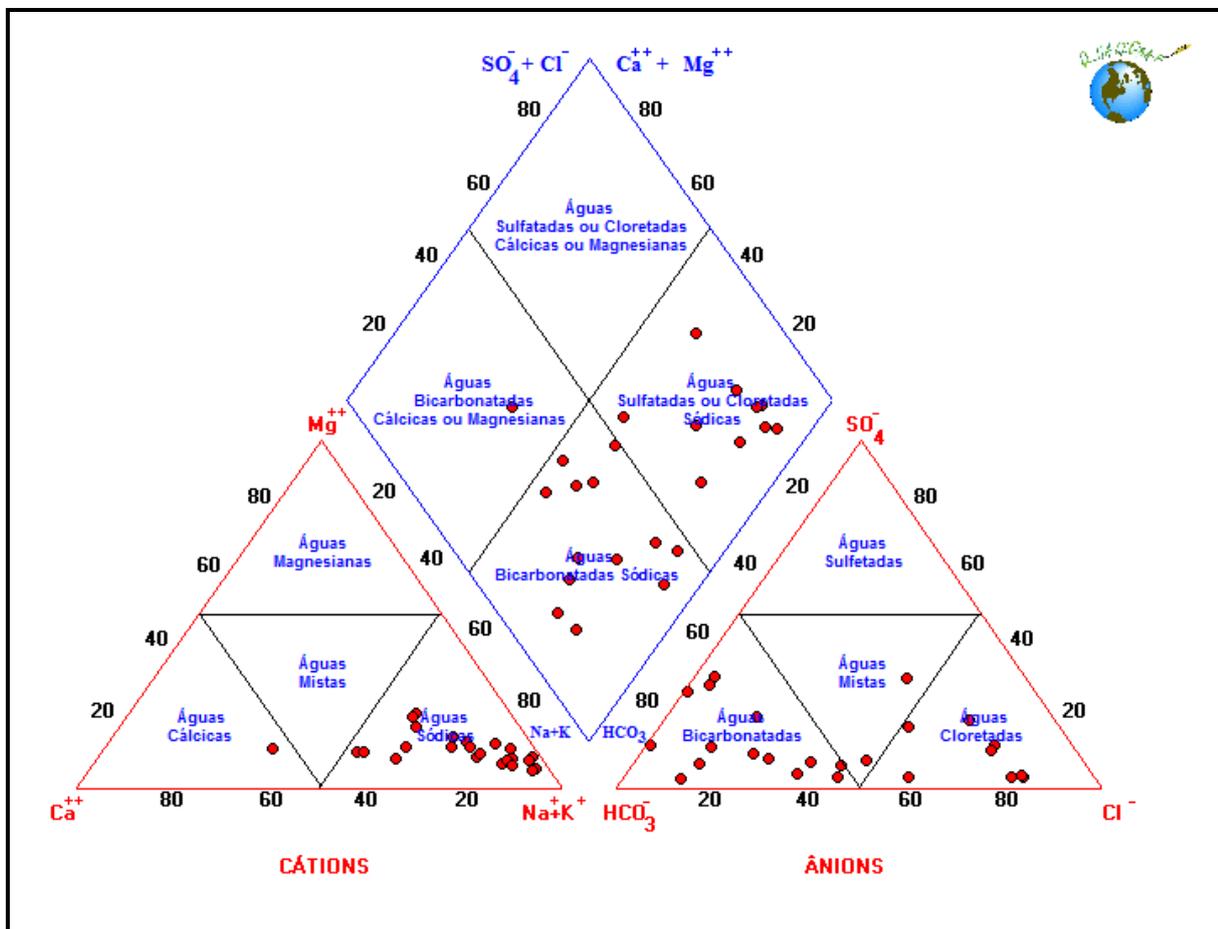


Figura 44 – Diagrama de Piper ilustrando a concentração dos principais cátions e ânions analisados nas amostras de água subterrânea.

Vale destacar que, os locais onde foram identificadas amostras com contaminação da água subterrânea, principalmente, pelo elemento nitrato, se

encontram nos bairros mais populosos do 2º Distrito de Rio Branco, como Taquari, 6 de Agosto, Cidade Nova e Triangulo Novo, com a exceção da vila da Amizade.

4.6 Estudo hidrológico no rio Acre

A estação hidrológica do rio Acre foi construída com o objetivo de monitorar a variação diária do nível da água, nas proximidades da Estação de Captação da ETA II, como pode ser observado na foto 6. Esta variação, ao longo dos anos hidrológicos pode fornecer os períodos em que o rio Acre é alimentado pelo fluxo de base do aquífero Rio Branco, assim como, permite calcular o volume de água descarregado no rio Acre.



Foto 6 – Vista das réguas de monitoramento do rio Acre na estação de captação da ETA II, no 2º Distrito de Rio Branco.

A instalação da estação fluviométrica foi realizada de acordo com a metodologia descrita no item 3.6, estando ilustrada nas fotos 7 e 8.



Foto 7 – Instalação da estação fluviométrica na área de captação da ETA II.



Foto 8 – Instalação da estação fluviométrica na área de captação da ETA II.

A estação fluviométrica foi instalada em setembro de 2008 e as cadernetas para observação do nível do rio Acre, assim como um treinamento sobre a leitura das réguas foram repassadas para a equipe do Sistema Autônomo de Água e Esgoto de Rio Branco - SAAERB, responsável pela leitura diária e preenchimento das cadernetas. Entretanto, as leituras foram realizadas de forma muito heterogênea, não permitindo a utilização dos dados para o presente estudo. De qualquer forma, os dados desta estação podem ser aproveitados futuramente, caso as leituras diárias sejam executadas de maneira correta. Diante desta situação, foram utilizados os dados da estação fluviométrica Rio Branco (código 13600002),

de propriedade da Agência Nacional das Águas - ANA, distante a aproximadamente 8,6 km da área de captação da ETA II. A utilização dos dados da estação 13600002 da ANA não prejudicam o desenvolvimento deste trabalho, devido a proximidade entre as duas estações, caracterizando, desta forma, uma grande homogeneidade nos sistemas pluviais e fluviais investigados. Assim, foram utilizados os dados diários, condensados em médias mensais para os anos de 1971 a 2008, disponibilizados no endereço eletrônico da ANA e, correspondendo a uma série de dados muito mais completa e representativa para o presente estudo. A tabela 26 apresenta os dados utilizados na avaliação hidrológica do presente estudo, assim como a figura 45 ilustra a variação mensal do nível do rio, com base em suas médias históricas.

Tabela 26 – Série histórica do nível do rio Acre entre os anos de 1971 a 2008, observados em mm na estação 13600002 da ANA (ANA, 2010).

Anos	Meses											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1971	730	1351	1196	1226	752	414	349	310	290	335	444	527
1972	958	1242	1276	851	646	392	327	314	337	326	391	722
1973	859	1231	1166	1179	630	505	408	355	320	336	616	851
1974	1220	1437	1254	1052	633	477	398	368	322	463	484	830
1975	866	1195	1280	932	787	497	512	385	383	368	402	493
1976	1074	1378	1368	1114	566	455	384	352	346	390	444	691
1977	1062	1103	1217	757	711	400	391	328	313	420	785	845
1978	965	1081	1317	1295	799	551	424	370	378	439	637	1358
1979	1136	886	1346	967	747	481	413	386	390	408	559	654
1980	778	920	1028	694	520	380	344	346	336	414	412	555
1981	768	1171	1153	1010	649	566	377	359	339	388	470	662
1982	989	1124	1178	990	597	490	384	389	408	542	598	855
1983	835	824	1095	864	651	467	362	319	304	313	506	684
1984	988	1324	1200	1275	674	470	397	360	392	446	777	867
1985	1146	904	1177	1273	1006	519	422	402	406	555	721	759
1986	1244	1370	1210	1105	678	468	411	402	397	437	476	717
1987	1024	904	709	786	703	411	354	311	294	356	580	1421
1988	799	1506	992	1149	709	483	392	349	340	348	375	654
1989	1060	1194	1046	1083	787	459	377	335	321	376	562	503
1990	1070	1069	1167	911	645	411	354	306	332	385	605	853
1991	1239	1167	1147	659	594	426	353	325	327	318	511	632
1992	898	801	1008	968	525	373	342	303	357	366	474	808
1993	1092	1042	1159	938	673	441	361	335	324	351	582	760
1994	868	1317	1000	1102	669	433	350	303	298	330	497	770
1996	701	1138	1114	1051	651	427	327	289	305	334	539	596

1997	859	1243	1603	1070	741	467	375	347	322	324	462	425
1998	822	805	1099	739	412	380	262	239	220	296	652	1034
1999	1247	1303	995	844	826	523	400	296	286	287	546	850
2000	853	870	967	696	497	361	308	295	238	317	470	412
2001	848	838	1257	831	437	381	309	258	250	320	519	821
2002	891	1142	1006	840	655	392	325	297	278	303	351	527
2003	775	1133	1062	837	429	352	284	259	260	425	493	421
2004	1018	1098	936	810	423	320	299	248	242	264	450	645
2005	589	1001	762	712	412	260	220	184	171	245	448	760
2006	850	1383	939	955	409	328	240	221	217	307	410	800
2007	966	1003	1092	831	644	353	259	205	209	249	362	708
2008	873	1114	901	1001	383	296	233	217	203	235	361	665
Médias	945	1125	1120	957	629	427	352	315	310	360	513	733

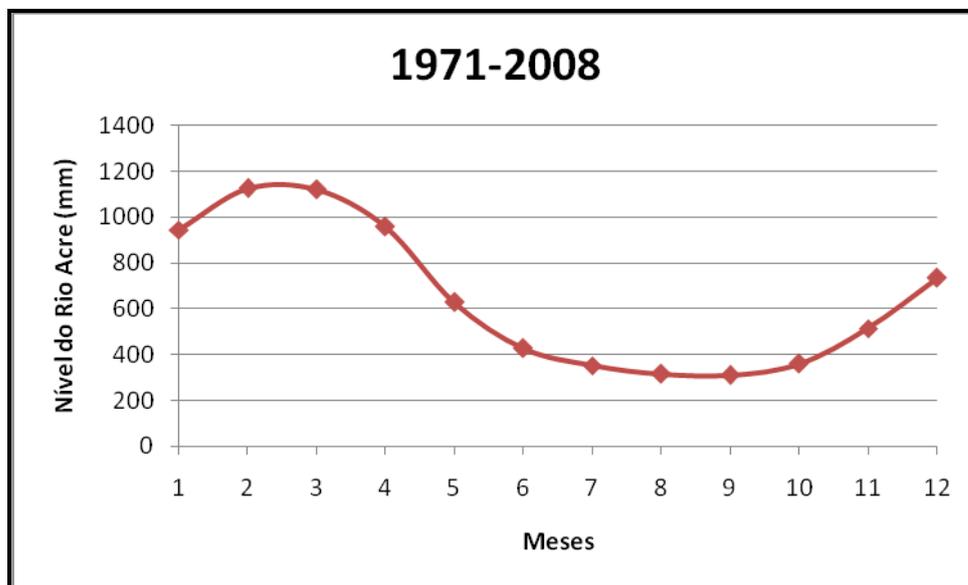


Figura 45 – Variação média mensal do nível do rio Acre entre os anos de 1971 a 2008 (ANA, 2010).

De acordo com os dados da estação 13600002 da ANA, o nível mais alto do rio Acre corresponde à cota 1124,65 mm e o mais baixo corresponde a 309,59 mm. Ao se correlacionar estes valores e seus intermediários com o balanço hídrico do município de Rio Branco (item 4.3.2), o qual apontou um déficit hídrico entre os meses de maio a outubro, é possível verificar que neste período, o rio Acre é alimentado praticamente pelo fluxo de base, ou seja, pelos pontos de descarga do aquífero Rio Branco. No período de déficit hídrico, o nível do rio Acre variou entre 682,92 mm em maio a 359,89 mm no mês de outubro, caracterizando um rebaixamento de 323,03 mm no nível do rio Acre, correspondendo também, ao fluxo

de base do aquífero Rio Branco, que neste período, alimentava o rio Acre. Com base nestas informações, é possível calcular as reservas do aquífero Rio Branco, com bastante acurácia, devido ao longo intervalo de dados utilizados.

4.8 Estudos Geofísicos

A caracterização da geologia e da hidrogeologia da área estudada foi realizada por intermédio do método geofísico da Eletrorresistividade, o qual permite obter a profundidade do nível estático, a espessura das camadas aquíferas, assim como das camadas confinantes. A metodologia utilizada, se baseou na aquisição de dados de campo, utilizando as técnicas de Sondagem Elétrica Vertical (SEV), através do arranjo Schlumberger e o Imageamento Elétrico, através do arranjo Dipolo-Dipolo. Com os dados adquiridos, foi realizado o tratamento e interpretação, mostrando o diagnóstico da área avaliada.

Durante a atividade de campo foram realizadas 24 sondagens elétricas, onde a abertura $AB/2$ alcançou de 100 a 150 metros, com exceção da SEV 24 ($AB/2=10$ m) e 03 caminhamentos geoeletricos, com abertura $X = 30$ m, variando de 480 a 540 metros de extensão.

4.8.1 Sondagens Elétricas Verticais (SEV's)

Os dados referentes à localização, abertura e azimute das 24 sondagens elétricas verticais realizadas se encontram na tabela 27. O mapa da figura 46, por sua vez, ilustra a localização e distribuição das SEV's ao longo do 2º Distrito de Rio Branco. Os dados coletados em campo foram interpretados por intermédio do *software* IPI2Win, desenvolvido pela Universidade de Moscou. O IPI2Win realiza a inversão automática dos dados das resistividades aparentes interpretando as curvas de resistividade, onde podemos ajustar a curva obtida em um modelo gerado pelo programa, sendo possível visualizar a profundidade da camada geoeletrica mais resistiva a qual, geralmente, corresponde ao embasamento hidrogeológico, para cada sondagem elétrica, como indicado na tabela 28.

Tabela 27 – Localização e características das SEVS realizadas no 2º Distrito de Rio Branco.

Sondagem Elétrica	Toponímia	Coordenadas UTM	Abertura (m)	Azimute
SEV 01	Estrada do Amapá	630974/8893292	150m	050° Az*
SEV 02	Estrada do Amapá	629865/8892026	60m	050° Az
SEV 03	Ramal da Piçarreira / Benfica	629309/8890736	150m	360° Az*
SEV 04	Ramal do Picapau	628285/8889578	150m	040° Az*
SEV 05	Ramal do Picapau	628043/8889172	150m	040° Az
SEV 06	Amapá	628028/8889592	150m	310° Az
SEV 07	Amapá	627659/8890014	150m	300° Az*
SEV 08	Estrada do Areial - Amapá	626101/8889630	150m	350° Az*
SEV 09	Estrada do Areial - Amapá	626715/8889868	150m	050° Az
SEV 10	Amapá	626640/8890202	100m	330° Az
SEV 11	Ramal Santa Helena	625815/8891538	150m	340° Az
SEV 12	Ramal da Piçarreira / Benfica	628854/8888090	150m	060° Az*
SEV 13	Vila Amizade/R. Seringueira	631546/8890830	150m	350° Az
SEV 14	Vila Acre	632266/8889418	150m	060° Az
SEV 15	Conj. Sto. Afonso	633454/8891828	150m	000° Az
SEV 16	Conj. Sto. Afonso R. Leonora de Moraes	633512/8892664	150m	340° Az*
SEV 17	Belo Jardim II/Estr. ao lado Eletronorte	638446/8896846	150m	070° Az
SEV 18	Ramal do Belo Jardim II	636453/8894676	150m	000° Az
SEV 19	Belo Jardim II/Ramal Monte das Oliveiras	635522/8895336	150m	350° Az
SEV 20	Ramal Proj. Psicultura Rio Branco	634978/8896378	150m	090° Az*
SEV 21	Ramal Proj. Psicultura Rio Branco	634419/8896874	150m	000° Az*
SEV 22	Ramal da Judia	633021/8895540	150m	060° Az
SEV 23	Comara	631318/8894952	150m	330° Az
SEV 24	BR-364, KM 06	638330/8893190	10m	010° Az

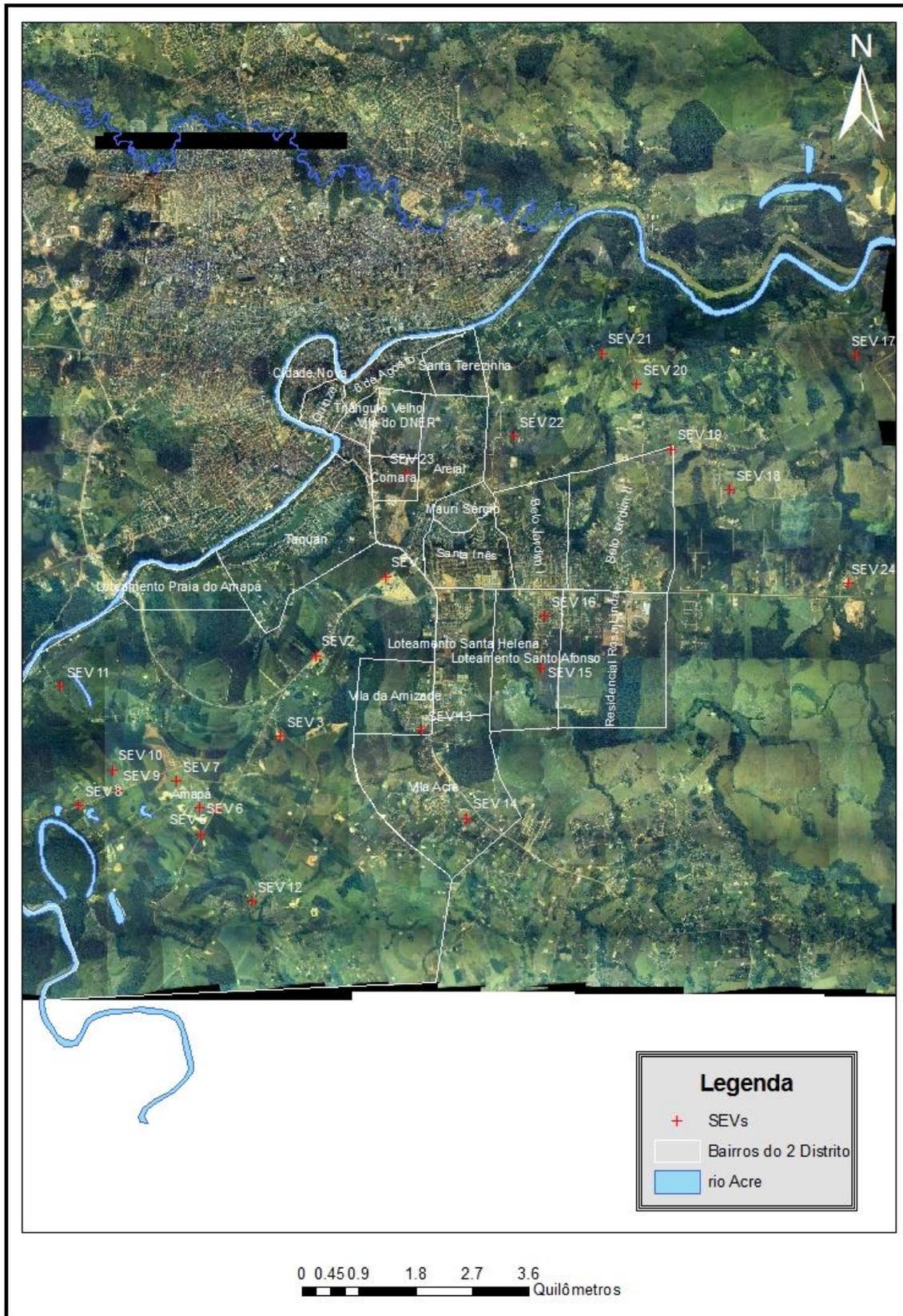


Figura 46 – Mapa de localização das SEV's realizadas no 2º Distrito de Rio Branco.

Tabela 28 - Resumo da interpretação das sondagens elétricas com profundidade em metros (P_n) e resistividade elétrica em ohm.m (ρ_n) das camadas geoeletricas (n=1, 2, 3, 4 e 5).

Sondagens	P_1	ρ_1	P_2	ρ_2	P_3	ρ_3	P_4	ρ_4
SE-1	-	-	-	-	-	-	-	-
SE-2	0	274	1	66	2	300	7	33
SE-3	0	14462	0	925	1	4629	17	314
SE-4	-	-	-	-	-	-	-	-
SE-5	0	1005	0	311	2	49	20	5
SE-6	0	478	0	828	1	106	17	6
SE-7	-	-	-	-	-	-	-	-
SE-8	-	-	-	-	-	-	-	-
SE-9	0	140	0	305	4	62	25	7
SE-10	0	69	0	616	1	143	15	8
SE-11	0	23	1	460	1	87	17	7
SE-12	-	-	-	-	-	-	-	-
SE-13	0	65	0	1626	2	134	21	14
SE-14	0	30	0	7380	1	6	2.6	15660
SE-15	0	772	1	684	2	221	45	6
SE-16	-	-	-	-	-	-	-	-
SE-17	0	48	0	19740	1	1663	1.8	13
SE-18	-	1632	0	290	2	670	13	5
SE-19	0	152	0	20580	1	268	20	4
SE-20	-	-	-	-	-	-	-	-
SE-21	-	-	-	-	-	-	-	-
SE-22	0	110	0	1370	0	90	23	23000
SE-23	0	40	0	93	0	9	30	4
SE-24*	0	630	0	597	1	107	1.8	756

Topo rochoso

Nível d'água

* Sondagem executada até $AB/2=10m$

A Tabela 29 apresenta um resumo dos resultados das interpretações das Sondagens Elétricas Verticais. Entretanto, em algumas sondagens os resultados não são apresentados devido à pouca qualidade de dados adquiridos em campo (SEV 1 na Estrada do Amapá; SEV 4 no Ramal do Pica-pau, SEV 7 no Bairro Amapá, SEV 8 na Estrada do Areial, SEV 12 no Ramal da piçarreira/Benfica, SEV 16 no Conjunto Sto Afonso rua Eleonora de Moraes e as SEV's 20 e 21 no Ramal dos projetos de piscicultura) em função da presença de muitos ruídos, fato este que impossibilitou uma interpretação satisfatória dos dados.

Tabela 29 – Profundidade do nível estático atingido pela sondagem elétrica e sua respectiva resistividade elétrica.

SEV's	Nível Estático (m)	Resistividade elétrica do Nível d'água (ohm.m)
SE-1	-	-
SE-2	7	33
SE-3	16.7	314
SE-4	-	-
SE-5	20	5
SE-6	17	6
SE-7	-	-
SE-8	-	-
SE-9	25.3	7
SE-10	15.2	8
SE-11	17.3	7
SE-12	-	-
SE-13	21	14
SE-14	Não definido	Não definido
SE-15	45	6
SE-16	-	-
SE-17	1.8	13
SE-18	13	5
SE-19	20	4
SE-20	-	-
SE-21	-	-
SE-22	Não definido	Não definido
SE-23	30	4
SE-24	1.8	756

A primeira camada, em geral, apresenta valores de resistividade maiores em relação às camadas subjacentes, pois o conteúdo de água na camada é menor.

Os valores de resistividade das camadas 2 e 3 na maior parte das sondagens (SEV's 3, 6, 10 e 11 no Bairro do Amapá; SEV 13 na vila da Amizade; SEV 15 no conjunto Sto. Afonso; SEV's 17, 18 e 19 no Belo Jardim II; SEV 22 no ramal da Judia e a SEV 24 nas proximidades da BR-364) provavelmente representam camadas de conteúdo arenoso. As profundidades do topo da camada correspondente à zona saturada variaram entre 7.0 a 45 metros, sendo que na média se encontram a 20 metros de profundidade. Os valores de resistividade elétrica chamam a atenção por apresentarem-se extremamente baixos (1 a 33 ohm.m), podendo ser indicativo de

conteúdo predominantemente argiloso da camada saturada. Nos casos das SEV's 3 e 24 a camada correspondente à zona saturada apresentaram valores de resistividade elétrica relativamente maiores (314 e 270 ohm.m), provavelmente devido à presença de sedimentos arenosos.

Os resultados indicam que o topo rochoso não foi atingido com a abertura AB/2 adotada no levantamento, sendo que a profundidade de investigação ficou restrita à zona saturada devido à esta camada sobrejacente ser constituída basicamente de argila, o que dificulta a penetração da corrente elétrica para profundidades maiores.

Nos casos das SEV's 14 e 22, as quais atingiram uma camada com resistividade elétrica extremamente alta, poderia ser representativa do topo rochoso nestes pontos, apesar de que a profundidade na SEV 14 para esta camada deve ser analisada com ressalvas, pois se encontra muito rasa, se comparada com o restante das sondagens, as quais nem atingiram o topo rochoso. Portanto, deve-se considerar somente o resultado da SEV 22, apresentando profundidade de 23 metros e resistividade elétrica nas camadas sobrejacentes de característica arenosa.

As figuras 47 a 62 apresentam os gráficos das Sondagens Elétricas Verticais que apresentaram os melhores resultados gerados por intermédio do *software* IPI2Win.

Legenda: N – Camada ρ – Resistividade Aparente h – Espessura da Camada

d - Espessura da Camada Cumulativa Alt - Profundidade da Camada

Camada — - Curva Modelo — - Curva de Campo

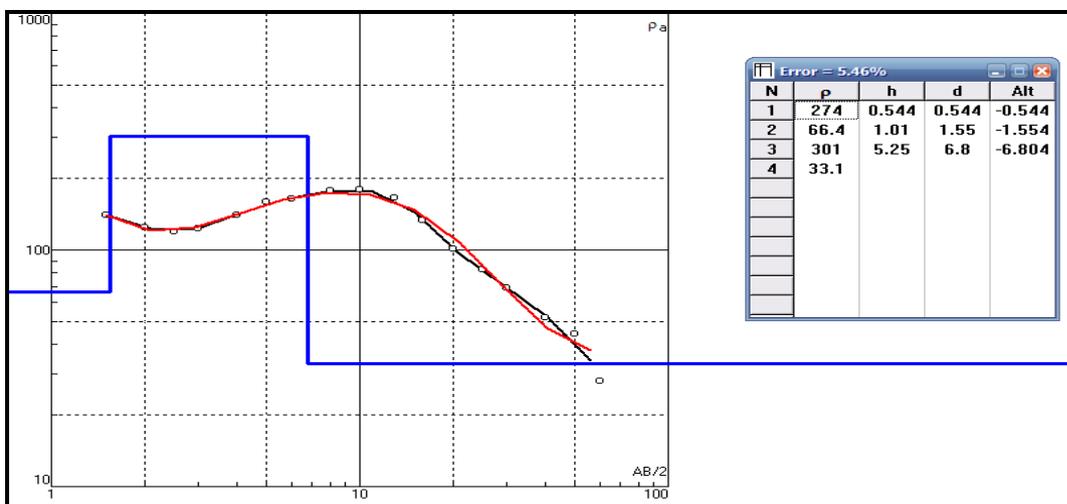


Figura 47 – Gráfico gerado por intermédio do software IPI2Win, utilizando os dados obtidos na SEV 2.

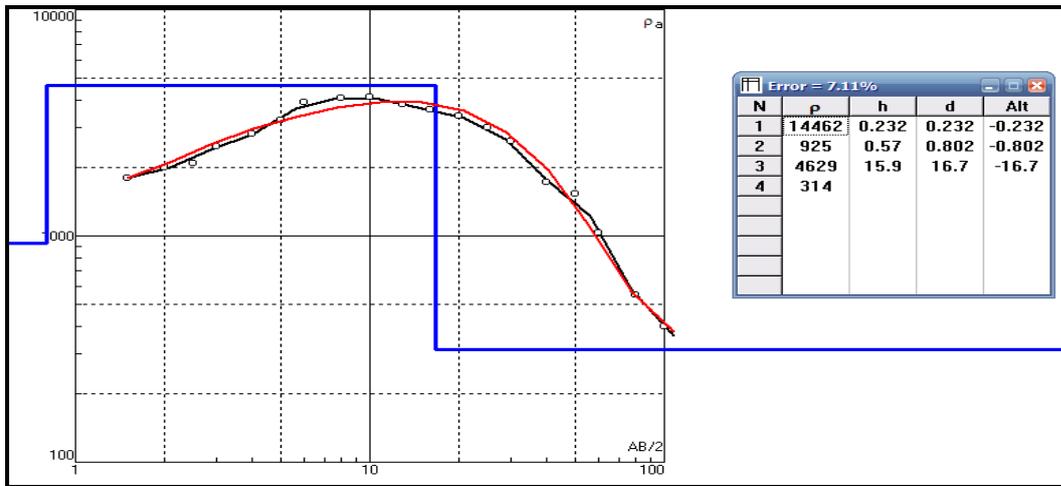


Figura 48 – Gráfico gerado por intermédio do software IPI2Win, utilizando os dados obtidos na SEV 3.

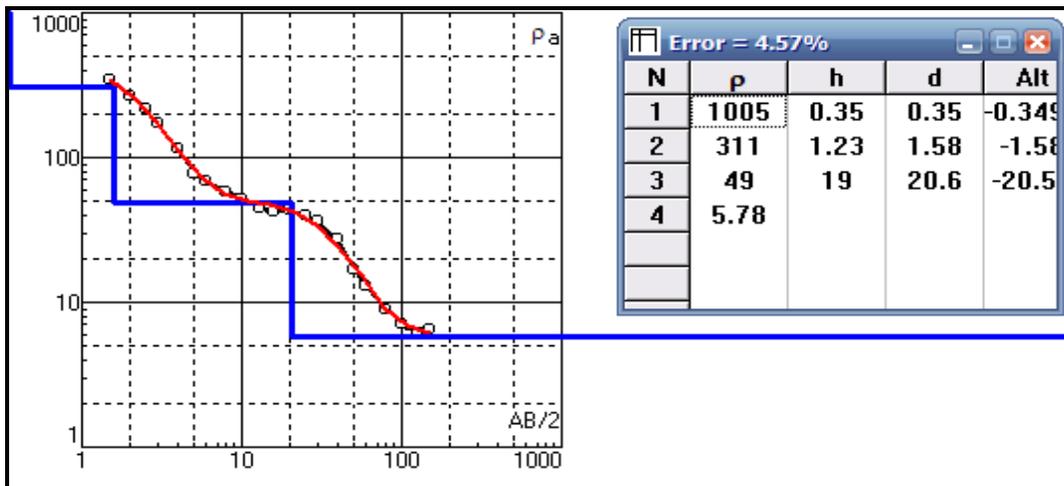


Figura 49 – Gráfico gerado por intermédio do software IPI2Win, utilizando os dados obtidos na SEV 5.

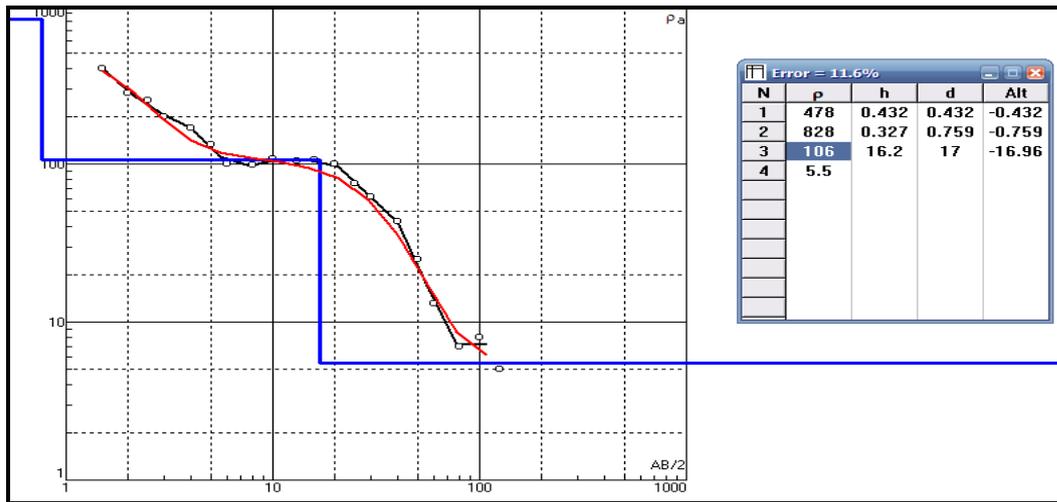


Figura 50 – Gráfico gerado por intermédio do software IPI2Win, utilizando os dados obtidos na SEV 6.

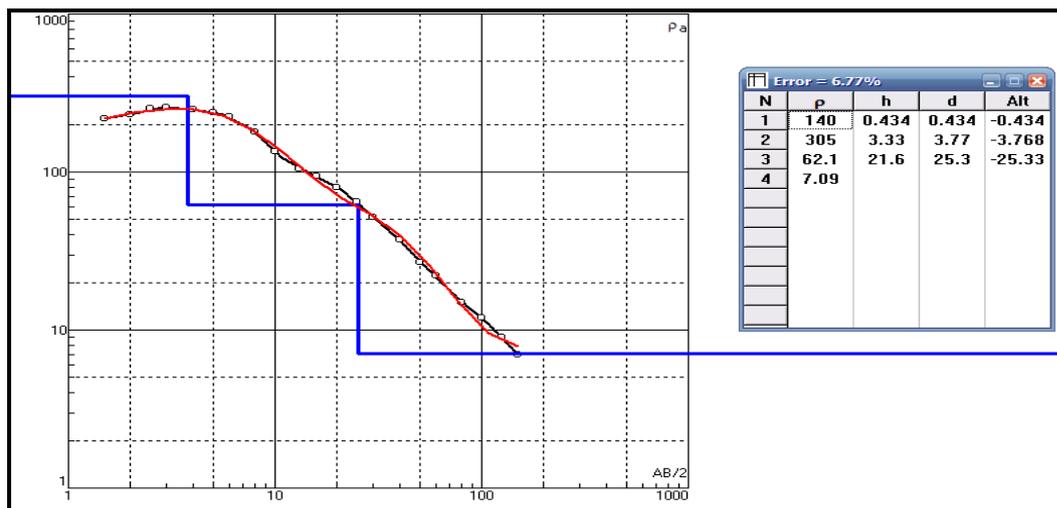


Figura 51 – Gráfico gerado por intermédio do software IPI2Win, utilizando os dados obtidos na SEV 9.

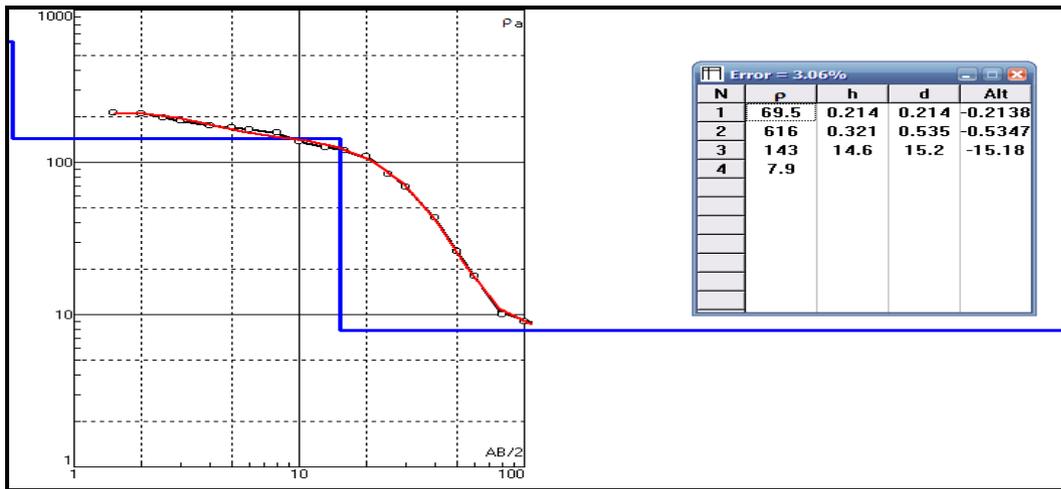


Figura 52 – Gráfico gerado por intermédio do *software* IPI2Win, utilizando os dados obtidos na SEV 10.

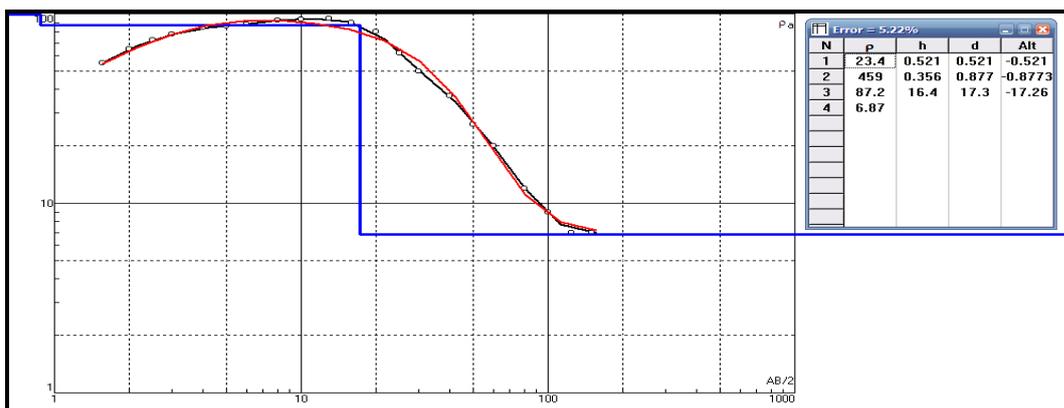


Figura 53 – Gráfico gerado por intermédio do *software* IPI2Win, utilizando os dados obtidos na SEV 11.

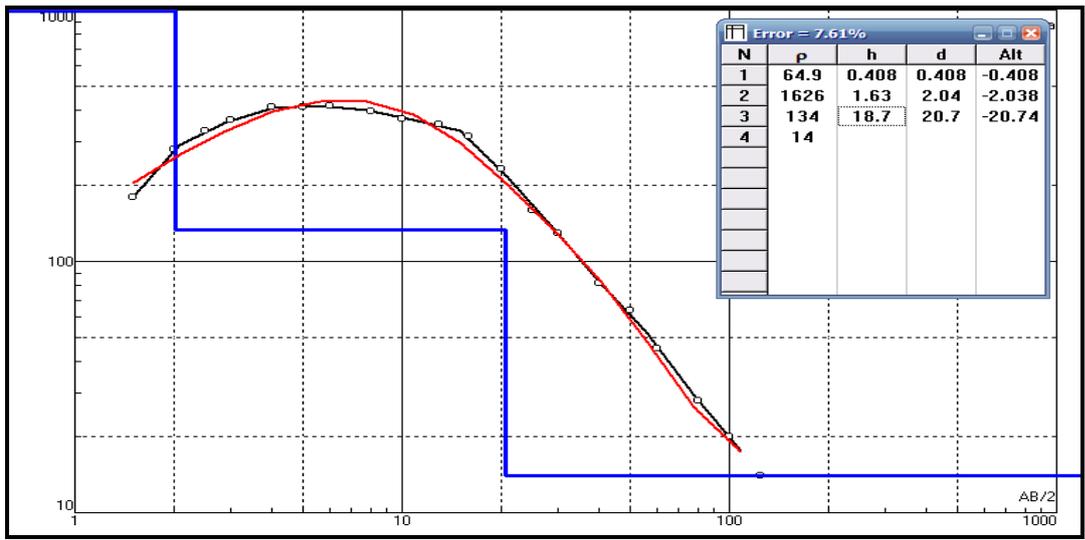


Figura 54 – Gráfico gerado por intermédio do software IPI2Win, utilizando os dados obtidos na SEV 13.

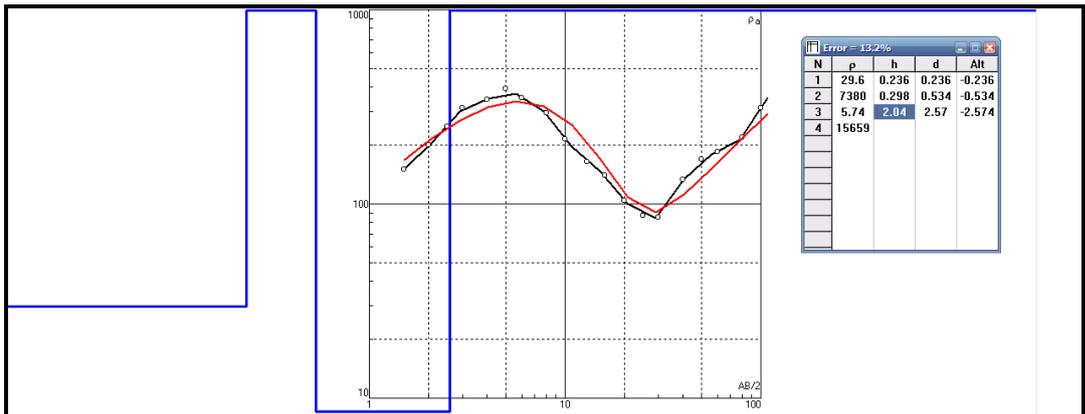


Figura 55 – Gráfico gerado por intermédio do software IPI2Win, utilizando os dados obtidos na SEV 14.

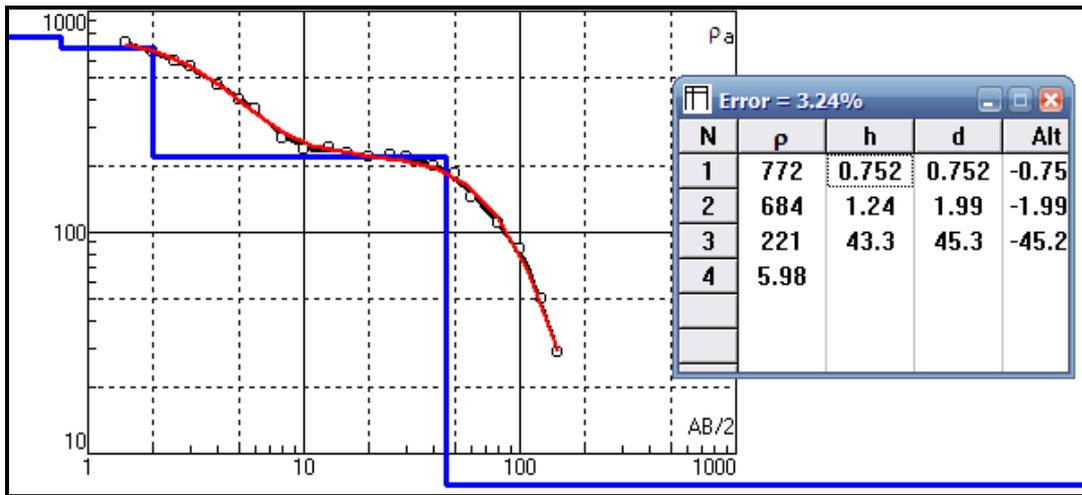


Figura 56 – Gráfico gerado por intermédio do *software* IPI2Win, utilizando os dados obtidos na SEV 15.

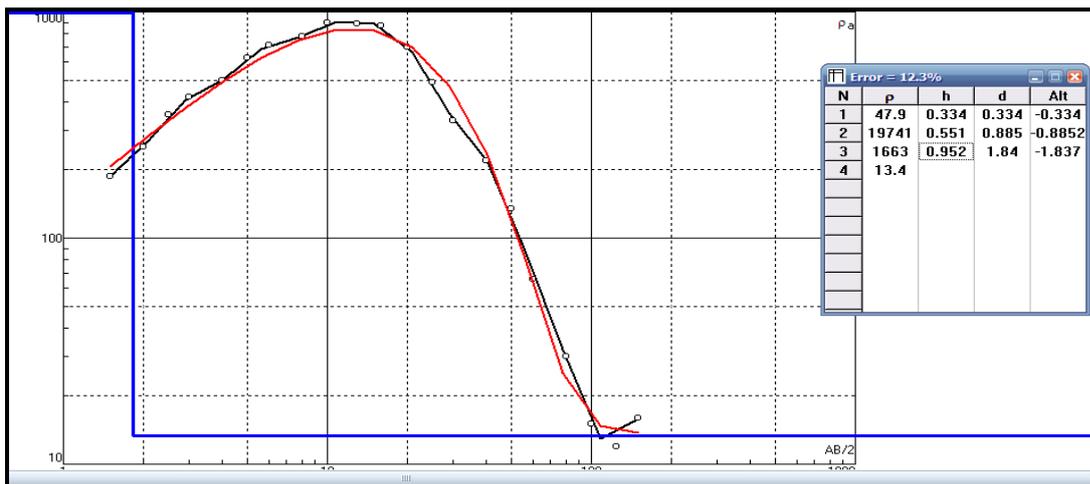


Figura 57 – Gráfico gerado por intermédio do *software* IPI2Win, utilizando os dados obtidos na SEV 17.

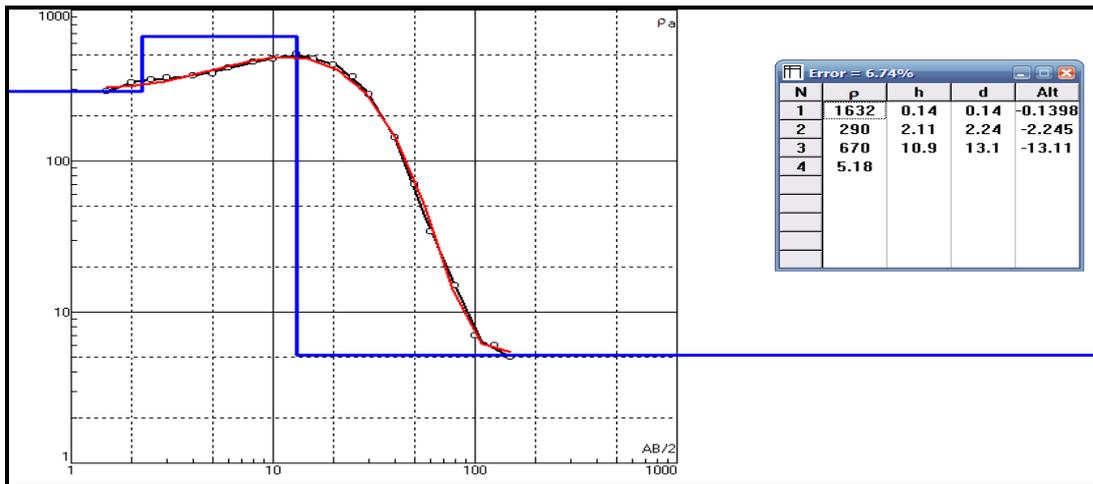


Figura 58 – Gráfico gerado por intermédio do software IPI2Win, utilizando os dados obtidos na SEV 18.

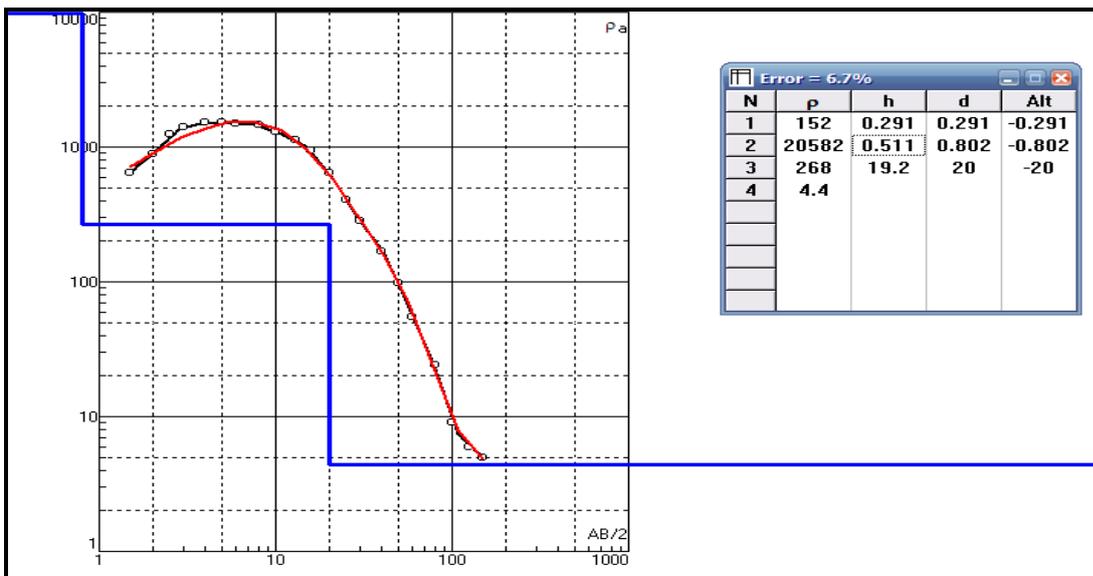


Figura 59 – Gráfico gerado por intermédio do software IPI2Win, utilizando os dados obtidos na SEV 19.

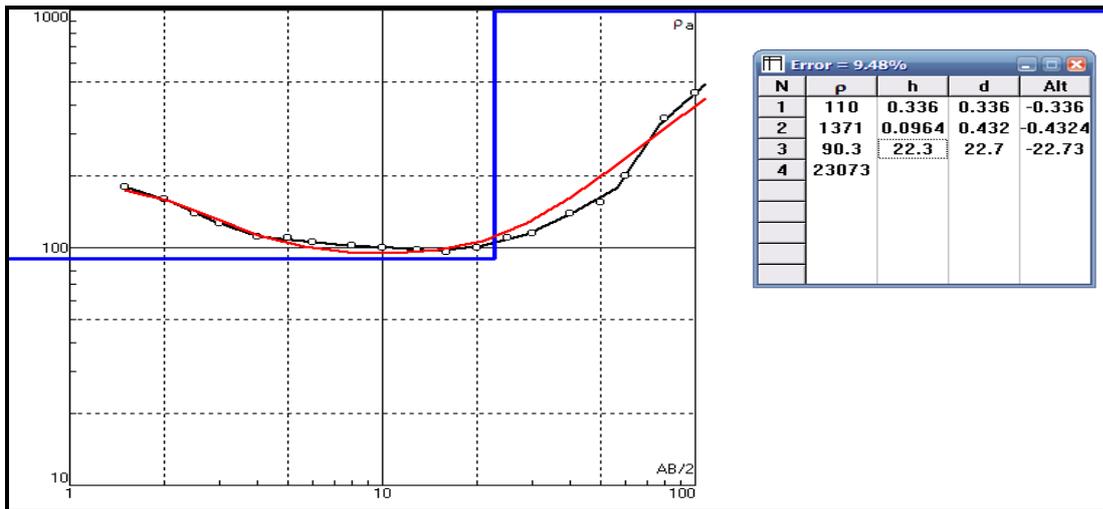


Figura 60 – Gráfico gerado por intermédio do software IPI2Win, utilizando os dados obtidos na SEV 22.

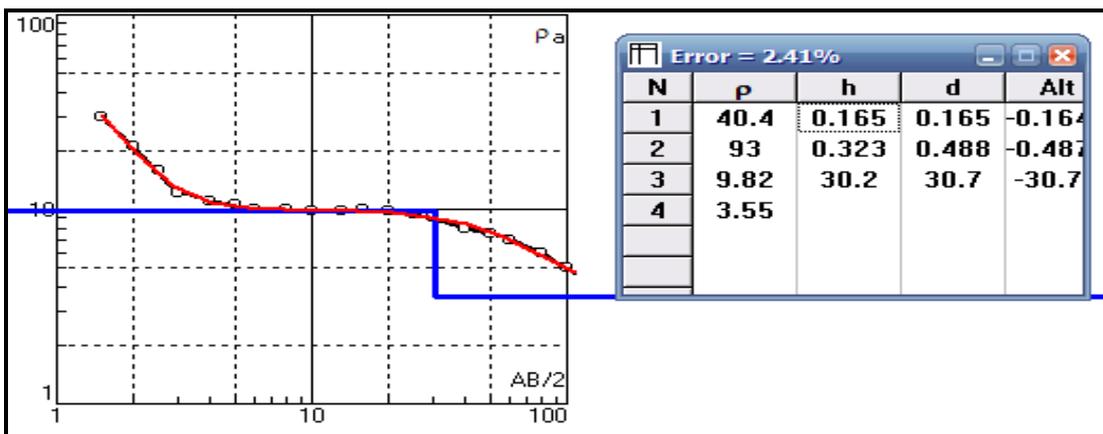


Figura 61 – Gráfico gerado por intermédio do software IPI2Win, utilizando os dados obtidos na SEV 23.

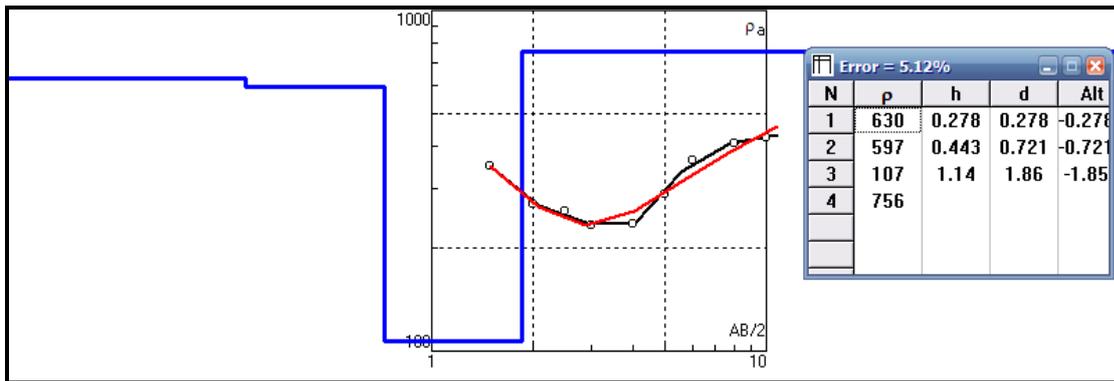


Figura 62 – Gráfico gerado por intermédio do software IPI2Win, utilizando os dados obtidos na SEV 24.

4.8.2 Caminhamento Elétrico (CE)

Em relação aos caminhamentos elétricos, foi possível observar a distribuição dos valores de resistividade, tanto em profundidade como lateralmente, podendo delinear trechos de características arenosas (valores baixos), como trechos de características argilosas (valores altos). Os valores intermediários podem corresponder a mistura de argila, silte e areia com maior ou menor conteúdo de água. As figuras 63 a 65 apresentam os perfis em duas dimensões obtidos através dos Caminhamentos Elétricos realizados.

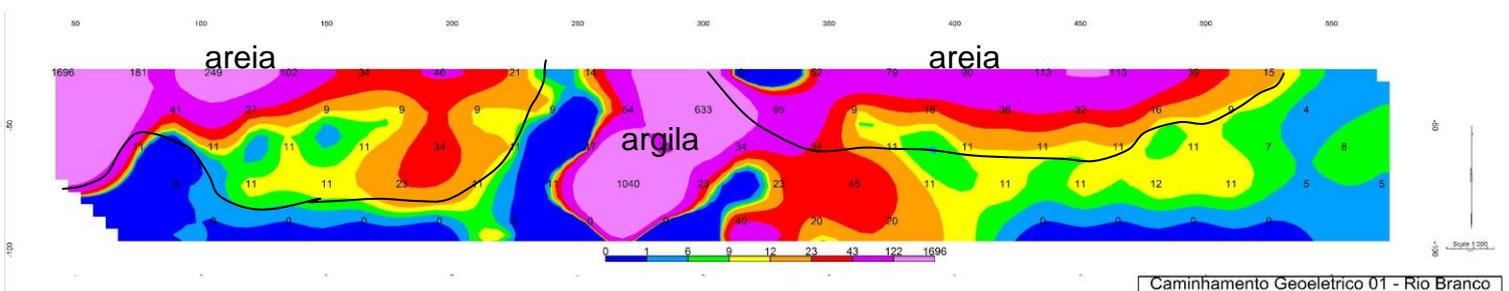


Figura 63 – Caminhamento Geoeletrico 01, realizado no bairro do Amapá, 2º Distrito de Rio Branco.

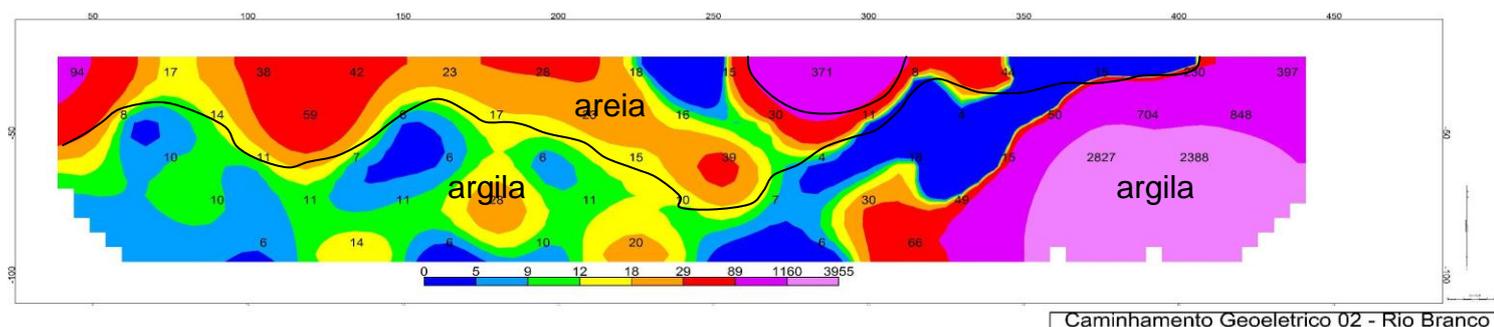


Figura 64 – Caminhamento Geométrico 02, realizado no bairro do Amapá, 2º Distrito de Rio Branco.

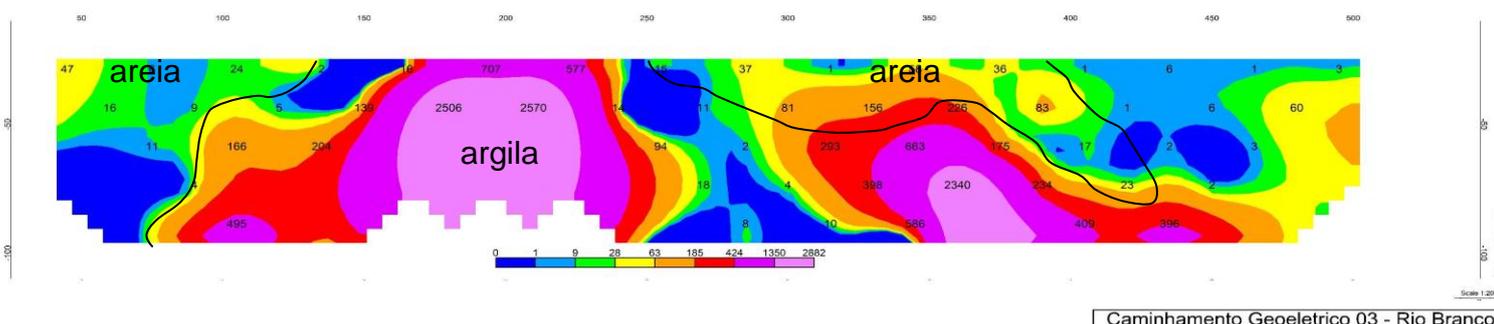


Figura 65 – Caminhamento Geométrico 03, realizado no loteamento Santo Afonso, 2º Distrito de Rio Branco.

4.9 Reservas explotáveis do aquífero Rio Branco

4.9.1 Equilíbrio dinâmico em aquíferos

Sob condições naturais, um aquífero está geralmente em estado de equilíbrio dinâmico (Theis, 1938). O volume de água que recarrega o aquífero é descarregado em um mesmo volume. Sendo que, o montante de água que recarrega um aquífero livre é determinado por três fatores principais: (1) o volume da precipitação que não é perdida pela evapotranspiração ou pelo escoamento superficial, estando assim, disponível para recarga; (2) a condutividade hidráulica vertical dos depósitos superficiais e outros estratos na área de recarga do aquífero, que determina o volume de água recarregada, capaz de se mover verticalmente para o aquífero; (3) a transmissividade do aquífero e o gradiente potenciométrico, que determinam quanta água pode se mover da área de recarga (Fetter, 2001). Quando um poço inicia o bombeamento de um aquífero, a água é rebaixada da área armazenada ao seu redor e por infiltração vertical (Theis, 1938). Com o aumento do cone de

rebaixamento, uma porção extremamente mais larga do aquífero irá contribuir com água armazenada. O montante de água descarregada naturalmente do aquífero permanecerá a taxas pré-desenvolvimento até que o cone de bombeamento atinja a área de recarga ou descarga. Quando o cone de bombeamento atingir uma área de descarga, o gradiente potenciométrico em direção à área de descarga é rebaixado e o montante da descarga natural é proporcionalmente reduzido. Por outro lado, se o cone de bombeamento atingir uma área de recarga do aquífero, deverá induzir a recarga adicional da água que foi previamente rejeitada pelo aquífero, pois este já se encontrava completamente saturado (Fetter, 2001). É sempre possível que uma seção do aquífero mude de uma área de descarga para uma área de recarga, por exemplo, caso o rebaixamento próximo a um rio elimine a descarga da água subterrânea no rio (Aquífero Rio Branco descarregando no rio Acre) e induza a infiltração do rio no aquífero, revertendo à direção prévia do fluxo. Em qualquer evento, o cone de bombeamento continuará a crescer até que este tenha reduzido suficientemente a descarga natural ou aumentado a recarga, equilibrando o volume de água retirado por bombeamento (Fetter, 2001). Com esta ocorrência, uma nova condição de equilíbrio dinâmico será atingida, conforme estabeleceu Theis (1938). De qualquer forma, é importante notar que, para que isto ocorra um cone de rebaixamento deve se formar, significando que, a superfície potenciométrica em algumas porções do aquífero deverá ser rebaixada. O cone de depressão resultante é geralmente uma complexa superfície resultante do rebaixamento de centenas de poços. Caso o volume da descarga natural remanescente e o rebaixamento pelo bombeamento excedam a recarga natural disponível, o cone de depressão não se estabilizará e os níveis da água continuarão caindo (Fetter, 2001).

4.9.2 Volume disponível da água subterrânea

O conhecimento do volume da recarga natural de um aquífero é imprescindível para o desenvolvimento de um projeto relacionado às águas subterrâneas, como o presente estudo (Fetter, 2001). O volume de água disponível para uso em um aquífero não corresponde àquele existente na recarga natural, e sim, aquele relacionado ao aumento da recarga ou ao rebaixamento da água de um estrato adjacente induzido pelo bombeamento, além de algum volume disponível de sua reserva. O uso mais óbvio de um aquífero é fornecer água para poços, porém,

um dos mais discutidos problemas relacionados à gestão das águas subterrâneas tem sido determinar o volume de água que um aquífero pode fornecer (Fetter, 2001). Há uma inclinação natural no meio acadêmico para comparar e classificar fenômenos da natureza em termos quantitativos, desta forma, na hidrogeologia, historicamente, tem se tentado definir o volume de água que pode ser desenvolvido a partir de um reservatório subterrâneo. O termo *safe yield*, ou vazão segura, foi utilizado inicialmente por Lee em 1915 (*apud* Fetter, 2001) como o montante de água que poderia ser bombeada “regularmente e permanentemente sem depleções perigosas da reserva armazenada”. Posteriormente, outros fatores necessários foram adicionados ao conceito, como os econômicos no desenvolvimento das águas subterrâneas (Meinzer, 1923 *apud* Fetter, 2001), proteção da qualidade da água subterrânea armazenada (Cokling, 1946 *apud* Fetter, 2001) e proteção de direitos legais e da potencial degradação ambiental (Banks, 1953 *apud* Fetter, 2001).

Muitas autoridades em várias partes do mundo têm encontrado dificuldade para absorver o conceito de *safe yield* ou consideram o termo muito vago. Obviamente, o volume de água que pode ser produzido irá variar de acordo com diversos modelos de bombeamento e desenvolvimento. A questão sobre, o que iria constituir um resultado indesejado a ser evitado está aberta e em debate. Assim, o abandono do termo *safe yield* tem ocorrido, uma vez que, o conceito não considera a interrelação entre as águas subterrâneas e as águas superficiais e impede o desenvolvimento das funções de armazenamento de um aquífero (Anderson & Berkebile, 1977 *apud* Fetter, 2001). De qualquer forma, apesar das ressalvas de muitos hidrogeólogos em relação ao conceito de *safe yield* e suas implicações, o conceito básico deve ser aplicado sempre que o uso de um aquífero é planejado e gerenciado; pois se considera que, programas de gestão das águas subterrâneas implicam obviamente que a água será bombeada do subterrâneo e, se não houver uma avaliação dos impactos hidrológicos e ambientais dos sistemas de rebaixamento, é possível que haja um descontrole no rebaixamento, excedendo os limites mínimos razoáveis (Fetter, 2001).

O que deve ficar bem claro em qualquer programa de gestão das águas subterrâneas, é que, um valor único de *safe yield* de um aquífero não pode ser fornecido simplesmente, como a precipitação média anual de um município ou região. Por isso, as avaliações deste parâmetro devem incluir uma relação de

restrições técnicas, legais e econômicas a serem consideradas, assim como, as limitações dos danos ambientais que possam vir a ocorrer. O mais correto seria que, o estudo fornecesse uma série de valores de *safe yield* e os diferentes fatores aplicados a cada conclusão (Fetter, 2001).

Entretanto, a vazão segura de um aquífero é apenas uma faceta de um programa de gestão das águas subterrâneas, uma vez que, o aumento artificial da precipitação ou da recarga pode aumentar o montante de água que pode ser rebaixada com bases sustentáveis. O uso das reservas de água subterrânea de armazenamentos cíclicos significa que, em anos secos é desejável e necessário, bombear água abaixo do limite máximo estabelecido. Sob estas condições, os sistemas de água subterrânea abastecem as drenagens locais, que devem estar criticamente baixas, a exemplo da seca ocorrida nos anos de 2004 e 2005, no município de Rio Branco. Em anos chuvosos, por sua vez, as reservas de águas subterrâneas seriam repostas acima da média pela precipitação excedente e bombeada a taxas abaixo da *safe yield*.

Em resumo, mais de meio século após o artigo de Theis (1938) sobre o equilíbrio dinâmico em sistemas aquíferos, os hidrogeólogos ainda não reconhecem que o desenvolvimento potencial das águas subterrâneas está limitado a algo um pouco menor que a recarga anual de longo período, devido o sistema de descarga natural. Uma vez que, um aspecto do conceito de Theis sobre o equilíbrio dinâmico estabelece que, sob condições de subdesenvolvimento, o aquífero deve rejeitar a recarga natural e o desenvolvimento do aquífero deve aumentar o volume da recarga. Isto deve ocorrer por percolação de aquíferos adjacentes, mas é pouco provável que, níveis d'água rebaixados aumentarão significativamente o volume de precipitação que recarrega um aquífero. Mais ainda, do ponto de vista da gestão, é difícil, se não impossível, quantificar quanta recarga adicional deva ser induzida pelo desenvolvimento da bacia de água subterrânea (Fetter, 2001).

Bredehoeft (1997) estabeleceu que, o que se tem feito durante o desenvolvimento das águas subterrâneas é capturar parte da descarga natural do sistema. Assim, o fator principal na determinação da *safe yield* de um sistema aquífero é determinar quanta água da descarga natural pode ser capturada. Um princípio básico do desenvolvimento das águas subterrâneas é que pelo rebaixamento do nível da água de um aquífero, parte da descarga natural deve ser

utilizada. Desta forma, estudos a respeito da *safe yield* precisam focar na descarga do sistema e não na recarga; logo, restrições técnica, legais, ambientais e econômicas devem limitar o volume de água da descarga natural que pode ser utilizado.

4.10 Modelo de Gestão do Aquífero Rio Branco (ARB)

De acordo com o exposto no item 4.8, para o desenvolvimento de um modelo de gestão das águas subterrâneas, se faz necessário, conhecer o volume natural de água descarregada anualmente pelo aquífero avaliado, assim como o volume de recarga disponível. Entretanto, deve se considerar também o volume de água subterrânea explorada por ano, para, em análise inicial, verificar se o aquífero está sendo super-explorado ou se a taxa de bombeamento se encontra abaixo da capacidade.

Conforme verificado por Melo Junior e Marmos (2007), o principal uso da água subterrânea do ARB é para abastecimento público, seja na forma de consumo de água mineral potável de mesa, seja na forma de distribuição em carros-pipa para residências, hospitais, igrejas, restaurantes, dentre outros. Assim, avaliou-se que o ARB, através destes sistemas, é responsável pelo abastecimento de uma parcela considerável da população de Rio Branco, uma vez que, a rede de distribuição de água do Sistema de Águas e Esgoto de Rio Branco – SAERB, não atinge nem a totalidade do primeiro distrito, além de se considerar que, o sistema de abastecimento de água não é contínuo.

Com base nesta constatação, o primeiro passo deste estudo foi avaliar e quantificar o volume de água subterrânea explorada anualmente no aquífero Rio Branco. Desta forma, as empresas de captação de água subterrânea licenciadas pelo Instituto de Meio Ambiente do Acre – IMAC (num total de 14) foram visitadas e um questionário foi preenchido com o intuito de se obter o volume de água comercializado anualmente, uma vez que, tais empresas, a princípio, são as responsáveis pelo maior volume de água bombeado a partir do aquífero Rio Branco. A tabela 30 apresenta as empresas de captação licenciadas pelo IMAC e o volume de água explorado diária e mensalmente. Observa-se que as informações foram fornecidas pelos responsáveis pelas empresas de captação.

Tabela 30 – Empresas de captação licenciadas e volume de água explorado diário e anualmente no aquífero Rio Branco.

Empresa	Uso da água	Q Explorado / dia (L)	Dias explorados /mês	Q Explorado /Mês (L)
Takigawa	Gelo	5000	26	130000
Águas Buritis	Penal, saúde, Hemodiálise e escolas estaduais	120000	26	3120000
Poty	Gelo	3000	30	90000
KM Mastub ME	Particular, residências	28000	22	616000
Santa Luzia	Particular, residências	30000	22	660000
Cristal Água	Carros-pipas, residências e comércios	30000	26	780000
J. A. Cardoso Ltda	Governo Estadual, P.S.M.	30000	22	660000
Clean Limpeza e Conservação	Governo Estadual, P.S.M.	40000	24	960000
Acretec - Com. e Represent. Ltda	Governo Estadual, P.S.M.	45000	24	1080000
Acreágua	Módulo Saúde, Laboratórios, carros-pipas, hotéis	40000	26	1040000
Salina Água Potável	Carros-pipas, escolas para prefeitura, residências	46000	26	1196000
Engenhacre	Escolas, DP's, carros-pipas, residências.	25000	24	600000
F. Brambila	Particular, residências	30000	24	720000
MGM	Escolas, DP's, carros-pipas, residências.	40000	26	1040000
		512000	24.86	12692000

O volume de água explorada diariamente por cada empresa foi calculado de acordo com a percepção dos responsáveis pelas empresas, contabilizando o número de vezes que cada reservatório é totalmente preenchido ou o número de caminhões que são abastecidos. Cerca de 500 m³ são extraídos pelas empresas, com média de bombeamento de 25 dias por mês, o volume explotado corresponde a um total de 12.692 m³ mensais ou 152.304 m³/ano. Estes valores podem ser considerados pequenos, uma vez que, aquíferos com características geológicas e hidrogeológicas semelhantes ao ARB, como na região de Ontário no Canadá, onde existem poços instalados que exploram vazões de 190 m³/h ininterruptamente (Meriano e Eyles, 2003) ou na região de Campinas, São Paulo, onde sedimentos arenosos saturados em água, com pequena espessura apresentam valores de transmissividade de 45 m²/dia (Pede, 2010).

Além das empresas de captação, a grande maioria das residências do 2º Distrito possuem poços tubulares rasos, do tipo cacimba ou amazonas, pois não

existe sistema de abastecimento público nesta região da cidade. Assim, cada poço existente no local é responsável pelo abastecimento de uma ou mais residências. Evidentemente que o cadastro de todos os poços residenciais existentes no 2º Distrito é inviável, uma vez que novos poços vem sendo construídos e instalados diariamente, em função da pequena profundidade do aquífero, os poços são construídos manualmente com a utilização de trados manuais (fotos 9 e 10).



Foto 9 – Construção de poço tubular raso com trado manual no 2º Distrito de Rio Branco.



Foto 10 – Detalhe do trado manual utilizado para a construção de poço tubular raso no 2º Distrito de Rio Branco.

Desta forma, com o objetivo de quantificar o volume de água do aquífero Rio Branco, explorado através dos poços residenciais, estima-se a população do 2º Distrito de Rio Branco, em 15% da população total da capital, uma vez que nesta região se encontram 22 dos 142 bairros existentes na cidade, de acordo com a base cartográfica digital do município. A estimativa da população de Rio Branco para o ano de 2009 foi de 305.954 habitantes, segundo o IBGE (2010), ou seja, o 2º Distrito possui aproximadamente 45.893 habitantes com média de 11.473 residências. Ao menos metade destas residências possui poços tubulares ou cacimba em suas imediações, e conforme verificado *in loco*, o consumo médio de cada casa é da ordem de 1.000 a 2.000 litros/dia. Desta forma, considerando-se o volume diário de 2.000 L de água retirada por poço a partir do aquífero Rio Branco, apurou-se que, as residências do 2º Distrito exploram diariamente, cerca de 11.500 m³ de água subterrânea ou 4.140.000 m³/ano, considerando-se uma média de 30 dias bombeados por mês. Soma-se este valor ao que é explorado pelas empresas de captação (correspondente a 152.304 m³/ano), resulta um volume total de 4.292.304 m³ de água retirados anualmente do aquífero Rio Branco pela população e pelas empresas de captação.

Diversos autores (Bredehoeft, 1997; Fetter, 2001 e Bredehoeft, 2007) demonstram que o conhecimento da descarga de um sistema aquífero é um dos pontos chave para a gestão das águas subterrâneas. Desta forma, parte da

descarga do aquífero que é capturada para abastecer os poços da população de Rio Branco. Este parâmetro foi obtido através do estudo hidrológico do rio Acre, com os dados da estação hidrológica da ANA 13600002 (ANA, 2010) entre os anos de 1971 a 2008. Esta série histórica (apresentada no item 4.6) aliada ao balanço hídrico de Rio Branco que utilizou dados dos anos de 1971 a 2000 (Duarte, 2006), (apresentado no item 4.3.2) apontou que entre os meses de maio a outubro ocorre um déficit hídrico na cidade de Rio Branco, fato este refletido diretamente no nível do rio Acre, que é rebaixado em média 3,23 metros neste período; sendo alimentado exclusivamente pelo fluxo de base do ARB. Esta variação de nível de 3,23 metros está relacionada, portanto, à descarga do aquífero sobre o rio Acre e à sua variação sazonal do nível estático.

Para obtenção do valor exato da descarga do ARB, que corresponde também às reservas disponíveis anualmente (*safe yield*), considerou-se a área de ocorrência do aquífero de 122.460.000 m², de acordo com Melo Junior e Marmos (2007). Em seguida, este valor foi multiplicado pela variação anual média do nível estático, ou o fluxo de base do rio Acre de 3,23 m, quando foi obtido um volume de água de 395.545.800 m³ para a reserva reguladora. Entretanto, este volume está armazenado nos poros ou interstícios dos sedimentos arenosos que constituem o aquífero, caracterizado por uma porosidade média de 15% (Melo Junior e Marmos, 2007), assim, o volume obtido para a reserva reguladora, ou descarga do aquífero Rio Branco foi de 59.331.870 m³ anuais.

Considerando-se o volume de água extraído do aquífero Rio Branco por intermédio dos poços tubulares residenciais e das empresas de captação, de 4.292.304 m³/ano, avalia-se que este valor corresponde a aproximadamente 7% do volume de água subterrânea disponível anualmente na descarga do aquífero, equivalentemente a 59.331.870 m³. Este volume tem capacidade para abastecer anualmente uma população de aproximadamente 812.765 habitantes, com 200 litros de água diária per capita, de acordo com os dados da Organização das Nações Unidas (2006) para o consumo médio da população brasileira.

Conforme Melo Junior e Marmos (2007), baseado em perfis de poços cadastrados pelo Projeto SIAGAS e nas sondagens geotécnicas no 2º Distrito de Rio Branco, o aquífero Rio Branco foi definido como semi-confinado, sendo constituído por camadas arenosas com 2 a 8 metros de espessura, a profundidades que variam

entre 2 e 10 metros, podendo estar saturadas em água, acompanhando a sazonalidade climática, caracterizando um paleocanal de um antigo rio de médio porte que depositou os sedimentos arenosos do ARB. Entretanto, através de Sondagens Elétricas Verticais (SEV's) e de Imageamentos Elétricos (IE's) observou-se que as camadas arenosas saturadas em água são mais espessas do que se acreditava anteriormente. Algumas SEV's executadas no bairro do Amapá, na vila da Amizade, no bairro Belo Jardim II, e em partes do conjunto Santo Afonso e do ramal da Judia possuem camadas de areia saturadas em água com espessuras que podem atingir 45 metros de profundidade, apresentando média de 20 metros de espessura. Este fato, confere ao aquífero Rio Branco uma maior potencialidade para o abastecimento público da capital, a partir de poços tubulares instalados nestas porções do 2º Distrito, com especial atenção para o bairro do Amapá. Desta forma, para abastecer com 200 litros diários *per capita* de água subterrânea a totalidade da população do 2º Distrito de Rio Branco, estimada em aproximadamente 46.000 habitantes, seriam necessários somente 26 poços com vazão média de 30 m³/h e taxa diária de bombeamento de 12 horas.

A expectativa de obter vazões de 30 m³/h por poço se confirma a partir dos parâmetros hidráulicos identificados para o aquífero Rio Branco, obtidos pelos testes de bombeamento realizados no presente estudo. Estes ensaios foram desempenhados em poços com profundidades máximas de 12 metros e construídos através de trado manual, sem pré-filtro, com revestimentos constituídos por tubos de PVC e filtros ranhurados manualmente, ou seja, poços instalados de maneira imprópria, sem respeitar as normas técnicas construtivas. As vazões de bombeamento obtidas nos testes atingiram valores entre 4,7 m³/h e 11,3 m³/h utilizando bombas injetoras de 3.0 cv e 5.0 cv, respectivamente. Em relação à capacidade específica (q), os valores variaram entre 1,23 m³/h/m e 19,59 m³/h/m e a transmissividade (T) do aquífero variou entre 22,18 m²/dia e 213,2 m²/dia. Conforme apresentado no item 4.1, aquíferos cujos valores obtidos para q sejam superiores a 3 m³/h/m e os valores de T superem 120 m²/dia possuem plena capacidade para serem utilizados para abastecimento público. Sendo que, nos poços onde estes valores não foram atingidos existem péssimas condições construtivas dos poços e ineficientes sistemas de bombeamento instalados, não se relacionando, portanto, às propriedades hidráulicas do aquífero.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

De acordo com o exposto no presente relatório, foi possível ponderar as seguintes conclusões a respeito do ARB:

- a) Os parâmetros hidráulicos do ARB (transmissividade e capacidade específica), obtidos a partir dos testes de bombeamento, apresentaram valores superiores aos considerados ideais para que um aquífero seja utilizado para abastecimento público ($T > 120\text{m}^2/\text{dia}$ e $q > 3\text{ m}^3/\text{h/m}$). Nos poços onde estes valores não foram alcançados, este fato se deu por causa de sua má construção;
- b) A vulnerabilidade natural das águas subterrâneas no ARB foi avaliada por intermédio do método DRASTIC (Aller, 1987), sendo obtidos índices de vulnerabilidade alta em 98% dos pontos analisados e média em somente 2% de sua área de ocorrência. Este fato ocorre em função da pouca profundidade do lençol freático (Índice D), do baixo gradiente topográfico (Índice T), da predominância de sedimentos areno-argilosos na zona não saturada (Índice I) e do alto índice pluviométrico regional, que interfere diretamente na recarga do aquífero (Índice R);
- c) O mapa piezométrico ilustra que o sentido do fluxo subterrâneo acompanha o gradiente topográfico local e o potencial piezométrico mais elevado ocorre na porção sudeste da área de ocorrência do ARB. O sentido do fluxo se dá de uma forma geral de SE para NW, em direção ao rio Acre e de NE para SW, nas proximidades do lago do Amapá;
- d) A água do ARB se encontra contaminada pela presença de nitrato em 37,5% das amostras analisadas, onde os teores estão acima de 10 mg/L, conforme estabelecido pela Portaria 396 do CONAMA (2008). Em 75% das amostras foram identificados indícios de alteração antrópica na qualidade da água, pois os teores de nitrato se encontram acima de 3 mg/L. Este fato se deve em função da inexistência de sistemas de saneamento no 2º Distrito, logo, este recurso natural foi contaminado pelas fossas caseiras, construídas de forma rudimentar nas residências locais.
- e) Os elementos ferro e manganês também apresentaram alterações de teor (Fe $> 0,3\text{ mg/L}$ e Mn $> 0,1\text{ mg/L}$) em 25% e 45% das amostras, respectivamente.

Entretanto, este fato se deve às características geológicas locais, uma vez que, a presença de lateritos imaturos (Costa, 1991), constituídos por nódulos, concreções, esferólitos e fragmentos compostos de oxi-hidróxidos de ferro e manganês em matriz argilosa a arenosa contribuem com estes elementos para a composição da água subterrânea;

- f) As águas do ARB foram classificadas, de acordo com o Diagrama de Piper como águas sódicas ou bicarbonatadas sódicas, para aquelas amostras sem indícios de contaminação e águas bicarbonatadas, cloretadas ou cloretadas sódicas para o grupo de amostras que apresentaram contaminação por nitrato;
- g) A cidade de Rio Branco sofre anualmente um déficit hídrico, entre os meses de maio a outubro, quando o nível do rio Acre diminui em média 3.23 metros de acordo com as médias históricas analisadas entre os anos de 1971 a 2008. Neste período do ano o rio Acre é alimentado quase que unicamente pelo fluxo de base do ARB;
- h) Os estudos geofísicos realizados (SEV's e IE's) identificaram uma maior espessura do ARB, principalmente nos bairros Amapá, vila da Amizade, bairro Belo Jardim II e em partes do conjunto Santo Afonso e do ramal da Judia. Nestes locais foram identificadas camadas de areia saturadas em água com espessuras que podem atingir 45 metros de profundidade, apresentando média de 20 metros de espessura. Este fato confere ao aquífero Rio Branco uma maior potencialidade para o abastecimento público da capital, a partir de poços tubulares instalados nestas regiões, com especial destaque para o bairro do Amapá;
- i) O volume total de água explotado anualmente a partir do ARB é de aproximadamente $4.2 \times 10^6 \text{ m}^3$ de água, sendo $4.1 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ explorados por intermédio dos poços residenciais e somente $1.5 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{ano}$ explorados pelas empresas de captação licenciadas. Estes números mostram que as empresas de captação consomem somente 3,5% do total de água subterrânea explorada anualmente a partir do ARB, contrariando as suposições de que seriam responsáveis pela maior exploração do aquífero;

- j) A reserva reguladora ou a descarga do ARB foi calculada com base na área de ocorrência do aquífero, na porosidade dos seus sedimentos e no rebaixamento médio do rio Acre durante o período de déficit hídrico em Rio Branco. Obteve-se um valor final de 59.331.870 m³ anuais (5.9 x 10⁷ m³/ano) para este parâmetro. Este volume de água subterrânea possui capacidade para abastecer uma população de aproximadamente 812.000 pessoas com 200 litros diários *per capita* de água subterrânea durante um ano hidrológico, de acordo com as médias de consumo no Brasil (UNO, 2006);
- k) Para abastecer a população atual do 2º Distrito, estimada em aproximadamente 46.000 habitantes, com 200 litros diários *per capita* de água subterrânea, seriam necessários 26 poços com vazão média de 30 m³/h e taxa diária de bombeamento de 12 horas;
- l) Para abastecer a totalidade da população de Rio Branco, estimada para o ano de 2009 em 305.954 habitantes (IBGE, 2010), com 200 litros diários *per capita* de água subterrânea, seriam necessários cerca de 170 poços com vazões individuais de 30 m³/h e taxa diária de bombeamento de 12 horas. No entanto, deve se considerar que, algumas regiões como no bairro Amapá ou na vila Acre, que possuem maior capacidade hídrica, podem ser instalados poços com vazões superiores a 50 m³/h;
- m) Por fim, concluiu-se que atualmente apenas 7% da descarga do ARB é consumida pela população de Rio Branco, ficando evidente que se o consumo de água aumentar a descarga diminuirá e a recarga provavelmente aumentará, até atingir um nível de equilíbrio dinâmico que satisfaça as condições naturais do aquífero, conforme estabeleceu Theis em 1938.

Com base nas conclusões foi possível se ponderar as seguintes recomendações acerca do Plano de Gestão do Aquífero Rio Branco (PGARB):

- a) De acordo com as SEV's e os Imageamentos Elétricos (IE's), poços tubulares devem ser locados nos bairros Amapá e vila Acre, assim como no conjunto Santo Afonso e no ramal da Judia, com profundidades entre 45 metros e 60 metros, seguindo o perfil geológico local. Estes poços devem ser construídos por empresa habilitada, de acordo com as Normas ABNT NBR 12.212 (Poço tubular - Projeto de poço tubular para captação de

água subterrânea) e NBR 12.244 (Poço tubular - Construção de poço tubular para captação de água subterrânea);

- b) Estes poços devem inicialmente compor sistemas individuais de abastecimento (bairro), podendo ser integrados posteriormente a uma rede de abastecimento para diversos bairros do 2º Distrito ou até mesmo de toda a cidade;
- c) O sistema de abastecimento superficial utilizado atualmente pela SAERB não pode nem deve ser substituído totalmente por sistemas individuais de abastecimento público através de poços tubulares, o ideal seria a combinação dos sistemas, com um aumento gradativo no número de poços tubulares profundos responsáveis pelo abastecimento;
- d) Para uma gestão eficiente das águas subterrâneas se faz necessária a instalação de uma rede de poços de monitoramento nos bairros abastecidos por esse manancial, com o objetivo de monitorar as variações diárias e sazonais do nível da água subterrânea no ARB;
- e) É necessária também, a leitura diária das réguas da estação hidrológica instalada na área de captação da ETA II, com o objetivo de monitorar a descarga do ARB sobre o rio Acre, principalmente nos períodos de déficit hídrico. Com tais providências, se evitará uma superexploração do aquífero durante este período do ano;
- f) Como somente 7% da descarga do aquífero Rio Branco são consumidas atualmente, através do abastecimento do 2º distrito através dos poços residenciais, assim como o 1º distrito, por intermédio de carros pipa, recomenda-se que, com o aumento da exploração gradativa por poços tubulares o volume total de água subterrânea explorada a partir do ARB não ultrapasse 70% de sua *safe yield*, o que corresponde a 41.532.309 m³/ano;
- g) O volume de 70% da recarga ou *safe yield* do ARB possui capacidade para abastecer uma população de aproximadamente 570.000 habitantes durante um ano com 200 litros diário de água *per capita*. Esta população

corresponde a um crescimento demográfico de 53% da população de Rio Branco estimada para o ano de 2009; sendo que, este índice deve ser atingido somente no ano de 2045, com uma taxa de crescimento demográfico decenal de 17%;

- h) Deve ficar bem claro, portanto, que sem um controle adequado do volume de água explorada por poços da SAERB, aliada a implantação de uma rede de monitoramento das águas subterrâneas e da estação hidrológica no rio Acre, será impossível conhecer o volume de água subterrânea explorada a partir do ARB. Este fato pode levar a sua superexploração, causando o colapso de alguns sistemas individuais de abastecimento;
- i) O Aquífero Rio Branco (ARB) vem sendo pesquisado pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM desde o ano de 2006, quando suas propriedades hidráulicas e físico-químicas passaram a ser conhecidas. O presente relatório representa, portanto, o fim de um ciclo de investigações que corroboram as suspeitas iniciais a respeito da boa potencialidade do ARB. Entretanto, o monitoramento contínuo é a única forma existente para que se evite o esgotamento quantitativo e qualitativo de suas reservas, assim como é desenvolvido em diversas partes do planeta, onde, a água existe de forma limitada, mas, através de um sistema integrado de gestão, os recursos hídricos são utilizados em benefício da população local, sem colocar em risco o seu uso.

6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ABGE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA. 1996.

Ensaio de permeabilidade em solos. Boletim 04. 226p.

ALLER L., BENNET T., LEHER J.H., PETTY R.J., HACKETT G. 1987. *DRASTIC: a standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeological settings*. EPA 600/2-87-035; 1987. 622p.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Portal do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos. Disponível em <http://www.ana.gov.br/portalsnrh/Esta%C3%A7%C3%B5esdaANA/tabid/359/Default.aspx>. Consultado em 12 de julho de 2010.

BRAGA, A. C. O. 2009. *Métodos geoeletricos aplicados*. DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, Texto Didático, 91 pp. Disponível em <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/>

BREDEHOEFT, J. D. *Safe yield and the water budget myth*. Ground Water Vol 35, N° 6. 1997.

BREDEHOEFT, J. D. *It is the discharge*. Ground Water Vol. 45, N° 5. 2007

CAMPOS, J. C. V. 2003. *A problemática dos recursos hídricos subterrâneos na Amazônia na visão do Serviço Geológico do Brasil – CPRM*. I Simpósio de Hidrogeologia do Sudeste. Petrópolis, Rio de Janeiro, pp. 133-141.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. Portaria 396. *Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências*. Publicação DOU nº 66, de 07/04/2008, pgs. 66-68.

COOPER, H.H. & C.E. JACOB, 1946. *A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well field history*, Am. Geophys. Union Trans., vol. 27, pp. 526-534.

- COSTA, M. L. *Aspectos geológicos dos lateritos da Amazônia*. Revista Brasileira de Geociências. 21(2): 146-160, 1991.
- DUARTE, A. F. *Aspectos da climatologia do Acre, Brasil, com base no intervalo 1971 – 2000*. Revista Brasileira de Meteorologia, Vol. 21, n 3b, pgs. 308-317. 2006.
- FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J. *Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações*. Fortaleza: CPRM, LABHID-UFPE, 812 pp, 2008.
- FERREIRA, L. M. R. & HIRATA, R. C. A. *Determinação de riscos de contaminação das águas subterrâneas por sistemas de saneamento in situ. Estudo de caso: Município de Campinas*. São Paulo: Instituto Geológico/SMA 1993. Disponível em <http://www.cepis.org.pe/muwww/fulltext/repind46/determin/determin.html> Consultado em 12 de agosto de 2008.
- FETTER, C. W. *Applied Hydrogeology*. 4ª Ed. University of Wisconsin – Oshkosh. Upper Saddle River, New Jersey. 598 p. 2001.
- FREITAS, M. B.; BRILHANTE, O, M.; ALMEIDA, L. M. *Importância da análise de água para a saúde pública em duas regiões do Estado do Rio de Janeiro: enfoque para coliformes fecais, nitrato e alumínio*. Cadernos de Saúde Pública, Rio de Janeiro, v.17, n.3, p. 651-660, 2001.
- GOOGLE EARTH. Imagem da zona urbana de Rio Branco do ano de 2006. Imagem obtida em março de 2010.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Estimativa da população de Rio Branco para o ano de 2009*. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1> Consultado em 16 de agosto de 2010.

LANDIM, P. M. B. *Análise estatística de dados geológicos*. 2ª Ed. rev. e ampl. – São Paulo: Editora UNESP. 2003.

LIMA, M. L. A. *Águas subterrâneas potencialmente impactadas por nitrato (NO₃⁻) na área urbana da cidade de Porto Velho: Um Estudo da Geografia da Saúde*. Universidade Federal de Rondônia. Dissertação de Mestrado em Geografia. 2007.

MELO, J. G.; MEDEIROS, J. I.; MORAIS, F.; COSTA FILHO, W. D.; VASCONCELOS, M. B. & MORAIS, S. D. O. *Hidrogeologia do Aquífero Açú na Borda Leste da Bacia Potiguar: Trecho Upanema - Afonso Bezerra*. Rede Cooperativa de Pesquisas. Comportamento das bacias sedimentares da região semi-árida do Nordeste brasileiro. CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2007.

MELO JUNIOR, H. R. *Método DRASTIC: Uma proposta de escala para normatização dos índices finais de vulnerabilidade*. XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Natal, R. N. 2008.

MELO JUNIOR, H. R. & MARMOS, J. L. *Avaliação hidrogeológica do município de Rio Branco (AC)*. Serviço Geológico do Brasil – CPRM, Prefeitura Municipal de Rio Branco. Relatório Final. 53p. 2007

MERIANO, M. & EYLES, N. *Groundwater flow through Pleistocene glacial deposits in the rapidly urbanizing Rouge River–Highland Creek watershed, City of Scarborough, southern Ontario, Canada*. Springer-Verlag 2002. Hydrogeology Journal. Vol. 11, pgs. 288–303, 2003.

OLIVEIRA, L. A. & CAMPOS, J. E. G. *Parâmetros hidrogeológicos do sistema aquífero bauru na Região de Araguari/MG: fundamentos para a gestão do*

sistema de abastecimento de água. Revista Brasileira de Geociências 34 (2):213-218. 2004

SANTOS, I.; FILL, H.D; SUGAI, M. R. V. B.; BUBA, H.; KISHI, R.T.; MARONE, E. & LAUTERT, L. F. C. 2001. *Hidrometria Aplicada*. Curitiba: Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento. 372 p.; il.

SOUZA, E. L. *Hidrogeologia Aplicada – Texto Explicativo*. Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica da UFPA. 58 p. 2000.

PEDE, M. A. Z. *Sistemas de remediação na caracterização de aquíferos rasos*. Revista Água e Meio Ambiente Subterrâneo. Nº 14. 2010.

TANCREDI, A. C. F. N. S. 1996. Recursos hídricos subterrâneos de Santarém: Fundamentos para uso e proteção. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 153p. (Tese de Doutorado).

THEIS, C. V. *The significance and nature of the cone of depression in ground-water bodies*. Economic Geology 38:899-902. 1938.

UNITED NATIONS ORGANIZATION – UNO. United Nations Development Programme. Human Development Report 2006. *Beyond scarcity: Power, poverty and the global water crisis*. 2006. Disponível em <http://hdr.undp.org/en/media/HDR06-complete.pdf> Consultado em 25 de julho de 2010.