

**HIDROQUÍMICA DE ÁGUAS
SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS EM IGARAPÉ AMAZÔNICO**
Área Impactada por Resíduos Oleosos

Maurício José da Silva Soares¹; Gerson Cardoso da Silva Junior²; Sergio Luiz da Silva Quintão³; Ingrid de Carvalho Lage⁴; Erica Biazzi⁵

Resumo – A hidroquímica de águas superficiais e subterrâneas mostra-se como uma importante ferramenta para o mapeamento de pontos vulneráveis (ou em desequilíbrio) de sistemas aquíferos. A análise dos parâmetros físico-químicos resulta em uma informação rápida e confiável da qualidade dos recursos hídricos monitorados. O presente trabalho relata o monitoramento de duas classes hídricas distintas, para um mesmo período. Apresenta indícios de correlações entre a qualidade e processos de atenuação natural.

Abstract – Hydrogeochemistry of surface water and groundwater represents an important tool for mapping vulnerable (or disbalanced) aquifer systems. The analysis of physico-chemical parameters results in a rapid and reliable information on water quality of monitored areas. This paper reports the monitoring of two distinct water classes in an area, for the same time interval. As a result, it presents evidence of correlations between quality and natural attenuation processes.

Palavras-Chave – Contaminação, Hidroquímica, Hidrocarbonetos.

INTRODUÇÃO

Sistemas lóticos os quais possuam grande amplitude de variação do seu nível de água (NA) apresentam um alto grau de dificuldade para a realização de pesquisas acadêmicas ou de cunho econômicas. O parâmetro fundamental para a compreensão da estrutura destes sistemas vem da particular inter-relação entre o ambiente aquático e o terrestre que, associado aos diferentes padrões

¹ Brain Tecnologia: 31 3526-4800, mauriciosoares@braintecnologia.com.br

² UFRJ: 21 2590-8091, gerson@acd.ufrj.br

³ Petrobras: 21 3229-1505, sergioquintao@petrobras.com.br

⁴ FUJB: 21 3229-1503, ingridlage@gmail.com

⁵ Brain Tecnologia: 31 3526-4800, ericabiazzi@braintecnologia.com.br

de distribuição das condições geológicas e mineralógicas, influenciam direta ou indiretamente o conteúdo físico-químico destes sistemas aquáticos.

O principal objetivo desta pesquisa está em compreender e relacionar os diversos compartimentos que compõem o sistema lótico abordado, através de suas características físicas, químicas e físico-químicas.

O local de estudo (Figura 1) encontra-se localizado as margens do Rio Negro, a altitude média de 22,0 metros relativa ao nível do mar e 1,5 metros relativa ao nível base local (rio Negro). Circundada por um cinturão verde composto por vegetação arbórea/arbustiva, apresenta morfologia em “V” (vertentes íngremes) apresentando em pontos localizados, influência antrópica. Compõe-se por uma drenagem perene, que acompanha toda a extensão do igarapé, desembocando no corpo hídrico superficial principal.



Figura 1 – Localização Geral da Área de Estudo

Histórico da Área de Estudo

O rompimento de um duto de transporte de óleo pesado, provavelmente devido à sobrecarga sedimentar disposta acima de seu eixo longitudinal, proporcionou o vazamento de 15000 litros de óleo BPF (baixo ponto de fluidez), no final do ano de 1999. A mancha oleosa decorrente deste derrame foi identificada pelos ribeirinhos locais e o órgão ambiental comunicado. Ações corretivas foram realizadas e o vazamento contido.

Além do impacto direto do vazamento, trabalhos anteriores (Magalhães, 1999) indicam uma contaminação antrópica do igarapé, ocasionando uma progressiva eutrofização deste ambiente devido ao lançamento indevido de esgoto doméstico. Para o período avaliado, 54,9% do esgoto gerado nas residências imediatas tinham como destino o lançamento direto nas águas do igarapé.

CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO

Arcabouço Geológico Local

Souza e Verma (2006), descreve a geologia de Manaus representada pela Formação Alter do Chão inserida no Grupo Javari. Esta formação, datada do Cretáceo Superior/Terciário Inferior (em torno de 60 Ma), interpretada como depósitos de ambiente flúvio-lacustre e composta por sedimentos siliciclásticos avermelhados que incluem arenitos feldspáticos, caulínicos, quartzo-arenitos, quartzo-grauvacas e brechas intraformacionais, encontrada em faixas contínuas ao sul do município de Presidente Figueiredo ou confinada em estruturas tipo gráben. Nesta unidade encontram-se paleossolos desenvolvidos nos arenitos, caracterizados pelo aspecto mosqueado, gretas de contração profundas e abundantes traços de raízes. A sucessão inferior desta formação é arenosa e apresenta ciclos de sedimentação relacionados à ambientes fluviais anastomosados com retrabalhamento eólico, a sucessão superior é pelítica e de um ambiente progradacional flúvio-deltáico.

Identificam-se na Formação Alter do Chão quatro fácies sedimentares (Souza e Verma, 2006): argilosa, areno-argilosa, arenosa e “Arenito Manaus”. Em seção, estas ocorrem como camadas subhorizontalizadas e com disposição lenticular que sofreram falhamentos listricos por ação tectônica recorrente. Esta formação caracteriza-se, então, por rochas friáveis, pouco coesas, intercaladas por rochas mais endurecidas e restritas aos níveis de ocorrência do “Arenito Manaus” e de crostas lateríticas e/ou “linhas-de-pedra” que são responsáveis pela preservação tabular do relevo.

Os sedimentos quaternários associados à calha do rio Solimões caracterizam-se pelo canal principal e áreas de inundação com margens e barras estabilizadas pela vegetação, desenvolvidas sobre as rochas das formações Alter do Chão e Solimões. Sedimentos mais grossos representados por areias e cascalhos são geralmente encontrados em depósitos de barras no canal e sedimentos finos ocorrem na planície de inundação e lagos. As Coberturas Lateríticas, foram desenvolvidas

sobre as formações Alter do Chão e Solimões e são unidades geológicas classificadas como imaturas autóctones completas e alóctones.

Hidrogeologia Regional

O Aquífero Alter do Chão tem espessura média em torno de 200 metros, dos quais 75 metros apresentam-se saturados. O limite inferior do aquífero corresponde ao contato (discordante horizontal) entre as rochas clásticas da Formação Alter do Chão e evaporitos/calcários da Formação Nova Olinda “Souza & Verma, 2006”. O nível médio de água do aquífero freático é de 25 metros. Valores maiores que 25 metros situam-se nas porções SE e NE, correspondendo a quase toda a parte oriental de Manaus. Valores menores que 25 metros se restringem entre W e NW, em virtude da topografia, chegando a aflorar em alguns pontos.

O fluxo subterrâneo principal ocorre na direção NE-SW com fluxos secundários em direções diversas, originados principalmente pelo rebaixamento provocado pelos igarapés, associados à baixa transmissividade e exploração elevada nas imediações dessas drenagens. Suas águas são águas pouco mineralizadas, com pH na ordem de 4,8 e uma condutividade elétrica de 32,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$, refletindo uma infiltração bastante rápida e um ambiente de circulação quimicamente pobre. As águas são dos tipos sulfatada cloretada potássica e cloretada sódica, consideradas potáveis, embora pouco protegidas, por se tratar de um aquífero livre.

Hidrografia

A área em questão abrange parte da rede de drenagem de dois dos mais importantes sistemas fluviais da bacia Amazônica, os rios Solimões e Negro. As referidas bacias hidrográficas são caracterizadas por uma drenagem secundária com padrão dendrítico a subdendrítico dispersos em todas as direções, sendo interligada por um denso sistema de ramificações, igarapés e lagos com variadas formas e tamanhos. A drenagem principal, composta pelos grandes rios, apresenta curso com padrão retilíneo, com alguns trechos sinuosos localizados (relatório EIA – Coari-Manaus).

Devido às características hidrográficas locais, o sistema flúvio-lacustre que melhor se adequa a área investigada é o de Drenagem da Terra Firme, caracterizada por uma densa rede de pequenos e médios tributários, com uma densidade de drenagem estimada em cerca de 2,0 a 4,0 km lineares de igarapés em cada km^2 , que assegura um forte contato espacial e funcional entre o ambiente terrestre com a planície de inundação adjacente. Os igarapés da floresta são componentes

importantes da rede de drenagem de muitos lagos localizados tanto na planície de inundação de rios de água branca como de águas pretas. A existência de densa floresta tropical em solos de baixa fertilidade é primariamente função de mecanismos bastante eficientes que permitem a conservação de nutrientes e íons no sistema, minimizando a perda por escoamento e/ou percolação para corpos d'água próximos. Quando drenando solos podzólicos, a água clara adquire uma coloração escura devido a presença de solutos orgânicos, recebendo a denominação geral de igarapés de águas pretas (relatório EIA – Coari-Manaus).

A Figura 2 apresenta a inter-relação entre os diversos ambientes físicos observados.

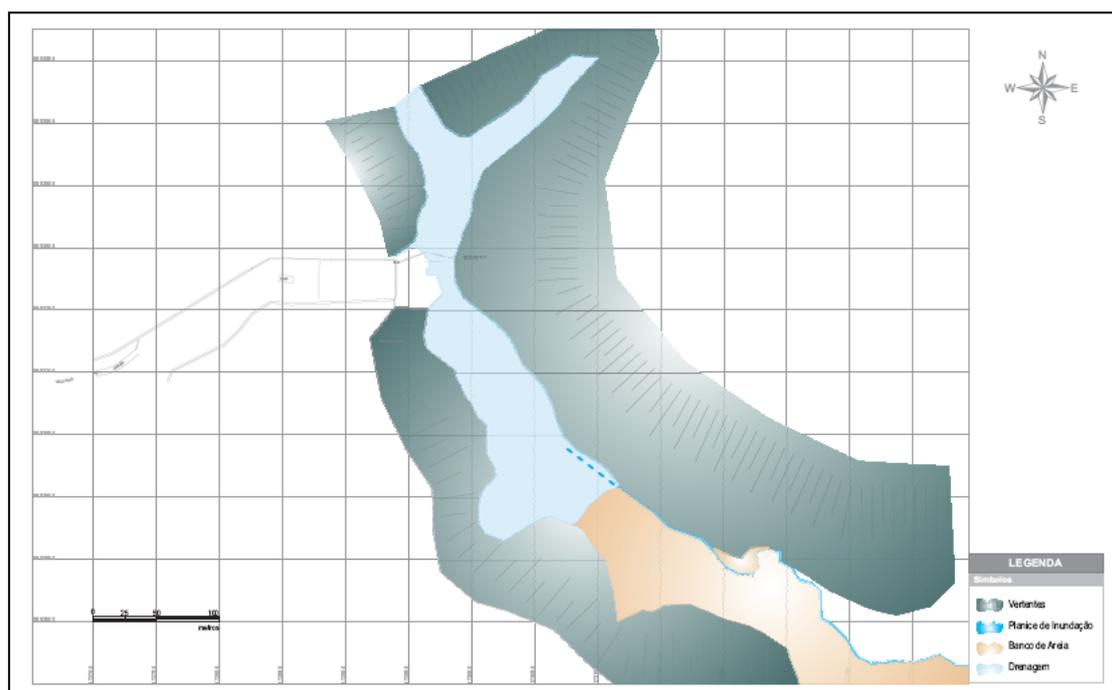


Figura 2 – Correlação entre Ambientes

QUALIDADE DA ÁGUA

Parâmetros Físico-químicos

Todos os procedimentos de coleta de água (superficial e subterrânea) foram precedidos do monitoramento dos parâmetros físico-químicos, de maneira a que se alcance a ideal condição de monitoramento e se colete uma alíquota representativa da formação, ou do meio de interesse (lagos, rios, drenagens). A Figura 3 apresenta os pontos de coleta de água superficial e água subterrânea.

A Tabela 1 apresenta o valor de estabilização dos parâmetros físico-químicos monitorados para amostras de águas superficiais. A Tabela 2 apresenta os resultados de monitoramento de

estabilização dos parâmetros físico-químicos para as águas subterrâneas. A Figura 4 contém os dados gráficos (histogramas de frequência) referentes a Tabela 2.

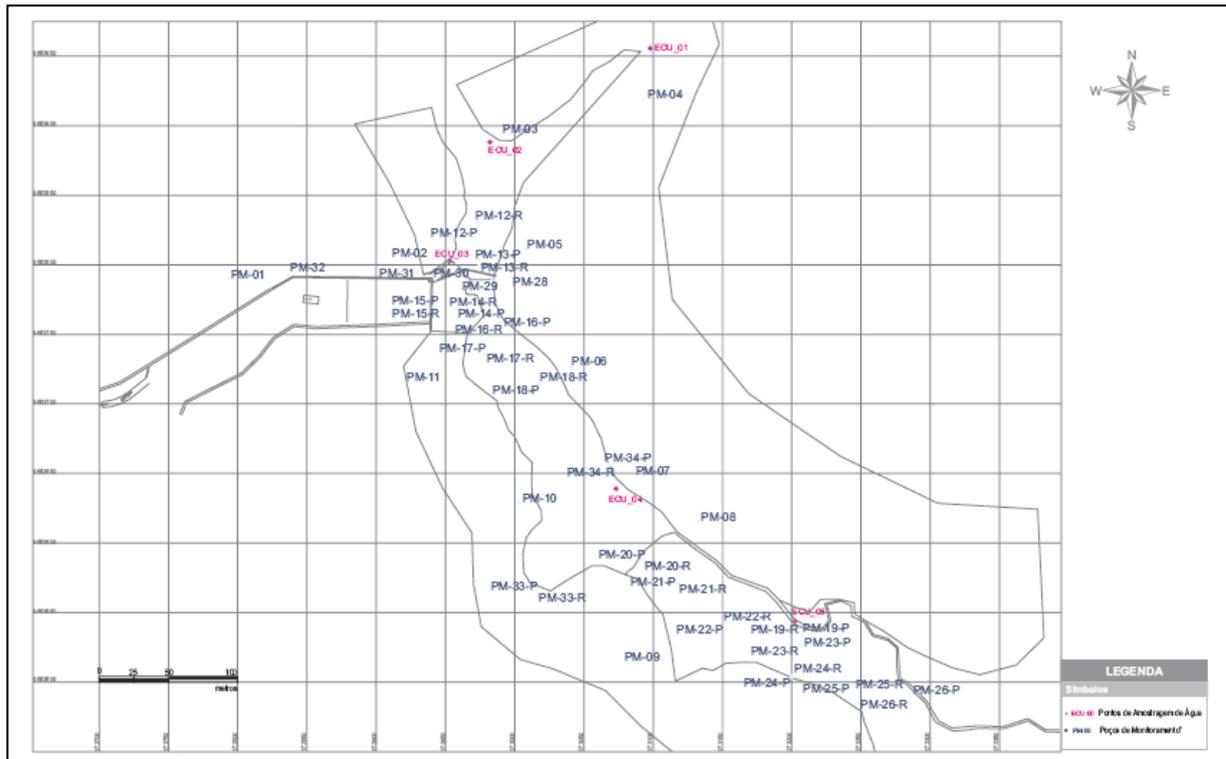


Figura 3 – Pontos de Coleta de Água Superficial e Subterrânea

Tabela 1 - Resultados dos Parâmetros Físico-químicos - Água Superficial

Ponto de Coleta	T [°C]	pH	Eh [mV]	OD Conc	CE [µS/cm]
ECU-01	26,6	5,9	89	5,6	174,8
ECU-02	26,7	9,1	-68	4,8	191,0
ECU-03	27,4	8,8	-126	4,1	112,5
ECU-04	32,0	6,1	32	6,8	160,3
ECU-05	31,2	5,1	297	1,7	167,6
MÉDIA	28,78	7,00	44,80	4,60	161,24
MEDIANA	27,40	6,10	32,00	4,80	167,60

Fonte: Planilhas de Campo
 (T) : Temperatura; (OD) : Oxigênio Dissolvido; (CE) : Condutividade Elétrica
 (pH) : potencial Hidrogeniônico; (Eh) : Potencial Redox; (STD) : Sólidos Totais Dissolvidos

Tabela 2 - Resultados dos Parâmetros Físico-químicos - Água Subterrânea.

Ponto de Coleta	T [°C]	pH	Eh [mV]	OD Conc	CE [µS/cm]
PM-29	28,6	8,8	-14	0,6	126,8
PM-30	29,3	9,0	-37	2,2	137,3
PM-31R	27,9	11,2	2	0,6	140,9
PM-32	28,6	12,0	-348	0,5	138,5
PM-12P	29,0	9,8	-2	0,4	167,0
PM-15P	29,3	9,0	-63	0,4	94,5
PM-16P	27,7	10,5	-246	0,9	141,4
PM-20P	29,4	8,5	-134	0,6	209,1
PM-21P	29,6	8,8	-63	0,3	299,7
PM-22P	27,7	7,3	-120	1,2	195,1
PM-23P	29,8	7,6	-122	0,4	150,2
PM-24P	28,2	6,8	-77	0,4	82,4
PM-25P	29,4	9,1	-172	1,0	153,9
PM-33P	28,1	7,6	152	3,6	152,3
PM-33P	28,1	7,6	152	3,6	152,3
PM-33P	28,1	7,6	152	3,6	152,3
PM-15R	29,7	10,4	-135	0,2	190,4
PM-16R	28,3	10,8	52	0,3	194,4
PM-19R	29,6	9,8	-214	1,3	213,9
PM-20R	30,2	9,8	-96	0,1	165,0
PM-21R	31,3	9,4	-24	0,6	215,9
PM-22R	28,7	8,3	47	2,3	125,5
PM-23R	30,0	10,0	-155	1,2	225,8
PM-25R	27,2	4,4	343	10,1	70,2
PM-26R	30,6	9,9	-75	0,3	206,1
PM-33R	27,8	8,2	-12	2,1	183,1
MÉDIA	28,9	8,9	-46,5	1,5	164,8
MEDIANA	28,9	9,0	-63,0	0,6	153,1

Fonte: Planilhas de Campo

(T) : Temperatura; (OD) : Oxigênio Dissolvido; (CE) : Condutividade Elétrica
(pH) : potencial Hidrogeniônico; (Eh) : Potencial Redox; (STD) : Sólidos Totais Dissolvidos

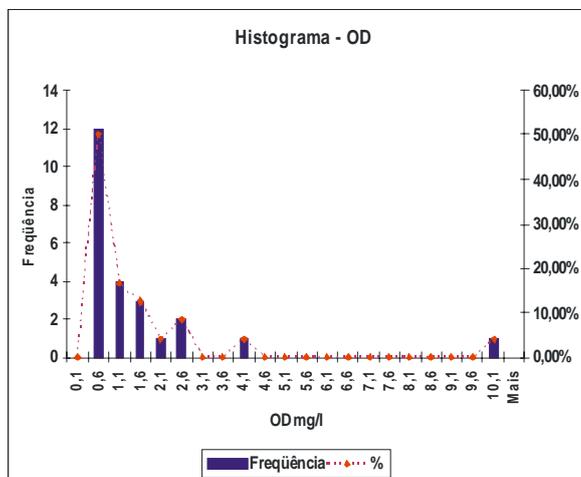
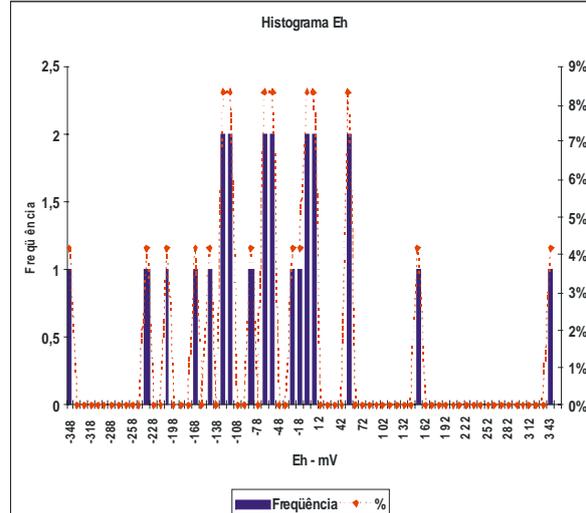
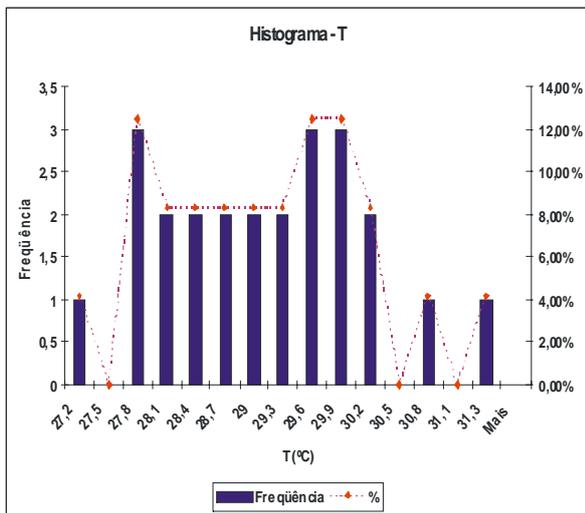
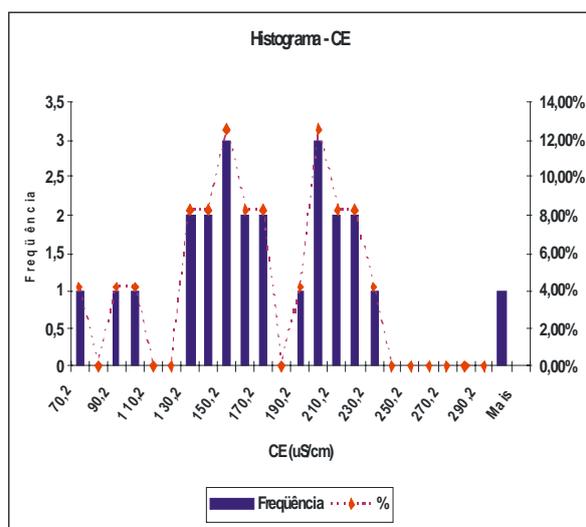
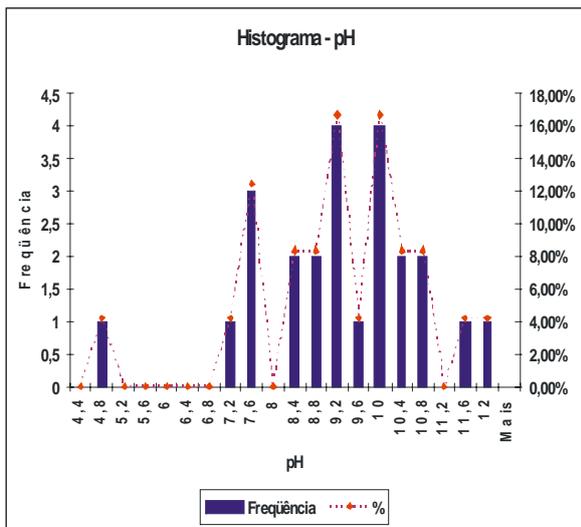


Figura 4 – Histogramas de Freqüência

Potencial Hidrogeniônico (pH)

Os resultados de pH para o monitoramento superficial (Tabela 1) indicam um caráter levemente ácido para alguns dos pontos verificados. Os pontos ECU-01, 04 e 05, apresentaram valores pH de 5,92, 6,08 e 5,11 respectivamente. Os pontos ECU-02 e 03 apresentaram caráter básico e valores de pH de 9,1 e 8,8, respectivamente.

Os resultados obtidos para as análises das águas subterrâneas, Tabela 2, indicam um pH básico para 83% dos PM's monitorados. Obteve-se o menor valor no PM-25R (4,4) e maior valor no PM-32 (12). Na representação gráfica constata-se que a maior frequência ocorre para faixas de valores de 8,8 a 9,2 e de 9,6 a 10,0 (Frequência 4), ocorrendo em 16,67% dos pontos avaliados.

As Figuras 5 e 6 apresentam a configuração espacial da distribuição do pH na água subterrânea para os poços rasos e profundos, respectivamente.

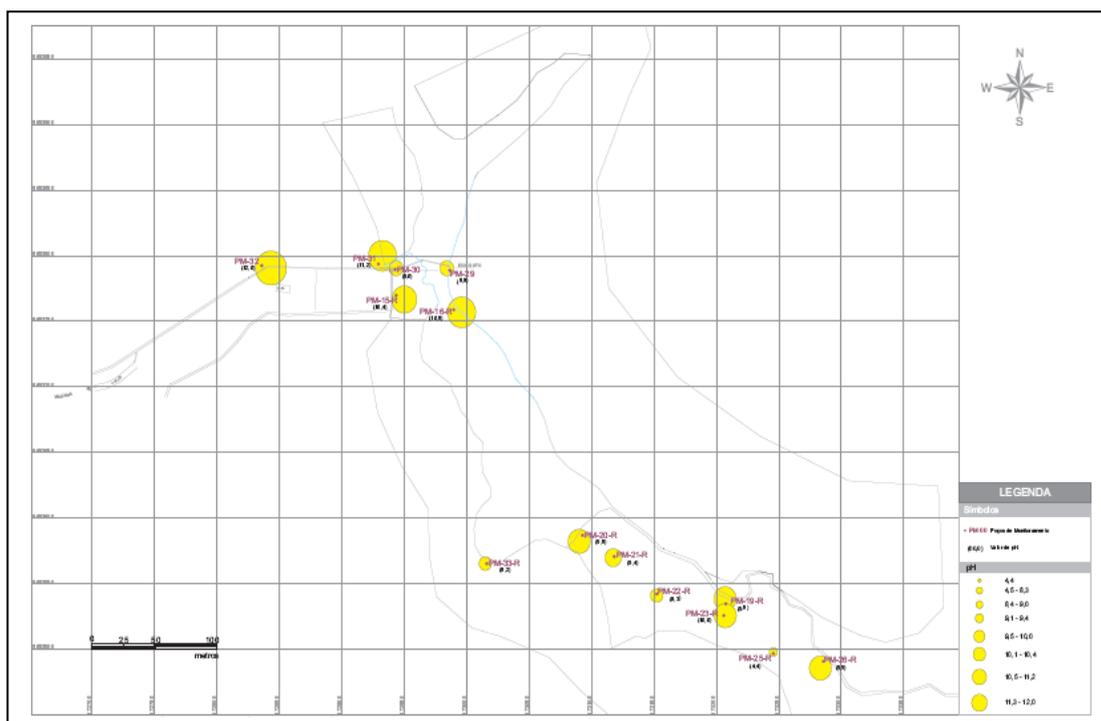


Figura 5 – Mapa Temático de pH na Água Subterrânea – Poços Rasos

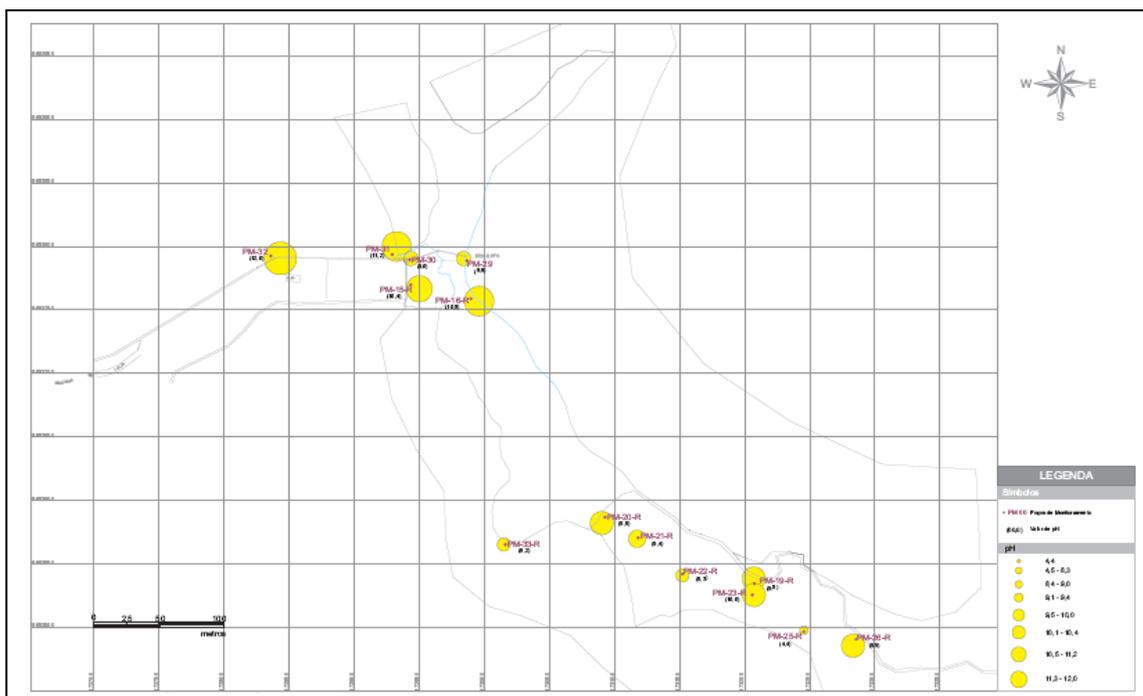


Figura 6 – Mapa Temático de pH na Água Subterrânea – Poços Profundos

Condutividade Elétrica (CE)

Os resultados obtidos para as águas superficiais, Tabela 1, indicam baixas concentrações para a CE, com medianas na ordem de 167,60 us/cm.

O monitoramento da água subterrânea, Tabela 2, também indica baixas concentrações de CE, se comparados ao valor de 500 mg/L, estabelecidos pela Portaria 518 do Ministério da Saúde (FUNASA, 2004). As menores concentrações foram obtidos no PM-25R (70,2 μ S/cm) e as maiores no PM-21P (299,7 μ S/cm).

O histograma de freqüências destinado às concentrações de CE indicam que as faixas situadas entre 140,2 - 150,22 μ S/cm e 190,2 - 200,2 μ S/cm (Freqüência 3) apresentam um percentual de 12,50% das ocorrências válidas.

As Figuras 7 e 8 apresentam a configuração espacial da distribuição de CE na água subterrânea para os poços rasos e profundos, respectivamente.

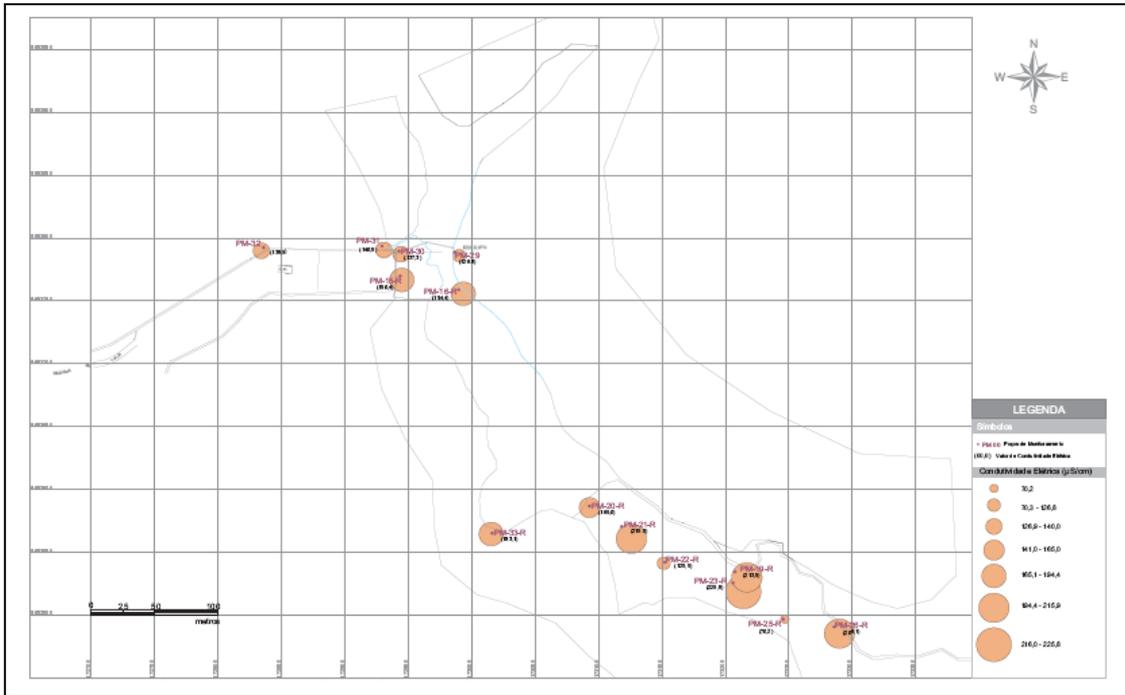


Figura 7 – Mapa Temático da CE na Água Subterrânea – Poços Rasos

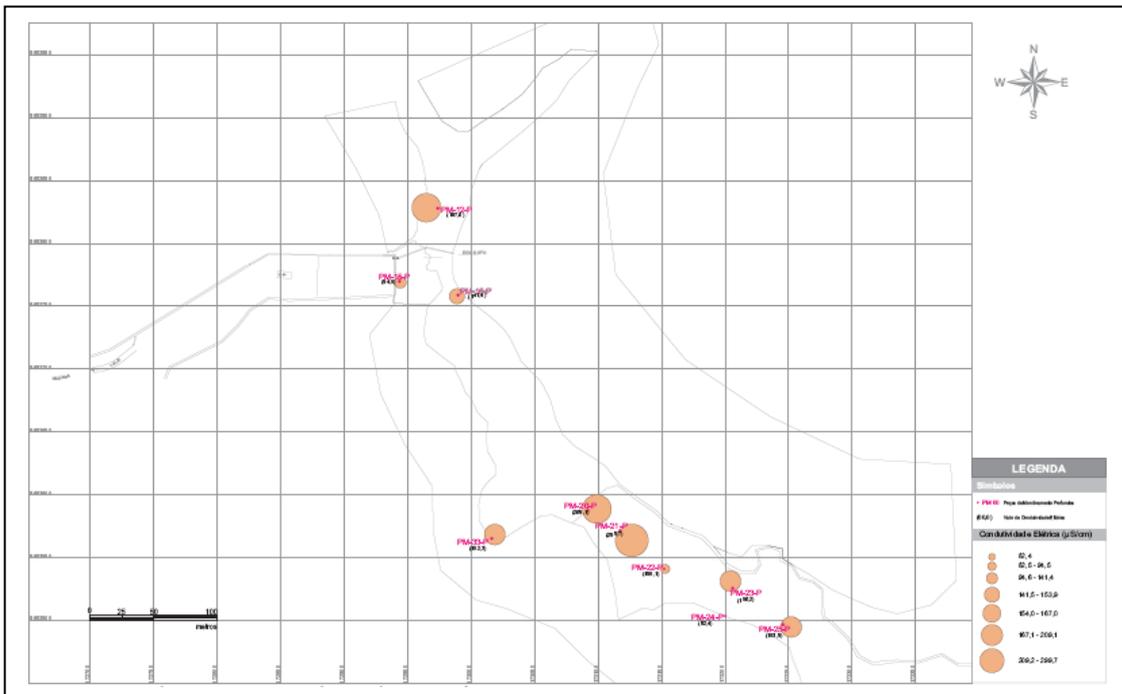


Figura 8 – Mapa Temático da CE na Água Subterrânea – Poços Profundos

Temperatura (T)

Os resultados obtidos para as águas superficiais, Tabela 1, indicam elevados valores de temperatura, contidos no intervalo de 26,6 °C e 32 °C.

Os valores de temperatura, observados para os poços monitorados, situam-se na faixa de 29,32 e 30,17 °C (Tabela 2). O histograma de frequência executado para os valores de temperatura indica que as maiores ocorrências incidem entre intervalos de 27,5 - 27,8 °C, 29,3 - 29,6 °C e 29,6 - 29,9 °C definida na classe 3 das frequências (12,50%).

As Figuras 9 e 10 apresentam a configuração espacial da distribuição de T na água subterrânea para os poços rasos e profundos, respectivamente.

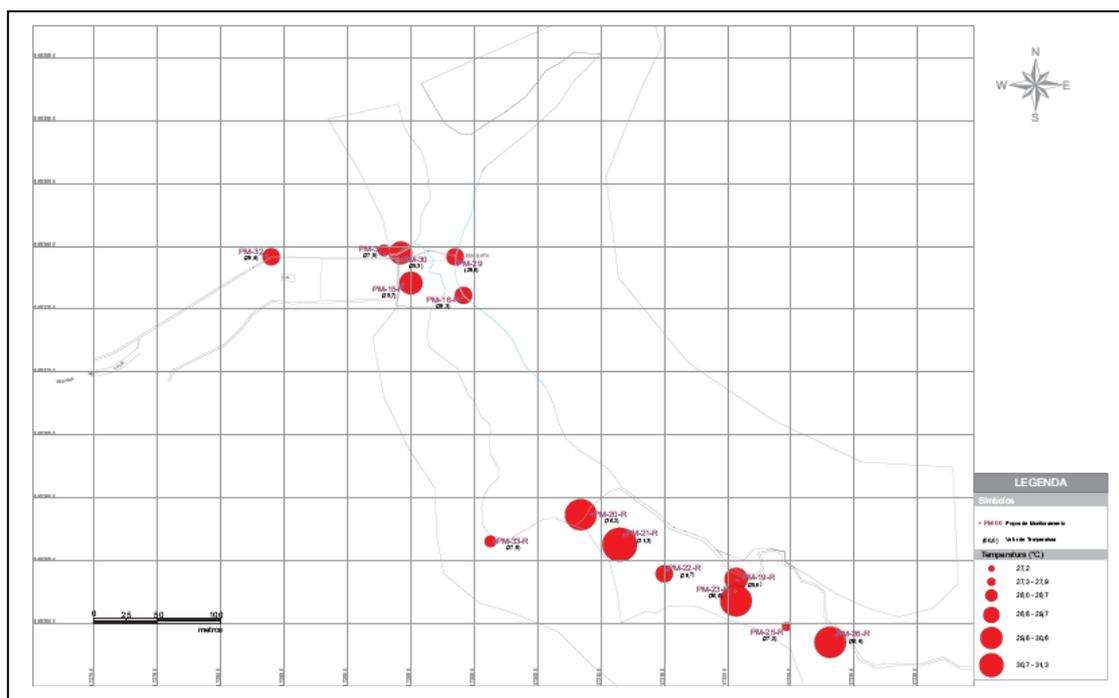


Figura 9 – Mapa Temático de T na Água Subterrânea – Poços Rasos

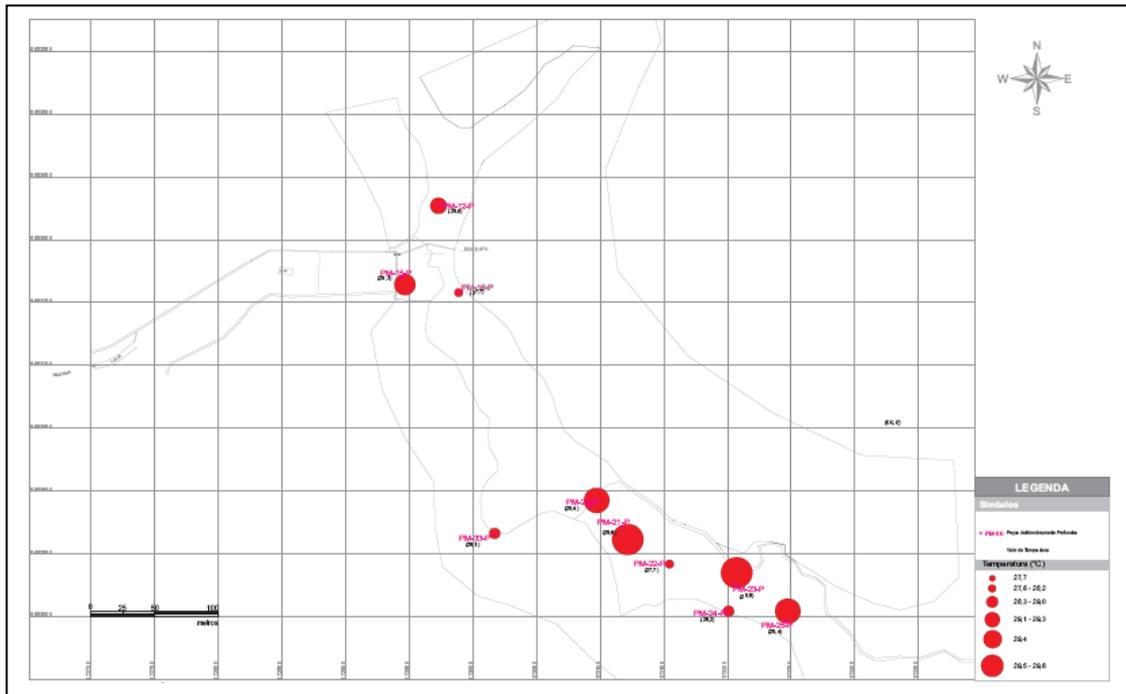


Figura 10 – Mapa Temático de T na Água Subterrânea – Poços Profundos

Potencial Redox (Eh)

Os resultados de Eh obtidos para pontos de coleta de água superficial, Tabela 1, indicam valores negativos (-68 e - 126 mV) para os pontos ECU-02 e ECU-03. Os demais pontos amostrados apresentaram valores positivos de Eh, variando de 32 a 297 mV.

O potencial redox verificado durante o monitoramento da água subterrânea, Tabela 2, apresenta valores negativos para a maioria dos pontos avaliados. Obteve o seu menor valor para o PM-32 (-348 mV) e maior valor no PR-25 (343 mV). As maiores classes de frequências obtidas foram entre os grupos de valores (-138 e -128 mV), (-128 e -118 mV), (-78 e -68 mV), (-68 e -58 mV), (-18 e -8 mV), (-8 e 2 mV) e (42 e 52 mV), estando estes classificados no conjunto 2 de frequências, com um percentual de repetibilidade de 8,33%.

De posse dos valores acima discriminados, pode-se afirmar que as águas subterrâneas avaliadas na área investigada, apresentam-se reduzidas.

As Figuras 11 e 12 apresentam a configuração espacial da distribuição de Eh na água subterrânea para os poços rasos e profundos, respectivamente.

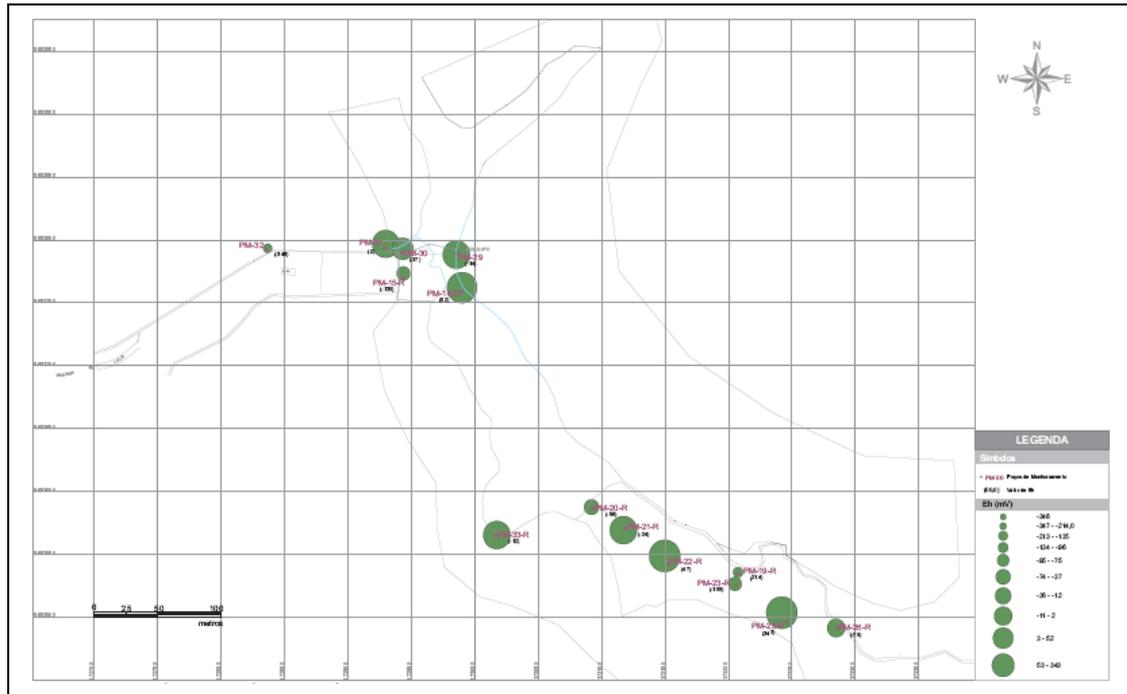


Figura 11 – Mapa Temático de Eh na Água Subterrânea – Poços Rasos

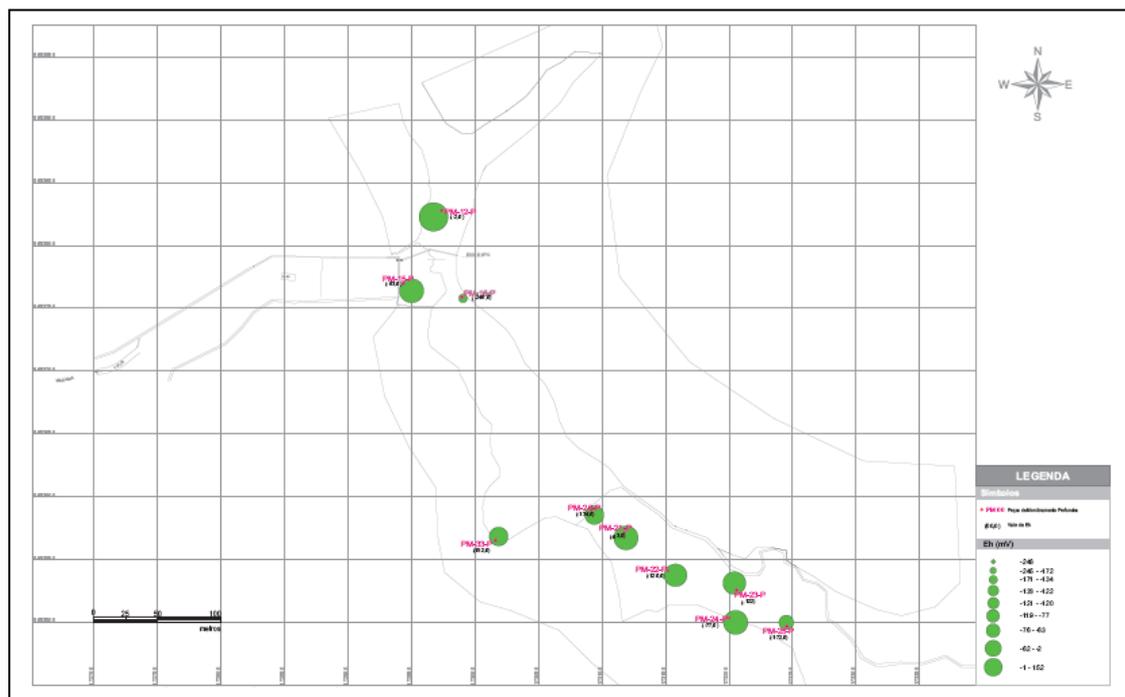


Figura 12 – Mapa Temático de Eh na Água Subterrânea – Poços Profundos

Oxigênio Dissolvido – OD

Os resultados de OD obtidos para pontos de coleta de água superficial, Tabela 1, apresentaram um ponto anômalo (ECU-05) com concentração de 1,7 mg/L. Os demais pontos avaliados apresentaram pouca variação de concentração com valores entre 4,1 e 6,8 mg/L.

Os resultados da concentração de OD para o monitoramento da água subterrânea, Tabela 2, apresentam baixos valores em 80% dos pontos monitorados, mostrando que a água coletada veio direto da formação aquífera, ou seja pobre em OD .

Apresenta um ponto anômalo PR-25 (10,1 mg/L) e demais valores variando entre 0,1 e 3,6 mg/L. A maior frequência de ocorrência foi entre os valores de 0,1 a 0,6 (Frequência 12) com um percentual de repetibilidade de 50%.

As Figuras 13 e 14 apresentam a configuração espacial da distribuição do OD na água subterrânea para os poços rasos e profundos, respectivamente.

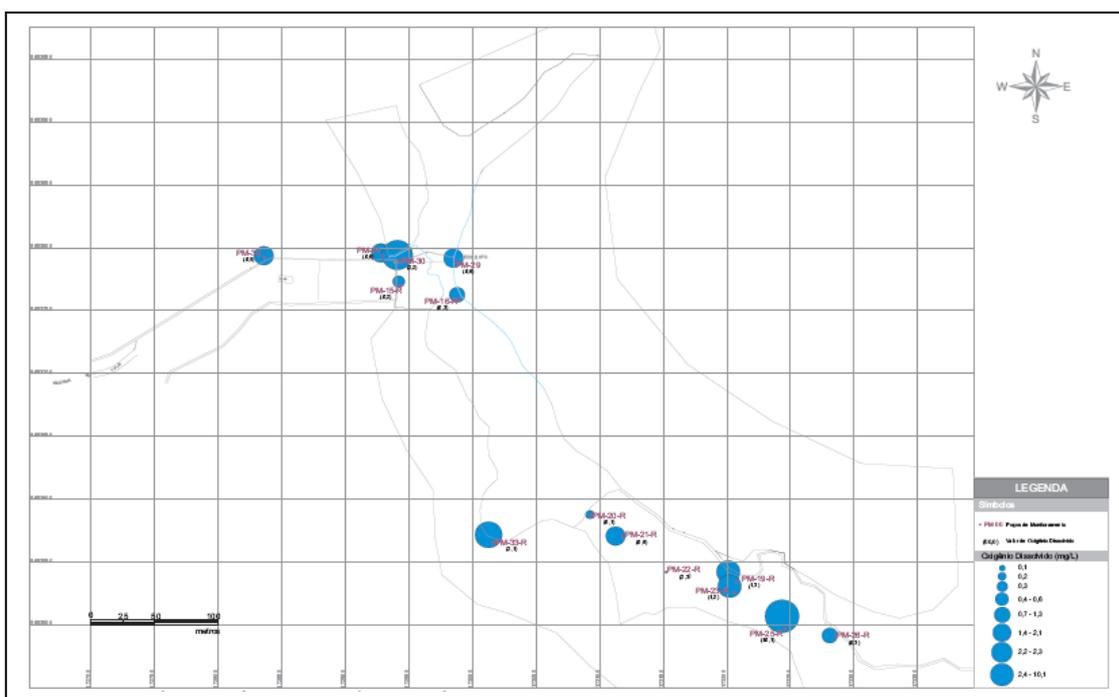


Figura 13 – Mapa Temático do OD na Água Subterrânea – Poços Rasos

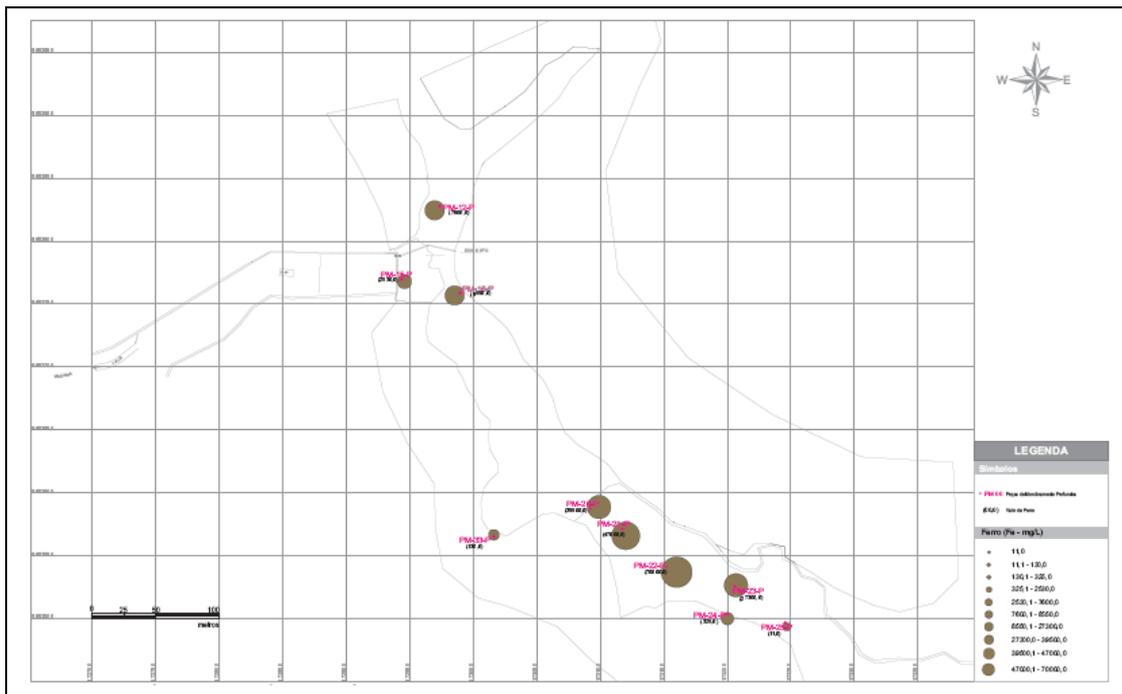


Figura 14 – Mapa Temático do OD na Água Subterrânea – Poços Profundos

DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

Correlações entre os resultados obtidos na Tabela 1 (Resultados dos Parâmetros Físico-químicos - Água Superficial) e na Figura 3 (Pontos de Coleta de Água Superficial e Subterrânea) indicam que o ponto de amostragem superficial localizado à jusante da primeira lagoa (ECU-02), no ponto de confluência das ramificações situados à norte do igarapé, e o ponto ECU-03 (localizado a montante do ponto do vazamento), apresentaram concentrações anômalas dos parâmetros OD, Eh e pH. Estes pontos delimitam áreas reduzidas, que apresentam certa depleção da concentração do oxigênio dissolvido, se comparadas com os demais pontos de amostragem.

Esta diferenciação pode estar associada a uma intensa atividade microbiana que por sua vez, associa-se a ações de biodegradação ou a um crescimento desorganizado destes microorganismos indicando um aporte excessivo de nutrientes e uma incipiente eutrofização deste ambiente. O pH deste ambiente encontra-se levemente ácido (mediana de 6,1 UpH) com decréscimo de sua concentração em direção ao Rio Negro (5,1 UpH – ECU-05). Esta condição é esperada para o padrão de qualidade de água avaliada.

Os resultados físico-químicos obtidos para o monitoramento das águas subterrâneas, demonstram que a mesma é proveniente da formação aquífera não sofrendo imediata influencia externa (contato com a atmosfera). Apresentam-se levemente reduzidas, pH levemente básico e baixas concentrações de OD.

As Figuras 15 e 16 indicam a relação entre a concentração de Ferro (Fe), o pH e potencial redox (Eh). O ferro é um metal e pode ocorrer na natureza nos estados de oxi-redução +2 e +3. O comportamento geoquímico do ferro e sua solubilidade na água dependem fortemente do estado de oxidação e redução da solução e do pH. Na forma iônica ou complexada (divalente ou trivalente) o ferro (Fe) pode ocorrer dissolvido, em estado coloidal ou disperso na água. Ocorre na forma iônica se a água estiver livre de oxigênio ou seu pH estiver abaixo de 3. Em valores de pH acima de 3, íons ferrosos são convertidos a óxido hidratado fracamente solúvel e em pH acima de 8, íons ferrosos são parcialmente convertidos a hidróxido de ferro (II) solúvel (Fresenius et al., 1988).

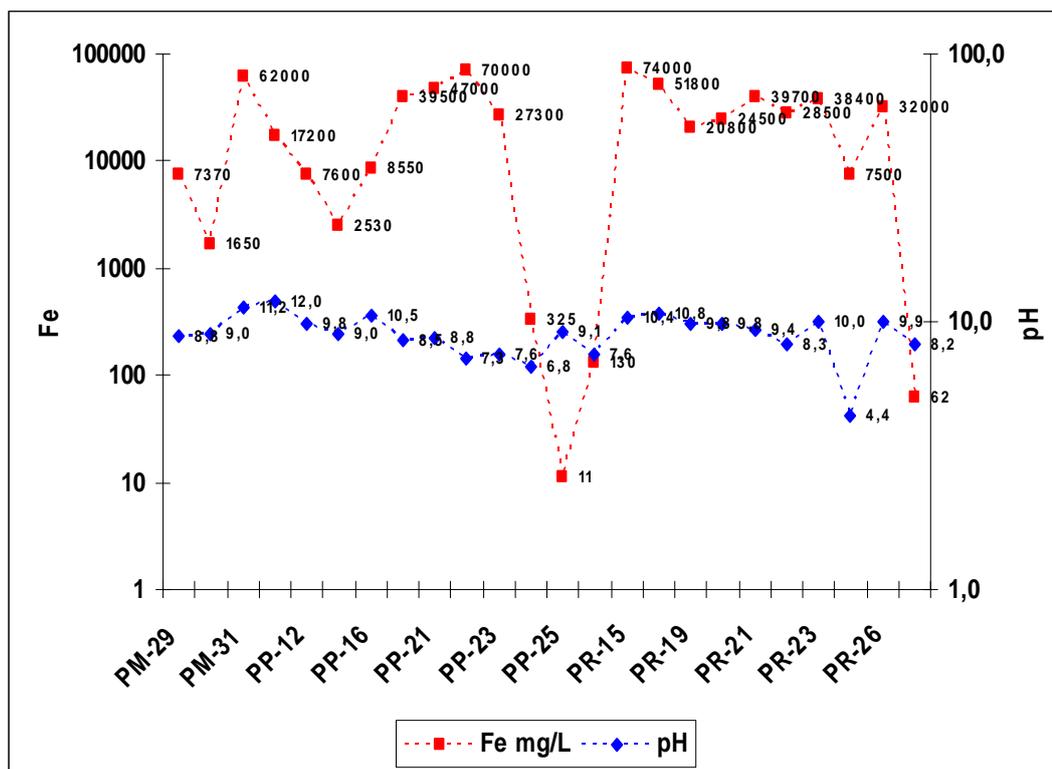


Figura 15 - Relação Concentração de Fe X pH

Observa-se que 83% das concentrações de ferro ocorrem em pH maior que 8, ou seja parte dos íons ferrosos estão na forma de hidróxido de Fe (II). Estas áreas de concentrações de ferro (Fe II) estão relacionadas com valores negativos de Eh ou valores próximos a zero, mostrando que estas concentrações encontram-se em zonas redutoras ou nas suas fronteiras (Figura 16).

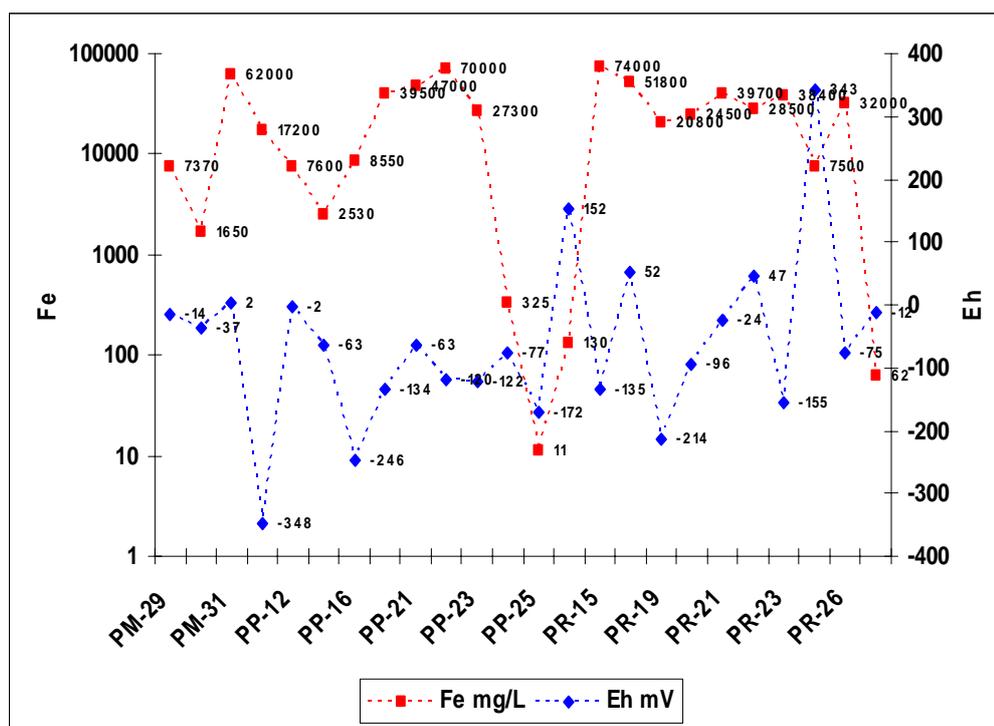


Figura 16 - Relação Concentração de Fe X Eh

Os resultados obtidos, principalmente os valores anômalos de pH, indicam a possibilidade de ocorrência de pelo menos uma das fases que compõem os processos biodegradativos, mais precisamente a denitrificação e a redução do ferro III. Este processo ocorre em ambientes onde a concentração de OD é insuficiente para manter níveis aceitáveis de atividades aeróbicas. Para estes ambientes anóxicos, as denitrificadoras utilizam o íon nitrato (NO^3) como receptor de elétrons, reduzindo-o primeiramente a nitrito (NO^2), óxido nitroso e gás dinitrogênio. Neste processo ocorre a oxidação do extrato carbonáceo, ou seja, a “quebra” das longas cadeias carbônicas. Fatores limitantes a este processo são a disponibilidade de nitrato, baixa concentração de OD, baixas concentrações de pH e temperatura. Com exceção do nitrato (não avaliado neste trabalho), os demais fatores são preponderantes à ação das denitrificadoras.

Processos biodegradativos não ocorrem separadamente. Estes quando instalados promovem um zoneamento da área impactada podendo ocorrer mais de um processo, dependendo das condições físico-químicas locais. Caso existam aceptores de eletros, tais como o oxigênio, em abundância, processos aeróbios serão intensamente utilizados regendo as etapas iniciais de biodegradação. Com o consumo constante deste tipo de receptor, faz-se necessário a utilização de outros processos. Geralmente há um zoneamento de processos anaeróbios que vão desde a denitrificação, passando pela redução de sulfato, processos metanogênicos e culminando nos processos redutores de Ferro III e Manganês IV.

Aparentemente a área estudada apresenta duas (02) etapas que compõem os processos biodegradativos:

- A Denitrificação, devido as condições ideais de pH e OD, e
- A Zona de Redução do Ferro, devido condições também ideais de Eh e pH.

A Figura 17 apresenta uma seção mapeada de uma das lagoas que compõem o sistema lótico abordado. É importante frisar a existência de um exagero na escala vertical o qual intuita a demonstrar as diferentes frentes que compõem os processos biodegradativos.

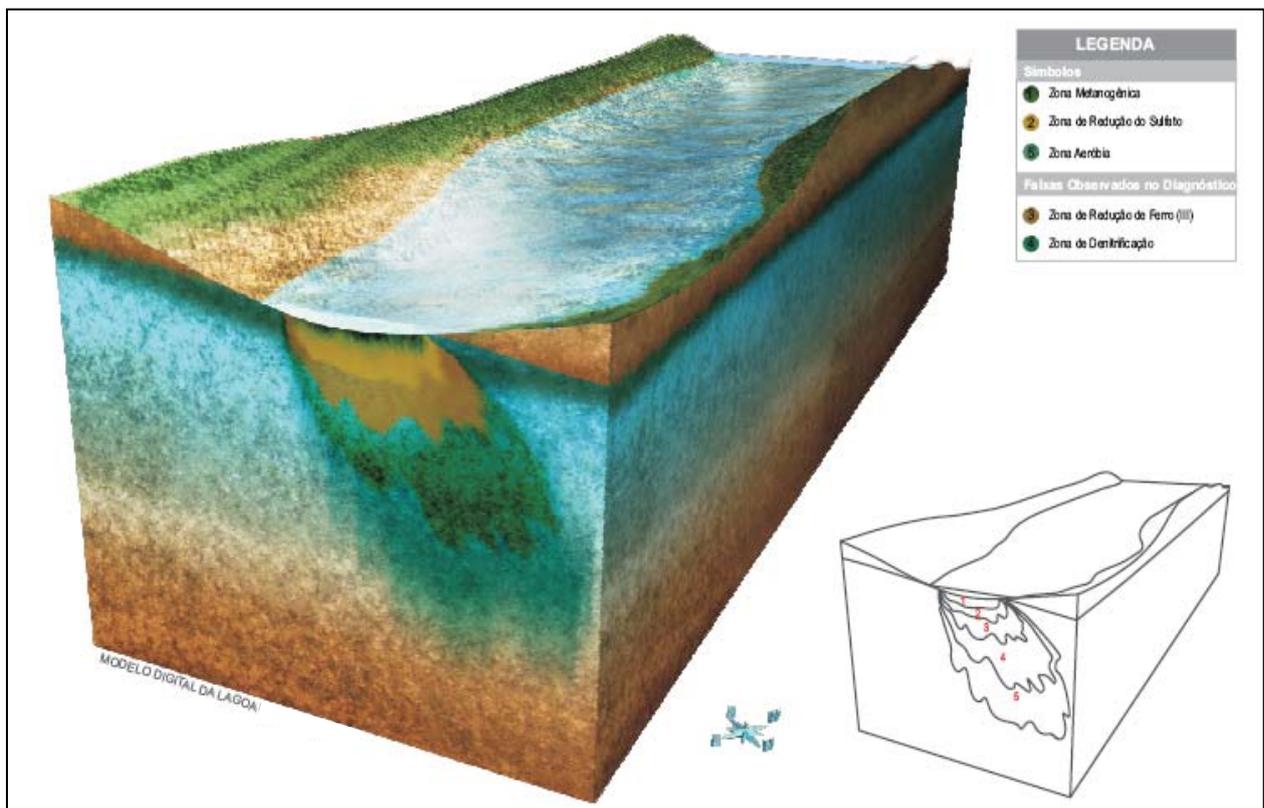


Figura 17 - Faixa de Degradação de Hidrocarbonetos

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAIRD, C., 2002, *Química Ambiental.*, 2 ed. Porto Alegre. Editora Bookman, 622 p.
- CASTRO, R.A. et al, 2005, Utilização de Nitrato de Potássio e Peróxido de Nitrogênio para biorremediação “in situ” de Solos Contaminados por Petróleo. 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, Outubro 2005, 6p.
- DEUTSCH, W. J., 1997, *Groundwater Geochemistry: fundamentals and applications to contamination*, Lewis Publishers-New York.
- FERREIRA, E.S., *Cinética Química e Fundamentos dos Processos de Nitrificação e Denitrificação Biológica*. XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 25p.
- FRESENIUS, Ernst. K. 1988, *Water analysis; a practical guide to physico-chemical, chemical and microbiological water examination and quality assurance*, Berlin, 827 p.
- HORBE, A. M. C., GOMES I. L. F., MIRANDA S. F., Silva M. S. R. 2005. Contribuição à hidroquímica de drenagens no Município de Manaus – AM. *Acta Amazônica*. Manaus, Volume 35, p. 119-124.
- LANGMUIR, D., 1997, *Aqueous Environmental Geochemistry*, Prentice-Hall, Inc, New Jersey.
- BATISTA, M.J., COSTA, J.R., MAGALHÃES, J.C.M., 1999, Laudo Pericial processo 010/99 VEMAQA - Ação Cível por Dano ao Meio Ambiente - Ministério Público do Estado do Amazonas, 18 p.
- SOUZA, L. S. B., VERMA, O. P., 2006, Mapeamento de aquíferos na cidade de Manaus/AM (zonas norte e leste) através de perfilagem geofísica de poço e sondagem elétrica vertical. *Revista Brasileira de Geociências*. Manaus, Volume 19, p.111-127.
- UFAM, 2004, *Relatório de Impactos Ambientais – Gasoduto Coari Manaus*. Centro de Ciências do Ambiente. Manaus, 249p.