

MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA NA ÁREA DO PROJETO FERRO CARAJÁS – UM SUBSÍDIO PARA O ESTUDO AMBIENTAL

Maria de Lourdes Pinheiro Ruivo¹
Maria Emília da Cruz Sales¹

RESUMO – No presente trabalho apresentam-se os resultados das pesquisas desenvolvidas ao longo de 4 anos, na área do Projeto Ferro Carajás. Através das análises físico-químicas das águas pode-se caracterizar o comportamento dos constituintes maiores dos recursos hídricos superficiais da região, que apresentam pequena variação sazonal, na maioria das vezes, e mostram-se excelentes indicadores de modificações ambientais. Destacam-se, principalmente, o oxigênio dissolvido, o dióxido de carbono livre, o dióxido de carbono total e o resíduo seco.

PALAVRAS-CHAVES: Carajás, Análise de água, Recursos hídricos, Amazônia, Poluição na mineração.

ABSTRACT – The results of four years research in the “Projeto Ferro Carajás” area are present in the paper. Through chemical and physical analysis of water we describe the activity of the principle components of superficial water resources of the region. Our research found small seasonal variations in most samples which serve as environmental indicators. These variations were found primarily in the dissolved oxygen, the free carbon dioxide, the total carbon dioxide and the dry residue components.

KEY WORDS: Carajás, Examination of water, Hydric resources, Amazon, Mining pollution.

INTRODUÇÃO

O atual estado de desenvolvimento industrial é o reflexo de uma revolução iniciada no século passado, desenvolvida a partir do aumento das necessidades

¹ SCT-PR/CNPq/Museu Paraense Emílio Goeldi – Programa de Ciências da Terra.

de uma sociedade em transformação, fazendo surgir diversas doutrinas de desenvolvimento econômico e social. Este desenvolvimento só levou em consideração os ganhos materiais, relegando ao ostracismo qualquer preocupação com o meio ambiente.

Para a satisfação de suas necessidades, o homem é o autor de um processo extrativista dos recursos naturais, em sua maior parte de bens não renováveis, que não estão sendo explorados racionalmente. Em conseqüência, surgiram muitos problemas ambientais, entre outros a desertificação de grandes áreas outrora cultiváveis ou de densas florestas, enchentes e mudanças no microclima. Estes fatores despertaram na comunidade científica mundial um interesse no estudo e preservação do meio ambiente, hoje extensivo a todos os segmentos da sociedade.

No Brasil, país extrativista por excelência, essa preocupação é recente; nossas riquezas são exploradas sem qualquer planejamento desde os tempos coloniais, resultando alguns problemas ambientais, que são observados até hoje, como, por exemplo, o desaparecimento da Mata Atlântica.

A Amazônia, nas últimas décadas, tem sido alvo de interesse de grupos, que têm o intuito de explorar suas riquezas, desde mineralizações até seu potencial hidrelétrico. No entanto, possuindo a região um ecossistema pouco conhecido, os impactos que advêm desta ocupação são imprevisíveis; por isso, faz-se necessário um estudo do ambiente antes, durante e após a implantação de projetos sejam eles: mineral, industrial, agropecuário ou hidrelétrico.

Neste trabalho constam os resultados do levantamento básico dos recursos hídricos da área do Projeto Ferro Carajás que direta ou indiretamente estão relacionados à exploração mineral e a suas conseqüências como: leitos desviados e barrados, aumento nos valores de cor e turbidez, assoreamento devido a despejos dos efluentes sólidos das minas e do solo desmatado, acréscimo nas concentrações de elementos químicos devido ao seu arraste do solo desmatado e contribuição dos minérios lavrados (Fe, Mn, Cu,...), além de mudanças no pH da água.

MATERIAIS E MÉTODOS

Apresentam-se, neste trabalho, os resultados de 22 parâmetros físico-químicos, analisados ao longo de 4 anos em 470 amostras de água, coletadas a 30cm de profundidade, em pontos previamente selecionados nos rios, igarapés e lagoas que drenam a área do Projeto Ferro Carajás, no período compreendido entre 1983 a 1986. A área de trabalho estende-se desde o rio Verde (área do Grupo Executivo de Terras Araguaia-Tocantins-GETAT), até o igarapé Salobo, próximo ao acampamento 3 A (Figura 1).

Os pontos amostrados (Figura 1) representam os ambientes existentes na área em estudo. Como este ambiente encontrava-se modificado, trabalhou-se em locais sob diversos estágios de modificações para posterior comparação dos resultados.

Coletaram-se amostras de água em quatro períodos climáticos: início e pico das chuvas, pico e final da estiagem, esperando-se, com isso obter maior representatividade dos resultados, visualizar facilmente qualquer modificação ambiental nos recursos hídricos estudados e a variação sazonal dos parâmetros pesquisados.

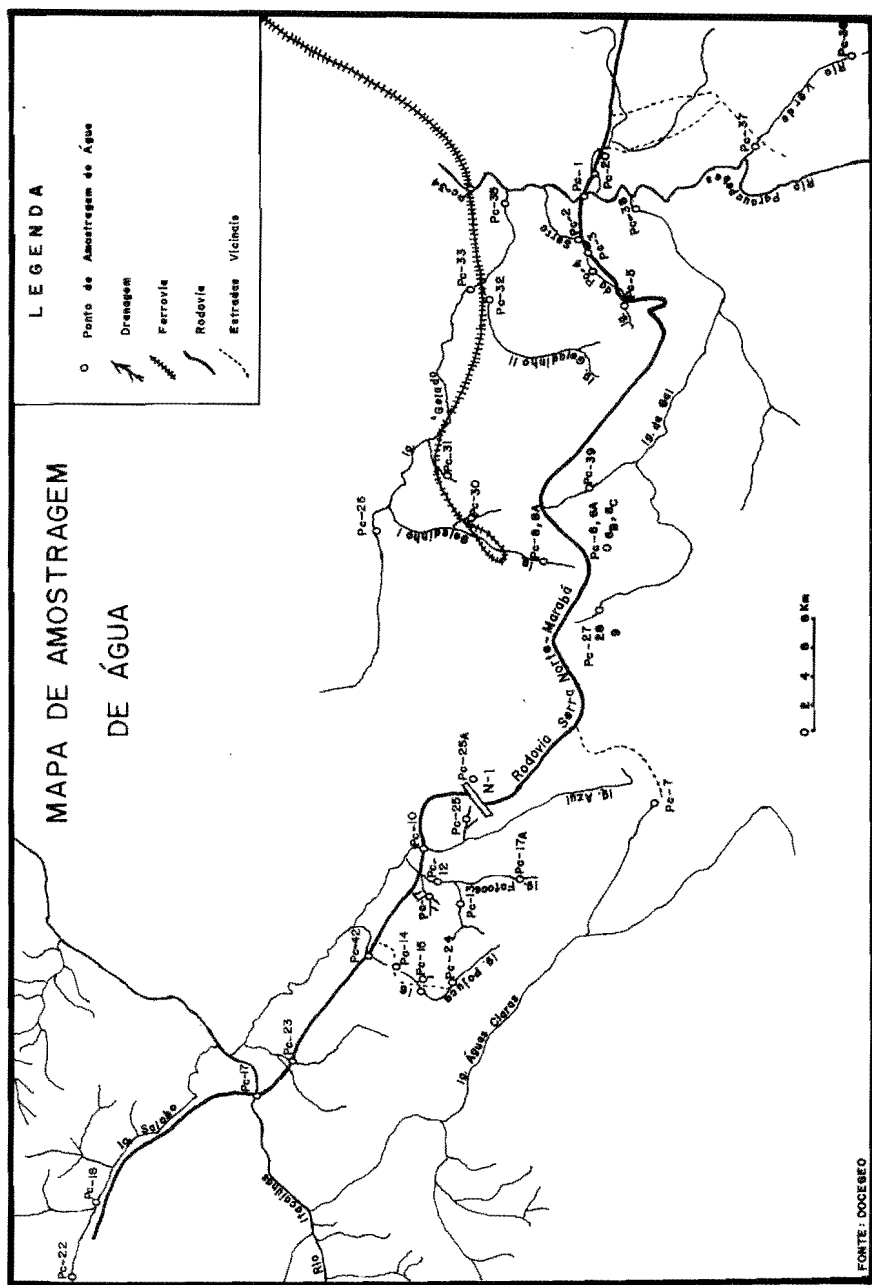


Figura 1 - Mapa de amostragem de água.

Os parâmetros analisados, nas amostras de água, têm como objetivo a definição de suas características físico-químicas, estabelecendo um padrão de qualidade regional, e servir como sensor às possíveis modificações químicas e/ou físicas que possa apresentar o ecossistema aquático.

O procedimento adotado na coleta e preservação das amostras de água baseia-se no Guia de Coleta e Preservação de Amostras da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB (1977), conforme descrito abaixo:

1 – Para a determinação do cálcio, ferro total, dureza total, sódio e potássio coletou-se 1000ml de água em frasco plástico, convenientemente limpo, e acidulada com ácido nítrico concentrado, até o pH da água atingir um valor igual ou menor a 2.

2 – Para a determinação de nitrato, utilizou-se frasco plástico de 250ml, também convenientemente limpo, e acidulada com ácido sulfúrico concentrado até o pH da água atingir um valor igual ou menor a 2.

3 – Para a determinação do oxigênio dissolvido coletaram-se, em frasco de vidro de 250ml com tampa esmerilhada, as amostras de água; fixadas ao instante da coleta com 2ml de solução de sulfato manganoso e 2ml de solução alcali-iodeto-ácida.

4 – Para as demais determinações como sílica, sulfato, cloreto, cor, turbidez, resíduo seco, alcalinidade, condutividade elétrica e pH as amostras de água não foram preservadas, sendo os três últimos parâmetros dosados no campo.

Os parâmetros foram selecionados por atuarem como sensores das modificações químicas e/ou físicas que possam ocorrer nos recursos hídricos por efeito do desmatamento, construção de barragens e funcionamento das minas (exploração, transporte e beneficiamento de minério), já que estas atividades tendem a modificar, em menor ou maior grau, os recursos ambientais afetados, principalmente a qualidade das águas, fato já observado em outras áreas mineradas no Brasil. No Pará, temos como exemplo o assoreamento do igarapé Caranã e alguns braços do lago Batata (Porto Trombetas), resultado da utilização desses recursos, como bacia de contenção de efluentes da lavagem da bauxita.

Quanto ao processamento das análises físico-químicas adotaram-se as metodologias citadas na Tabela 1.

Para as determinações analíticas utilizaram-se os Laboratórios de Hidroquímica do Centro de Geociências da Universidade Federal do Pará – UFPA, e de Água do Instituto de Desenvolvimento Econômico e Social do Pará – IDESP.

CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA

Os pontos amostrados no rio Parauapebas PC-1 e PC-34 (Figura 1) localizam-se em terrenos correlacionados ao Grupo Grão-Pará e Sequência Salobo-Pojuca, respectivamente. Este rio sofre influência dos desmatamentos em sua cabeceira e margens, devido ao assentamento populacional e às atividades de garimpos de ouro, principalmente, próximo a sua cabeceira.

Os pontos PC-2, PC-3, PC-4 e PC-5 (Figura 1) localizam-se no igarapé da Serra e drenam terrenos correlacionados à Formação Rio Fresco. O PC-4 encontra-se parcialmente represado pela rodovia Marabá-Serra Norte e torna-se, em períodos de estiagem, um ambiente lântico.

TABELA I - Metodologia das Análises dos Parâmetros Pesquisados

TEMPERATURA - Determinação efetuada a 15cm da superfície, com termômetro comum, graduado de 0° a 100°

POTENCIAL HIDROGÊNIO - Determinação potenciométrica, com potenciômetro marca DIGIMED

OXIGÊNIO DISSOLVIDO - Método titulométrico de WINKLER, modificado pela azida sódica

CO₂ LIVRE - Determinado através de cálculo: $CO_2 L = \log(O_2,2033 \times Alc.) - pH$ (RODIER, 1981)

CO₂ TOTAL - Determinado através de cálculo: $CO_2 T = CO_2 L + 0,88 HCO_3^-$ (RODIER, 1981)

COR - Método colorimétrico, aparelho de AQUA TESTER - HELIGE

TURBIDEZ - Método nefelométrico, aparelho Turbidímetro HACH

CONDUTIVIDADE ELÉTRICA - Medida com condutivímetro CHEMTRIX -

SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS - Determinado por cálculo a partir da Condutividade: $STD (mg/l) = Cond \times 0,666$

RESÍDUO SECO - Determinado por método gravimétrica

ALCALINIDADE TOTAL - Determinado por volumétrica, titulante HCl 0,02N e indicador Metilorange

DUREZA TOTAL - Método volumétrico de complexação com EDTA e indicador EBT

CÁLCIO - Método volumétrico de complexação com EDTA e indicador Calcon

MAGNÉSIO - Determinado por cálculo a partir do Cálcio e Dureza Total: $Mg (mg/l) = 12,16 (D.T.(CaCO_3 \times 0,01988 - Ca(mg/l) \times 0,0499))$ (LIVELY, 1975)

SÓDIO e POTÁSSIO - Determinado por fotometria de chama, fotômetro CORNING, modelo 400

FERRO TOTAL - Método Espectrofotométrico de Absorção com Orto-fenotrolina, Espectrofotômetro COLEMAN Jr. modelo 6/20A

SÍLICA - Método Espectrofotométrico de Absorção com Metilamina, Espectrofotômetro COLEMAN Jr. modelo 6/20A

CLORETO - Método volumétrico, titulante Nitrato de Mercúrio (II) e indicador Difenilcarbazona

SULFATO - Método Turbidimétrico, Espectrofotômetro COLEMAN Jr. modelo 6/20A

NITRATO - Método Espectrofotométrico de Absorção com ácido Fenol-dissulfônico, Espectrofotômetro COLEMAN Jr. modelo 6/20A

BICARBONATO - Determinado por cálculo a partir da Alcalinidade: $HCO_3^- (mg/l) = Alc. \times 1,22$

Das amostragens realizadas na Estação de Tratamento de Água de Carajás-ETA, PC-6, PC-6A, PC-6B e PC-6C (Figura 1), constatou-se que o PC-6, uma lagoa natural, é o receptor dos efluentes do tratamento da água para abastecimento. A lagoa é formada pelo acúmulo de água de precipitação que se acumula ao encontrar um substrato impermeável, já que o substrato desta é a canga que recobre o minério de ferro.

O decantador (PC-6B e PC-6C) tem sempre sua eficiência relacionada à limpeza dos resíduos de tratamento da água, já o ponto PC-6A é a água tratada distribuída à população.

As amostragens nas barragens do Manganês (PC-7), do Estéril Norte (PC-26) e do Estéril Sul (PC-9, 27 e 28) estão em terrenos correlacionados à Formação Rio Fresco, Seqüência Salobo-Pojuca e Grupo Grão-Pará, respectivamente.

Tanto na Barragem do Manganês como na Barragem do Estéril Norte, o local destinado à formação do lago não foi convenientemente limpo. Já na Barragem do Estéril Sul ocorre um expressivo desenvolvimento de algas, fixas no fundo do lago.

O igarapé Azul (PC-10) e o PC-23 (Figura 1) encontram-se na Seqüência Salobo-Pojuca. O igarapé Azul sofre influência das atividades extrativas na mina de manganês, próximo à sua cabeceira.

O igarapé Fofoca e seus afluentes, nos pontos PC-11, PC-12, PC-13 e PC-17A (Figura 1), drenam terrenos pertencentes à Seqüência Salobo-Pojuca. Esta área é problemática devido à ocorrência de garimpos de ouro, representados pela presença de barramentos e desvios do leito do igarapé ou de seus afluentes e a presença de damas nas suas margens.

O igarapé Pojuca, também na Seqüência Salobo-Pojuca, pontos PC-14, PC-15, PC-16, PC-24 e PC-42 (Figura 1), está sob a influência das pesquisas desenvolvidas na mina de cobre homônima.

O rio Itacaiúnas, principal recurso hídrico da área em estudo PC-17 (Figura 1), drena rochas do Complexo Xingu, Seqüência Salobo-Pojuca e Formação Rio Fresco, este rio apresenta sempre grande velocidade, mesmo em época de estiagem.

O igarapé Salobo percorre rochas da Seqüência Salobo-Pojuca nos pontos PC-18 e PC-22. (Figura 1). Durante muito tempo foi fonte de abastecimento do Acampamento Salobo 3A, atividade suspensa com o represamento e a conseqüente queda de sua velocidade, assoreamento do lago e desenvolvimento de macrófitas (Figura 1).

O igarapé Ilha do Coco II drena rochas do Complexo Xingu, ponto PC-20 (Figura 1). Apresenta-se como um dos mais degradados da região em conseqüência do assentamento populacional e do desmatamento de suas margens. Este igarapé é utilizado para todo tipo de atividade populacional.

O ponto PC-25 (Figura 1) localiza-se em terrenos da Seqüência Salobo-Pojuca, sendo um local preservado de modificações antropogênicas, possuindo um ambiente quase "in natura".

A lagoa do acampamento N₁ (PC-25A), (Figura 1) é também natural, derivada da água de precipitação, e está assentada sobre a canga que recobre o

minério de ferro do Grupo Grão-Pará. Na época da estiagem o volume de água da lagoa é reduzido, este recurso recebe os efluentes do acampamento, mas ainda encontra-se flora e fauna característica deste ambiente.

Os igarapês que drenam a ferrovia nos pontos PC-8, PC-30, PC-31, PC-32 e PC-33 (Figura 1), percorrem trechos nos terrenos do Grupo Grão-Pará, os quatro primeiros, e Sequência Salobo Pojuca, o último. Todos estão sob a influência das atividades da mina de ferro, principalmente os igarapês Geladinho (PC-8) e Gelado (PC-33) que apresentam problemas de assoreamento. No igarapé Geladinho este problema foi minimizado com a construção de barragens filtrantes.

O PC-8A (Figura 1) é água de uma bica que abastece os caminhões próximo ao igarapé Geladinho no ponto PC-8.

O rio Verde nos pontos PC-36 e PC-37 (Figura 1) percorre rochas do Complexo Xingu, sofre influência do assentamento urbano sendo considerável o desmatamento às suas proximidades para as atividades agrícolas.

Os pontos PC-36, PC-38 e PC-39 (Figura 1) percorrem rochas do Complexo Xingu, e são os pontos que possuem localização mais difícil devido ao acesso ser de barco.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta os valores médios, máximos e mínimos dos parâmetros pesquisados.

Tabela 2 - Resultados dos parâmetros pesquisados em 470 amostras de água na Serra dos Carajás

| PERÍODOS PARÂMETROS | CHUVA | | | ESTIAGEM | | | F. ESTIAGEM | | | I. CHUVA | | |
|---------------------------|-------|-------|--------|----------|-------|--------|-------------|-------|--------|----------|-------|--------|
| | μ | Z | Y | μ | Z | Y | μ | Z | Y | μ | Z | Y |
| TEMP. (mg/l) | 24.88 | 22.00 | 30.00 | 24.92 | 21.80 | 30.00 | 25.24 | 22.00 | 30.00 | 25.44 | 20.30 | 30.00 |
| pH | 6.30 | 4.20 | 7.50 | 6.66 | 5.50 | 6.70 | 6.63 | 6.40 | 6.80 | 5.92 | 4.20 | 7.10 |
| O. D. (mg/l) | 7.41 | 3.30 | 9.00 | 7.61 | 2.88 | 9.52 | 7.02 | 2.25 | 9.05 | 6.98 | 4.40 | 9.00 |
| CO ₂ L. (mg/l) | 22.10 | 0.57 | 209.43 | 11.36 | 0.19 | 49.37 | 13.50 | 0.68 | 82.34 | 36.81 | 1.89 | 405.82 |
| CO ₂ T. (mg/l) | 30.66 | 2.00 | 212.93 | 21.88 | 3.60 | 62.11 | 29.08 | 2.74 | 137.31 | 47.54 | 4.32 | 411.00 |
| COR {U.C.} | 22.35 | 2.80 | 100.00 | 15.44 | 2.50 | 120.00 | 28.02 | 2.50 | 100.00 | 11.88 | 2.50 | 80.00 |
| TURB. (NTU) | 3.28 | 1.50 | 8.00 | 2.74 | 0.47 | 7.80 | 4.28 | 0.20 | 47.00 | 2.45 | 1.20 | 9.60 |
| COND. E. (μs/cm) | 49.42 | 5.00 | 187.00 | 51.02 | 6.00 | 180.00 | 56.58 | 4.80 | 225.00 | 51.80 | 5.50 | 170.00 |
| S.T.D. (mg/l) | 33.08 | 3.33 | 124.80 | 34.06 | 4.00 | 120.00 | 35.95 | 3.66 | 150.00 | 31.26 | 3.67 | 112.00 |
| R.S. (mg/l) | 61.25 | 8.00 | 481.00 | 59.15 | 8.00 | 186.00 | 75.30 | 4.00 | 591.00 | 66.59 | 8.00 | 186.00 |
| ALC. (mg/l) | 18.35 | 4.00 | 63.00 | 19.78 | 2.79 | 61.00 | 19.83 | 3.05 | 59.70 | 19.13 | 1.90 | 54.00 |
| D.T. (mg/l) | 16.26 | 0.84 | 79.56 | 17.97 | 2.45 | 52.92 | 17.11 | 1.48 | 71.28 | 16.42 | 2.04 | 69.38 |
| Ca ⁺⁺ (mg/l) | 5.27 | 0.63 | 26.02 | 2.74 | 0.19 | 11.40 | 3.55 | 0.15 | 15.82 | 3.65 | 0.62 | 12.92 |
| Mg ⁺⁺ (mg/l) | 2.78 | 0.02 | 35.82 | 2.73 | 0.36 | 10.87 | 2.22 | 0.20 | 10.03 | 1.85 | 0.11 | 8.54 |
| Na ⁺ (mg/l) | 2.38 | 0.23 | 17.30 | 1.99 | 0.09 | 5.70 | 2.64 | 0.46 | 11.79 | 2.64 | 0.92 | 6.90 |
| K ⁺ (mg/l) | 2.03 | 0.31 | 4.08 | 1.19 | 0.08 | 3.82 | 1.64 | 0.10 | 6.32 | 1.67 | 0.19 | 5.65 |
| Fe T. (mg/l) | 1.06 | 0.06 | 3.25 | 0.74 | 0.10 | 3.10 | 0.97 | 0.09 | 6.80 | 0.93 | 0.02 | 3.25 |
| SiO ₂ (mg/l) | 10.17 | 0.93 | 33.86 | 12.84 | 1.60 | 88.88 | 9.88 | 0.21 | 57.80 | 8.79 | 0.21 | 62.15 |
| Cl (mg/l) | 5.11 | 1.17 | 14.58 | 4.99 | 1.19 | 18.20 | 5.70 | 0.41 | 24.57 | 5.73 | 2.00 | 14.75 |
| SO ₄ (mg/l) | 4.80 | 0.50 | 29.40 | 4.72 | 1.20 | 18.30 | 6.06 | 0.53 | 40.80 | 4.00 | 0.10 | 20.00 |
| NO ₃ (mg/l) | 0.90 | 0.10 | 5.84 | 1.01 | 0.13 | 6.10 | 0.91 | 0.11 | 4.80 | 0.69 | <0.01 | 4.27 |
| HCO ₃ (mg/l) | 21.31 | 1.83 | 71.37 | 24.06 | 3.41 | 74.42 | 22.66 | 2.44 | 72.66 | 23.76 | 2.32 | 97.79 |

μ - média

Z - mínimo

Y - máximo

A temperatura média das águas, nos períodos estudados, mostra-se praticamente constante entre o intervalo de 24 a 25°C, o valor máximo para todos os períodos foi de 30°C.

A temperatura das águas superficiais é função da localização geográfica e das condições climáticas (Branco & Rocha 1977). Neste trabalho a relação temperatura e períodos climáticos não ficou bem definida, provavelmente por encontrar-se a área pesquisada na zona equatorial, o que explica a pequena variação na temperatura.

Os valores de pH encontrados para as águas da Serra dos Carajás, caracterizam-nas em uma ampla faixa, desde ligeiramente ácidas até alcalinas, distribuem-se no intervalo de 4,2 a 8,8. No entanto, em média, os valores desse parâmetro estão distribuídos na faixa recomendada pela Organização Mundial de Saúde que é 5,5 a 8,5.

Sioli (1957) descreve pH próximo à neutralidade para diversos rios da Amazônia, entre eles os rios Amazonas e Tapajós. Sioli (1975) cita a ocorrência, na bacia Amazônica, de águas com pH entre 4,5 e 4,8, e também águas com pH maior ou igual a 7,8. Estas diferenças estão relacionadas às características litológicas das rochas percoladas.

Segundo Wetzel (1981) citado por ELETRONORTE (1987), os rios da Amazônia apresentam valores de pH no intervalo de 3,5 a 6,2. Águas ligeiramente ácidas, também, foram identificadas na Amazônia por Koboyashi e Damous (1983) na área de Barcarena e por Piuci (1978) em Pontas de Pedras.

Esse parâmetro mostra valores médios mais baixos nas épocas chuvosas. Comportamento que pode ser devido à lixiviação do solo pelas águas pluviais, que levam aos recursos hídricos os ácidos húmicos e fúlvicos fazendo baixar ligeiramente o pH da água.

O oxigênio dissolvido apresenta concentrações distribuídas, na faixa de 2,25 a 9,52 mg/l. Este parâmetro, também, mostra valores médios menores nas épocas chuvosas, em grande parte das amostras estudadas, principalmente no início das chuvas. Santos (1986), também descreve este comportamento na bacia dos rios Araguaia e Tocantins. As concentrações inferiores ao limite mínimo estabelecido, pela Organização Mundial de Saúde, para águas naturais (5 mg/l), são apresentadas em áreas sob a influência de modificações antrópicas. São principalmente:

- PC-4 – Igarapé da Serra, parcialmente represado pela Rodovia Marabá – Serra Norte, onde se desenvolve um ambiente lântico.
- PC-9 – Barragem do Estéril Sul, também um ambiente lântico, onde se observa o desenvolvimento de algas.
- PC-20 – Igarapé Ilha do Coco II, está sob a influência da Vila de Parauapebas, recebe dejetos de toda espécie da população residente.
- PC-37 – Rio Verde, recebe influência da área do Grupo Executivo de Terras Araguaia Tocantins – GETAT (atividades agrícolas) e de atividades de mineração.
- PC-7 – Barragem do Manganês, um ambiente lântico, que no início da formação do lago teve material vegetal em decomposição, isto é, matéria orgânica que consumiu oxigênio.

Acredita-se que o material orgânico levado para os recursos hídricos pela ação das chuvas sobre o solo, colabora para a diminuição do oxigênio dissolvido nas águas superficiais, pois a matéria orgânica consome oxigênio, fazendo diminuir a concentração desse elemento.

As concentrações médias de dióxido de carbono livre e dióxido de carbono total distribuem-se numa faixa de 11,36 a 36,81 mg/l e 21,88 a 47,54 mg/l, respectivamente. Sioli (op. cit.) encontra em águas da Amazônia valores de dióxido de carbono livre iguais e superiores aos detectados na área do Carajás. Ambos mostram variação sazonal. As concentrações mais elevadas estão relacionadas às épocas chuvosas, principalmente o início das chuvas. Algumas amostras estudadas apresentam concentrações desses parâmetros acima das faixas consideradas, estando relacionadas às zonas com algum tipo de influência antrópica, seja mineral, agrícola ou habitacional.

Os parâmetros oxigênio dissolvido, dióxido de carbono livre e dióxido de carbono total apresentam relação inversa em mais da metade das amostras estudadas, concentrações altas de dióxidos de carbono livre e total estão relacionadas a baixas concentrações de oxigênio dissolvido.

O comportamento apresentado pelos parâmetros deve ser resultado do acréscimo de carbono derivado das transformações biológicas desenvolvidas por organismos aeróbicos e anaeróbicos tanto da água em si, como derivados do solo, e da decomposição da matéria orgânica proveniente do carreamento do solo pelas águas fluviais. Fica evidente que estas são as principais fontes de dióxido de carbono na água o que está concordante com Kleerekoper (1944). Essas reações liberam o carbono, porém consomem o oxigênio.

Diversos autores corroboram os resultados encontrados. Segundo Gessner (1961) os principais sítios de consumo de oxigênio na Amazônia são as várzeas, nas quais localiza-se a maior proporção de matéria orgânica. Sioli (op. cit.), estudando os rios da bacia Amazônica, comenta a influência do metabolismo da biota sobre o aspecto químico das águas da região. McDowell e Likens (1988) detectaram como fonte de carbono orgânico na água, em pesquisa realizada na Hubbard Brook Valley, em New Hampshire, o solo e a floresta.

Os valores médios de cor e turbidez apresentam-se distribuídos, preferencialmente, nas faixas 11,66 a 26,02 U.C e 2,74 a 4,28NTU, respectivamente. O primeiro parâmetro apresenta-se, em algumas amostras, com concentrações bem superiores ao limite máximo da faixa considerada e também da permitível pela Organização Mundial de Saúde que é 5 mg/l. Estas amostras estão sempre relacionadas às áreas sob influência antrópica, principalmente de mineração.

Neste trabalho não fica bem definida a variação sazonal desses parâmetros, admite-se que a indefinição seja devido ao aporte uniforme de material sólido das vizinhanças dos pontos amostrados.

A coloração da água pode ser de origem animal ou vegetal (Batalha e Parlatore 1977), porém na área em estudo as colorações amarelada e avermelhada encontradas nas águas, principalmente, nas épocas chuvosas são devido à grande quantidade de sedimentos em suspensão na água. A coloração avermelhada é predominante nas drenagens próximas à mina de ferro.

A contribuição do material sólido é relevante, pois, normalmente, quando se filtra a água esta torna-se clara, sendo, portanto, a cor de natureza física. Nos

lagos, principalmente, na Barragem do Estéril Sul, a água apresenta-se levemente esverdeada no local devido ao desenvolvimento de algas (atividades biológicas).

A turbidez é atribuída a partículas sólidas em suspensão, que diminuem a claridade, dificultando a transmissão de luz no meio (Batalha e Parlatore, op. cit.), e com isso prejudicando o bom desenvolvimento da vida aquática. As amostras que apresentam valores mais elevados de turbidez, para os recursos hídricos da área, estão sob influência das atividades de mineração, recebendo principalmente material sólido proveniente das atividades de garimpo (igarapês Fofoca e Salobo) e desmatamentos em geral.

A poluição física de recursos hídricos resultante de trabalhos de mineração é também encontrada na região da bacia do rio das Velhas (Minas Gerais—Brasil), minimizada com a construção de barragens de contenção de rejeitos para controle da contaminação das águas (Mascarenhas 1985).

Os valores de condutividade elétrica e as concentrações de sólidos totais dissolvidos não mostram variação sazonal definida. Os valores médios do primeiro distribuem-se na faixa 49,42 a 56,55 $\mu\text{s}/\text{cm}$, já as concentrações dos sólidos totais dissolvidos distribuem-se, principalmente, de 31,26 a 35,95 mg/l. Vários trabalhos situam as águas da Amazônia na faixa citada.

Segundo Furch (1984) a condutividade média do rio Solimões apresenta-se em torno de 56 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Diversos autores mostram que as águas brancas do Médio Amazonas têm condutividade variando entre 44,8 a 83,8 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (Mayer 1971).

Embora dentro dos limites máximos recomendados pela Organização Mundial de Saúde, para a condutividade 750 $\mu\text{s}/\text{cm}$ e os sólidos 500 mg/l, algumas amostras estudadas apresentam valores destes parâmetros superiores aos da grande maioria dos recursos hídricos estudados. Os pontos são os PC-1, PC-4, PC-6, PC-20 e PC-37. Todos apresentam influência antrópica, sendo que o PC-6 é a lagoa da Estação de Tratamento de Água Carajás, que recebe efluentes do tratamento da água para abastecimento. Por outro lado no PC-25 estão os valores mais baixos.

Em relação aos sólidos totais dissolvidos, além das amostras citadas anteriormente, aparecem também o PC-6A e PC-6C estes, também na estação de tratamento; água tratada e saída do decantador, respectivamente. O valor elevado apresentado na amostra PC-6C deve estar relacionado à deficiência do decantador. A amostra que apresenta a menor concentração de sólidos é o PC-25 (nascente de igarapé e local de abastecimento de água para o acampamento N1).

As concentrações médias de resíduo seco mostram valores mais elevados nos períodos de início das chuvas e final da estiagem variando, principalmente, entre 59,15 e 75,30 mg/l. Comportamento que pode ser explicado pela ação das primeiras chuvas sobre o material depositado no solo, sendo este intensamente carregado para as drenagens. Quando chega o período do pico das chuvas, embora o volume de água seja maior, grande parte do material sólido já foi carregado e transportado pelos rios e igarapês.

As menores concentrações do resíduo seco são encontradas no PC-25. Já os picos estão localizados no PC-4, PC-8 e PC-37. O PC-8 é o igarapé Geladinho, próximo à mina de ferro de N-4, local em que eram lançados os efluentes do tratamento de minério e mais tarde construída a jusante do ponto de amostragem, uma barragem de contenção de rejeitos que minimizou a ação degradante deste

lançamento. Este parâmetro apresenta concentrações acima do limite máximo estabelecido pela Organização Mundial de Saúde, que é de 250 mg/l, em algumas drenagens especialmente naquelas sob as influências da mineração e do assentamento populacional como por exemplo o rio Verde (PC-37).

Limites de sólidos foram estabelecidos em águas naturais com a finalidade de evitar efeitos fisiológicos (Babbitt e Cleasly 1973). Contudo, sua existência nas drenagens acarreta o assoreamento do leito dos rios e igarapés, principalmente em áreas de mineração, onde muitas vezes é necessário o represamento destes recursos para a contenção de rejeitos, além de dotarem a água de cor e turbidez.

As concentrações médias de alcalinidade ao metilorange e da dureza total não apresentam variações sazonais. A primeira variou de 18,35 a 19,83 mg/l e a segunda 16,26 a 17,97 mg/l, portanto dentro do limite máximo aceitável pela Organização Mundial de Saúde que é de 100 mg/l para ambos.

Os cátions pesquisados apresentam leve variação sazonal, todos mostram teores médios mais elevados nas épocas chuvosas na maioria dos pontos amostrados (MPEG 1988), tendo o cálcio apresentado relação mais evidente.

O cálcio apresenta os teores médios mais elevados (2,74 a 5,27 mg/l) e o ferro total os menores (0,74 a 1,06 mg/l). A maior riqueza da água naquele elemento deve-se, provavelmente, ao fato de serem os compostos de cálcio as substâncias mais comumente encontradas em águas naturais (Babbitt e Cleasby, op. cit.) e da composição litopedológica do terreno drenado. Já a disponibilidade de ferro, embora esta seja uma área rica neste elemento, pode estar condicionada pelo pH da água que esteja em faixa tal que o mantenha precipitado.

Apesar dos teores dos cátions obedecerem aos limites máximos estabelecidos pela Organização Mundial de Saúde, que são para o cálcio e sódio 200 mg/l e ferro total 0,1 mg/l – este mais por questões estéticas – constata-se que os valores acima da média, assim como ocorre com a dureza e a alcalinidade, são detectados principalmente, nos pontos PC-1, PC-4, PC-20, PC-34 e PC-37, todos, como já foi citado anteriormente, estão sob influência antropogênica. Convém salientar que o PC-6C, coletado na saída do decantador, está relacionado a sua baixa capacidade de decantar os efluentes de tratamento d'água para abastecimento, o que ocorre sempre que não lhe é efetuada a manutenção sistemática (limpeza dos resíduos). As menores concentrações são encontradas no PC-25.

Dos ânions estudados somente a sílica apresenta variação sazonal definida com teores médios mais elevados no pico da estiagem, junto com o bicarbonato são os compostos que apresentam concentrações médias mais elevadas 8,79 a 12,84 mg/l e 21,31 a 24,05 mg/l, respectivamente. Os teores acima das médias, como no caso dos cátions também abrangem as zonas sob influências antrópicas e no caso do sulfato, principalmente, os pontos dosados na Estação de Tratamento de Água-Carajás devido à utilização do sulfato de alumínio no tratamento da água para abastecimento (coagulação/floculação) o que contribui, em muito, para a elevação do teor médio deste parâmetro. Também, estes compostos, apresentam-se muito abaixo do limite máximo aceitável pela Organização Mundial de Saúde que é de 250 mg/l para o cloro e sulfato e 10 mg/l para o nitrato.

Devido a não se ter analisado a água da chuva não se tem um controle da sua contribuição na composição físico-química destas águas, o que será realizado em uma próxima etapa.

Há uma nítida relação entre as concentrações de bicarbonato, alcalinidade ao metilorange, dureza total, cálcio, magnésio e a condutividade elétrica na maior parte das amostras estudadas. Altas concentrações de bicarbonato, alcalinidade ao metilorange e dureza total estão relacionadas aos teores elevados de cálcio, magnésio e condutividade elétrica, o que é corroborado por diversos autores.

A importância de se monitorar os recursos hídricos de zonas minerais está bem explicado em Wixson (1969) ao comentar sobre a necessidade do estudo das águas visando à proteção de sua qualidade em rios e igarapés que drenam distritos minerais. São comentados os problemas ambientais ocorridos nos Estados Unidos da América no início da década de 60, como os associados a sólidos em suspensão, acidez das águas e a contaminação dos recursos hídricos por substâncias químicas.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com os resultados que apresentam as pesquisas na área do Projeto Ferro-Carajás pode-se caracterizar o comportamento dos constituintes maiores das águas superficiais.

As águas da região, em geral, mostram-se físico-quimicamente estáveis com pequena variação sazonal, os parâmetros estudados mostram-se ótimos para indicar variações ambientais destacam-se, principalmente, o oxigênio dissolvido, os dióxidos de carbono livre e total e o resíduo seco.

A comparação com os padrões de qualidade recomendados pela Organização Mundial de Saúde foi feita por ainda não se ter um padrão de qualidade regional. Esta comparação mostrou que alguns parâmetros como cor e resíduos encontram-se, às vezes, fora do limite estabelecido por essa Organização. Mesmo sem a influência antrópica, normalmente, os rios e igarapés da região carregam muitos sedimentos em suspensão devido a seu poder de erosão e às características geológicas dos terrenos que percorrem, principalmente, em épocas de chuvas devido às enxurradas.

Contudo, existe um equilíbrio, a flora e a fauna aquática e muitas vezes o ribeirão, que se abastece dessa água, estão adaptados a essa qualidade. Este equilíbrio uma vez rompido coloca em risco a vida do rio e conseqüentemente da população que dele se abastece.

As áreas que apresentam modificações mais acentuadas estão relacionadas a zonas de assentamento urbano como a Vila de Parauapebas (igarapé Ilha do Coco II), de mineração (igarapés Fofoca e Geladinho), ou de ambos (rios Parauapebas e Verde).

O mais importante, contudo, e objeto deste estudo é que as modificações registradas na área, apesar de restritas às áreas sob influências antrópicas, são caracterizadas.

Como as atividades se encontram em fase inicial, as modificações são passíveis de correção ou minimização através da construção de pequenas barragens filtrantes ou tanques de contenção de rejeitos, desmatamento o mínimo

necessário e somente nas áreas a serem mineradas imediatamente, estoque conveniente do estéril a fim de evitar o seu transporte para os recursos hídricos e a perda de nutrientes, corte de taludes com ângulo adequado, levando em consideração as características geotécnicas do maciço, acompanhados de pesquisas científicas visando ao melhor entendimento da natureza pedológica, edafológica e geomorfológica do terreno, criando-se, assim, condições à futura recuperação do solo.

Neste trabalho fica evidente a proteção da cobertura vegetal ao solo. Observa-se que em áreas sob influência antrópica as concentrações de sólidos são sempre superiores às encontradas para as demais drenagens da área, evidenciando o aporte de material para estas zonas. Admite-se que os baixos valores de pH, oxigênio dissolvido e altos valores de dióxido de carbono livre e dióxido de carbono total, nas épocas de chuvas, podem estar relacionados à contribuição da matéria orgânica do solo, à reação biológica nas águas para os três últimos. Já para o pH pode estar relacionado ao arraste dos ácidos húmicos e fúlvicos do solo que contribuem para reduzir ligeiramente este parâmetro na água.

Deve-se aprofundar a pesquisa do pH das águas e sua relação com o ferro e outros elementos, incluindo a determinação destes nos sedimentos em suspensão. Também, o estudo biológico nas drenagens faz-se necessário para completar o quadro da avaliação da qualidade dos recursos hídricos e sua relação com o ambiente aquático "in natura" e sob diversos estágios de modificações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BABBITTI, H. E. & CLEASLY, I. L. 1973. *Abastecimento de água*. Trad. de Zadir Castelo Branco. São Paulo, Edgar Blucher. 592p.
- BATALHA, B. H. & PARLATORE, A. C. 1977. *Controle da qualidade da água para consumo humano - bases conceituadas e operacionais*. São Paulo, CETESB. 198p.
- BRANCO, S. M. & ROCHA, A. A. 1977. *Poluição, proteção e usos múltiplos de represas*. São Paulo, Edgar Blucher. 185p.
- CETESB. 1977. *Guia de coleta e preservação de amostras*. São Paulo.
- ELETRONORTE. 1987. *Estudos ambientais e de reservatório-plano de levantamento básico*. Brasília, 281p. (Estudos de Viabilidade-UHE Kararô).
- FURCH, K. 1984. Water chemistry of the Amazon basin: the distribution of chemical elements among freshwaters. In: *The Amazon limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin*. Dordrecht, W. Junk Publishers. v.56, p. 167-199.
- GESSNER, F. 1961. Der sauerstoffhaushalt des Amazonas. *International Rev. Ges. Hydrobiology*. 46: 542-561.
- KLEEREKOPER, H. 1944. *Introdução ao estudo da limnologia*. Rio de Janeiro, M. A. 329p. (Série Didática, 4).
- KOBAYASHI, C. N. & DAMOUS, N. R. L. 1983 Resultados parciais para avaliar a qualidade das águas superficiais e subterrâneas da região de Barcarena. In: *Encontro de Profissionais de Química da Amazônia*, 4, Belém. *Anais...* Belém, p.75-81.

- LIVELY, J. P. 1975. *Analytical methods manual*. Ottawa, Department of the Environment. 89p.
- MAYER, M. H. 1971. Ecologia da bacia do rio Jacaré Pepira (41°55'48°55' W; 22°33' - 21°55'5 - Brasil): qualidade da água do rio principal. *Ciênc. Cult.* Rio de Janeiro. 39(2):164-185.
- MASCARENHAS, G. R. 1985. Controle ambiental da atividade de mineração, algumas técnicas adotadas. In: *Trabalhos técnicos sobre controle ambiental na mineração. Coletânea*. Brasília, DNPM, p.23-39.
- McDOWELL, E. H. & LIKENES, G. E. 1988. Origin, composition, and flux of dissolved organic carbon in the Hubbard Brook Valley. *Ecological Monographs*. New York, 58(3):177-195.
- MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI. 1988. *Projeto estudos e preservação de recursos humanos e naturais na área do Projeto Ferro-Carajás*. Relatório final. Belém, 315p.
- PIUCI, J. 1978. *Hidrologia da área piloto Pontas de Pedras, Ilha de Marajó*. Belém, NCGG/UFPa. 193 p. (Tese de Mestrado).
- RODIER, J. 1981 *Análise de las águas naturais, águas residuais e águas del mar*. Barcelona, Omega. 489 p.
- SAÑTOS, A. 1986. As águas da região. In: *Carajás: desafio político ecológico e desenvolvimento*. São Paulo, Brasiliense. p. 156-207.
- SIOLI, H. 1957. Alguns resultados e problemas da limnologia amazônica. *Bol. Téc. Inst. Agron. Norte*. Belém, (24):45-65.
- SIOLI, H. 1975. Amazon tributaries and drainage basins. In: *Coupling land and water systems*. New York, Springer Verlag. p.199-213.
- WIXSON, B. G. 1969. Water quality protection in streams in mining districts. Developments in water quality research. *The Jerusalem international conference on water quality and pollution research*. London, Ann Arbor-Humphrey Science Publishers. p.199-209.

Recebido em 01.8.88
Aprovado em 18.4.89