



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE MARABÁ  
FACULDADE DE QUÍMICA

MARIA CRISTINA LIMA ROCHA OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE ÁGUA DE CONSUMO NO BAIRRO  
LARANJEIRAS DA CIDADE DE MARABÁ-PA**

MARABÁ

2013

MARIA CRISTINA LIMA ROCHA OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE ÁGUA DE CONSUMO NO BAIRRO  
LARANJEIRAS DA CIDADE DE MARABÁ-PA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Licenciado pleno em Química, orientado pela Prof<sup>a</sup> Dra. Heloizy Freitas.

MARABÁ

2013

MARIA CRISTINA LIMA ROCHA OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE ÁGUA DE CONSUMO NO BAIRRO  
LARANJEIRAS DA CIDADE DE MARABÁ-PA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Licenciado pelo em Química, orientado pela Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Heloizy Freitas

Aprovado em 08 / 04 / 2013

Conceito: Excelente

BANCA EXAMINADORA:

---

Dra. Kellen Heloizy Garcia Freitas Levy (Orientadora) – Prof<sup>a</sup>. FAQUIM

---

M.Sc. Geiso Rafael Fonseca Oliveira (Membro banca) – Prof<sup>o</sup>. FAQUIM

---

M.Sc. Clesianu Rodrigue Lima (Membro banca) – Prof<sup>o</sup>. FAQUIM

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo o imenso amor que tem por mim, e por sua presença em todos os momentos da minha vida.

Aos meus pais, que dedicaram as suas vidas com exemplo de honestidade, para que eu me tornasse uma pessoa de boa índole.

Ao meu esposo, pelo seu amor e carinho, e por está sempre do meu lado nos momentos bons e difíceis da minha vida.

Às minha irmãs Lázara e Odineia pela sua atenção e apoio durante essa trajetória acadêmica.

Aos demais familiares que direta ou indiretamente me ajudaram a não desistir dos meus sonhos.

À minha amiga Priscila Dorighetto que, muitas vezes foi mais próxima que uma irmã.

Aos professores do colegiado de Química, pela disposição com que passaram os seus conhecimentos.

À Milena Silva pela sua colaboração na execução do trabalho.

Ao Gilson Pompeu, pelo auxílio na execução do trabalho.

Ao Beto pela colaboração nas análises de oxigênio dissolvido.

A Faculdade de Engenharia de Materiais –FEMAT.

À minha orientadora Profa Dra. Heloizy Freitas, pela sua orientação, troca de ideias e pela atenção que sempre estiveram presente nesta caminhada. Seus ensinamentos foram muito importantes para o meu crescimento profissional.

E a todos que fizeram parte dessa vitória.

Muito Obrigada!

## RESUMO

A crescente população da cidade de Marabá tem provocado uma problemática social a respeito do abastecimento de água, tanto pela escassez quanto pelo comprometimento da qualidade. O abastecimento de água é feito pela Companhia de Saneamento do Pará – COSANPA, esta por sua vez, não consegue atender todos os bairros da cidade. Uma alternativa para este problema é a utilização das águas subterrâneas pela população, a qual não possui os devidos conhecimentos sobre as normas de construções dos poços, causando problemas para a qualidade desse recurso natural. Diante dessa problemática, o objetivo do presente trabalho é analisar as características físico-químicas das águas subterrâneas e não subterrâneas destinadas para consumo humano do bairro Laranjeiras da cidade Marabá-PA, comparando os valores obtidos com os limites de potabilidade da resolução 357/2005 do CONAMA e portaria 2914/2011 do MINISTÉRIO DA SAÚDE-MS, determinando os fatores que influenciam tais características. Dentre os parâmetros físico-químicos analisados, somente Turbidez e Ferro Total apresentaram valores acima dos valores estabelecidos pela resolução 357/2005 do CONAMA e portaria 2.914/2011 do MS.

Palavras-chave: Parâmetros físico-químicos, qualidade da água, águas de poços.

## ABSTRACT

The growing population of the Marabá city -PA has caused a social problem about water supply, such as the scarcity and poor water quality. The water supply is made by Companhia de Saneamento do Pará-COSANPA, which cannot provide all the needs of city's neighborhoods. An alternative to this problem is the use of groundwater by population, which don't have knowledge about standards for wells construction, causing problems in the quality of this natural resource. In this study were analyzed the physical and chemical characteristics of groundwater for human consumption of Laranjeiras neighborhood of Maraba city. It were relation to standards values of drinking water of 357/2005 CONAMA and 2914/2011 MINISTÉRIO DA SAÚDE, which, only the value of Turbidity and Total Iron were bigger than the standards values established.

Keywords: drinking water quality, water physical and chemical characteristics

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1: Distribuição da água em superfície.....	23
FIGURA 2: Mapa da área de coleta .....	34
FIGURA 3: Ponto de coleta 01 .....	36
FIGURA 4: Ponto de coleta 02.....	36
FIGURA 5: Ponto de coleta 03.....	37
FIGURA 6: Ponto de coleta 04.....	37
FIGURA 7: Ponto de coleta 05.....	38
FIGURA 8: Ponto de coleta 06.....	38
FIGURA 9: Curva de calibração do ferro total .....	41
FIGURA 10: Resultados para os valores de Turbidez em relação aos VPMs .....	44
FIGURA 11: Resultados para os valores de Ferro Total em relação aos VPMs .....	46
FIGURA 12: Gráfico de correlação entre os parâmetros estudados.....	49
FIGURA 13: Gráfico de correlação entre pH e Temperatura .....	50
FIGURA 14: Gráfico de correlação entre pH e turbidez .....	51
FIGURA 15: Gráfico de correlação entre pH e Alcalinidade Total.....	51
FIGURA 16: Gráfico de correlação entre Temperatura e turbidez.....	52
FIGURA 17: Gráfico de correlação entre Temperatura e Alcalinidade Total.....	53
FIGURA 18: Gráfico de correlação entre Turbidez e Dureza .....	54
FIGURA 19: Gráfico de correlação entre Turbidez e Alcalinidade Total ....	54
FIGURA 20: Gráfico de correlação entre Turbidez e Ferro Total .....	55

FIGURA 21: Gráfico de correlação entre Turbidez e OD .....	<b>56</b>
FIGURA 22: Gráfico de correlação entre Dureza e Alcalinidade total .....	<b>57</b>
FIGURA 23: Gráfico de correlação entre Dureza e Ferro Total .....	<b>57</b>
FIGURA 24: Gráfico de correlação entre Dureza e OD ....	<b>58</b>
FIGURA 25: Gráfico de correlação entre Alcalinidade Total e Ferro Total .....	<b>59</b>
FIGURA 26: Gráfico de correlação entre Ferro Total e OD.....	<b>60</b>

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Porosidade e permeabilidade do solo.....	25
TABELA 2: Classificação de dureza total.....	27
TABELA 3: Concentração de saturação de OD.....	30
TABELA 4: Descrição dos pontos de coleta .....	35
TABELA 5: Resultados dos parâmetros analisados .....	42
TABELA 6: Matriz de correlação entre os parâmetros estudados .....	48

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>Alc. Total</b>	Alcalinidade Total
<b>ANA</b>	Agência Nacional de Águas
<b>AIDIS</b>	Associação Interamericana de Engenharia Sanitária e Ambiental
<b>CETESB</b>	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
<b>COSANPA</b>	Companhia de Saneamento do Pará
<b>CONAMA</b>	Conselho Nacional de Meio Ambiente
<b>CPRM</b>	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
<b>CV</b>	Coeficiente de Variação
<b>D</b>	Dureza
<b>Fe</b>	Ferro
<b>FUNASA</b>	Fundação Nacional de Saúde
<b>MNE</b>	Ministério de Minas e Energia
<b>MS</b>	Ministério da Saúde
<b>OD</b>	Oxigênio Dissolvido
<b>Out lines</b>	Pontos fora da Linha
<b>OMS</b>	Organização Mundial de Saúde
<b>AIDIS</b>	Associação Interamericana de Engenharia Sanitária e Ambiental
<b>pH</b>	Potencial de Hidrogênio
<b>R<sup>2</sup></b>	Coeficiente de Correlação
<b>SD</b>	Desvio Padrão
<b>T</b>	Temperatura
<b>Tb</b>	Turbidez
<b>UFPA</b>	Universidade Federal do Pará
<b>uT</b>	Unidade de Turbidez
<b>VPM</b>	Valor Máximo Permitido
<b><math>\bar{x}</math></b>	Média

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>15</b>
2.1 - OBJETIVOS GERAIS.....	15
2.2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>16</b>
3.1 - PROBLEMÁTICAS DA ÁGUA NO BRASIL.....	16
3.2 - ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.....	17
3.3 - UTILIZAÇÕES DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.....	18
3.4 - QUALIDADES DA ÁGUA.....	20
3.5 - DISTRIBUIÇÕES DA ÁGUA SUBTERRÂNEA.....	22
3.6 - SOLO: POROSIDADES E PERMEABILIDADE.....	23
3.7 - GEOLOGIA DE MARABÁ.....	25
3.8 - PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS.....	26
3.8.1 - Alcalinidade.....	26
3.8.2 - Dureza Total.....	27
3.8.3 - pH.....	28
3.8.4 - Turbidez.....	28
3.8.5 - Temperatura.....	29
3.8.6 - Oxigênio Dissolvido- OD .....	29
3.8.7 - Ferro Total.....	31
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>32</b>
4.1 - MATERIAIS.....	32

<b>4.1.1 - Materiais de coleta .....</b>	<b>32</b>
<b>4.1.2 - Materiais de análises.....</b>	<b>32</b>
<b>4.2 - REAGENTES.....</b>	<b>33</b>
<b>4.2.1 - Reagentes para coleta.....</b>	<b>33</b>
<b>4.2.2 - Reagentes para análise.....</b>	<b>33</b>
<b>4.3 - MÉTODOS.....</b>	<b>34</b>
<b>4.3.1 - Procedimentos de Coleta.....</b>	<b>34</b>
<b>4.4 - PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE.....</b>	<b>39</b>
<b>4.4.1 - Alcalinidade total.....</b>	<b>39</b>
<b>4.4.2 - pH.....</b>	<b>39</b>
<b>4.4.3 - Temperatura.....</b>	<b>40</b>
<b>4.4.4 - Oxigênio Dissolvido- OD.....</b>	<b>40</b>
<b>4.4.5 - Ferro Total, Dureza e Turbidez.....</b>	<b>40</b>
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>42</b>
<b>5.1 - PH E TEMPERATURA .....</b>	<b>44</b>
<b>5.2 - TURBIDEZ.....</b>	<b>44</b>
<b>5.3 - DUREZA E ALCALINIDADE TOTAL.....</b>	<b>45</b>
<b>5.4 - FERRO TOTAL.....</b>	<b>46</b>
<b>5.5 - OXIGÊNIO DISSOLVIDO.....</b>	<b>47</b>
<b>5.6 - CORRELAÇÃO DOS PARÂMETROS ESTUDADOS.....</b>	<b>47</b>
<b>5.6.1 - pH x Temperatura.....</b>	<b>49</b>
<b>5.6.2 - pH x Turbidez.....</b>	<b>50</b>
<b>5.6.3 - pH x Alcalinidade Total.....</b>	<b>51</b>
<b>5.6.4 - Temperatura x Turbidez.....</b>	<b>52</b>
<b>5.6.5 - Temperatura x Alcalinidade Total.....</b>	<b>52</b>

<b>5.6.6 - Turbidez x Dureza.....</b>	<b>53</b>
<b>5.6.7 - Turbidez x Alcalinidade Total.....</b>	<b>54</b>
<b>5.6.8 - Turbidez x Ferro Total.....</b>	<b>55</b>
<b>5.6.9 - Turbidez x OD.....</b>	<b>55</b>
<b>5.6.10 - Dureza x Alcalinidade Total.....</b>	<b>56</b>
<b>5.6.11 - Dureza x Ferro Total.....</b>	<b>57</b>
<b>5.6.12 - Dureza x OD.....</b>	<b>58</b>
<b>5.6.13 - Alcalinidade Total x Ferro Total.....</b>	<b>58</b>
<b>5.6.14 - Ferro Total x OD.....</b>	<b>59</b>
<b>6. CONCLUSÃO.....</b>	<b>61</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>62</b>
<b>APÊNDICE - Ficha de Coleta.....</b>	<b>65</b>
<b>ANEXO A - Trecho extraído da Resolução 357/2005 do CONAMA.....</b>	<b>66</b>
<b>ANEXO B - Trecho extraído da Portaria 2914 do MS.....</b>	<b>69</b>

### 3. INTRODUÇÃO

O aumento populacional na cidade de Marabá tem ocorrido de forma desordenada. Em consequência de uma grande demanda populacional, a Companhia de Saneamento do Pará – COSANPA não consegue fornecer água tratada a todas as residências da cidade. Sendo assim, os moradores desfavorecidos desse recurso recorrem às fontes de águas subterrâneas de poços individuais e/ou coletivos para suprir suas necessidades diárias, toda via em muitos casos os poços construídos pela população não são feitos de forma adequada, provocando contaminação da água por fatores externos.

A água é um recurso natural extremamente importante para a vida dos seres vivos. Portanto a escassez e o comprometimento desse recurso é um problema que influencia diretamente no bem estar dos seres humanos. Como a escassez da água é um problema que está sendo enfrentado pela população mundial, os recursos hídricos subterrâneos estão se tornando uma importante alternativa de abastecimento, este recurso hídrico possui uma proteção natural contra os contaminantes externos. Apesar dessa proteção o lençol freático pode sofrer contaminações causadas pelos efeitos antrópicos (esgoto doméstico, fossa, cemitério e postos de combustíveis (MS, 2006).

Vários fatores influenciam na qualidade da água, dos quais se destacam a turbidez, alcalinidade, dureza, pH, temperatura, oxigênio dissolvido dentre outros fatores que podem comprometer e restringir a aplicação da água em seus diversos usos. Outro grande problema enfrentado na captação de água subterrânea é a presença de metais dissolvidos que acarretam uma série de alterações nas características físico-química da água.

O ferro também é um desses metais que se encontra dissolvido em águas domésticas ou industriais e pode causar problemas como entupimentos e incrustações nos canos, forte odor, sabor, manchas em roupas ou utensílios sanitários (BRAILE & CAVALCANTI, 1993, apud SALAZAR *et al.* 2008). As elevadas concentrações de ferro em água provocam doenças não transmissíveis, como doenças cardiovasculares, câncer etc. (SILVA, 2011).

De acordo com a Portaria nº 2914/2011 do Ministério da Saúde e Resolução 357/2005 do CONAMA, para se garantir os padrões de potabilidades, deve-se obedecer os limites máximos estabelecidos para diferentes parâmetros presentes na água para o consumo humano.

O Bairro Laranjeiras, situado na cidade de Marabá, Sudeste do estado do Pará, não possui o fornecimento de água tratada por parte dos órgãos públicos, pois a água fornecida pela Companhia de Saneamento do Pará - COSANPA, só abastece as residências até a feira coberta do Bairro Laranjeiras, logo o restante da população local enfrenta muitas dificuldades relacionadas ao abastecimento de água. Mediante essa necessidade, os moradores utilizam poços, onde a maioria não é feita em conformidade com as regulamentações propostas pelos órgãos responsáveis. Assim as águas de alguns poços na região apresentam coloração, odor e sabor desagradável, tornando-se inapropriadas para o consumo humano, e em alguns casos não servem nem para usos domésticos.

Nesse contexto, este trabalho de conclusão de curso foi realizado com a finalidade de analisar as características físico-químicas das águas subterrâneas e não subterrâneas destinadas para consumo humano do Bairro Laranjeiras da cidade Marabá-PA. Este foi realizado a partir de amostras coletadas em algumas casas, e analisadas em laboratório para verificar a qualidade da água e comparar os resultados obtidos com os limites máximos permitidos pela resolução 357/2005 do CONAMA e portaria 2914/2011 do MINISTÉRIO DA SAÚDE.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVOS GERAIS

Verificar a qualidade de água destinada para consumo do Bairro Laranjeiras da cidade de Marabá-PA.

### 2.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar caracterização físico-química da água (pH, Temperatura, Alcalinidade Total, Turbidez Dureza, Oxigênio Dissolvido e Ferro Total).
- Comparar os valores obtidos nas análises com os valores máximos permitidos para cada parâmetro analisado de acordo com padrões estabelecidos pelas resoluções 357/2005 do CONAMA e 2914/2011 do MINISTÉRIO DA SAÚDE.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 PROBLEMÁTICAS DA ÁGUA NO BRASIL

O MS (2006), afirma que,

“O abastecimento público de água é uma preocupação crescente da humanidade, em função da escassez e da deterioração da qualidade dos mananciais. Órgãos internacionais, a exemplo da Organização Pan-Americana da Saúde (OPAS) e da Associação Interamericana de Engenharia Sanitária e Ambiental (AIDIS), e nacionais, como o Ministério da Saúde (MS) e o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), tem reconhecido a problemática da água neste final de século. Nessa perspectiva, em 1992 foi assinada em Havana uma declaração para a proteção da qualidade da água, sendo instituído o Dia Interamericano da Água”.

À medida que a ameaça da escassez de água aumenta, o uso da mesma se transforma em um tema de destaque de debate das políticas públicas. A oferta de água é controlada pelo ciclo hidrológico global. Quase toda a água utilizada no mundo é doce. Embora a dessalinização da água do mar ainda produza pouca quantidade de água, tem gerado constante aumento no abastecimento de água doce em áreas áridas como o Oriente Médio (PRESS, *et al*, 2006).

As atividades humanas com respaldos em um estilo de vida e desenvolvimento têm determinado alterações significativas no meio ambiente, influenciando a disponibilidade de uma série de recursos. A água, em alguns territórios, tem se tornado um recurso escasso e com qualidade comprometida. Os crescentes desmatamentos, os processos de erosão/assoreamento dos mananciais superficiais, os lançamentos de efluentes e detritos industriais e domésticos nos recursos hídricos contribuem para tal situação (MS, 2006).

Nos países em desenvolvimento essa problemática é agravada em razão da baixa cobertura da população com serviços de abastecimento de água com qualidade e quantidade.

No Brasil, os potenciais de água doce são extremamente favoráveis para os diversos usos, no entanto, as características de recurso natural renovável, em várias regiões do país, estão sendo drasticamente afetadas. Os processos de urbanização, de industrialização e de produção agrícola não tem levado em conta a capacidade de suporte dos ecossistemas (REBOUÇAS, *et al*, 2006).

O quantitativo de água para consumo humano deve ser considerado como fator essencial no desenvolvimento das ações dos serviços de abastecimento de água, públicos ou privados, de maneira que a água distribuída ao usuário tenha todas as características de qualidade garantida pela legislação vigente.

### 3.2 ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

As águas subterrâneas podem ser definidas de forma simplificada, como sendo toda água que ocupa espaços vazios em formações rochosas. A definição do termo água subterrânea é enfatizada conforme as ideias dos autores PRESS, *et al*, 2006 e REBOUÇAS, 2006.

PRESS, *et al* (2006), define água subterrânea como:

“A água subterrânea é formada pela infiltração das gotas da chuva no solo e em outros materiais superficiais não consolidados. A imensa quantidade de água é armazenada na atmosfera e no subsolo, fluindo por locais de armazenamento e depois saindo. A água da chuva que não se infiltra no solo escoar superficialmente, sendo gradualmente coletada pelos rios e lagos. Esta quantidade total de água da chuva que pode temporariamente infiltrar-se nas formações próximas as superfícies e retornar para ela, é denominada de escoamento superficial”.

Segundo REBOUÇAS (2006), as águas subterrâneas representam a parcela da “hidrosfera” que ocorre na superfície da Terra. O Autor atribui três origens para essa ocorrência: A água meteórica, conata e juvenil.

As águas de origem meteórica são consideradas as mais importantes, pois constituem cerca de 97% do estoque de água doce líquida da Terra. Esse termo “água meteórica” significa que essas águas são naturalmente recarregadas pela infiltração das chuvas, neves e neblinas que caem na Terra (REBOUÇAS, 2006).

As águas conatas são as águas retidas nos sedimentos desde a época de formação dos depósitos. O volume dessas águas está estimado em torno de 53 milhões de Km, que estão estocados na litosfera, com profundidade superior a quatro mil metros, (ibid).

As águas de origem juvenil são aquelas geradas pelos processos magmáticos da Terra. REBOUÇAS admite que essa parcela integra-se ao gigantesco mecanismo de circulação das águas da terra por meio dos mecanismos geológicos de circulação de massa e energias, relacionados com a Tectônica de Placas.

Os mananciais de água subterrânea, por sua vez, são recarregados pela água da chuva que se infiltra no subsolo e percola as camadas mais profundas. Essas recargas são ocasionalmente aumentadas por lagos e cursos d’água influentes, cujos níveis são superiores à superfície do lençol freático.

### 3.3 UTILIZAÇÕES DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

As águas subterrâneas chegam à superfície, seja artificialmente, através de perfurações de poços, seja por descarga natural. Em climas temperados, essas perfurações geralmente são feitas nas camadas de areias ou arenitos não muito profundos com relação a superfície, onde é mais provável de se encontrar um bom estoque de água.

Os aquíferos são as camadas com capacidade de armazenar e transmitir a água subterrânea em quantidades suficientes para o abastecimento. As águas de poços profundos são provenientes dos aquíferos, extensos reservatórios rochosos, e tem origem exclusiva das chuvas que passam por um processo prolongado de

infiltração estando praticamente inacessíveis ao processo de contaminação (PRESS, *et al*, 2006).

Segundo POPP (2010), os poços são perfurações feitas pelo homem em várias profundidades para realizar a extração de água. O aquífero que fornece água para o poço pode estar ou não sob pressão, decorrendo daí dois tipos de poços: artesianos e não artesianos.

O poço artesiano é formado pela perfuração no basalto superior até o arenito, onde a água existente é resultante da infiltração da água da chuva no solo, que flui pelas rochas inclinadas sob considerável pressão, esta por sua vez é devida ao confinamento entre as camadas impermeáveis. A profundidade média dos poços artesianos varia de 100 a 1.200 metros. Os poços artesianos ainda podem ser subdivididos em artesianos surgentes e não surgentes. Onde o artesianos surgente pode jorrar água para superfície sem o auxílio de bombeamento, já o artesianos não surgente, a água só consegue chegar até a superfície através de bombeamento (POPP, 2010).

O poço não artesianos não possui pressão, fazendo parte do aquífero não confinado, logo, é sujeito apenas a condições normais de pressão atmosférica, não apresenta artesianismo. Neste caso, o nível da água é o freático normal, sendo que a extração da água é realizada através de bombeamento.

De acordo com MUNARY *et al* (1990), (apud SILVA, 2008). Os poços ainda podem ser classificados, conforme a profundidade, onde além dos poços artesianos ele inclui os poços freáticos e os poços semi-artesianos.

Poços Freáticos são aqueles onde as água são originadas nos depósitos arenosos dos rios e do mar chamado "aquíferos livres". Sua profundidade média varia de 10 a 20 metros. Como não possuem pressão suficiente para jorrar na superfície, necessitam de bomba para fazer com que a água chegue até a superfície para ser utilizada. Esses poços são escavados de forma manual ou mecânica, apresentando seção cilíndrica e diâmetro variável. A sua profundidade é suficiente para penetrar a zona saturada e obter água (MUNARY *et al* 1990, apud SILVA, 2008).

Poços semi-artesianos são originados dos aquíferos, depósitos formados de rochas balsáticas, graníticos e sedimentares. Assim como os poços freáticos, não possuem pressões suficientes para jorrar na superfície sem a utilização de bomba. Sua profundidade média varia de 70 a 150 metros.

HELLER (2006) classifica as formas de captação da água em três classes: poço manual simples, poços tubulares rasos e poços amazonas.

No poço manual simples, são escavados verticalmente, com auxílio de ferramentas manuais. Esses poços são recomendados para o abastecimento de residências com poucos moradores. Antes da construção do poço manual simples, deve-se realizar uma pesquisa para conhecer o perfil do terreno a ser perfurado. (HELLER, 2006).

Os poços tubulares rasos são construídos por perfurações a trado ou por escavações de hastes metálicas. Geralmente esses poços são utilizados na zona rural. Esses poços são perfurados em solos avilões ou mantos de alterações da rocha cristalina, e a sua captação de água é retirada do aquífero mais superficial (HELLER, 2006).

Os poços amazônicos possuem profundidade mínima de até 10 metros. Esses poços são recomendados para o abastecimento de comunidades, onde não há atividades industriais que exige alto consumo de água, pois são consideravelmente rasos e de baixa produtividade. Estes são construídos com grande diâmetro, visando reparar o problema de baixa produtividade do aquífero (HELLER, 2006).

### 3.4 QUALIDADES DA ÁGUA

A água é um recurso natural de fundamental importância para a vida no planeta e indispensável para o desenvolvimento da sociedade, no entanto apesar de sua abundância, apenas uma pequena quantidade está disponível para o consumo humano.

O Ministério da Saúde (2002), afirma que cerca de 4/5 da superfície do nosso planeta é composta por água, desse total 97% referem-se aos mares e os 3% restantes são águas doces. Dos 3% das águas doces existentes, 2,7% são

formados por geleiras, vapor d'água e lençóis freáticos existentes em profundidades superiores a 800 metros, por esta razão verifica-se a inviabilidade econômica de seu aproveitamento para o consumo humano. Em consequência desses valores verifica-se que apenas 0,3% do volume total de água do planeta estão disponíveis para o consumo, sendo que 0,01% se encontram em fontes superficiais como rios e lagos, e 0,29% em fontes subterrâneas como poços e nascentes.

De acordo com REBOUÇAS, *et al* (2006), o maior problema no abastecimento de água não é a escassez no nível global, mas a má distribuição desse recurso natural. Pois cada habitante da Terra, no ano de 2000, possuía disponível nos rios entre 6 e 7 mil m<sup>3</sup>/ano, ou seja, entre 6 a 7 vezes a quantidade mínima de mil m<sup>3</sup>/hab/ano, estimada como razoável pelas Nações Unidas.

Uma pesquisa realizada pelo Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos de 2001 declara que cerca de 90% da população urbana do Brasil é beneficiada pelos sistemas de abastecimento de água, sendo que 75,5% das ligações atendidas são fornecidas por companhias estaduais de águas e esgotos, e o restante por serviços municipais (MS, 2002).

Em decorrência da facilidade em abastecimento de água, juntamente com a ilusão da grande disponibilidade da água, grande parte da sociedade não tem consciência da importância deste valioso recurso. Verifica-se que com o decorrer do tempo, sua escassez vem aumentando, sendo que à medida que se esgotam esses recursos hídricos das superfícies, torna-se cada vez maior a preocupação em relação à sua utilização. Devido, a falta de água com qualidade mínima para atender as demandas para fins de consumo humano, faz-se necessária à busca desse recurso no subsolo, colocando em risco também estes reservatórios (MACEDO, 2001, apud CLAUDINO 2009).

Segundo a AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA (2006), o planeta não está perdendo água, mas a qualidade disponível está diminuindo, os mananciais utilizados para diversos fins estão sendo comprometidos pelo lançamento de esgotos, originando organismos patogênicos e substâncias tóxicas, tornando essa água inapropriada para o consumo humano.

O Ministério da Saúde (2006), afirma que quando a água não apresenta qualidade compatível ao uso, pode provocar várias doenças. Os riscos para a saúde relacionados com a qualidade da água podem ser distribuídos em duas categorias:

- Riscos relacionados com a ingestão de água contaminada por agentes biológicos através de contato direto ou por meio de vetores que necessitam de água em seu ciclo;
- Riscos originados de poluentes químicos e radioativos, geralmente efluentes industriais ou causados por acidentes ambientais.

A Organização Mundial da Saúde (OMS) estima que 80% de todas as doenças existentes no mundo e 30% das mortes estão associadas à má qualidade da água (MS, 2006).

“Como forma de amenizar essa situação, os órgãos ambientais e sanitários atuam diretamente neste controle, na elaboração de decretos e resoluções que delimitam padrões de qualidades das águas, e na exigência quanto ao cumprimento das legislações referente à qualidade da água” (MS, 2006).

### 3.5 DISTRIBUIÇÕES DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

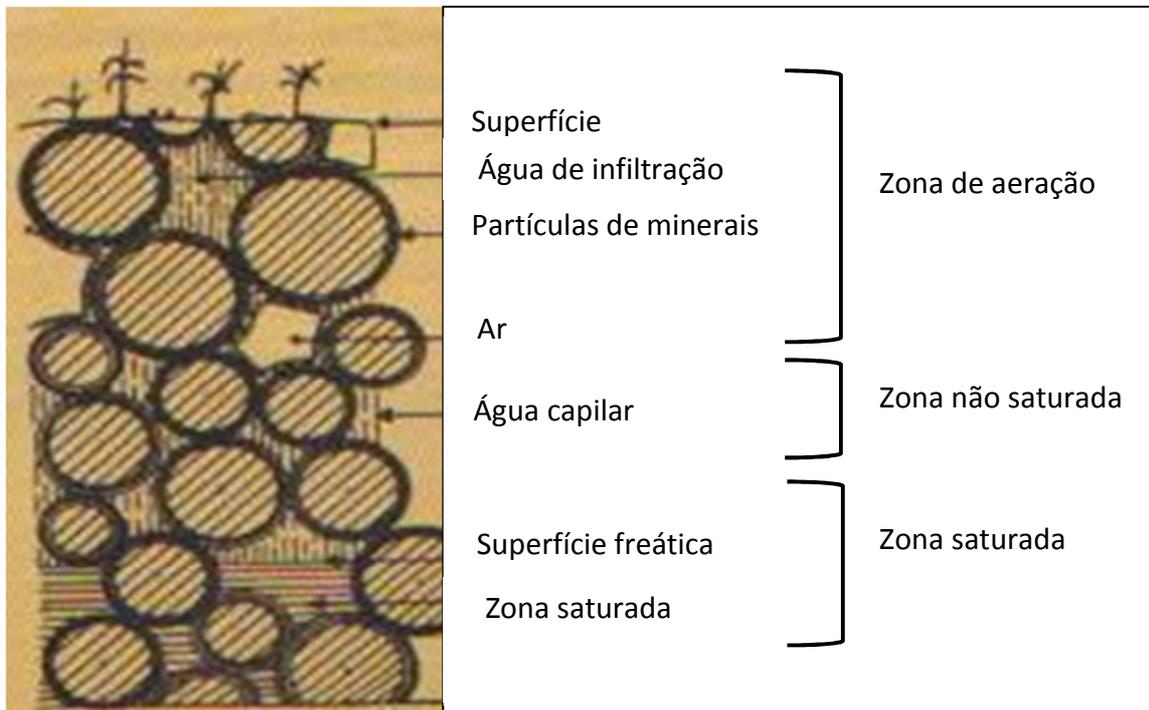
De acordo com POPP (2010), fazendo um corte vesicular do lençol subterrâneo verifica-se uma clara separação por zona de água existente, reconhecendo-se as seguintes zonas: aeração, capilar ou não saturada e zona saturada, conforme a FIGURA 3.1.

A zona de aeração situa-se abaixo da superfície, no solo, onde pode ocorrer água de infiltração, mas de forma praticamente não significativa.

Na zona não saturada, apenas partes dos poros contem ar e não é completamente preenchido com água, a qual está sob uma pressão efetiva negativa, essa pressão também pode ser designada de potencial de sucção, pressão capilar. Logo, um poço comum, é constituído de uma tubulação aberta com um filtro na extremidade inferior e exposta à atmosfera no outro extremo. Sua profundidade varia com as condições climáticas e topográficas.

E por sua vez, a zona saturada localiza-se abaixo do lençol freático e nela os poros dos solos ou da rocha estão totalmente preenchidos por água. Esta encontra-se sob pressão atmosférica, ou seja, pressão efetiva positiva. A zona saturada pode atingir profundidades superiores a 1000 m.

**FIGURA 1** - Distribuição da água



FONTE: POPP, 2010.

### 3.6 SOLO: POROSIDADES E PERMEABILIDADE

A passagem da água da superfície para o interior do solo ocorre através da infiltração. Logo, este processo depende da água disponível para infiltrar, bem como, da natureza do solo, do estado de sua superfície e das quantidades de água e ar, inicialmente existente no seu interior.

Segundo POPP (2010), a água subterrânea circula e acumula-se nos vazios existentes nos solos e nas rochas. Os vazios são classificados em espaços intersticiais dos grãos (rochas sedimentares e solos), fraturas ou vazios divisionares (rochas ígneas e metamórficas), vazios de dissolução (rocha calcária) e vazios vesiculares (rochas ígneas vulcânicas).

As duas propriedades mais importantes das rochas relacionadas à água subterrânea são a porosidade e a permeabilidade. Onde porosidade é definida de forma simples com a quantidade de vazios de uma rocha e pode ser calculada pela razão entre o volume de vazios e o volume total da rocha multiplicado por 100. A propriedade de permeabilidade é responsável em permitir a circulação da água (POPP, 2010).

Ao decorrer a infiltração da água para superfície, constitui-se a umidade do solo, a qual é suporte fundamental da biomassa vegetal da Terra e interface atmosfera/litosfera. Por sua vez, o excedente da água infiltrada no solo percola em profundidade, alimentando a umidade do subsolo rocha/sedimento - não saturado. Solo e subsolo não saturado são sede de processo de filtração e biogeoquímicos de interação água/rocha que proporciona autodepuração da parcela da água que percola mais profundamente e vai alimentando a sua zona saturada (REBOUÇAS, 2006).

Ao passo que não ocorre infiltração, a umidade no interior do solo passa por um processo de umidade inversa, onde os menores teores de umidade ficam próximos à superfície, e os maiores teores de umidade encontram-se nas camadas mais profundas.

A composição do solo é composta por areias, silte e argila. O tamanho dos poros do solo depende do tamanho das partículas, e o movimento da água depende do tamanho dos poros do solo. Logo, quanto maior as partículas constituintes do solo, maiores os poros, e mais rápido será a absorção da água. A TABELA 1 mostra como o coeficiente de infiltração varia de acordo com tipo de solo.

**TABELA 1 - Porosidade e permeabilidade do solo**

<b>Tipos de rocha</b>	<b>Porosidade</b>	<b>Permeabilidade</b>
Cascalho	Muito alta	Muito alta
Areia grossa e média	Alta	Alta
Argila fina e silte	Moderada	Moderada a baixa
Arenito, moderadamente cimentado.	Moderada a baixa	Baixa
Folheto fraturado ou rochas metamórficas	Baixa	Muito baixa
Folheto não fraturado	Muito baixa	Muito baixa

Fonte: PRESS, 2010.

### 3.7 GEOLOGIA DE MARABÁ

De acordo com GEO MARABÁ (2009), os solos do município de Marabá são classificados em: Latossolo vermelho-amarelo, podzólico vermelho-amarelo, areias quartzosas hidromórficas, solos aluviais e solos litólicos, com predominância do solo podzólico vermelho. Na área urbana, nos núcleos da Marabá Pioneira, Cidade Nova e Nova Marabá, caracteriza-se o tipo podzólico vermelho. Em São Félix predomina a areia quartzosa hidromórficas, e em Morada Nova predomina o latossolo vermelho.

Sobre a estrutura geológica da área urbana da cidade, a Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais - CPRM (1996), apresenta três tipos de rochas: Couto Magalhães, localizada no Proterozóico Médio/Superior, constituindo o embasamento cristalino, são rochas do tipo filitos, xistos, quartzitos e calcários. No perímetro urbano predomina os filitos de coloração cinza a tons avermelhados ou amarelados, é rara a presença de xistos de granulação fina, coloração cinza a esverdeada. O segundo tipo é caracterizado pelos sedimentos da formação Itapecuru de idade cretácea, ocorre ao norte do rio Tocantins e no núcleo Cidade Nova, estendendo-se além dos limites da cidade de Marabá, são rochas clásticas, constituídas por arenitos arcoseanos, de cores avermelhadas, cinza e amareladas,

granulação fina e média, heterogênea, sendo frequentemente as intercalações de pelitos avermelhados. Por último, ao longo dos rios Itacaiúnas e Tocantins, constituem-se de sedimentos inconsolidados formados por siltes, argilas, areias e cascalhos.

De acordo com o Ministério Minas e Energia (MME, 1981), os solos constituídos de arenitos de coloração avermelhadas, cinza e amareladas são constantemente ferruginosos.

### 3.8 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

#### 3.8.1 Alcalinidade

De acordo com GARCEZ (2004), a alcalinidade de uma água é sua capacidade em neutralizar ácidos, ou seja, é a capacidade de tamponamento. Usualmente, as substâncias mais comuns encontradas em águas de superfície causadoras de alcalinidade são os carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ) e hidróxidos ( $\text{OH}^-$ ). Logo, a água pode ter baixa alcalinidade e alto valor de pH e vice-versa.

A alcalinidade pode ser relacionada com o parâmetro dureza, uma vez que os cátions mais comuns causadores de alcalinidade são os de Cálcio ( $\text{Ca}^{+2}$ ) e de Magnésio ( $\text{Mg}^{+2}$ ) que, por sua vez, estão relacionados com a dureza da água.

A medida da alcalinidade é de fundamental importância durante o processo de tratamento de água, pois, é em função do seu teor que se estabelece a dosagem dos produtos químicos utilizados. Normalmente as águas superficiais possuem alcalinidade natural em concentração suficiente para reagir com o sulfato de alumínio nos processos de tratamento. Quando a alcalinidade é muito baixa ou inexistente há a necessidade de se provocar uma alcalinidade artificial com aplicação de substâncias alcalinas tal como cal hidratada ou Barrilha (carbonato de sódio) para que o objetivo seja alcançado. Quando a alcalinidade é muito elevada, procede-se ao contrário, acidificando-se a água até que se obtenha um teor de alcalinidade suficiente para reagir com o sulfato de alumínio ou outro produto utilizado no tratamento da água. (GAUBER, *et al*, 2004).

### 3.8.2 Dureza Total

Dureza total de uma água é definida como sendo a soma da concentração dos íons de cálcio ( $\text{Ca}^{+2}$ ) e magnésio ( $\text{Mg}^{+2}$ ). Sendo expresso em  $\text{CaCO}_3$  mg/L (GARCEZ, 2004).

Segundo GAUBER *et al* (2004), a dureza total de uma água pode ser classificada em dois tipos: Temporária ou dureza carbonatada e permanente ou não carbonatadas, onde os íons de dureza estão presentes, mas não associados à presença de íons carbonato ( $\text{CO}_3^-$ ) ou bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ). Nos casos em que a dureza total é maior que a soma das alcalinidades de carbonato e de bicarbonato, a diferença entre elas corresponderá à dureza permanente ou não carbonatada.

A dureza permanente, também chamada de dureza de não carbonatos, é devida à presença de sulfatos, cloretos e nitratos de cálcio e magnésio, resiste também à ação dos sabões, mas não produz incrustações por serem seus sais muito solúveis na água. Não se decompõe pela ação do calor.

As águas também podem ser classificadas, quanto à dureza, em brandas e duras. Embora o critério classificatório seja bastante variável de região para região, a seguinte classificação genérica apresentada na TABELA 2, pode ser tomada como base. A portaria nº 2914/2011 do Ministério da Saúde estabelece para dureza o teor de 500 mg/L em termos de  $\text{CaCO}_3$  como o valor máximo permitido para água potável.

**TABELA 2** – Classificação de dureza

DUREZA TOTAL (PPM $\text{CaCO}_3$ )	CLASSIFICAÇÃO
Até 15	Muito branda
De 16 a 50	Branda
De 51 a 100	Moderadamente dura
De 101 a 200	Dura
>201	Muito dura

FONTE: GALBER, *et al*, 2004.

### 3.8.3 pH

O termo pH representa a concentração de íons hidrogênio em uma solução. Na água, este fator é de excepcional importância, principalmente nos processos de tratamento. Na rotina dos laboratórios das estações de tratamento, o pH é medido e ajustado sempre que necessário para melhorar o processo de coagulação/floculação da água e também para o controle da desinfecção. A 25° C, valores de pH abaixo de 7 indica um meio ácido, e acima de 7, meio alcalino (FUNASA, 2006).

A Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde recomenda que o pH da água seja mantido na faixa de 6,0 a 9,5 no sistema de distribuição.

### 3.8.4 Turbidez

De acordo com a FUNASA (2006), a turbidez da água é causada pela presença de materiais sólidos em suspensão, que reduzem a sua transparência. Pode ser também provocada pela presença de algas, plâncton, matéria orgânica e outras substâncias como o zinco, ferro, manganês e areia, resultantes do processo natural de erosão ou de despejos domésticos e industriais.

Ainda segundo FUNASA (2006),

“A turbidez possui vantagens por apresentar importância no processo de tratamento de água. Pois a água com turbidez elevada e dependendo de sua natureza, pode formar flocos pesados que decantam mais rapidamente do que água com baixa turbidez. Também tem suas desvantagens como no caso da desinfecção que pode ser dificultada pela proteção que pode dar aos micro-organismos contato direto com os desinfetantes. É um indicador sanitário e padrão de aceitação da água de consumo humano.”

A Portaria nº 518/2004 do Ministério da Saúde estabelece o Valor Máximo Permitido (V.M.P) de turbidez em 1,0 uT para água subterrânea desinfetada e água filtrada após tratamento completo ou filtração direta, e 5,0 uT como padrão de

aceitação para consumo humano. Para água resultante de filtração lenta o VMP é 2,0 uT.

### **3.8.5 Temperatura**

A temperatura é uma característica muito importante da água, pois é um parâmetro físico condicionante para vários outros parâmetros físicos, químicos e físico-químicos, por exemplos a sua influencia pode ser observada na solubilidade e densidade dos gases.

A temperatura está relacionada com o aumento do consumo de água, com a fluoretação, com a solubilidade e ionização das substâncias coagulantes, com a mudança do pH, com a desinfecção, etc. (FUNASA, 2006).

### **3.8.6 Oxigênio Dissolvido- OD**

O Oxigênio Dissolvido (OD) é responsável por manter as condições de vida dos seres que vivem na água. Logo, é um parâmetro importante na análise da poluição de rios. A concentração de OD na água aumenta por fotossíntese de plantas e algas aquáticas ou por reaeração, no contato com a atmosfera. O OD apresenta uma concentração máxima para dadas condições de temperatura e salinidade da água, que é conhecida como concentração de saturação. A concentração de saturação aumenta com a redução da temperatura da água. (COLISCHONN & TASSI, 2008).

A TABELA 3, apresenta valores de concentração de saturação de Oxigênio Dissolvido na água com salinidade zero e em condições de pressão atmosférica média ao nível do mar em função da temperatura.

**TABELA 3 - Concentração de saturação de OD**

T ( °C)	OD (mg/L)	T ( °C)	OD (mg/L)	T ( °C)	OD (mg/L)
0	14,61	13	10.53	27	7.96
1	14,22	14	10.30	28	7.82
2	13.82	15	10.08	29	7.69
3	13.44	16	9.86	30	7.56
4	13.09	17	9.66	31	7.43
5	12.74	18	9.46	32	7.30
6	12.42	19	9.27	33	7.18
7	12.11	20	9.08	34	7.07
8	11.81	21	8.90	35	6.95
9	11.53	22	8.73	36	6.84
10	11.26	23	8.57	37	6.73
11	11.01	24	8.41	38	6.63
12	11.77	25	8.25	39	6.53
		26	8.11		

FONTE: Manual técnico, oxidímetro portátil, Quimis Q758P

A resolução nº 357/2005 do CONAMA, estabelece que o valor máximo de oxigênio dissolvido em águas doce de classe I, em qualquer amostra, não deve ser inferior a 6 mg/L O<sub>2</sub>.

### 3.8.7 Ferro Total

O ferro pode estar presente na água na forma de ferro (II) e ferro (III). O ferro (III) dificilmente encontra-se solubilizado nas águas naturais, a não ser no caso de águas muito ácidas, pois ocorre a formação de Fe(OH)<sub>3</sub>, que é insolúvel, permanecendo em suspensão coloidal. Já os sais de ferro (II) são mais solúveis (GAUBER, *et al.* 2004).

O ferro possui função essencial no metabolismo humano, pois tem a capacidade de gerar radicais livres, tal propriedade faz com que o ferro seja

componente essencial para hemoglobina. Apesar disso, o ferro pode ser tóxico, pois a mesma propriedade interfere nos processos fisiológicos afetando a homeostase do organismo. O excesso do ferro causa doenças não transmissíveis, como doenças cardiovasculares, câncer, etc. (SILVA, 2011).

O ferro pode ser versátil e é essencial a todos os organismos. Os três estados de oxidação do ferro de maior importância são: Fe(II), Fe(III) e Fe(IV). Os sítios ativos baseados no ferro catalisam várias reações de oxirredução, abrangendo desde a transferência de elétrons até a oxigenação. O Fe(II) é empregado em diferentes ambientes de coordenação para ligar O<sub>2</sub> de forma reversível ou como pré-requisito para sua ativação (ATKINS & SHRIVER, 2008).

Na literatura, são encontrados vários métodos de determinação de ferro em água. A espectrofotometria com a redução ou não do íon férrico é o método mais usado. O processo redox do ferro pode ser alcançado por vários ensaios químicos, entre eles o mais utilizado é o método da 1,10 fenantrolina ou ortofenantrolina, sendo considerado o método analítico padrão. Este método consiste na reação de transferência de carga da ortofenantolina para o ferro(II), formando um complexo estável com íons de ferro (phen)<sub>3</sub>Fe<sup>2+</sup>(SKOOG *et al.*, 2009).

## **5. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **4.1 MATERIAIS**

#### **4.1.1 Materiais de coleta**

- a) Ficha de acompanhamento
- b) Mapa da área
- c) Caderno de campo
- d) Ficha de coleta (Apêndice A)
- e) Caneta e pincel
- f) Frasco coletor
- g) Luvas
- h) Cronômetro
- i) Etiquetas de identificação
- k) Máquina fotográfica
- l) Caixa de isopor com gelo
- n) Papel absorvente.

#### **4.1.2 Materiais de análises**

- a) Potenciômetro (marca: Marte, modelo: MB – 10)
- b) Cubetas;
- c) Frasco lavador;
- d) Papel absorvente;
- e) Pipeta volumétrica de 50 ml;
- f) Frasco Erlenmeyer de 250 ml;

- g) Bureta de 50 ml;
- h) Termômetro (marca: INCOTERM; modelo: 148555/08)
- i) Becker de 250 ml;
- j) Oxidímetro portátil (marca: Quimis, modelo: Q758P)

## 4.2 REAGENTES

### 4.2.1 Reagentes para coleta

- a) Álcool 70%
- b) Ácido nítrico 0,01N
- c) Solução detergente

### 4.4.2 Reagentes para análise

- a) Solução tampão pH 4,0;
- b) Solução tampão pH 7,0;
- c) Fenolftaleína;
- d) Indicador metilorange;
- e) Solução de Ácido Sulfúrico 0,02 N;
- e) Solução de Tiosulfato de Sódio 0,1 N.
- g) Água destilada;
- h) Água deionizada.

## 4.3 MÉTODOS

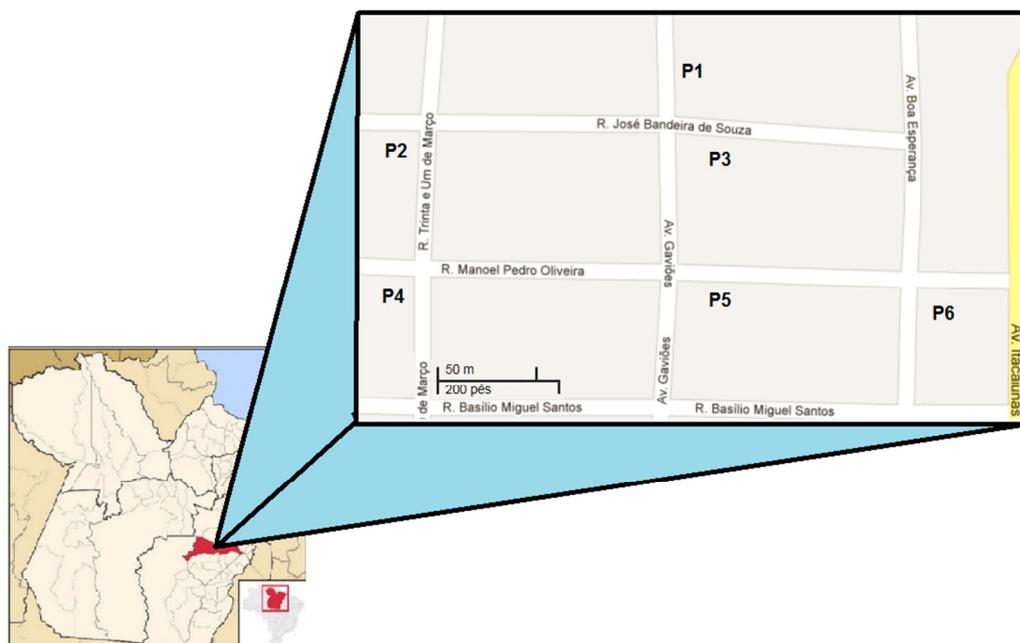
### 4.3.1 Área de coleta

Para coleta das amostras, foram definidos seis pontos situados no Bairro Laranjeiras da cidade Marabá-PA, enumerados sequencialmente P1 a P6 (FIGURA 4.1). Estes pontos foram selecionados com base em uma pesquisa que constatou que os poços referidos são utilizados para consumo humano, sendo que o P3 e P6 são responsáveis pelo abastecimento de água para a população do bairro. Neste trabalho foram usados neste estudo cinco amostras de água de poços e uma amostra proveniente da COSANPA (ponto de coleta 06), pois é exatamente só até este ponto que é beneficiado com água tratada.

O ponto P3 é de responsabilidade de prefeitura de Marabá. Este é classificado como poço tubular, possuindo profundidade média de 160 m, com vazão em torno de 8 m<sup>3</sup>/h, revestido com tubo geomecânico reforçado de 8”, com cimentação ao redor da tubulação no perímetro do solo não saturado numa variação de até 7m de profundidade.

Os poços instalados pela Prefeitura Municipal estão em conformidade com CONSTRUIÇÃO BRASILEIRA, empresa responsável pelas perfurações dos poços de água. (SILVA, 2008).

**FIGURA 2 -** Mapa da área de coleta- Bairro Laranjeiras – Marabá/PA



### a) Descrição dos pontos de coleta

As amostras de águas analisadas pertencem às águas doce de classe I, conforme classificação do CONAMA resolução 357/2005 (Anexo A).

Todas as amostras foram coletadas das torneiras acopladas aos poços, com exceção do ponto de coleta 04, o qual não tinha bombeamento. Neste local a utilização da água era diretamente do poço.

Os poços dos pontos de coleta foram classificados segundo MUNARY *et al*, 1990 (apud SILVA 2008).

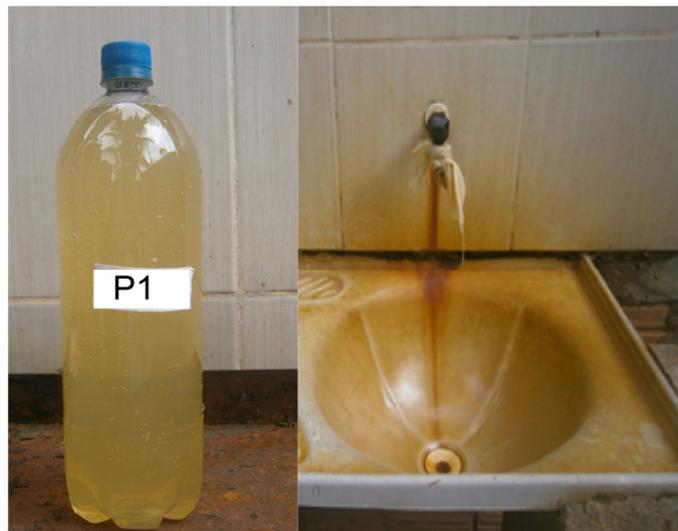
Na TABELA 4, são apresentadas as características das amostras coletadas.

**TABELA 4** - Descrição dos pontos de coleta

AMOSTRA	LOCALIZAÇÃO	TIPO DE POÇO	CARACTERÍSTICAS
P1	Av. Gaviões nº 57	Freático	Água amarela com presença de bolhas e manchas amareladas na pia.
P2	R. José B. de Souza nº 202	Freático	Água límpida, sem presença de matéria orgânica.
P3	R. José B. de Souza s/n	Semi-artesiano	Água límpida, sem presença de matéria orgânica.
P4	R. Manoel P. de Oliveira nº 206	Amazônico	Água límpida, sem presença de matéria orgânica.
P5	R. Manoel P. de Oliveira nº 402	Amazônico	Água amarela com manchas amareladas na pia.
P6	Av. Boa Esperança s/n	Água tratada da COSANPA	Água límpida, sem presença de matéria orgânica.

**b) Características visuais das amostras**

No ponto P1, a água apresentava cor amarelada e presença de bolhas. A pia adjacente a torneira da qual foi coletada a amostra encontrava-se completamente manchada com coloração amarela, como pode ser observado na FIGURA 3.

**FIGURA 3 - Ponto de coleta P1**

No ponto P2, a água possuía aparência límpida, sem presença de matéria orgânica como mostra a FIGURA 4.

**FIGURA 4 - Ponto de coleta P2**

No ponto P3, a água possuía cor normal, no entanto, o local apresentava sujeira e lodo conforme a FIGURA 5.

**FIGURA 5** - Ponto de coleta P3



No ponto P4, a água foi coletada diretamente do poço e não apresentava alteração na cor e odor (FIGURA 6).

**FIGURA 6** - Ponto de coleta P4.



No ponto P5, a amostra foi coletada da torneira, havia presença de mancha amarelas na torneira e a água apresentava coloração amarela, conforme a FIGURA 7.

**FIGURA 7** - Ponto de coleta P5



No ponto P6, a água apresentava límpida, inodora e incolor, como mostra a FIGURA 8.

**FIGURA 8** - Ponto de coleta P6



#### 4.3.2 Procedimentos de coleta

A coleta das amostras foi realizada baseada no Manual Técnico para Coleta de Amostras de Águas, Florianópolis- SC de 2009, o qual utiliza as Normas Brasileiras Registradas (NBR) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e do Standard Methods for Water and Wastewater, 21 ed.

Os frascos de coletas foram previamente lavados com detergente, água destilada e/ou deionizada e esterilizados com solução de ácido nítrico 10% por duas horas.

Quando a amostra foi coletada da torneira, deixou-se a água escorrer num tempo médio entre 2 a 3 minutos, ou o tempo suficiente para eliminar as impurezas acumulada na rede de distribuição de água. Em seguida realizou-se a coleta.

Em apenas um único ponto de coleta a água foi retirada diretamente do poço, pois não havia bombeamento de água, nesse caso utilizamos um balde para retirar a água para então transferir para o frasco coletor.

Antes de cada coleta foi realizado o ambiente de cada frasco coletor, usando uma pequena quantidade da amostra. Os frascos de coletas foram manuseados com todos os cuidados de assepsia, com auxílio de luvas, tomando precauções para evitar a contaminação da amostra com algum outro material.

Segurou-se o frasco verticalmente próximo a base para efetuar o enchimento, deixando um espaço vazio de aproximadamente 2,0 cm da borda, possibilitando a homogeneização correta da amostra.

Após cada coleta, os frascos foram lacrados, devidamente identificados e refrigerados numa caixa de isopor por 2hs até a chegada ao laboratório. Parâmetros como temperatura e pH foram medidos *in locu* e *in situ*.

## 4.4 PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE

### 4.4.1 Alcalinidade total

A alcalinidade total foi determinada por titulação de neutralização com ácido sulfúrico 0,02 N, onde 50 mL da amostra foram titulados em triplicatas, seguindo as normas de titulação de neutralização. O indicador utilizado na reação foi metilorange. A equação 1 foi utilizada para determinar a alcalinidade total das amostras.

$$\text{Alc. Total em mg/l de CaCO}_3 = V \times 20 \quad (1)$$

### 4.4.2 pH

Com o auxílio do potenciômetro portátil de marca: PHTK, modelo: PH 100, devidamente calibrado com solução tampão, mediu-se *in situ*, o pH de cada amostra.

### 4.4.3 Temperatura

As medidas de temperatura foram realizadas *in situ* com auxílio de um termômetro (marca: INCOTERM; modelo: 148555/08) com tempo de estabilidade aproximado de 2 minutos.

### 4.4.4 Oxigênio Dissolvido- OD

A concentração de OD foi analisada através de um medidor portátil de oxigênio dissolvido de marca Químis e modelo Q758P, previamente calibrado com água deionizada, em seguida os eletrodos foram mergulhados em cada amostra até que ocorresse a estabilização. Os resultados foram expressos em termos de temperatura, para então serem correlacionados com a concentração de OD tabelada.

#### 4.4.5 Ferro Total, Dureza e Turbidez

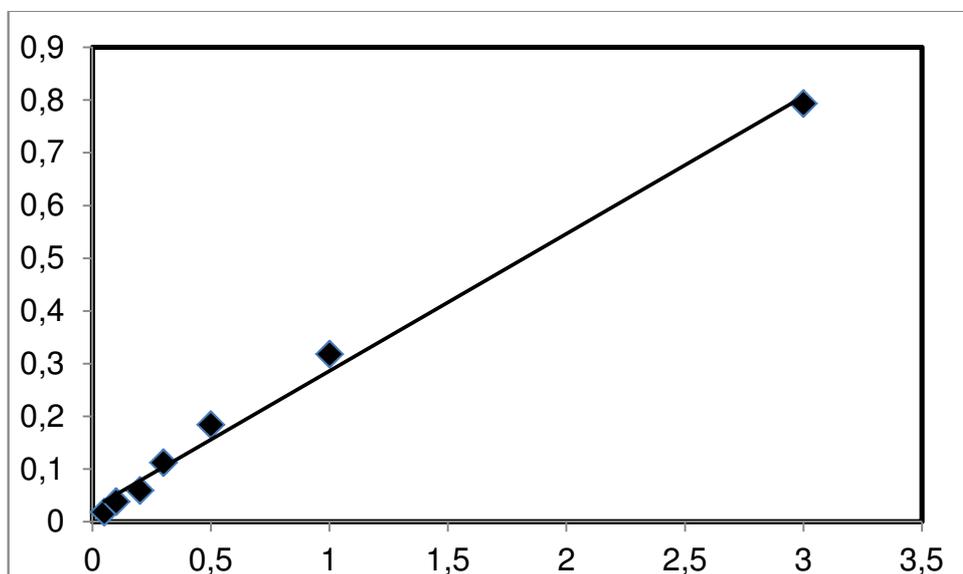
A determinação de Ferro Total, Dureza e Turbidez foram realizadas de acordo com a metodologia Standard-21th Edition: 2005 na empresa Vet Plus Soluções e Agronegócios.

As análises dos citados parâmetros não foram feitas no laboratório da UFPA devido à falta de reagente e/ou estarem fora do prazo de validade e equipamento com defeito. Esta decisão foi tomada após varias tentativas de realização das análises no laboratório de química da UFPA.

Segundo dados informados pela empresa Vet Plus, o limite de detecção para o parâmetro Turbidez foi de 0,02 uT, enquanto para o Ferro Total, o limite de detecção foi 0,05 mg/L.

A curva de calibração do Ferro Total é apresentada na FIGURA 4.8, cuja a equação da reta obtida foi:  $A = 0,0259 + 0,2604 [\text{Fe}]$  e  $R^2$  igual a 0,9933.

**FIGURA 9** - Curva de Calibração de Análise do Ferro



## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na TABELA 5, são apresentados os resultados dos parâmetros físico-químicos analisados. Estes foram comparados com valores padrões estabelecidos pela resolução 357/2005 do CONAMA e resolução 2914/2011 do MINISTÉRIO DA SAÚDE (Anexo A e B respectivamente).

**TABELA 5** - Resultados dos parâmetros analisados

Amostra	pH	T(°C)	Tb ( uT)	D (mg/L)	Alc.Total (mg/L)	Fe Total (mg/L)	OD (mg/L)
VPM1	6,0 a 9,0.	-	40	-	-	0,3	≥6
VPM2	6,0 a 9,5	-	5	500	-	0,3	-
P1	5,9	29,9	20,5 ± 1	188 ± 0,57	156 ± 2,0	1,03 ± 0,06	8,18 ± 0,01
P2	5,7	30,1	< LD*	80 ± 1,0	122 ± 0,60	0,25 ± 0,01	8,20 ± 0,01
P3	6,4	29,8	< LD <sup>1</sup>	71 ± 0,57	106 ± 1,15	< LD <sup>2</sup>	8,25 ± 0,01
P4	6,0	30,1	1,84 ± 0,10	49 ± 0,57	131 ± 1,12	0,10 ± 0,006	8,06 ± 0,01
P5	6,1	30,0	8,05 ± 0,99	141 ± 1,0	125 ± 1,15	1,06 ± 0,11	8,19 ± 0,01
P6	6,7	29,9	< LD <sup>1</sup>	38 ± 0,60	68 ± 1,15	0,06 ± 0,01	8,25 ± 0,01
$\bar{X}$	6,13	29,98	10,13	94,5	118,0	0,50	8,28
SD	0,36	0,12	9,50	58,19	29,40	0,47	0,16
CV	5,89	0,40	93,80	61,58	24,92	99,20	1,94

VPM 1: Valor máximo permitido de acordo com a resolução 357/2005 do CONAMA.

VPM 2: Valor máximo permitido de acordo portaria nº 2.914/ 2011 do MS.

LD: Limite de Detecção; LD<sup>1</sup>: Limite de Detecção para Turbidez = 0,02 UT

LD<sup>2</sup>: Limite de Detecção para Ferro Total = 0,05 mg/L

P6\* VPM 1 = 1,0 uT; n=3

Em vermelho na TABELA 5, os valores que estão acima dos Valores Máximos Permitidos (VMP) pelas resoluções 357/2005 CONAMA e portaria 2914/2011 MS. O ponto de coleta P6, por ser referente à água tratada, possui VPM de Turbidez diferente dos demais pontos analisados, estabelecido pela resolução 357/2005 do CONAMA como 1,0 uT, sendo que o valor encontrado esteve abaixo do limite de detecção.

De acordo com os resultados apresentados na TABELA 5, podemos observar que somente os pontos P1 e P5 para os parâmetros Turbidez e Ferro Total, se mostraram acima do limite estabelecidos pelas resoluções 357/2005 do CONAMA e portaria 2914/2011 do MS

De modo geral, observamos também que houve uma variabilidade significativa nos resultados dos parâmetros analisados. Onde os parâmetros Turbidez (Tb), Ferro Total (Fe Total) e Dureza (D) apresentaram coeficiente de variação maior que 50%, indicando uma perturbação nos dados estatísticos. Esta perturbação pode ser justificada pela presença de dois “out lines”, ponto P1 e P5. Os quais, no momento da coleta foi possível perceber coloração amarelada e manchas nas encanações, além da presença de odor na água, que nos levou a acreditar que estas amostras estavam contaminadas.

Ao investigar a possível contaminação, coletamos vários relatos dos moradores sobre as características das águas de suas residências. Dentre estes, selecionamos dois que exemplificam as condições das amostras coletadas.

Relato 1:

“A água sempre apresentou cor amarela, há períodos em que a água não serve para nenhum tipo de atividade doméstica, pois até as roupas ficam manchadas quando lavadas com essa água”.

*Moradora da residência do ponto de coleta 01.*

*Não quis se identificar.*

Relato 2:

“Há 20 anos, a água apresentava características normais, sendo que, chegou a ser utilizada por outros moradores da vizinhança antes da construção do poço comunitário (ponto de coleta 03), com o passar do tempo, a água se tornou amarela e apresentava gosto de ferrugem”.

*Wenceslau Carvalho de Oliveira.*

*Morador da residência do ponto de coleta 05.*

## 5.1 pH e TEMPERATURA

Conforme a TABELA 5, podemos observar que não houve variação significativa para os parâmetros pH e Temperatura (CV igual a 5,89 e 0,40 respectivamente). As médias dos resultados foram  $6,13 \pm 0,36$  para pH e  $29,98 \pm 0,12$  para Temperatura.

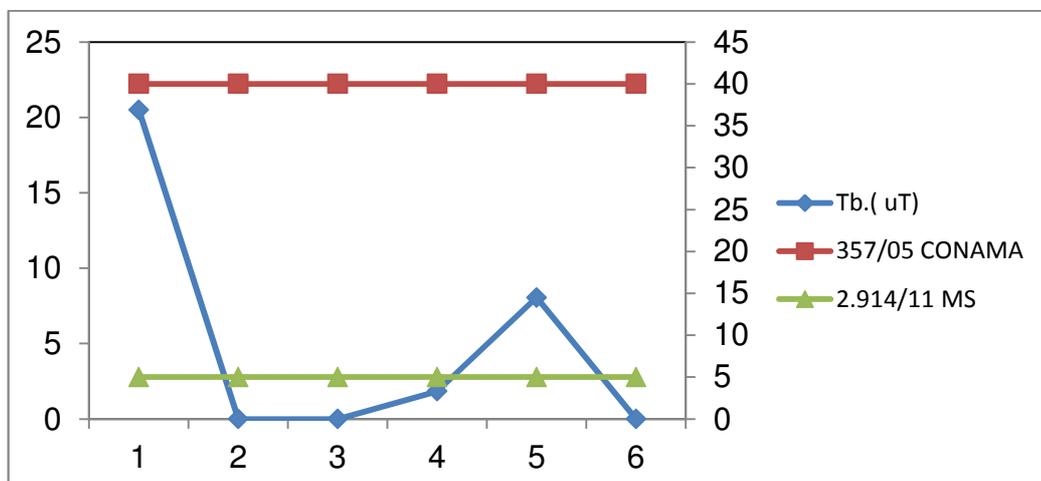
Apenas os ponto P1 e P2 estiveram pouco abaixo dos valores de pH estabelecidos pela resolução 357/2005 CONAMA, a qual estabelece que o pH para água apropriada para o consumo deve está entre 6,0 e 9,0 e da portaria 2914/2011 do MS que estabelece um intervalo de pH entre 6,0 e 9,5.

## 5.2 TURBIDEZ

Para o parâmetro Turbidez, podemos observar que houve uma grande variação nos pontos de coletas, apresentando CV igual a 93,80, ao calcular a média dos resultados de Turbidez obtivemos  $10,13 \pm 9,50$ . O desvio padrão do parâmetro Turbidez, mais uma vez pode ser explicado estatisticamente pela presença de dois pontos anômalos P1 e P5.

As amostras, P1 e P5, apresentaram maior Turbidez, estando bem acima do limite permitido pela portaria nº 2914/2011 do MS. Porém para a resolução 357/2005 do CONAMA, todas as amostras estão em conformidade com limite de Turbidez, a qual é estabelecido em 40 uT. Esta relação pode ser observada na FIGURA 10.

**FIGURA 10** - Resultados para Turbidez em relação aos VMPs



A Turbidez da água é devida à matéria em suspensão, como argila, silte, substâncias orgânicas finamente divididas, organismos microscópicos e partículas similares que alteram a penetração da luz através da difusão e absorção, dando à água uma aparência turva, esteticamente indesejável e potencialmente perigosa (KOWATA et al, 2006).

De acordo com os resultados obtidos, podemos sugerir que a Turbidez das amostras analisadas podem corresponder à presença de Ferro e outros cátions não estudados segundo sua própria definição.

Este parâmetro foi correlacionado estatisticamente com o parâmetro Ferro Total, onde ambos os parâmetros analisados apresentam valores altos para os mesmos pontos, e coeficiente de correlação significativo, o que será discutido no item 5.6.8.

Além disso, durante a coleta desses pontos, podemos observar que a água apresentava coloração amarelada e mancha nas encanações, característica da presença de Ferro na forma oxidada (Ferrugem), como visto nas FIGURA 4.2 e 4.6.

### 5.3 DUREZA E ALCALINIDADE TOTAL

Para o parâmetro Dureza, podemos observar variabilidade significativa, onde o coeficiente de variação apresentou-se pouco acima de 60%, mais uma vez atribuídos a dois pontos anômalos de coleta (P1 e P5). Os resultados para a dureza apresentou média de  $94,5 \pm 58,19$ .

No entanto, todos os valores dos pontos analisados estão de acordo com os padrões para dureza, pois o V.M.P estabelecidos pela portaria 2914/2011-MS é de 500 mg/L. A resolução 357/2005 do CONAMA, não estabelece valores com relação a Dureza.

Segundo GALBER, *et al*, 2004. (TABELA 2) podemos classificar as águas coletadas neste estudo da seguinte maneira:

- Pontos P1 e P3, Água moderadamente duras.
- Pontos P4 e P6, Água brandas.

- Pontos P2 e P5, Água duras.

As águas dos pontos P1 e P5 ainda foram caracterizadas como água permanente ou não carbonatadas, pois conforme o item 3.8.2, quando a Dureza Total é maior que a soma das Alcalinidades de Carbonato e de Bicarbonato a água é classificada como permanente.

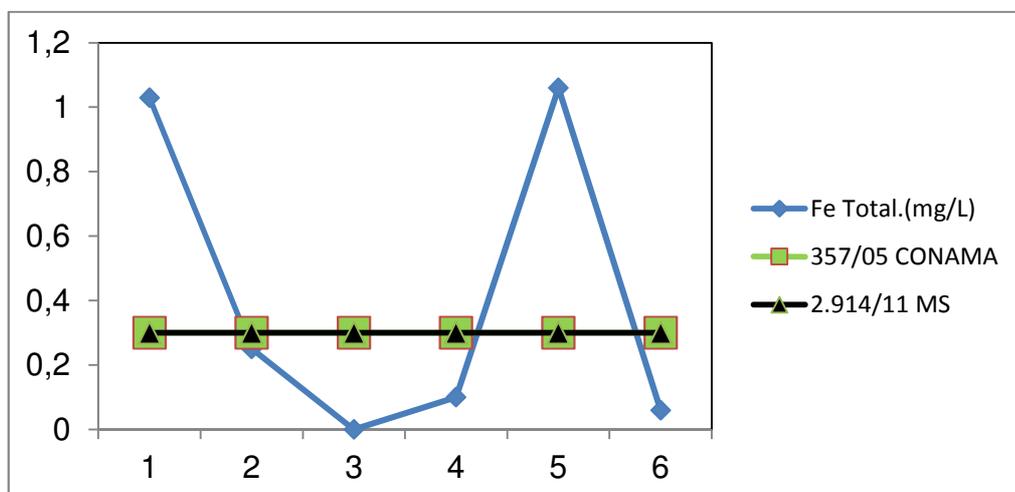
O parâmetro Alcalinidade Total, como mostra a TABELA 5, apresentou média igual a  $118 \pm 29,40$  e CV igual a 24,92, indicando que as amostras não apresentaram discrepância relevante entre os resultados obtidos.

A resolução 357/2005 do CONAMA e portaria 2914/2011 do MS não estabelecem padrões para Alcalinidade Total.

#### 5.4. FERRO TOTAL

Os valores de Ferro Total apresentaram variação considerável entre as amostras, sendo que o CV foi de 99,20 mais uma vez justificável pelos *out lines* (P1 e P5). A média obtida para os resultados foi  $0,50 \pm 0,47$ . As amostras P1 e P5 apresentaram coloração amarelada e os valores de Ferro Total obtidos para estes pontos foram até três vezes maiores que o limite permitido pela resolução 357/2005 do CONAMA e portaria 2914/2011 do MS como pode ser observado na FIGURA 11.

**FIGURA 11-** Resultados para Ferro Total em relação aos VMPs



Uma possível explicação para a alta concentração de Ferro encontrado neste estudo pode ser a associação com o tipo de solo da região, o qual é caracterizado pelos sedimentos da formação Itapecuru de idade cretácea, os quais são rochas clásticas, constituídas por arenitos arcoseanos, de cores avermelhadas, cinza e amareladas, granulação fina e média, heterogênea, sendo frequentemente as intercalações de pelitos avermelhados (CPRM, 1996). E conforme MME (1981), os solos constituídos de arenitos de coloração avermelhadas, cinza e amareladas são constantemente ferruginosos.

Outro fator que pode agravar a contaminação da água pelo Ferro é que a construção dos poços citados neste estudos não estão em acordo com as normas brasileiras de construções de poços da CETESB (1988), pois a profundidade dos poços P1 e P5 são de aproximadamente 8 e 20 m respectivamente, sendo assim a água desses poços fica vulnerável à contaminação proveniente do solo e de outros possíveis fatores externos.

#### 5.5. OXIGÊNIO DISSOLVIDO

Os valores de OD apresentaram coeficiente de variação igual a 1,94, indicando que não houve variabilidade considerável nos pontos de coletas. Ao calcularmos a média dos resultados de OD obtivemos  $8,28 \pm 0,16$ .

Todas as amostras estão em conformidade com os padrões estabelecidos pela Resolução 357/2005 do CONAMA, visto que a mesma, determina que o V.P.M não deve ser inferior a 6 mg/L.

A portaria 2914/2011 do MS, não estabelece padrão de potabilidade para o parâmetro OD.

#### 5.6 CORRELAÇÃO DOS PARÂMETROS ESTUDADOS

Os coeficientes de correlação medem o grau de associação entre os resultados pela representação de pontos em um sistema de coordenadas e suas respectivas posições em relação a uma linha reta. A TABELA 6 apresenta as correlações obtidas para os parâmetros estudados.

**TABELA 6** - Matriz de correlação entre os parâmetros estudados

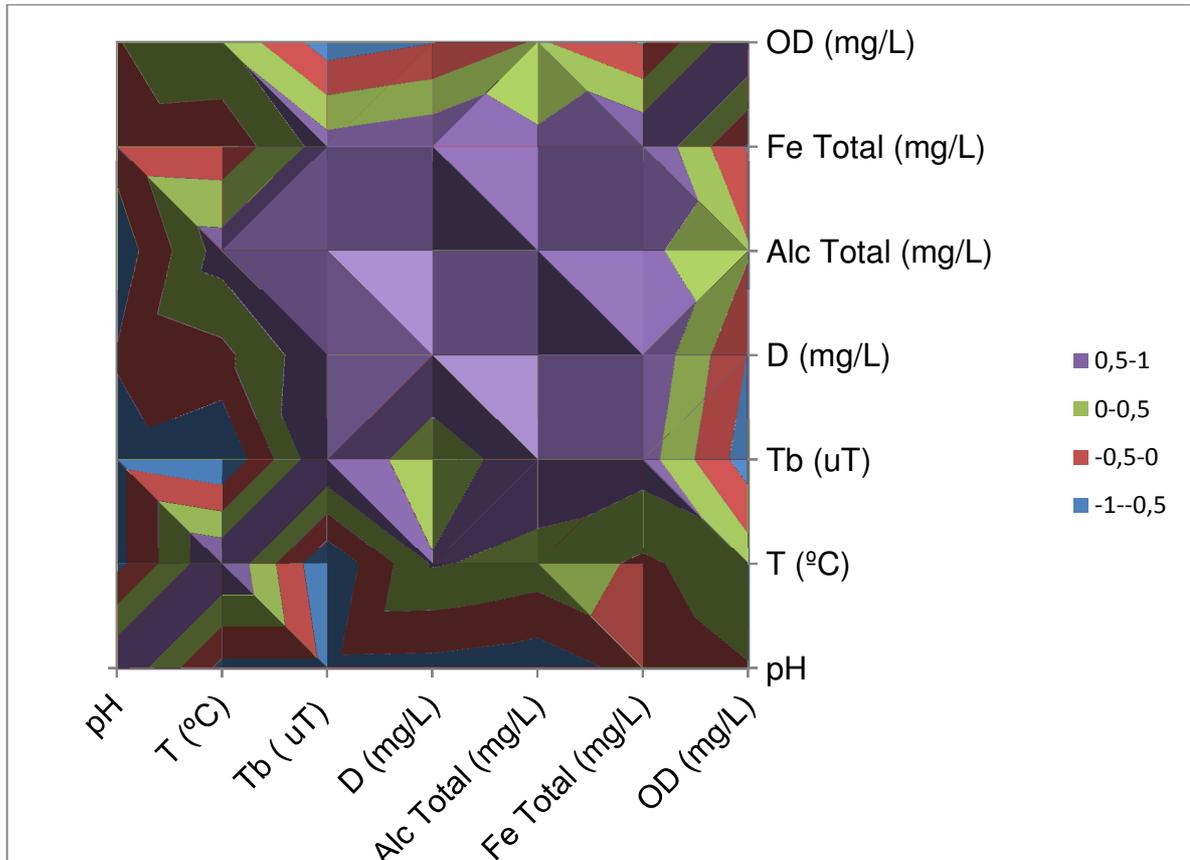
	pH	T(°C)	Tb ( uT)	D (mg/L)	Alc Total (mg/L)	Fe Total (mg/L)	OD (mg/L)
<b>pH</b>	1						
<b>T (°C)</b>	<b>-0,6548</b>	1					
<b>Tb ( uT)</b>	<b>-0,6551</b>	<b>-0,9819</b>	1				
<b>D (mg/L)</b>	-0,4688	-0,1419	<b>0,9303</b>	1			
<b>Alc Total (mg/L)</b>	<b>-0,8299</b>	<b>0,7407</b>	<b>0,8696</b>	<b>0,7407</b>	1		
<b>Fe Total (mg/L)</b>	-0,3036	-0,3681	<b>0,7372</b>	<b>0,9537</b>	<b>0,6156</b>	1	
<b>OD.(mg/L)</b>	-0,0230	0,4392	<b>-0,7690</b>	<b>-0,5257</b>	0,0539	<b>-0,5517</b>	1

Nota: os valores marcados em azul, referem-se as melhores correlações encontradas; ou seja,  $R^2 > 0,5$ .

De acordo a TABELA 6, podemos observar de um modo geral que a maioria dos parâmetros analisados possui boa correlação entre si, com coeficiente de correlação acima de 0,5.

Na FIGURA 12 é apresentado o gráfico de superfície dos parâmetros correlacionados, onde é possível verificar o grau de correlação entre cada parâmetro analisado.

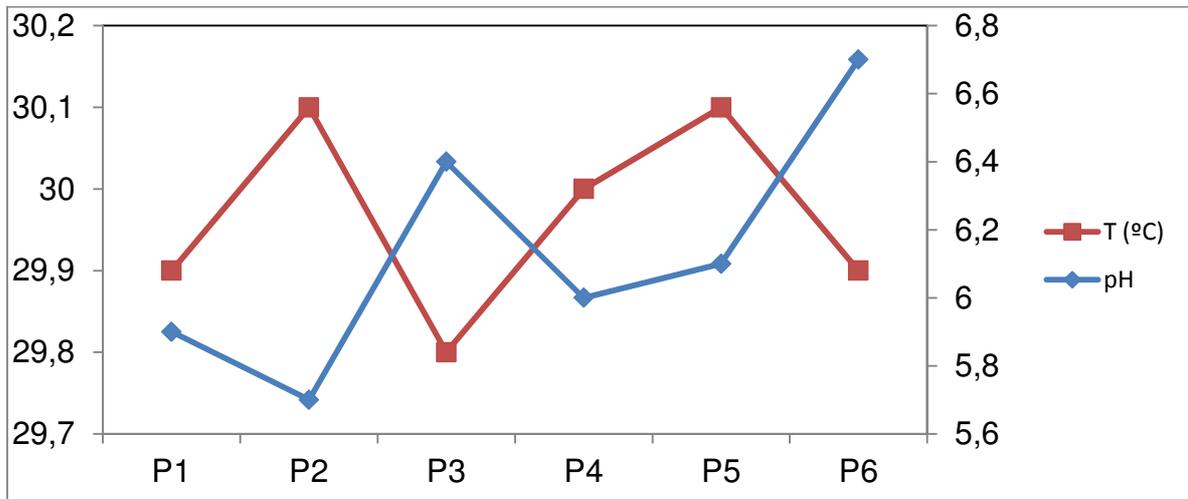
**FIGURA 12** - Gráfico de correlação entre os parâmetros estudados



Selecionamos os parâmetros de melhor correlação ( $R^2 > 0,5$ ) para serem serão discutidos nos próximos itens.

### 5.6.1 pH x Temperatura

Ao estabelecer uma correlação entre os parâmetros pH e Temperatura, observamos uma relação inversamente proporcional entre os parâmetros analisados, sendo que  $R^2$  foi igual a  $-0,6548$ . Este comportamento pode ser observado na FIGURA 13, onde em todos os pontos, quando o pH aumenta a temperatura encontrava-se baixa e vice-versa.

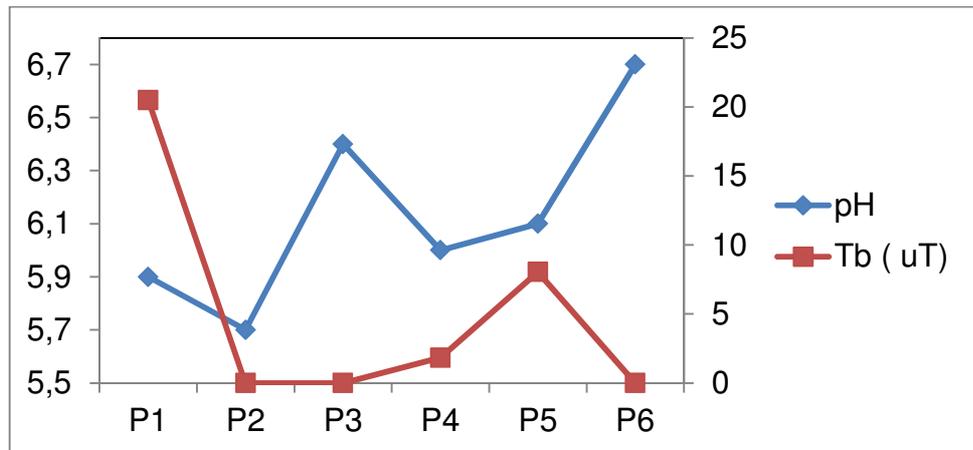
**FIGURA 13** - Gráfico de Correlação entre pH e Temperatura

### 5.6.2. pH x Turbidez

Correlacionamos os parâmetros de pH e Turbidez, e verificamos que os mesmos se comportam inversamente proporcional, apresentando  $R^2 = - 0,6551$ , sendo que essa correlação é mais evidenciada nos pontos P1 e P5, os quais apresentaram teores de Turbidez acima dos valores permitidos pela portaria 2.914/2011-MS. Na FIGURA 14, podemos observar este comportamento estatístico.

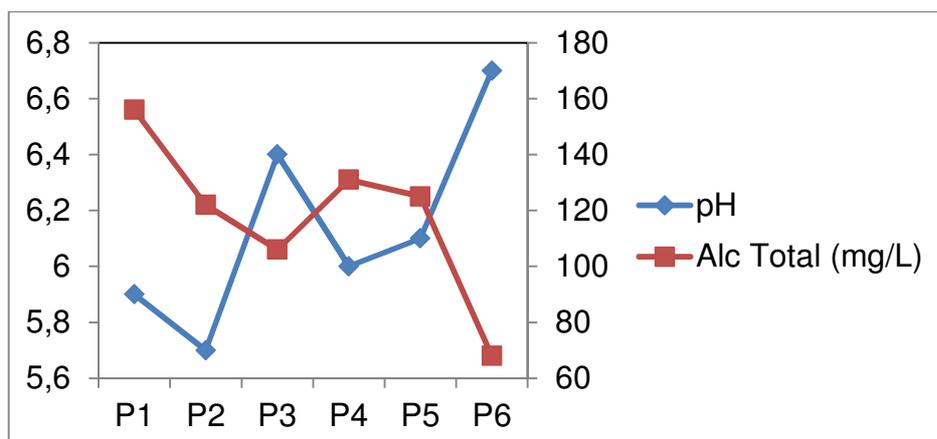
Essa correlação pode ser justificada pelo fato de alguns íons presentes na água serem precipitado pela elevação do pH. Logo, quando elevando o pH, ocorre diminuição da Turbidez.

Observamos ainda uma inversão no comportamento estatístico das amostras P3 e P6, isso ocorre devido as origens dos referidos pontos. Onde no ponto P3 a água é proveniente de poço semi-artesiano e o ponto P6 é proveniente de água tratada pela Companhia de Saneamento do Pará.

**FIGURA 14** - Gráfico de correlação entre pH e Turbidez

### 5.6.3. pH x Alcalinidade Total

Alcalinidade em águas é a sua capacidade em neutralizar ácidos, em outras palavras, é sua capacidade de tamponamento. Logo, ao correlacionar os parâmetros pH e Alcalinidade Total, observamos que o coeficiente de correlação foi de  $-0,8299$ , indicando boa correlação negativa entre os parâmetros, o que concorda com a teoria de que uma água pode ter baixa alcalinidade e alto valor de pH e vice-versa (GARCEZ, 2004). Na FIGURA 15, podemos observar esse comportamento inversamente proporcional entre os parâmetros, o qual pode ser explicado pelo fato destas águas serem bicarbonatadas, visto que os valores pH eram inferiores 8,0.

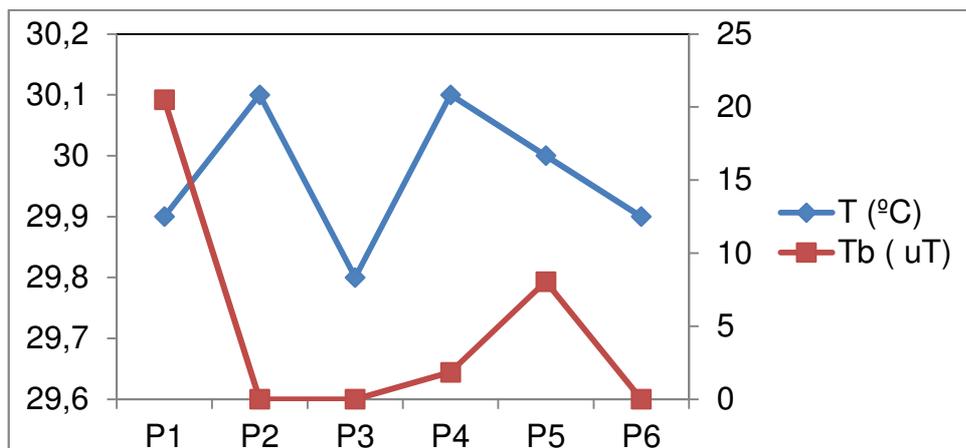
**FIGURA 15** - Gráfico de Correlação entre pH e Alcalinidade Total

#### 5.6.4. Temperatura x Turbidez

Analisando a FIGURA 16, podemos observar que os parâmetros Temperatura e Turbidez variam de forma inversamente proporcional, o coeficiente de correlação foi igual a -0,9819, caracterizando uma boa correlação entre os parâmetros. Com o aumento da temperatura ocorre o aumento da solubilidade das substâncias em solução, ou seja, mais íons estarão presentes em solução o que dificulta a passagem de luz pela solução a ser analisada, em outras palavras diminui a Turbidez da amostra.

Ainda podemos perceber que os pontos P3 e P6 apresentaram valores mínimos de turbidez, o que é justificado pelas origens dos referidos pontos, sendo que P3 é proveniente de poço semi-artesiano e o ponto P6 é proveniente de água tratada pela COSANPA.

**FIGURA 16** - Gráfico de Correlação entre Temperatura e Turbidez



#### 5.6.5. Temperatura x Alcalinidade Total

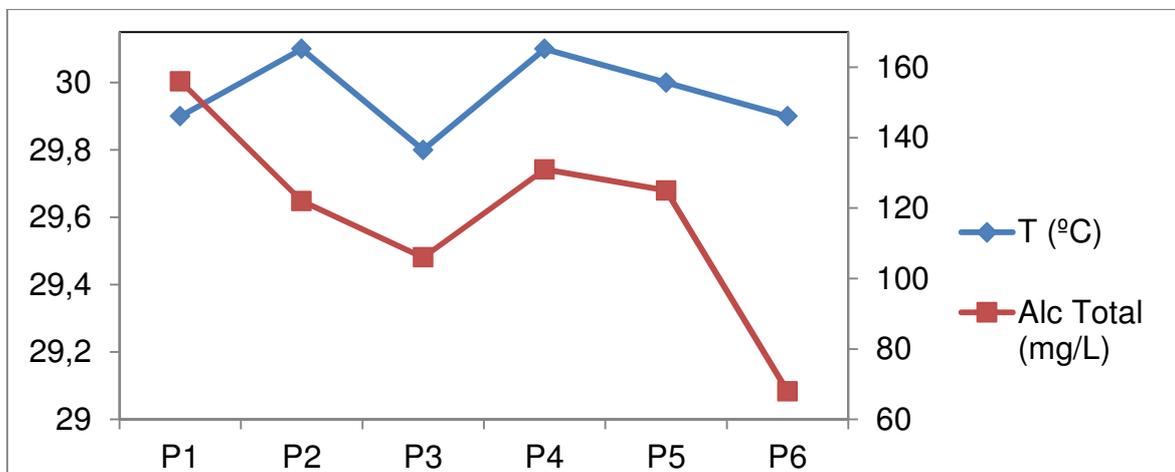
De acordo com a FIGURA 17, podemos verificar uma relação diretamente proporcional entre Temperatura e Alcalinidade Total, sendo que à medida que a temperatura em um determinado ponto é elevada a Alcalinidade Total também é elevada. O  $R^2$  entre os parâmetros foi 0,7407 confirmando uma boa correlação entre os mesmos.

Segundo OLIVEIRA (2007). Os bicarbonatos de cálcio e de magnésio, que também são responsáveis pela alcalinidade, são precipitados pela ação da

temperatura. Sendo assim, a precipitação desses íons pela ação da temperatura explica a boa correlação entre a Temperatura e Alcalinidade Total.

Ainda na FIGURA 17, observamos uma pequena inversão de comportamento no ponto P1, porém quando medimos a variação deste ponto em relação aos demais, não obtivemos valor significativo. Note que neste ponto foram encontrados os maiores valores para os parâmetros físico-químicos, acreditamos que esta amostra pode estar contaminada.

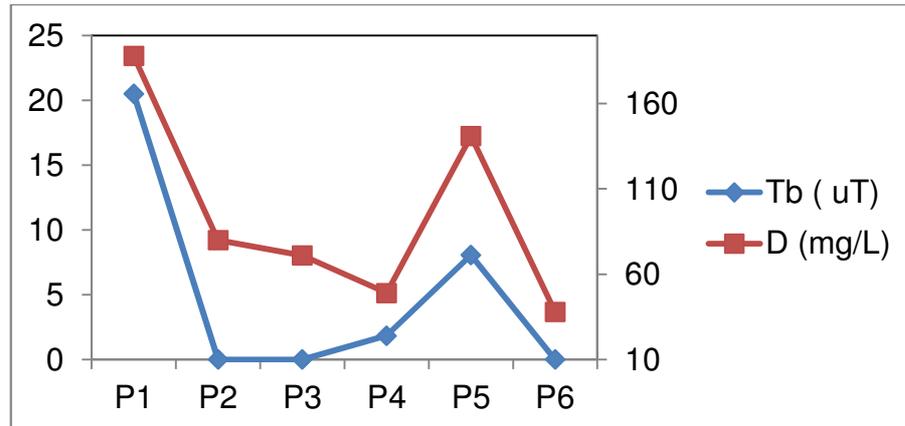
**FIGURA 17 - Gráfico de Correlação entre Temperatura e Alcalinidade Total**



#### 5.6.6. Turbidez x Dureza

Ao correlacionar os parâmetros Turbidez e Dureza, verificamos uma ótima correlação entre os mesmos, com  $R^2 = 0,9303$ . De acordo com a FIGURA 18, os valores de Turbidez e Dureza são diretamente proporcionais.

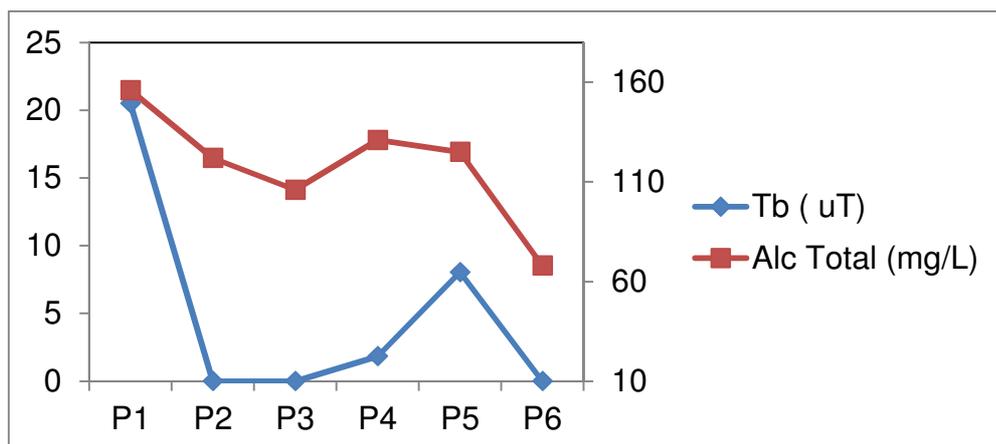
Esta correlação pode ser explicada pela definição de Turbidez, onde a passagem de luz é dificultada pela presença de íons em solução, e a Dureza é calculada pela quantidade de íons, principalmente cálcio e magnésio, em termos de carbonatos que podem precipitar sabão.

**FIGURA 18** - Gráfico de Correlação entre Turbidez e Dureza

### 5.6.7 Turbidez x Alcalinidade Total

Correlacionamos os parâmetros Turbidez e Alcalinidade Total, e observamos uma ótima correlação, sendo que o  $R^2$  foi de 0,8696. Observa-se na FIGURA 19 que essa correlação se evidencia principalmente no ponto P1 com  $R^2$  praticamente igual a 1.

Como já mencionado, os dois out lines, justifica essa correlação mais acentuado nos pontos P1 e P5.

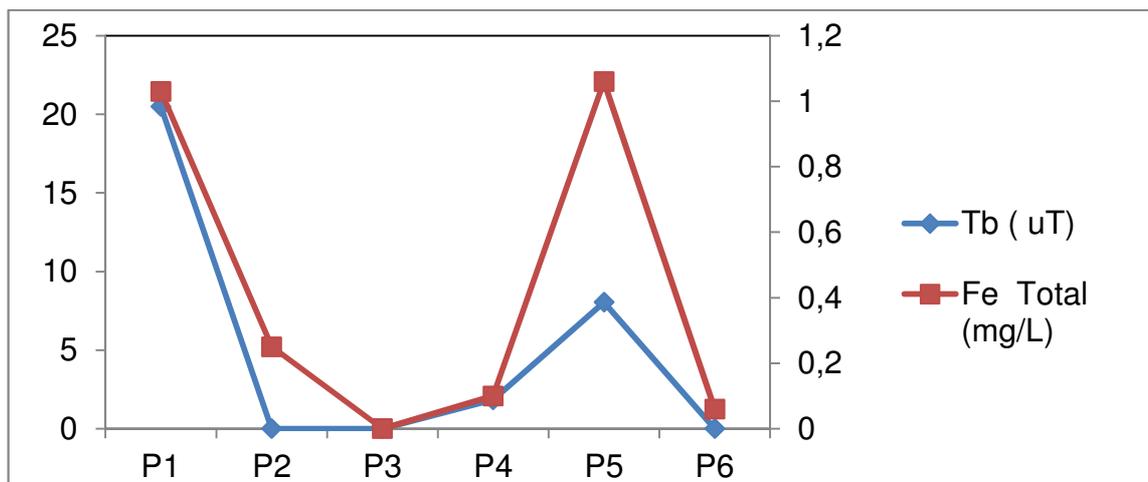
**FIGURA 19** - Gráfico de correlação entre Turbidez e Alcalinidade Total

### 5.6.8. Turbidez x Ferro Total

Correlacionamos os parâmetros Turbidez e Ferro Total e observamos que ambos apresentaram valores altos para os mesmos pontos (P1 e P5), implicando numa boa correlação entre os parâmetros analisados, visto que  $R^2$  foi 0,7372. De acordo com a FIGURA 20, é possível observar que os valores de Ferro Total e Turbidez apresentam o mesmo comportamento estatístico. Sendo mais evidenciado nos pontos P1 e P5, os quais apresentavam concentração alta tanto para o Ferro Total como para Turbidez.

A boa correlação entre os parâmetros Turbidez e Ferro Total nos leva a acreditar na sugestão do item 5.2 de que valores elevados de Turbidez nos pontos P1 e P5 são devido a presença de Ferro na água e/ou outros cátions, visto que, nesses mesmos pontos também houve alta concentração de Ferro Total.

**FIGURA 20:** Gráfico de correlação entre Turbidez e Ferro Total



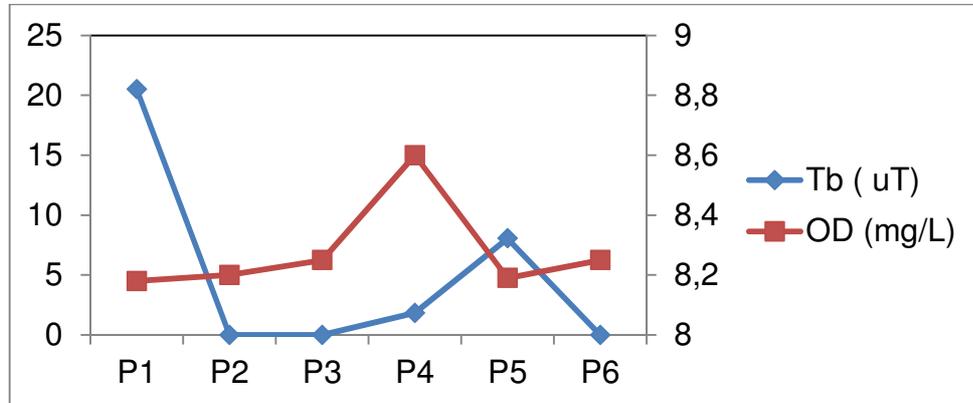
### 5.6.9. Turbidez x OD

Correlacionando os parâmetros Turbidez e OD, podemos observar uma boa correlação, com  $R^2 = - 0,7690$ , caracterizando um comportamento inversamente proporcional entre os parâmetros.

Como exposto na FIGURA 21, à medida que a Turbidez aumenta o OD diminui, pois altos valores de Turbidez, ou seja, maior quantidade de íons em solução,

dificulta a solubilidade do oxigênio na água, então os pontos que apresentava Turbidez elevada, possuíra valores de OD baixos.

**FIGURA 21** - Gráfico de correlação entre Turbidez e OD



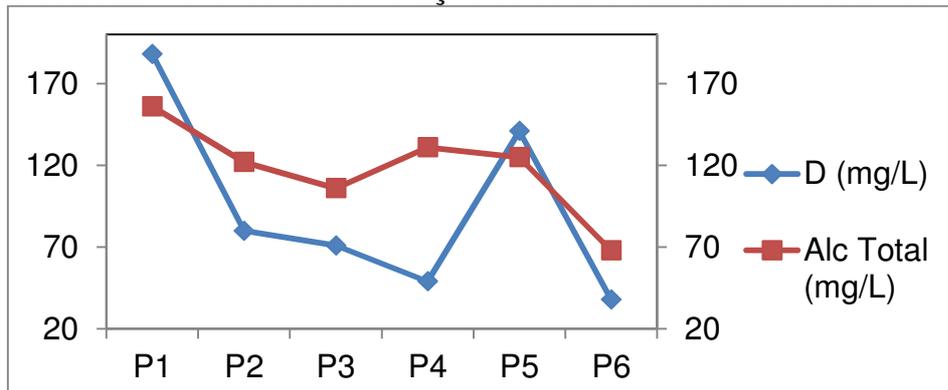
#### 5.6.10. Dureza x Alcalinidade Total

A correlação entre os parâmetros Dureza e Alcalinidade Total apresentou  $R^2 = 0,7407$ , caracterizando uma boa correlação. Como pode ser observada na FIGURA 22, a Dureza e Alcalinidade Total são diretamente proporcionais, mais especificamente nos pontos P1 e P5, onde é mais acentuada essa correlação.

A Alcalinidade relaciona-se com a Dureza porque a fonte mais habituais de alcalinidade são as rochas de carbonatos (calcário), que são sobre tudo carbonatos de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ). Se uma grande percentagem da alcalinidade for devida ao  $\text{CaCO}_3$ , então a dureza é praticamente igual à alcalinidade, se ambas forem expressas como  $\text{CaCO}_3$ .

Como a correlação entre estes parâmetros não foi igual a 1, provavelmente a Alcalinidade e Dureza não são devidas unicamente ao  $\text{CaCO}_3$ . Como já discutida no item 5.6.3, provavelmente essas águas são bicarbonatadas, devido os valores de pH encontrados.

Além disso, a dureza da água também pode ser relacionadas a outros cátions como alumínio, ferro, manganês, estrôncio, zinco e hidrogênio, porém cálcio e magnésio, são predominantes para análise de dureza, além disso também causam dureza os bicarbonatos, sulfatos, cloretos, nitratos e silicatos.

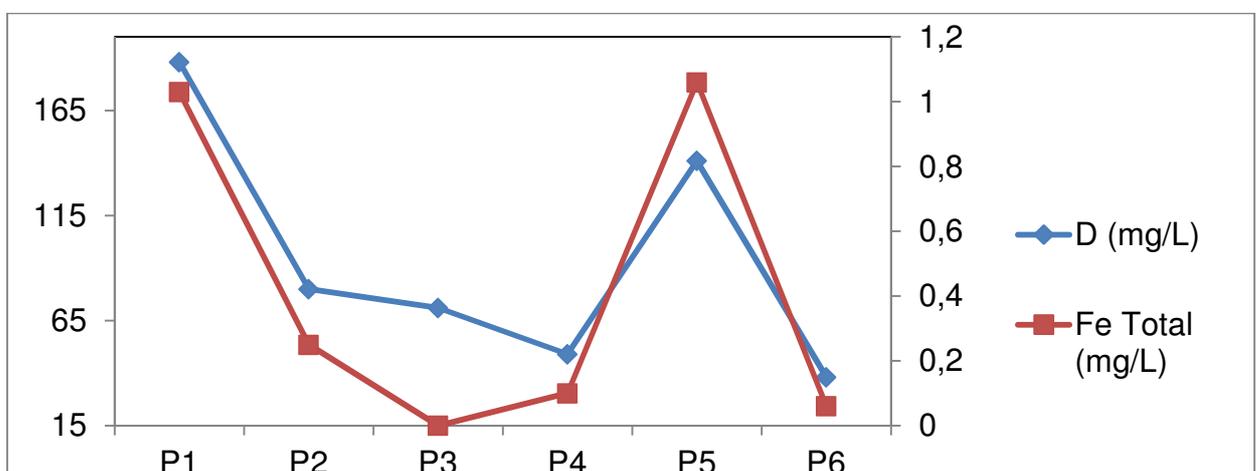
**FIGURA 22** - Gráfico de correlação entre Dureza e Alcalinidade Total

### 5.6.11. Dureza x Ferro Total

Ao analisar a FIGURA 23, observamos que os parâmetros Dureza e Ferro Total apresentam um comportamento diretamente proporcional, com coeficiente de correlação igual a 0,9537, caracterizado ótima correlação.

A dureza da água é causada pela presença de sais minerais dissolvidos, principalmente os cátions cálcio e magnésio, porém outros íons como ferro, estrôncio, zinco e manganês também podem participar da dureza das águas.

Considerando o valor do coeficiente de correlação obtido, podemos deduzir que o ferro está presente como íons participante da dureza da água, principalmente nas amostras P1 e P5, onde os resultados para ambos os parâmetros estudados, Dureza e Ferro Total, foram elevados.

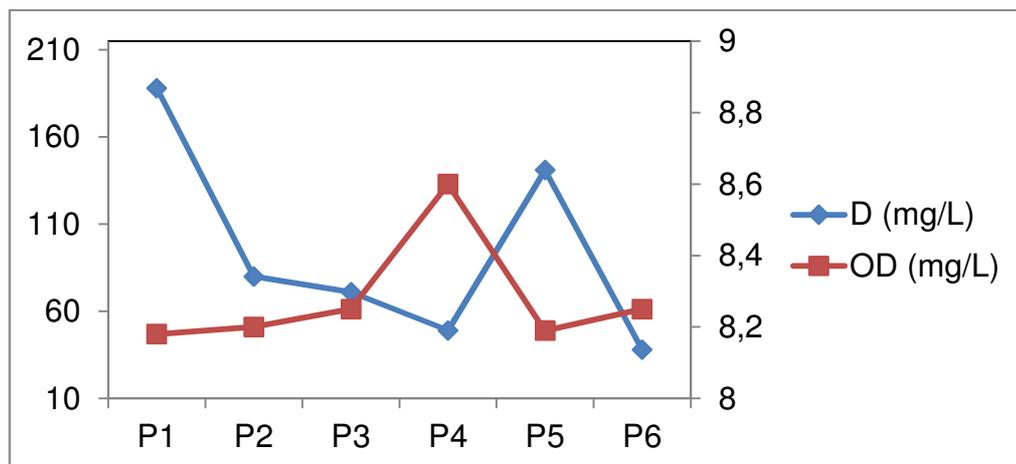
**FIGURA 23** - Gráfico de correlação entre Dureza e Ferro Total

### 5.6.12. Dureza x OD

Correlacionando os parâmetros Dureza e OD, percebemos que ocorre uma correlação inversamente proporcional entre os mesmos, apresentado  $R^2 = -0,7690$ . Na FIGURA 24, é exposto o comportamento estatístico de Dureza e OD, onde observamos que nos pontos com Dureza elevada, a concentração de OD era mínima.

Como já discutido no item 5.6.11 provavelmente outros íons como ferro participam da Dureza Total da água, estes podem está dificultando a dissolução do oxigênio na água, explicando assim a boa correlação negativa entre os parâmetros, além disso, nas amostras podem conter matéria orgânica e outros sólidos em suspensão (parâmetro não estudado neste trabalho) que consomem o oxigênio dissolvido na água.

**FIGURA 24 - Gráfico de correlação entre Dureza e OD**

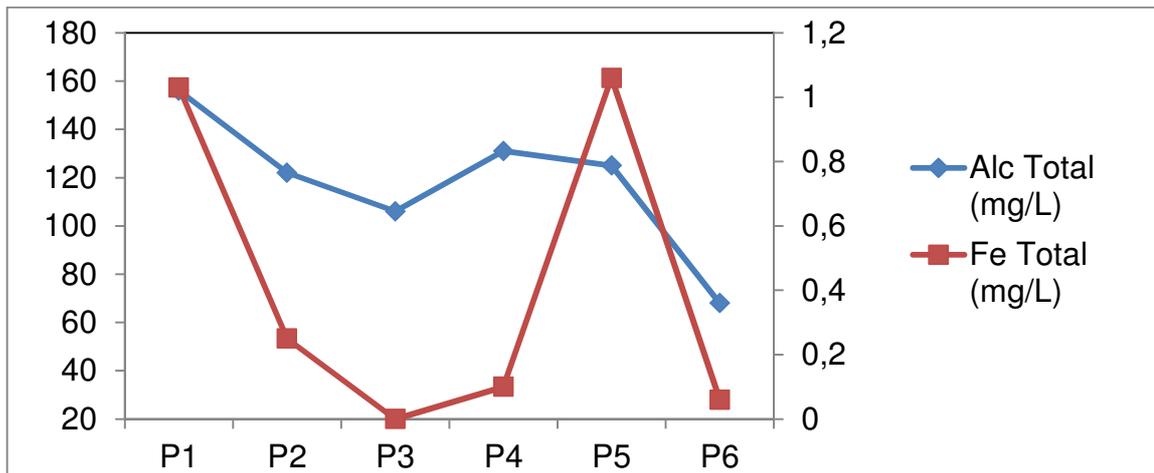


### 5.6.13. Alcalinidade Total x Ferro Total

A maioria das águas naturais possui uma quantidade significativa de alcalinidade, isto é, possui carbonatos e bicarbonatos, o que faz com que a faixa de valores de pH varie entre 5,0 e 9,5. As concentrações de Ferro solúvel contida nessas águas são frequentemente controladas pela solubilidade de seus carbonatos. Como a alcalinidade da maioria das águas naturais é devida, principalmente, ao sistema ácido carbônico/bicarbonato existe uma relação entre a alcalinidade e a concentração de Ferro solúvel na água.

Analisando a FIGURA 25, podemos observar que houve boa correlação entre os parâmetros Ferro Total e Alcalinidade Total, apresentando  $R^2$  igual a 0,6156. No entanto, essa correlação é mais evidenciada nos pontos P1 e P5, os quais o comportamento estatístico foi diferente das outras amostras.

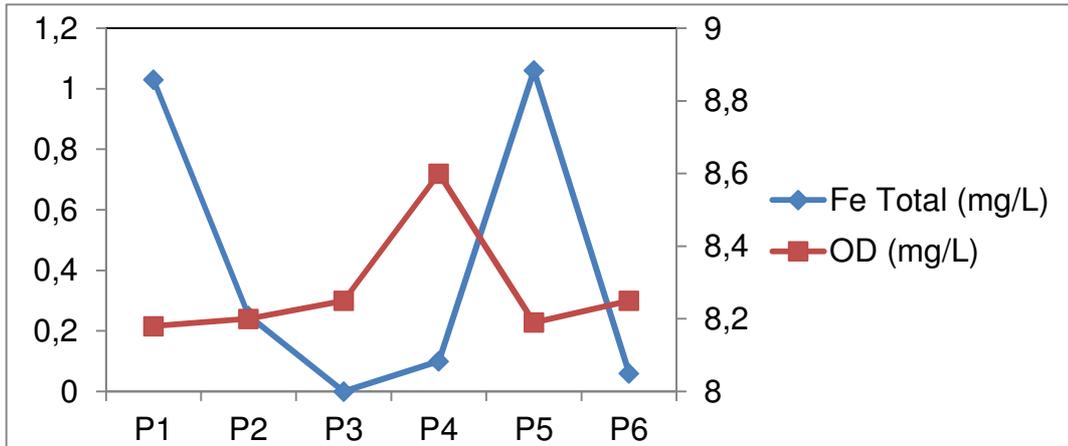
**FIGURA 25** - Gráfico de correlação entre Alcalinidade total e Ferro Total



#### 5.6.14. Ferro Total x Oxigênio Dissolvido

Ao correlacionarmos os parâmetros Ferro Total e OD, podemos observar uma boa correlação entre os parâmetros, apresentando  $R^2$  igual a -0,5517.

Observa-se na FIGURA 26, que a correlação entre os parâmetros foi melhor nos pontos P1 e P5, onde as concentrações Ferro Total se encontra elevada, esta correlação pontual pode ser observada na cor da água, que se apresentava amarela. Quando a água com teor de Ferro entra em contato com o ar, provoca uma transformação vagarosa da forma reduzida de ferro ( $Fe^{2+}$ ) na forma insolúvel ( $Fe^{3+}$ ) e visível pela oxidação, deixando a água com uma coloração amarelada (NASCIMENTO FILHO & PEREIRA, 2005).

**FIGURA 26 - Gráfico de correlação entre Ferro Total e OD**

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

✓ Os pontos P1 e P5 apresentaram teores de Ferro Total, três vezes maiores que os valores de potabilidade recomendados pela Resolução 357/2005 do CONAMA e portaria 2.914/ 2011 do MS.

✓ Com exceção dos parâmetros Ferro Total e Turbidez, os demais parâmetros analisados para a potabilidade estão dentro dos limites permitidos pelas referidas portarias.

✓ A resolução 357/2005 do CONAMA e portaria 2.914/ 2011 do MS não estabelecem VMP de potabilidade para os parâmetros Temperatura e Alcalinidade Total, sendo assim os referidos parâmetros foram correlacionados com os outros parâmetros estudados. Ademais a resolução 357/2005 do CONAMA não estabelece os VMP para Dureza e a portaria 2.914/ 2011 não estabelece para o oxigênio dissolvido.

✓ Os altos valores de Ferro Total podem está relacionado com o tipo de solo da região e/ou as construções dos poços não terem sido feitas de forma adequada de acordo com normas técnicas da CETESB.

✓ Os valores elevados de Turbidez também podem ser relacionados com a presença de Ferro e outros cátions que não foram estudados.

✓ Os pontos P3 e P6, proveniente de poço semi-artesiano e de água tratada pela COSANPA respectivamente, apresentaram os melhores valores de turbidez, o que pode ser atribuído às origens dos referidos pontos de coleta.

## 7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Diante desse problema de contaminação das águas subterrâneas, e concomitante a falta de abastecimento de água tratada no Bairro Laranjeiras, Marabá-PA, recomenda-se:

- ✓ Urgência no atendimento populacional do Bairro com água pela Companhia de Saneamento do Pará - COSANPA.
  
- ✓ Maior fiscalização no momento da perfuração de um poço, para que este seja construído de forma que a estrutura física abaixo da superfície do solo proteja a qualidade original da água no aquífero de possíveis contaminações.
  
- ✓ Mais construções de poços semi-artesianos comunitário para o abastecimento de água no bairro.
  
- ✓ Estudo mais detalhado das amostras analisando também os aspectos bacteriológicos.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA - Agência Nacional de Águas. Águas: Fatos e tendências, Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 2006.
- ATKINS, P. SHRIVER, D.II. Química inorgânica, 4ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2008 p. 787.
- BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, J. E. W. A. Manual de Tratamento de Águas Residuárias Industriais. São Paulo: CETESB 1993, apud SALAZAR, R. F. S. CARROCCI, J. S. ANDRADE, T. K. MARCIEL, R. F. BRANDÃO, J. J; GUIMARÃES, O. L. C. IZÁRIO FILHO, H. J. Validação do método fenantrolina para determinação de íon ferroso em efluente lácteo por análise comparativa. XII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e VIII Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba, 2008.
- MME-Ministério das Minas e Energia. Projeto RADAMBRASIL. Levantamento de recursos naturais: geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Folha SC.22 Tocantins. Rio de Janeiro, 1981.
- CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, Amostragem e monitoramento das águas subterrâneas, 1988.
- COLLISCHON, W. TASSI, R. Introduzindo Hidrologia, apostila da IPH- UFRGS, 2008. P 134, 135.
- CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente, Portaria 357, Brasília, 2005.
- CPRM - Cia de Pesquisa de Recursos Minerais, Potencialidade hidrogeológicas da área urbana de marabá com proposta técnica para perfuração de poços tubulares profundos para abastecimento de água subterrânea, Belém PA 1996.
- FUNASA – Fundação Nacional da Saúde, Manual Prático de Análise de Água. Brasília, 2006.

- GARCEZ, L. N. Manual de procedimentos e técnicas laboratoriais voltados para análises de água e esgotos sanitário e industrial; Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004.
- GAUBER, I. GUEKZIAN, M. BONETTO, N. C. F. Material Didático do Laboratório de Química Analítica Quantitativa, da Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2004.
- GEO MARABÁ, Perspectiva Para o Meio Ambiente Urbano, Marabá/PA, 2009.
- HELLER, L. PÁDUA, V. L. Abastecimento de água para consumo humano. Belo Horizonte, 2006. p. 684-684, 818-821.
- KOWATA, E. A. RIBEIRO, J. T. TELLES, J. D. D. A. Estudo da influência da turbidez e cor declinantes sobre a coagulação de água de abastecimento no mecanismo de adsorção neutralização de cargas. FATEC- SP, Boletim técnico, 2006.
- MACEDO, J. A. B. de. Águas e Águas. São Paulo: Varela, 2001, apud CLAUDINO, C. R, Avaliação da eficiência na remoção do ferro e manganês na estação de tratamento de água pelo método de flotação do ar disperso, TCC, curso de engenharia ambiental da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC, 2009.
- MS – Ministério da Saúde, Vigilância sanitária e controle da qualidade da água para consumo humano, Brasília, 2006.
- MS - Ministério da Saúde; Portaria 2914, Brasília, 2011.
- MS - Ministério da Saúde; Saúde ambiental e gestão dos resíduos de serviços de saúde, Brasília, 2002.
- MUNARY, C. AUXILIADORA, M. PEREIRA, C. D. LANDMANN, M. Educação Sanitária. Programa Estadual de Saneamento Rural do Paraná – 1990, apud SILVA, Manoel Rodrigues, Potabilidade da água subterrânea na cidade de marabá PA, TCC na Universidade Estadual do Pará, UEPA, 2008.

- NASCIMENTO FILHO, D. G. & PEREIRA, A. G. Remoção de ferro em águas de abastecimento, maximização da eficiência dos processos oxidativos, seguidos de filtração direta-condicionantes e resultados práticos, apresentado no 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005, Campo Grande – MS. Site [www.abes.locaweb.com.br](http://www.abes.locaweb.com.br). Acessado em 15/03/13.
- OLIVEIRA, A. M.P. Alcalinidade e dureza das águas. Relatório Técnico, 2007. Site [www.ebah.com.br](http://www.ebah.com.br). Acessado em 13/03/2013.
- POPP, J.H. Geologia Geral – 6ª ed- Rio de Janeiro: LTC, 2010. p. 156 a 157.
- PRESS, F. SIEVER, R. GROTZINGER, J. JORDAN, T. H. Para entender a terra, 4ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2006, p.314, 320 e 328.
- REBOUÇAS, A. C. BRABA, B. TUNDISI, J. G. Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação. 3ª ed. São Paulo: Escrituras Editoras, 2006. p.14, 111.
- SILVA, M. Participação e homeostase do ferro na diabetes tipo 1 em modelos animais, Universidade Federal de Ouro Preto /PPG Ciências Biológicas, tese de doutorado, 2011.
- SKOOG, D. A. WEST, D. M. HOLLER, F. J. CROUCH, S. R. Fundamentos de Química Analítica, 8ª ed. São Paulo: Cengage Learning. 2009, p. 520 a 521.

## APÊNDICE A - FICHA DE COLETA

Coleta de amostras de água de poço para estudos físico-químicos.

Amostra 01 Cod. Amostra \_\_\_\_\_ QTde. \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_\_ Hora: \_\_\_\_\_ Profundidade: \_\_\_\_\_

Local de coleta: \_\_\_\_\_

Estocagem/conservação: \_\_\_\_\_

OBS: \_\_\_\_\_

Amostra 02 Cod. Amostra \_\_\_\_\_ QTde. \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_\_ Hora: \_\_\_\_\_ Profundidade: \_\_\_\_\_

Local de coleta: \_\_\_\_\_

Estocagem/conservação: \_\_\_\_\_

OBS: \_\_\_\_\_

Amostra 03 Cod. Amostra \_\_\_\_\_ QTde. \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_\_ Hora: \_\_\_\_\_ Profundidade: \_\_\_\_\_

Local de coleta: \_\_\_\_\_

Estocagem/conservação: \_\_\_\_\_

OBS: \_\_\_\_\_

Amostra 04 Cod. Amostra \_\_\_\_\_ QTde. \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_\_ Hora: \_\_\_\_\_ Profundidade: \_\_\_\_\_

Local de coleta: \_\_\_\_\_

Estocagem/conservação: \_\_\_\_\_

OBS: \_\_\_\_\_

Amostra 05 Cod. Amostra \_\_\_\_\_ QTde. \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_\_ Hora: \_\_\_\_\_ Profundidade: \_\_\_\_\_

Local de coleta: \_\_\_\_\_

Estocagem/conservação: \_\_\_\_\_

OBS: \_\_\_\_\_

Amostra 06 Cod. Amostra \_\_\_\_\_ QTde. \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_\_ Hora: \_\_\_\_\_ Profundidade: \_\_\_\_\_

Local de coleta: \_\_\_\_\_

Estocagem/conservação: \_\_\_\_\_

OBS: \_\_\_\_\_

**ANEXO A – Trecho extraído da Resolução 357/2005 do CONAMA**

**RESOLUÇÃO Nº 357, DE 17 DE MARÇO DE 2005 do CONAMA**  
**Publicada no DOU nº 053, de 18/03/2005, págs. 58-63**  
Alterada pela Resolução 410/2009 e pela 430/2011

**CAPÍTULO II**

**DA CLASSIFICAÇÃO DOS CORPOS DE ÁGUA**

Art.3º As águas doces, salobras e salinas do Território Nacional são classificadas, segundo a qualidade requerida para os seus usos preponderantes, em treze classes de qualidade.

Parágrafo único. As águas de melhor qualidade podem ser aproveitadas em uso menos exigente, desde que este não prejudique a qualidade da água, atendidos outros requisitos pertinentes.

**Seção I**  
**Das Águas Doces**

Art. 4º As águas doces são classificadas em:

I - classe especial: águas destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção;
- b) a preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas;
- c) a preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.

II - classe 1: águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado;
- b) a proteção das comunidades aquáticas;
- c) a recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA no 274, de 2000;

- d) a irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película;
- e) a proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas

### CAPÍTULO III

#### DAS CONDIÇÕES E PADRÕES DE QUALIDADE DAS ÁGUAS

##### **Seção I Das Disposições Gerais**

Art. 7º Os padrões de qualidade das águas determinados nesta Resolução estabelecem limites individuais para cada substância em cada classe.

Parágrafo único. Eventuais interações entre substâncias, especificadas ou não nesta Resolução, não poderão conferir às águas características capazes de causar efeitos letais ou alteração de comportamento, reprodução ou fisiologia da vida, bem como de restringir os usos preponderantes previstos ressalvados o disposto no § 3º do art. 34, desta Resolução.

Art. 8º O conjunto de parâmetros de qualidade de água selecionado para subsidiar a proposta de enquadramento deverá ser monitorado periodicamente pelo Poder Público.

##### **Das Águas Doces**

Art. 14. As águas doces de classe 1 observarão as seguintes condições e padrões:

I - condições de qualidade de água:

- a) não verificação de efeito tóxico crônico a organismos, de acordo com os critérios estabelecidos pelo órgão ambiental competente, ou, na sua ausência, por instituições nacionais ou internacionais renomadas, comprovado pela realização de ensaio ecotoxicológico padronizado ou outro método cientificamente reconhecido.
- b) material flutuante inclusive espuma não natural: virtualmente ausentes;
- c) óleos e graxas: virtualmente ausentes;
- d) substâncias que comuniquem gosto ou odor: virtualmente ausentes;

- e) corantes provenientes de fontes antrópicas: virtualmente ausentes;
- f) resíduos sólidos objetáveis: virtualmente ausentes;
- g) coliformes termotolerantes: para o uso de recreação de contato primário deverão ser obedecidos os padrões de qualidade de balneabilidade, previstos na Resolução CONAMA nº 274, de 2000. Para os demais usos, não deverá ser excedido um limite de 200 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais, de pelo menos 6 amostras, coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral. A *E. Coli* poderá ser determinada em substituição ao parâmetro coliforme termotolerantes de acordo com limites estabelecidos pelo órgão ambiental competente;
- h) DBO 5 dias a 20°C até 3 mg/L O<sub>2</sub>;
- i) OD, em qualquer amostra, não inferior a 6 mg/L O<sub>2</sub>;
- j) turbidez até 40 unidades nefelométrica de turbidez (UNT);
- l) cor verdadeira: nível de cor natural do corpo de água em mg Pt/L; e
- m) pH: 6,0 a 9,0.

II - Padrões de qualidade de água:

<b>TABELA I - CLASSE 1 - ÁGUAS DOCES</b>	
<b>PADRÕES</b>	
<b>PARÂMETROS INORGÂNICOS</b>	<b>VALOR MÁXIMO</b>
Cobre Dissolvido	0,009 mg/L Cu
Cromo total	0,05 mg/L Cr
Ferro Total	0,3 mg/L Fe
Fluoreto Total	1,4 mg/L F
Fosforo Total	0,020 mg/L P

**ANEXO B – Trecho extraído da Portaria 2914/2011 do MS****PORTARIA Nº 2.914, DE 12 DE DEZEMBRO DE 2011.**

Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

**CAPÍTULO I****DAS DISPOSIÇÕES GERAIS**

Art. 2º Esta Portaria se aplica à água destinada ao consumo humano proveniente de sistema e solução alternativa de abastecimento de água.

Parágrafo único. As disposições desta Portaria não se aplicam à água mineral natural, à água natural e às águas adicionadas de sais destinadas ao consumo humano após o envasamento, e a outras águas utilizadas como matéria-prima para elaboração de produtos, conforme Resolução (RDC) nº 274, de 22 de setembro de 2005, da Diretoria Colegiada da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA).

Art. 3º Toda água destinada ao consumo humano, distribuída coletivamente por meio de sistema ou solução alternativa coletiva de abastecimento de água, deve ser objeto de controle e vigilância da qualidade da água.

Art. 4º Toda água destinada ao consumo humano proveniente de solução alternativa individual de abastecimento de água, independentemente da forma de acesso da população, está sujeita à vigilância da qualidade da água.

**CAPÍTULO V****DO PADRÃO DE POTABILIDADE**

Art. 30º Para a garantia da qualidade microbiológica da água, em complementação às exigências relativas aos indicadores microbiológicos, deve ser atendido o padrão de turbidez expresso no Anexo II e devem ser observadas as demais exigências contidas nesta Portaria.

§ 1º Entre os 5% (cinco por cento) dos valores permitidos de turbidez superiores ao VMP estabelecido no Anexo II desta Portaria, para água subterrânea com

desinfecção, o limite máximo para qualquer amostra pontual deve ser de 5,0 uT, assegurado, simultaneamente, o atendimento ao VMP de 5,0 uT em toda a extensão do sistema de distribuição (reservatório e rede).

§ 2º O valor máximo permitido de 0,5 uT para água filtrada por filtração rápida (tratamento completo ou filtração direta), assim como o valor máximo permitido de 1,0 uT para água filtrada por filtração lenta, estabelecidos no Anexo II desta Portaria. Art. 39º. A água potável deve estar em conformidade com o padrão organoléptico de potabilidade expresso no Anexo X desta Portaria.

§ 1º Recomenda-se que, no sistema de distribuição, o pH da água seja mantido na faixa de 6,0 a 9,5.

§ 4º Para os parâmetros ferro e manganês são permitidos valores superiores ao VMPs estabelecidos no Anexo X desta Portaria, desde que sejam observados os seguintes critérios:

- I - os elementos ferro e manganês estejam complexados com produtos químicos comprovadamente de baixo risco à saúde, conforme preconizado no art. 13º desta Portaria e nas normas da ABNT;
- II - os VMPs dos demais parâmetros do padrão de potabilidade não sejam violados;
- III - as concentrações de ferro e manganês não ultrapassem 2,4 e 0,4 mg/L, respectivamente.

## Anexo II

Tabela de padrão de turbidez para água pós-filtração ou pré-desinfecção

Tratamento da água	Unidade	VMP(1)
Desinfecção (para águas subterrâneas)	uT	1,0 <sup>(2)</sup> em 95% das amostras
Filtração rápida (tratamento completo ou filtração direta)	uT	0,5 <sup>(3)</sup> <sup>(2)</sup> em 95% das amostras
Filtração lenta	uT	1,0 <sup>(3)</sup> <sup>(2)</sup> em 95% das amostras

NOTAS:

<sup>(1)</sup> Valor Máximo Permitido.

<sup>(2)</sup> Unidade de Turbidez.

<sup>(3)</sup> Este valor deve atender ao padrão de turbidez de acordo com o especificado no § 2º do art. 30.

Tabela de padrão organoléptico de potabilidade

Parâmetro	Unidade	VPM <sup>(1)</sup>
Dureza total	mg/L	500
Ferro Total	mg/L	0,3
Gosto e odor <sup>(2)</sup>	Intensidade	6
Manganês	mg/L	0,1
Turbidez <sup>(3)</sup>	uT	5

## NOTAS:

<sup>(1)</sup> Valor máximo permitido.

<sup>(2)</sup> Intensidade máxima de percepção para qualquer característica de gosto e odor com exceção do cloro livre, nesse caso por ser uma característica desejável em água tratada.

<sup>(3)</sup> Unidade de turbidez.