



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA QUÍMICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA  
LABORATÓRIO DE REFERÊNCIA EM DESSALINIZAÇÃO

TEREZIANA SILVA DA COSTA

MONITORAMENTO DA QUALIDADE DE ÁGUAS DE CISTERNAS E SUAS  
CONSEQUÊNCIAS PARA A SAÚDE DA COMUNIDADE SANTA LUZIA,  
MUNICÍPIO DE PICUÍ-PB

Campina Grande

2015

TEREZIANA SILVA DA COSTA

MONITORAMENTO DA QUALIDADE DE ÁGUAS DE CISTERNAS E SUAS  
CONSEQUÊNCIAS PARA A SAÚDE DA COMUNIDADE SANTA LUZIA,  
MUNICÍPIO DE PICUÍ-PB

Dissertação apresentada junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito obrigatório à obtenção do título de Mestre em Engenharia Química.

Orientador: Kepler Borges França (Ph.D)

Campina Grande

2015

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

C837m Costa, Tereziana Silva da.  
Monitoramento da qualidade de águas de cisternas e suas consequências para a saúde da comunidade Santa Luzia, município de Picuí - PB / Tereziana Silva da Costa. – Campina Grande, 2015.  
78 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia, 2015.

"Orientação: Prof. Dr. Kepler B. França".  
Referências.

1. Fontes de Abastecimento. 2. Contaminação. 3. Alumínio.  
I. França, Kepler B. II. Título.

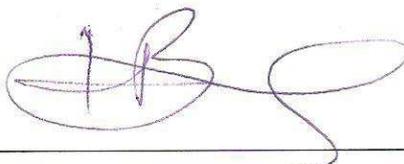
CDU 66.0:628.16(043)

**MONITORAMENTO DA QUALIDADE DE ÁGUAS DE CISTERNAS E SUAS  
CONSEQUÊNCIAS PARA A SAÚDE DA COMUNIDADE SANTA LUZIA,  
MUNICÍPIO DE PICUÍ-PB**

TEREZIANA SILVA DA COSTA

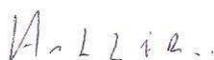
Dissertação aprovada em: 02/04/2015

Banca Examinadora:



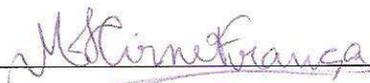
---

Kepler Borges França (Ph.D)  
Orientador – UAEQ/UFCG



---

Dr. André Luiz Fiquene de Brito  
Examinador – UAEQ/UFCG



---

Dra. Márcia Izabel Cirne França  
Examinadora Externa – DQ/UEPB

## AGRADECIMENTOS

A Deus que me concedeu sabedoria e possibilitou a realização de mais esta etapa na minha vida acadêmica.

A todos da minha família, em especial minha mãe, Terezinha, pelo amor e incentivo.

Ao meu esposo, Cássio, pelo companheirismo em todos os momentos.

As minhas amigas Sonáli e Kelly, que trabalharam comigo durante o desenvolvimento deste trabalho, e especialmente a minha amiga Maniza, que também me ajudou na finalização dessa dissertação, agradeço pela ajuda e incentivo de todas.

Ao meu orientador, Prof. Kepler, pela confiança e oportunidades que me ofereceu.

A Agência Nacional de Águas (ANA) pelo financiamento total do Projeto “Diagnóstico e formulação de modelo de conservação e de melhoria da qualidade de águas de cisternas e de outras fontes alternativas de abastecimento”, o qual originou o presente trabalho.

A todos que trabalham no referido projeto e, a Comunidade Santa Luzia, por nos receber de forma tão cordial.

## RESUMO

O Semiárido Brasileiro é composto por 1.133 municípios, com área de 969.589,4 km<sup>2</sup>. Uma das suas principais características é a escassez hídrica, provocada pelas altas taxas de evapotranspiração e baixas precipitações anuais que tem resultado na busca por soluções alternativas de abastecimento, entre as quais se destaca a construção de cisternas de placas para captação e armazenamento das águas pluviais. O Programa Um Milhão de Cisternas (P1MC) do Governo Federal é o principal responsável pela construção desses reservatórios com a finalidade de armazenar água para atendimento da demanda hídrica, no entanto, em períodos de estiagem prolongada o acesso à água de qualidade torna-se muito difícil. Este trabalho teve como objetivo monitorar a qualidade das águas consumidas e armazenadas em cisternas na comunidade Santa Luzia, município de Picuí-PB, além de investigar doenças de veiculação hídrica. As fontes de abastecimento de água foram classificadas de acordo com a Resolução CONAMA 357/2005 e nas residências foram coletadas amostras de água para fins de análises físico-químicas e bacteriológicas, comparando-se os resultados com os padrões estabelecidos na Portaria de Potabilidade 2.914/2011. Além disso, foram realizados ensaios para avaliar o transporte de substâncias - Ca<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup>, Fe (total), SiO<sub>2</sub> - da argamassa de cimento usada no revestimento de cisternas para a água. O abastecimento de água para consumo humano na comunidade é realizado através da dessalinização de água salobra, porém o sistema não atende a demanda e a população acaba utilizando fontes alternativas, as quais se mostraram inadequadas ao consumo humano. A água de usos múltiplos é proveniente do abastecimento através da operação pipa, de poços e de um pequeno manancial conhecido como “Olho d’água”. De acordo com a Resolução CONAMA 357/2005, a água proveniente da operação pipa e do poço comunitário enquadra-se na classe 1 de Águas Doces e Salobras, respectivamente, e a água proveniente do “Olho d’água” enquadra-se apenas na classe 3 de Águas Salobras, mostrando-se inadequada aos usos da comunidade. As análises físico-químicas apontam características comuns de águas dessa região, porém, observou-se 6 amostras (20%) com concentrações de alumínio elevadas, sendo todas provenientes de cisternas, caixas d’água e tanques de cimento, assim, ressalta-se a possibilidade de liberação deste metal a partir da argamassa de cimento utilizada no revestimento desses reservatórios. Nas águas de consumo humano foram encontrados coliformes totais e *Escherichia coli*, além disso, exames revelam contaminação das pessoas com espécies patogênicas de parasitas intestinais; desta forma, torna-se necessária a adoção de práticas de assepsia dos recipientes e desinfecção da água a ser consumida no intuito de evitar doenças transmitidas por veiculação hídrica. Também foi comprovado neste trabalho o aparecimento de substâncias na água em contato com argamassa de cimento. Este transporte é influenciado pelo tempo em que a água fica armazenada, pelas renovações de água que podem acelerar este processo e pelas variações de pH que podem ocorrer. Das substâncias analisadas o alumínio representa o maior risco, pois as concentrações são muito elevadas quando comparadas com o padrão de potabilidade e sua ingestão tem sido associada a doenças neurológicas e ósseas.

**Palavras-chave:** Fontes de abastecimento; Contaminação; Alumínio.

## ABSTRACT

The Brazilian Semiarid is composed of 1,133 municipalities, with an area of 969,589.4 km<sup>2</sup>. One of its main characteristics is water scarcity, caused by high rates of evapotranspiration and low annual rainfall, which has resulted in the search for alternative supply solutions, among which highlights out the construction of cisterns plates for catchment and storage of rainwater. The Program One Million Cisterns (P1MC) of the Federal Government is the main responsible for construction of these reservoirs with the purpose of store water for attendance water demand, however, in periods of prolonged drought access to quality water becomes very difficult. This study had as objective monitoring the quality of water consumed and stored in cisterns in the community Santa Luzia, municipality of Picuí-PB, besides investigating water transmitted diseases. The water supply sources were classified according to CONAMA Resolution 357/2005 and homes were water samples collected for the purpose of physical-chemical and bacteriological analyzes, comparing the results with the standards established in the Ordinance of potability 2.914/2011. Additionally, tests were conducted to evaluate the transport of substances – Ca<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup>, Fe (total), SiO<sub>2</sub> – of the cement mortar used in the coating of cisterns for water. Water supply for human consumption in the community is realized through the brackish water desalination, but the system does not meet the demand and the population ends up using alternative sources, which have proved inappropriate for human consumption. The water multiple uses is coming from supply by pipa operation, wells and a small weelspring known as "Olho d'água". Accordance with CONAMA Resolution 357/2005, the pipa operation and the community well fall under class 1 waters sweet and brackish, respectively, whereas the "Olho d'água" falls under only in class 3 brackish waters it is proving inadequate to community uses. The physico-chemical analyzes show common characteristics of water of this region, however it was observed 6 samples (20%) with high concentrations of aluminum, which are all from cisterns, water's box and cement tanks in this way, it is emphasized the possibility of release of this metal from the cement mortar used for coating of these reservoirs. In of human consumption water have been found total coliforms and Escherichia coli, additionally, examinations reveal contamination of persons with pathogenic species of intestinal parasites; in this way, it is becomes necessary the adoption of aseptic practices of the containers and disinfection of water to be consumed in order to prevent water transmitted diseases. Also was demonstrated in this work the onset of substances in the water in contact with cement mortar. This transport is influenced by the time in which water is stored, by the renovations of water can accelerate this process and by the pH variations that may occur. Of the substances analyzed the aluminum represent the greatest risk because the concentrations are very high when compared with the standard for potable water and its intake has been associated with neurological and bone diseases.

**Keywords:** Supply sources; Contamination; Aluminum.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Distribuição de água na Terra .....	13
Figura 2: Disponibilidade de água doce para população mundial.....	15
Figura 3: Nova delimitação do Semiárido Brasileiro .....	16
Figura 4: Precipitação menos evaporação, média anual (mm dia) .....	17
Figura 5: Imagem de satélite da Vila Santa Luzia.....	32
Figura 6: Dessalinizador de água.....	33
Figura 7: Poço comunitário .....	33
Figura 8: “Olho d’água” .....	33
Figura 9: Coleta de amostra da água de consumo humano .....	34
Figura 10: Coleta de amostra da água de usos múltiplos .....	35
Figura 11: Recipientes testes para determinação qualitativa de ecotoxicidade.....	36
Figura 12: Corpo de prova imerso em água deionizada .....	38
Figura 13: Renovações de água .....	38
Figura 14: Tempo de contato.....	39
Figura 15: Variações de pH.....	39
Figura 16: Resultados de coliformes totais nas duas coletas de água para consumo humano.....	40
Figura 17: Resultados de <i>Escherichia coli</i> nas duas coletas de água para consumo humano.....	41
Figura 18: Valores de pH das amostras coletadas nas residências .....	43
Figura 19: Valores de turbidez das amostras coletadas nas residências.....	43
Figura 20: Valores de cor das amostras coletadas nas residências.....	44
Figura 21: Valores de cloreto das amostras coletadas nas residências.....	45
Figura 22: Valores de sódio das amostras coletadas nas residências .....	45
Figura 23: Valores de sulfato das amostras coletadas nas residências .....	46
Figura 24: Valores de dureza total das amostras coletadas nas residências .....	47
Figura 25: Valores de ferro das amostras coletadas nas residências .....	48
Figura 26: Valores de alumínio das amostras coletadas nas residências.....	48
Figura 27: Valores de nitrato das amostras coletadas nas residências .....	49
Figura 28: Valores de nitrito das amostras coletadas nas residências .....	49
Figura 29: Valores de amônia das amostras coletadas nas residências .....	50
Figura 30: Valores de STD das amostras coletadas nas residências .....	51

Figura 31: Parasitas encontrados nos exames de fezes da população em estudo .....	57
Figura 32: Concentrações de cálcio em função do tempo de contato .....	58
Figura 33: Concentrações de alumínio em função do tempo de contato.....	58
Figura 34: Concentrações de ferro em função do tempo de contato .....	59
Figura 35: Concentrações de sílica em função do tempo de contato.....	59
Figura 36: Concentrações de cálcio em função das renovações de água .....	60
Figura 37: Concentrações de alumínio em função das renovações de água.....	60
Figura 38: Concentrações de ferro em função das renovações de água .....	60
Figura 39: Concentrações de sílica em função das renovações de água .....	61
Figura 40: Concentrações de cálcio em função do pH inicial do experimento .....	61
Figura 41: Concentrações de alumínio em função do pH inicial do experimento .....	62
Figura 42: Concentrações de ferro em função do pH inicial do experimento.....	63
Figura 43: Concentrações de sílica em função do pH inicial do experimento .....	63

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Demanda Hídrica Social no Brasil .....	14
Tabela 2: Principais doenças de veiculação hídrica .....	25
Tabela 3: Valores limite para o grau de agressividade .....	28
Tabela 4: Diferenças de cada parâmetro em relação à fonte de água.....	52
Tabela 5: Diferença dos valores médios de alumínio com relação à forma de armazenamento.....	52
Tabela 6: Resultados dos ensaios ecotoxicológicos com <i>Chlorella vulgaris</i> .....	53
Tabela 7: Resultados do Teste de Fisher para verificação de ecotoxicidade.....	54
Tabela 8: Classificação da fonte “operação pipa” .....	55
Tabela 9: Classificação da fonte “Olho d’água” .....	55
Tabela 10: Classificação da fonte “poço comunitário” .....	56

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
1.1	Objetivos.....	12
1.1.1	Objetivo geral .....	12
1.1.2	Objetivos específicos .....	12
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	13
2.1	Recursos hídricos .....	13
2.2	Semiárido Brasileiro .....	16
2.3	Abastecimento e qualidade de água.....	21
2.4	Doenças de veiculação hídrica.....	24
2.5	Cimento: o principal material utilizado na construção das cisternas.....	27
2.6	Alumínio .....	29
3	METODOLOGIA.....	32
3.1	Local do Estudo .....	32
3.2	Avaliação bacteriológica da água de consumo humano .....	33
3.3	Avaliação físico-química das águas de usos múltiplos e consumo humano....	34
3.4	Classificação das fontes alternativas de abastecimento .....	35
3.5	Investigação de doenças de veiculação hídrica.....	37
3.6	Estudo do transporte de componentes da argamassa de cimento para a água .	37
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
4.1	Avaliação bacteriológica da água de consumo humano .....	40
4.2	Avaliação físico-química das águas de consumo humano e usos múltiplos....	42
4.3	Classificação das fontes alternativas de abastecimento .....	53
4.4	Avaliação de exames parasitológicos das pessoas.....	57
4.5	Transporte de componentes da argamassa de cimento Portland comum para a água	58
5	CONCLUSÕES .....	65
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	67
	APÊNDICE .....	72
	Apêndice A – Resultados bacteriológicos das amostras de água para consumo humano da 1ª coleta.....	73
	Apêndice B – Resultados bacteriológicos das amostras de água para consumo humano da 2ª coleta.....	74

Apêndice C – Resultados físico-químicos das amostras de água para consumo humano provenientes do dessalinizador .....	75
Apêndice D – Resultados físico-químicos das amostras de água de usos múltiplos coletadas nas residências .....	76

## 1 INTRODUÇÃO

O Semiárido Brasileiro é composto por 1.133 municípios, com área de 969.589,4 km<sup>2</sup>. Suas principais características são a predominância do bioma Caatinga e a marcante escassez hídrica, provocada pelas altas taxas de evapotranspiração e baixas precipitações anuais (BRASIL, 2005a; BRASIL, 2012).

Nos últimos anos, essa região tem sido marcada pela construção de obras de médio e grande porte, como barragens e adutoras, além da construção de cisternas de placas, através do Programa Um Milhão de Cisternas (P1MC). No entanto, a distribuição de água às populações difusas continua deficiente e as dificuldades para atendê-las tendem a aumentar caso não se realizem esforços para gerenciar adequadamente os recursos hídricos disponíveis (NÓBREGA et al., 2012).

O P1MC tem como objetivo beneficiar cerca de cinco milhões de pessoas com água potável através da construção de cisternas de placas. Até o momento foram construídas 570.398 cisternas (ASA, 2015), as quais são responsáveis por melhoria na qualidade de vida das famílias beneficiadas, no entanto, em períodos de estiagem prolongada as cisternas são abastecidas por carros pipa, sendo muitas vezes fornecida água impura, comprometendo a qualidade de vida da população.

Algumas medidas tomadas para o abastecimento e manutenção das cisternas garantem a qualidade da água em termos microbiológicos, é o caso do descarte das primeiras chuvas, assepsia da cisterna e utilização de bombas manuais. Já a qualidade química pode ser influenciada por fatores incontrolláveis.

A grande preocupação no que se refere às doenças de veiculação hídrica é a contaminação por bactérias patogênicas, vírus e parasitas (por exemplo, protozoários e helmintos), pois representa o risco mais comum e difundido à saúde associado à água, uma vez que a contaminação química, geralmente, é motivo de preocupação apenas após a exposição em longo prazo. A quantidade insuficiente de água também apresenta relevância na transmissão de doenças, as quais podem ser causadas por hábitos higiênicos insatisfatórios ou pela procura de fontes alternativas de abastecimento, que constituem potenciais riscos à saúde pelo uso de águas de baixa qualidade (BRASIL, 2006).

Em alguns estudos foram observadas concentrações elevadas de alumínio em águas armazenadas em cisternas com construção recente, sugerindo-se a liberação deste metal a partir da argamassa de cimento usada no revestimento desses reservatórios

(CARDOSO et al., 2005; SOUZA et al., 2011), no entanto, são necessários indícios que comprovem essa relação, garantindo que sua origem não está ligada à fonte hídrica ou a tratamento da água que utiliza sulfato de alumínio como coagulante.

Diante da problemática que envolve a qualidade da água no Semiárido Brasileiro, assim como a utilização de cisternas, este trabalho visa apresentar a situação de uma comunidade dessa região diante da escassez hídrica, além de abordar a questão do transporte de componentes da argamassa de cimento usada no revestimento de cisternas para água armazenada nas mesmas.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo geral**

Monitorar a qualidade das águas consumidas e armazenadas em cisternas na comunidade Santa Luzia, município de Picuí-PB, e sua relação com doenças de veiculação hídrica.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- Realizar análises físico-químicas e bacteriológicas das águas de consumo humano e comparar com os padrões de potabilidade estabelecidos na Portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde;
- Realizar análises físico-químicas das águas de usos múltiplos;
- Identificar as fontes de abastecimento de água disponíveis na comunidade e classificá-las de acordo com a Resolução 357/2005 do CONAMA.
- Pesquisar doenças de veiculação hídrica que acometem a população em estudo através de consulta a exames parasitológicos;
- Averiguar o transporte de componentes ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ , Fe total e  $\text{SiO}_2$ ) presentes na argamassa de cimento utilizada no revestimento de cisternas.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Recursos hídricos

O planeta Terra possui cerca de 71% da superfície terrestre coberta por água, distribuída em diferentes formas e locais. Estima-se que o volume total deste recurso seja aproximadamente 1,4 bilhões de km<sup>3</sup>, porém, apenas 2,6% correspondem à água doce, estando acessível uma parcela ainda menor (LIMA e FARIAS, 2011; TUNDISI e MATSUMURA-TUNDISI, 2011; MILLER, 2008), como pode ser observado na Figura 1.



FONTE: MILLER (2008)

Do volume total de água doce utilizada no mundo, 10% destina-se ao abastecimento doméstico, 20% ao consumo industrial e 70% ao consumo agrícola, cuja atividade produz cerca de 40% dos alimentos, incluindo dois terços da produção mundial de arroz e trigo (LIBÂNIO, 2008; MILLER, 2008).

A América do Sul é o continente mais favorecido com água doce, seguido por Ásia e América do Norte, com rios que têm papel ecológico, econômico e social extremamente relevante. Esses rios, suas áreas de várzeas e vastas planícies de inundação, associados a muitos lagos permanentes e temporários, constituem importante reserva de água doce, que é utilizada para inúmeras finalidades, inclusive no Brasil, devendo-se acrescentar também o grande volume de águas subterrâneas, que é fundamental para o abastecimento e a irrigação em muitas regiões do país (LIBÂNIO, 2008; TUNDISI e MATSUMURA-TUNDISI, 2011).

Na região centro-leste da América do Sul está situado o Aquífero Guarani, que possui mais líquido que todos os rios do mundo juntos. Ocupa uma área total de 1,2 milhões de quilômetros quadrados, estende-se pelo Brasil (839.800 km<sup>2</sup> – 71%),

Paraguai (71.700 km<sup>2</sup> – 6%), Uruguai (45.000 km<sup>2</sup> – 4%) e Argentina (225.500 km<sup>2</sup> – 9%). Este aquífero constitui-se em uma das mais importantes reservas estratégicas que o Brasil possui, estima-se que seu volume de água permanente seja em torno de 45 milhões de metros cúbicos (LIMA e FARIAS, 2011).

Mesmo possuindo cerca de 12% da água doce disponível na Terra, a falta de água em algumas regiões do Brasil é um problema recorrente, pois, os recursos hídricos são distribuídos de forma desigual em relação à densidade populacional, o que é apresentado na Tabela 1. A região nordeste é a mais desfavorecida e enfrenta inúmeros problemas no período de estiagem (LIBÂNIO, 2008; TUNDISI e MATSUMURA-TUNDISI, 2011).

Tabela 1: Demanda Hídrica Social no Brasil

	<b>Potencial Hídrico (km<sup>3</sup>/ano)</b>	<b>População (hab) *</b>	<b>Disponibilidade Hídrica Social (m<sup>3</sup>/ano/hab)</b>
Região Norte	3.968,31	15.864.454	250.138,45
Região Nordeste	186,20	53.081.950	3.507,78
Região Sudeste	334,20	80.364.410	4.158,56
Região Sul	365,40	27.386.891	13.342,15
Região Centro-oeste	878,70	14.058.094	62.504,92
<b>BRASIL</b>	<b>5.732,81</b>	<b>190.755.799</b>	<b>30.053,14</b>

FONTE: Adaptado de TUNDISI e MATSUMURA-TUNDISI (2011)

\* IBGE (2010)

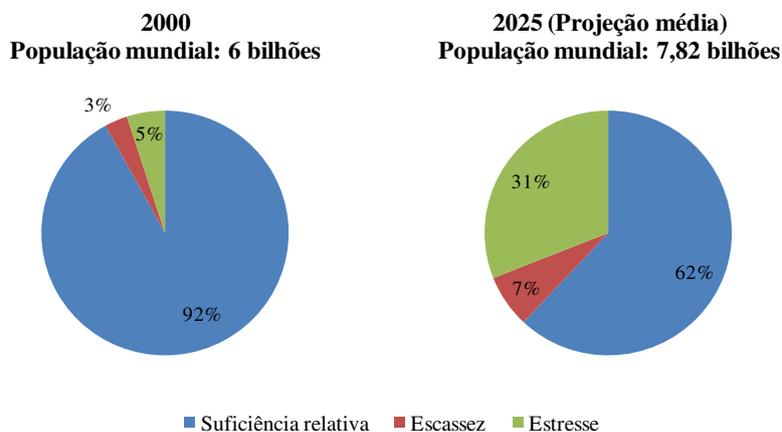
De todos os recursos naturais existentes no planeta Terra, a água é um dos mais importantes. Ela é essencial à vida dos ecossistemas, tendo influência direta sobre a saúde, a qualidade de vida e o desenvolvimento do ser humano, o qual necessita de água para sua sobrevivência e a realização de suas atividades diárias (LIMA e FARIAS, 2011; LUNA, 2011).

Embora dependam da água para a sobrevivência e para o desenvolvimento econômico, as sociedades humanas poluem e degradam esse recurso, tanto as águas superficiais quanto as subterrâneas, agravando ainda mais a escassez. Assim, o aumento populacional, a industrialização e a falta de consciência ambiental, fazem com que a água torne-se a cada dia um bem mais precioso. As atividades antrópicas têm produzido contínua e sistemática deterioração e perdas extremamente elevadas em quantidade e qualidade da água (TUNDISI e MATSUMURA-TUNDISI, 2011; LUNA, 2011).

Engelman et al. (2000) apresentou dados a respeito da população que enfrentava problemas de escassez e estresse hídrico e realizou uma projeção média para 2025,

como é mostrado na Figura 2. Nesta projeção a população mundial em 2025 seria 7,82 bilhões de pessoas, no entanto, segundo a Organização das Nações Unidas, a população mundial em 2013 era de 7,2 bilhões e deve chegar a 8,1 bilhões em 2025.

Figura 2: Disponibilidade de água doce para população mundial



FONTE: ENGELMEN et al. (2000)

Com o volume de água doce disponível cada vez menor, tem-se recorrido à dessalinização através de processos térmicos (Destilação Solar, Evaporação Multi-Flash, Destilação de Múltiplo Efeito e Compressão de vapor) e de tecnologia de membranas (Eletrodialise e Osmose Inversa). A dessalinização consiste na remoção ou redução da concentração de sais e sólidos dissolvidos da água salgada ou salobra para obter água doce. Além da remoção de minerais, este processo remove ainda componentes químicos orgânicos e biológicos (ARAÚJO, 2013).

Cerca de 13.500 usinas de dessalinização operam em 120 países, especialmente nas nações desérticas e áridas do Oriente Médio, do norte da África, do Caribe e do Mediterrâneo, porém, essas usinas atendem menos de 0,3% das necessidades de água do mundo, isso porque os custos ainda são muito elevados principalmente com energia elétrica (MILLER, 2008; ARAÚJO, 2013).

No Brasil, o maior sistema de dessalinização está situado em Fernando de Noronha funcionando desde 1999, o qual utiliza separação por membranas de osmose inversa para dessalinização de água do mar abastecendo todo o arquipélago com água potável. Nos últimos anos, equipamentos de dessalinização vêm sendo instalados principalmente no Semiárido Brasileiro, onde, além da reconhecida escassez de águas superficiais, as águas subterrâneas disponíveis são na maioria das vezes salinas (SOUZA, 2014).

## 2.2 Semiárido Brasileiro

Em 2005 o Ministério da Integração Nacional, através do Grupo de Trabalho Interministerial (GTI), estabeleceu a nova delimitação do Semiárido Brasileiro (Figura 3) atualizando os critérios de decisão para inclusão de novos municípios na região. A inclusão destes municípios levou em consideração o enquadramento em pelo menos um dos seguintes critérios:

- i) Precipitação pluviométrica média anual inferior a 800 milímetros;
- ii) Índice de aridez de até 0,5 calculado pelo balanço hídrico que relaciona as precipitações e a evapotranspiração potencial, no período entre 1961 e 1990; e
- iii) Risco de seca maior que 60%, tomando-se por base o período entre 1970 e 1990.

Com a atualização 102 novos municípios passaram a fazer parte da região, a maioria localizada no estado de Minas Gerais, totalizando 1.133 municípios. Com isso, a área aumentou de 892.309,4 km<sup>2</sup> para 969.589,4 km<sup>2</sup> (BRASIL, 2005a).

Figura 3: Nova delimitação do Semiárido Brasileiro



FONTE: BRASIL (2005a)

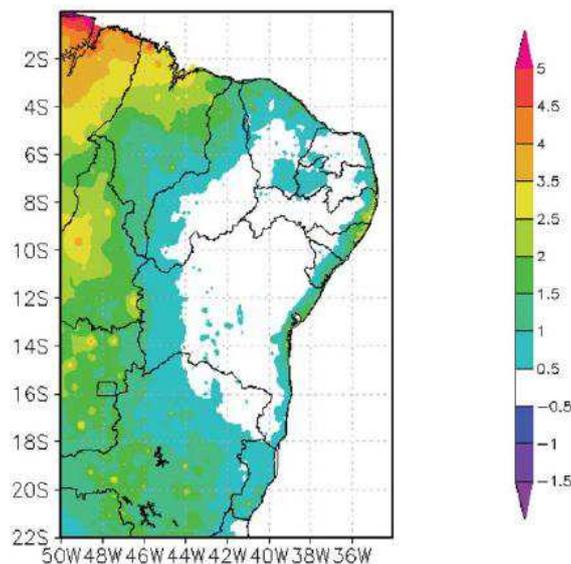
O Censo Demográfico realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2010 revelou que a população residente no Semiárido era

22.598.318 habitantes, representando 11,85% da população brasileira, 42,57% da população nordestina e 28,12% da população residente na região Sudeste (MEDEIROS, S. S. et al., 2012).

A maior parte desta região é coberta pela Caatinga, palavra de origem tupi, que significa mata branca. Sua vegetação apresenta-se verde durante o curto período de chuvas, porém, no restante do ano, fica inteira ou parcialmente sem folhas, sendo possível visualizar os caules esbranquiçados, o que atribui o tom claro da vegetação e explica sua denominação. Este bioma é exclusivamente brasileiro, rico em espécies endêmicas, apresentando grande variedade de espécies animal e vegetal, nativas e adaptadas, que garantem a sobrevivência das famílias agricultoras da região (PEREIRA e BARACUHY, 2011; ASA, 2015).

A predominância do bioma Caatinga e do clima semiárido são características da combinação entre as elevadas taxas de evapotranspiração e da concentração das precipitações anuais. As chuvas concentram-se em apenas quatro meses durante o ano, com picos em novembro-dezembro na porção sul, março-abril na porção norte e junho-julho na parte leste (BRASIL, 2012). A Figura 4 mostra o balanço médio anual entre precipitação e evaporação na região.

Figura 4: Precipitação menos evaporação, média anual (mm dia)



FONTE: BRASIL (2012)

O Brasil, embora seja privilegiado por um grande volume de água doce, possui uma vasta região de clima semiárido que abrange boa parte da região Nordeste e o

extremo norte e nordeste mineiros, onde a demanda de água excede a quantidade disponível. As inúmeras intervenções públicas com objetivo de solucionar a questão da escassez de água que afeta a população do Semiárido não foram suficientes, além disso, a água nessa região geralmente não atinge os níveis de qualidade necessários para o consumo humano, uma vez que as fontes são abertas e suscetíveis à contaminação (ANDRADE e NUNES, 2014; LUNA, 2011).

Nos anos de déficit pluviométrico ocorre o que chamamos de “seca”, isto é, quando ocorre um período prolongado de estiagem durante o período climatologicamente chuvoso, ou ainda, quando as precipitações pluviométricas ocorrem abaixo da normal por certo período de tempo. Por este motivo, a região foi denominada, em 1936, como “Polígono das Secas”, sendo até hoje conhecida por este codinome. O problema das secas no Semiárido Brasileiro possui uma série de variáveis que se correlacionam e formam um cenário de calamidade recorrente (BRASIL, 2012; PEREIRA, 2012; ANDRADE e NUNES, 2014).

A “seca” é definida de formas diferentes, dependendo da situação abordada. Pereira (2012) apresenta os quatro tipos mais reconhecidos, são eles: seca meteorológica: caracterizada pelo déficit da precipitação em relação ao valor normal; seca hidrológica: quando ocorre redução dos níveis médios de água nos reservatórios (superficiais e subterrâneos) por um determinado período de tempo; seca agrícola: a qual está relacionada à disponibilidade de água no solo para proporcionar o crescimento e desenvolvimento das plantas; e seca socioeconômica: relacionada com os impactos sobre as atividades humanas. No entanto, conforme Brasil (2012), este último tipo de seca é relativo, porque sem seca meteorológica, hidrológica e agrícola, não existe seca socioeconômica. A mesma é uma manifestação exacerbada das secas, enquanto problema da sociedade.

O desafio mais mencionado para o desenvolvimento sustentável do Semiárido é, sem dúvida, o fenômeno das secas. Em virtude das características naturais do Semiárido, a população tem historicamente tido que confrontar com o impacto destas sobre suas vidas e atividades produtivas. O grande desafio é encontrar formas de uso do ecossistema Caatinga que assegurem sua preservação, além de proporcionar uma oferta estável de bens e serviços (PEREIRA e BARACUHY, 2011).

Longos períodos de seca resultam em ameaça para a população que vive na região, além de potencializar processos de desertificação, causando um desequilíbrio no meio ambiente. As regiões de clima semiárido são vítimas desse processo natural em

função das suas características, porém, na maioria das vezes acaba sendo acelerado pelas ações antrópicas (MEDEIROS, L. R. A. et al., 2012).

Estudos apontam que no final do século XXI poderá ser registrado na região um aquecimento médio entre 2 e 4°C, com relação à média dos últimos 30 anos, e 15 a 20% mais seco. Com o aumento da temperatura, a evapotranspiração também deverá aumentar e a redução das chuvas reduzirá ainda mais a disponibilidade hídrica, o que implica em grande risco de desertificação (BRASIL, 2012).

No estado da Paraíba, a desertificação apresenta-se de diferentes formas e estágios, sendo intensificada principalmente por práticas de mineração, superpastejo de diversos animais, formas de irrigação inadequadas que provocam a salinização do solo e, o não uso de práticas conservacionistas na agricultura (MEDEIROS, L. R. A. et al., 2012).

Nas últimas décadas, o atendimento da demanda hídrica nas bacias hidrográficas do Semiárido Brasileiro foi marcado pela sucessiva construção de obras de médio e grande porte, como barragens e adutoras. No entanto, a distribuição de água às populações difusas continua deficiente e as dificuldades para atendê-las tendem a aumentar, caso não se realizem esforços para gerenciar adequadamente os recursos hídricos disponíveis. A adoção de medidas baseadas em tecnologias alternativas e estratégias de convivência com o Semiárido Brasileiro estão sendo cada vez mais priorizada em programas que visam o desenvolvimento sustentável da região. Essas medidas envolvem aspectos relacionados ao acesso à água e tecnologias e usos adaptados às condições de seca e aridez (NÓBREGA et al., 2012).

A Articulação no Semiárido Brasileiro (ASA) é uma rede de organizações da sociedade civil, fundada em 1999 durante a *3ª Conferência das Partes da Convenção de Combate à Desertificação e à Seca*, no Recife, que atua na gestão e no desenvolvimento de políticas de convivência com o Semiárido, a qual desenvolveu o Programa de Formação e Mobilização Social para a Convivência com o Semiárido (ASA, 2015).

O referido programa abriga tecnologias sociais populares de captação e armazenamento de água para consumo humano e para a produção de alimentos. Além disso, fortalece outras iniciativas de convivência com o Semiárido, como a construção do conhecimento agroecológico, as cooperativas de crédito voltadas para a agricultura familiar e camponesa, os bancos ou casas de sementes nativas, ou crioulas, os fundos rotativos solidários, a criação animal, a educação contextualizada e o combate à desertificação (ASA, 2015).

O Programa Um Milhão de Cisternas (P1MC) criado em 2003 é uma das ações do Programa de Formação e Mobilização Social para a Convivência com o Semiárido, seu objetivo é beneficiar cerca de cinco milhões de pessoas em toda região semiárida com água potável para beber e cozinhar, através das cisternas de placas (ASA, 2015).

As famílias beneficiadas pelo P1MC declararam ser satisfatório o desempenho do P1MC, e são unânimes em assumir o referido programa como provedor de melhorias de vida. Todavia, há relatos de que o P1MC detém erros em virtude da inexistência do monitoramento de problemas (rachaduras, vazamentos, etc.), e pelo não acompanhamento dos anseios das famílias (maior disponibilidade de água) (SILVA et al., 2013).

De acordo com Bonifácio (2011) a Articulação no Semiárido Brasileiro se abre a reflexões e críticas. O projeto busca a valorização do ser humano habitante do sertão, sempre aliado dos processos que visam garantir vida digna à população. À concentração de terra na região soma-se a concentração de água, materializada em grandes reservatórios de projetos de combate à seca, cercados, e construídos em terrenos particulares. Às famílias de camponeses resta o abastecimento, por meio de carros pipas, de água impura, às vezes barrenta, o que deixa toda região à sorte da falta de chuva, sendo seu povo tratado como incapaz e mantido subalterno de uma política assistencialista e eleitoreira.

A elevada quantidade de cisternas construídas traz à tona reflexões sobre a necessidade de levar em conta aspectos do aproveitamento de água de chuva na gestão dos recursos hídricos. Esses aspectos se desdobram em uma teia de relações que, por sua vez, estão em um entrelaçamento de programas e políticas insuficientemente articulados, provocando falhas na operação dos próprios sistemas envolvidos. Inseridas no foco de um conjunto de políticas públicas, as comunidades rurais ainda sofrem com a falta de articulação institucional e política que integrem, de forma mais ordenada, as ações planejadas para elas (NÓBREGA et al., 2012).

Outra ação do Programa de Formação e Mobilização Social para a Convivência com o Semiárido é o Programa Uma Terra e Duas Águas (P1+2). O P1+2 é um programa de formação e mobilização social para convivência com o Semiárido e seu objetivo é promover a construção de processos participativos de desenvolvimento rural no Semiárido Brasileiro, além da soberania, da segurança alimentar e nutricional e da geração de emprego e renda às famílias agricultoras, através do acesso e manejo sustentáveis da terra e da água para produção de alimentos (ASA, 2015).

Este último programa considera que a água para consumo humano já foi fornecida pelo P1MC e que o desafio é implantar a "segunda água", cuja finalidade é abastecer os animais e/ou produzir alimentos de maneira sustentável. Essa segunda fonte de água tem sido fornecida, principalmente, por meio da construção de cisternas e do aproveitamento de aluviões, com a construção de barragens subterrâneas (NÓBREGA, 2012).

### **2.3 Abastecimento e qualidade de água**

A qualidade de água apresentou sensíveis melhoras em países industrializados graças a investimentos em tratamento de água, com tecnologias avançadas e saneamento básico. O mesmo não ocorreu em países em desenvolvimento ou emergentes. Nunca na história da humanidade, foram observados impactos de magnitude dos que ocorrem atualmente. Os incidentes de degradação ambiental local e global multiplicam-se, com consequências severas no ciclo e ameaças reais à sobrevivência da vida (TUNDISI e MATSUMURA-TUNDISI, 2011).

A região Nordeste do Brasil detém apenas 3% do total de água doce do país, e suas águas subterrâneas apresentam-se, geralmente, com alta salinidade, impedindo seu aproveitamento para consumo humano, animal ou para a agricultura (LUNA, 2011).

As tradicionais fontes de água (rios, córregos, poços e nascentes) estão em processo contínuo de poluição por humanos, resíduos animais e produtos agroquímicos, provocando a disseminação de doenças de veiculação hídrica (BONIFÁCIO, 2011).

Os conceitos de qualidade da água e poluição estão comumente interligados. Porém, a qualidade da água reflete sua composição quando afetada por causas naturais e por atividades antrópicas. A poluição, entretanto, decorre de uma mudança na qualidade física, química, biológica ou radiológica, causada apenas por atividades antrópicas que podem ser prejudiciais ao uso presente, futuro e potencial do recurso hídrico (LIMA e FARIAS, 2011).

A qualidade da água é um conceito relativo que depende diretamente do uso a que se destina. A Resolução CONAMA 357/2005 dispõe sobre a classificação dos corpos hídricos, onde são estabelecidos condições e padrões de qualidade para águas doce, salobras e salinas, com enquadramento em treze classes e seus respectivos usos preponderantes.

Os principais parâmetros indicadores de qualidade em um manancial superficial incluem a temperatura, o oxigênio dissolvido, a salinidade, os nutrientes (nitrogênio e fósforo), o fitoplâncton (algas) e os sólidos suspensos. Ainda que muitos outros indicadores sejam importantes, estes são, em primeiro plano, o que se consideram como indicadores gerais de um corpo hídrico (LIMA e FARIAS, 2011).

Nesse contexto, faz-se necessário a busca por novos processos para obtenção de água com a qualidade desejável ao consumo humano e a captação da água de chuva vem despontando como uma opção interessante no processo de obtenção de água. Várias vantagens estão associadas à utilização das águas pluviais como: economia do usuário, redução de enchentes e diminuição de escassez (LUNA, 2011).

Considerando o baixo nível de atendimento por sistemas públicos de águas de abastecimento, populações difusas, situadas principalmente no interior dos estados nordestinos, tem se servido de cisternas como forma de aproveitamento da água proveniente da baixa pluviosidade que se concentra em um curto período do ano (SOUZA, et al., 2011).

O uso de cisternas para abastecimento de água das famílias que moram em regiões de escassez de recursos hídricos constitui uma importante forma alternativa para os moradores dessas localidades, uma vez que se trata de um sistema de captação e armazenamento que emprega dispositivos simples. Os problemas observados quanto ao uso dessas cisternas geralmente referem-se à qualidade da água, a qual é influenciada principalmente pelo manejo e o desvio das primeiras águas (SOUZA, et al., 2011).

A coleta de água de chuva é uma técnica popular em muitas partes do mundo e acontece a milhares de anos, especialmente em regiões áridas e semi-áridas (que abrangem mais ou menos 30 % da superfície da terra), onde as chuvas ocorrem somente em poucos meses do ano e com bastante variabilidade interanual. É uma prática muito difundida em países como a Alemanha e a Austrália, onde novos sistemas estão sendo desenvolvidos, permitindo a captação de água de boa qualidade de maneira simples e bastante efetiva em termos de custo/benefício (GNADLINGER, 2006; LUNA, 2011).

As cisternas utilizadas para captação da água de chuva são geralmente construídas em alvenaria, ferrocimento ou placas de cimento, sendo esta última opção a mais usada no Brasil. As cisternas de alvenaria e ferrocimento podem ser construídas apoiadas sobre o terreno, enquanto a cisterna de placas é construída semienterrada (BONIFÁCIO, 2011).

A captação de água de chuva destinada ao consumo humano pode ser considerada uma solução individual de abastecimento de água; se seguida do emprego de filtros domésticos e de cloração, será capaz de atender ao padrão de potabilidade vigente no país. Em muitas localidades do Semiárido Brasileiro, onde a escassez de recursos hídricos é vivenciada, as soluções alternativas e individuais são as principais fontes de abastecimento (BONIFÁCIO, 2011).

Também merece destaque o programa de abastecimento de água por meio de carros pipa — "Operação Pipa" — executado desde 1998 pelo Exército Brasileiro, em caráter emergencial e temporário. Esse programa é viabilizado por meio de convênios estabelecidos entre o Ministério da Integração (que detém os recursos financeiros) e o Ministério da Defesa (que operacionaliza). O abastecimento consiste em transportar, por meio de carros pipa, água de fontes hídricas convencionais na região para cisternas localizadas na zona rural que estejam com pouca ou nenhuma água disponível para consumo (NÓBREGA et al., 2012).

A qualidade de qualquer água é determinada pela qualidade da fonte de água, por sua exposição a contaminantes durante o processo da produção (captação, armazenamento, tratamento) e pela forma como chega ao consumidor. Para garantir água de beber segura, precisa-se de uma estratégia ampla que considere os riscos e o manejo de riscos em todas estas etapas. Assim, a qualidade da água da chuva captada em cisternas depende da pureza da atmosfera (que no Semiárido Brasileiro normalmente é boa), dos materiais usados para construir a área de captação e das impurezas depositadas na superfície do telhado - onde a exposição a raios ultravioletas, calor e dessecação no telhado já elimina grande parte de bactérias -, das calhas e bicas, que conduzem a água para a cisterna, da "ecologia da cisterna", da maneira como se tira a água da mesma, do contato humano e do tipo de tratamento antes do consumo (GNADLINGER, 2007).

A água de chuva, ao cair sobre o telhado, é captada, recolhida em calhas, segue por tubulações até os reservatórios, denominados cisternas ou caixas coletoras, onde fica armazenada para ser utilizada no período de estiagem. Entretanto, como o telhado recebe poeira e outras substâncias trazidas pelo vento, além de ser lugar de passagem de animais, como ratos, pássaros e insetos, a água, ao passar sobre ele, pode ser contaminada (BONIFÁCIO, 2011).

A qualidade da água das cisternas, especialmente quando destinada ao consumo humano, deve ser assumida como uma prioridade. Deste modo, a utilização de um

sistema para a remoção da água, que evite o contato direto com objetos externos, é uma necessidade na implantação de cisternas (DELFIACO, 2012).

Os dispositivos geralmente utilizados para minimizar, ou eliminar, o contato com agentes contaminantes externos que possam prejudicar a qualidade da água e promover a ocorrência de doenças são bombas manuais. Além disso, as mesmas facilitam a remoção da água quando seu nível está baixo (DELFIACO, 2012).

A água da chuva e também de outras fontes armazenadas nas cisternas devem ter sua qualidade monitorada pelas autoridades competentes, isto é de grande relevância para a população rural que, geralmente, utilizam a água armazenada nas cisternas para consumo humano. Ao utilizarem água em condições inadequadas para consumo, acabam expostas ao risco de enfermidades de veiculação hídrica. Encarregar o próprio consumidor de controlar a qualidade da água é uma postura incorreta, uma vez que o seu conhecimento quanto aos riscos que a água pode oferecer à saúde é praticamente inexistente (AMARAL, et al., 2003).

O uso racional dos recursos hídricos com procedimentos como reutilização ou reuso da água e captação das águas pluviais é importante e representa um passo fundamental para evitar o caos hídrico que se anuncia (LUNA, 2011).

#### **2.4 Doenças de veiculação hídrica**

As doenças infecciosas causadas por bactérias patogênicas, vírus e parasitas (por exemplo, protozoários e helmintos) são o risco mais comum e difundido a saúde associados à água. O problema de saúde pública é determinado pela gravidade e incidência das doenças associadas a patógenos, a sua infecciosidade e da população exposta. Em populações vulneráveis, a evolução da doença pode ser mais grave (WHO, 2011).

Apesar das grandes descobertas a mais de um século e meio, boa parte da população do mundo, nos dias atuais, ainda vive sem acesso à água de qualidade segura. A exposição ao risco das doenças que podem ser veiculadas pela água persiste, sobretudo, nos chamados países em desenvolvimento, onde as intervenções em saneamento beneficiam somente uma parcela da população (LUNA, 2011).

As doenças infecciosas relacionadas com a água de consumo são, sem dúvida, importantes agravos que podem acometer a população. São relevantes na medida em que apresentam caráter agudo, podem acometer grande número de indivíduos ao mesmo

tempo, apresentam significativa abrangência espacial e, em alguns casos, levam ao óbito. A ocorrência de microorganismos patogênicos ou substâncias/produtos químicos na água de consumo pode estar relacionada a um sistema de abastecimento em que não exista tratamento ou este é inadequado (BRASIL, 2006).

A importância das características biológicas das águas naturais manifesta-se, principalmente, na possibilidade de transmitir doenças. Uma série de enfermidades pode ser transmitida por meio da ingestão ou contato com água contaminada (LIBÂNIO, 2008), como mostra a Tabela 2.

Tabela 2: Principais doenças de veiculação hídrica

Organismos	Principais Doenças	Quantidade excretada por indivíduo contaminado/ g (fezes)	Máxima sobrevivência na água (dias)	Dose Infectante*
<i>Escherichia coli</i>	Gastroenterite	$10^8$	90	$10^2 - 10^9$
<i>Salmonella typhi</i>	Febre tifoide	$10^6$	-	-
<i>Vibrio cholerae</i>	Cólera	$10^6$	30	$10^8$
<i>Cryptosporidium</i>	Cryptosporidiose	$10^2$		1 – 30**
<i>Entamoeba histolytica</i>	Disenteria amebiana e amebíase	$10^7$	25	10 – 100
<i>Giardia lamblia</i>	Giardíase	$10^5$	25	1-10
<i>Adenovírus</i> (31 vírus)	Doenças respiratórias	$10^6$		
<i>Enterovírus</i> (71 tipos)	Gastroenterite, anomalias no coração e meningite	$10^7$	90	1-72
<i>Hepatite A</i>	Hepatite infecciosa	$10^6$	5 – 27	1 – 10
<i>Rotavírus</i>	Gastroenterite	$10^6$	5 – 27	1 – 10
<i>Ascaris lumbricóides</i>	Ascaridíase	$10 - 10^4$	365	2 – 5
<i>Taenia solium</i> (solitária)	Cisticercose	$10^3$	270	1
<i>Schistosoma mansoni</i> ***	Esquistossomose			

\* Dose infectante que provoca sintomas clínicos em 50% dos indivíduos testados.

\*\* Variável com o estado de saúde do indivíduo.

\*\*\* Transmitido principalmente pelo contato com água contaminada

FONTE: LIBÂNIO (2008)

A maioria dos organismos patogênicos é introduzida na água de abastecimento por meio de contaminação com fezes humanas ou de animais, não crescem na água, porém iniciam a infecção no trato gastrointestinal, logo após a ingestão. Outros mecanismos de transmissão podem incluir a inalação, levando a infecções do trato respiratório, e contato, levando a infecções em locais diversos como a pele e o cérebro (WHO, 2011).

A quantidade insuficiente de água também apresenta relevância na transmissão de doenças, que podem ser causadas por hábitos higiênicos insatisfatórios ou pela procura de fontes alternativas de abastecimento, que constituem potenciais riscos à saúde pelo uso de águas de baixa qualidade (BRASIL, 2006).

A identificação de organismos patogênicos na água requer muito tempo, é complexa e dispendiosa. Assim recorre-se à identificação dos organismos indicadores de contaminação, na interpretação de que sua presença apontaria o contato com matéria de origem fecal (humana ou animal) e, portanto, o risco potencial da presença de organismos patogênicos em altas concentrações. A *Escherichia coli*, bactéria do grupo coliformes, é o microorganismo indicador mais preciso de contaminação fecal (BRASIL, 2006).

A contaminação química, geralmente, é motivo de preocupação apenas após a exposição a longo prazo, no entanto, alguns produtos químicos perigosos que ocorrem em água de consumo humano podem causar efeitos decorrentes de sequências de exposições durante um curto período, como por exemplo, concentrações de nitrato e nitrito, que estão associado com metemoglobinemia em bebês (WHO, 2011).

A qualidade da água tem uma grande influência sobre a saúde, se não for adequada pode ocasionar surtos de doenças e causar sérias epidemias. Os riscos à saúde, associados à água, podem ser de curto prazo (quando resultam da poluição de água causada por elementos microbiológicos ou químicos) ou de médio a longo prazo (quando resultam do consumo regular e contínuo, durante meses ou anos, de água contaminada com produtos químicos, como por exemplo, certos metais ou pesticidas) (LUNA, 2011).

Aliado a inconstância climática no Semiárido Brasileiro, o acúmulo de água de chuva nos barreiros e açudes, típicos da região, é acompanhado de poluição e microorganismos, trazendo como consequência grande parte das doenças, a exemplo, amebíase e giardíase, bastante comuns na região (LUNA, 2011).

## 2.5 Cimento: o principal material utilizado na construção das cisternas

As cisternas de placas foram usadas originalmente em comunidades de pequenos agricultores e atualmente estão sendo construídas no P1MC, a qual fica enterrada no chão até mais ou menos dois terços da sua altura. Ela consiste em placas de concreto, com tamanho, geralmente, de 50 por 60 cm e com 3 cm de espessura, que estão curvadas de acordo com o raio projetado da parede da cisterna, dependendo da capacidade prevista (GNADLINGER, 2006).

O revestimento interno da cisterna é feito inicialmente com uma camada de chapisco, e em seguida aplica-se uma camada de argamassa (mistura cimento:areia de 1:4), sem emendas e com espessura de 1,5 a 2,0 cm. As paredes internas e o piso de concreto são impermeabilizados apenas com lama de cimento forte, ou, em alguns casos, com impermeabilizantes à base de cimento (GNADLINGER, 2006; AZEVEDO et al., 2007).

O cimento pertence à classe dos materiais classificados como aglomerantes hidráulicos, esse tipo de material em contato com a água entra em processo físico-químico, tornando-se um elemento sólido com grande resistência a compressão e à água. Com diferentes adições durante a produção, obtém-se um dos cinco tipos básicos existentes no mercado brasileiro: cimento Portland comum, cimento Portland composto, cimento Portland de alto forno, cimento Portland pozolânico e cimento Portland de alta resistência inicial (GALHARDO, 2014).

Os componentes fundamentais do cimento Portland são cal (CaO), sílica (SiO<sub>2</sub>), alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), óxido de ferro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), certa proporção de magnésia (MgO), uma pequena porcentagem de anidrido sulfúrico (SO<sub>3</sub>) e impurezas, como óxido de sódio (Na<sub>2</sub>O), óxido de potássio (K<sub>2</sub>O), óxido de titânio (TiO<sub>2</sub>) e outras substâncias de menor importância. Cal, sílica, alumina e óxido de ferro constituem, geralmente, 95 a 96% do total dos óxidos; magnésia, 2 a 3%; e os outros óxidos, 1 a 2%. A mistura de matérias prima que contenham em proporções convenientes esses constituintes, finamente pulverizada e homogeneizada, é submetida à ação do calor, obtendo-se o *clinker*. Após as reações químicas ocorridas neste processo, formam-se silicato tricálcico e bicálcico, aluminato tricálcico e ferro aluminato tetracálcico (BAUER, 2012).

Os constituintes do cimento endurecido podem reagir quimicamente com diferentes substâncias. As águas puras, ácidas, não salinas atuam provocando sua deterioração por meio de mecanismos em que preponderam fenômenos de lixiviação,

que hidrolisam e removem o  $\text{Ca(OH)}_2$  liberado na hidratação do cimento e também  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , constituintes dos compostos hidratados. Além da lixiviação, podem ocorrer reações de expansão, provocadas pela formação de novas composições sólidas, devido principalmente à presença de sulfatos na água (LIBÂNIO, 2008; BAUER, 2012).

Indicações muito precisas sobre a agressividade das águas para o concreto foram adotadas nas normas e diretrizes técnicas de alguns países. A Tabela 3 apresenta os valores limite que determinam o grau de agressividade das substâncias que atacam o cimento, estabelecidos na Norma DIN 4030 da Alemanha.

Tabela 3: Valores limite para o grau de agressividade

Parâmetros	Grau de agressividade		
	Fraco	Forte	Muito forte
pH (mg/L)	6,5 - 5,5	5,5 - 4,5	Inferior a 4,5
$\text{CO}_2$ (mg/L)	15 - 30	30 - 60	Superior a 60
$\text{NH}_4^+$ (mg/L)	15 - 30	30 - 60	Superior a 60
$\text{Mg}^{2+}$ (mg/L)	100 - 300	300 - 1500	Superior a 1500
$\text{SO}_4^{2+}$ (mg/L)	200 - 600	600 - 2500	Superior a 2500

Fonte: Bauer (2012)

Outras influências também devem ser levadas em consideração. A água sob temperatura e pressão elevada pode atacar mais fortemente o cimento e águas em corrente são, por exemplo, mais perigosas que as águas estagnadas, porque arrastam os produtos da reação e renovam as substâncias agressivas (BAUER, 2012).

Em estudos realizados por Cardoso et al. (2005), Ferreira, W. B. (2008) e Souza et al. (2011) foram observadas concentrações elevadas de alumínio em águas armazenadas em cisternas com construção recente, sugerindo-se a liberação de alumínio a partir da argamassa de cimento usada no revestimento desses reservatórios. Fato que motiva mais uma preocupação a respeito do abastecimento de água no Semiárido Brasileiro.

Considerando a liberação de alumínio a partir da argamassa de cimento, a utilização de cloro em cisternas, principal forma de tratamento da água com fins bacteriológicos, pode agravar ainda mais a dissolução de alumínio, pois o cloro torna a água mais ácida, conseqüentemente mais agressiva (FERREIRA, W. B., 2008).

## 2.6 Alumínio

O alumínio é o elemento metálico mais abundante e constitui cerca de 8% da crosta terrestre. É liberado no meio ambiente por processos naturais de erosão do solo, erupções vulcânicas e por ações antrópicas. A fonte mais importante de obtenção do metal é a bauxita, que contém 55% de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Seus sais são largamente utilizados no tratamento de água, como coagulantes para reduzir os níveis de matéria orgânica, cor, turbidez e microrganismos (WHO, 2011; FERREIRA, P. C. et al., 2008).

Este metal pode chegar até o organismo dos seres humanos de diversas formas: por via inalatória, através de nanopartículas que entram no corpo e são incorporadas por vários tecidos e órgãos; por via oral, através de água, alimentos e medicamentos; e por via intravenosa, através de preparados de nutrição parenteral, soluções de diálise, de KCl, NaCl e insulina (BOHRER et al., 2002; NOREMBERG, 2010; SILVA JUNIOR et al., 2013a).

Ingestão de alumínio a partir de alimentos, especialmente aqueles que contêm compostos de alumínio utilizados como aditivos alimentares, representam a principal via de exposição de alumínio para o público em geral. A contribuição da água tratada com sais de alumínio é geralmente menor que 5% do consumo total. No entanto, é na água onde se apresenta a forma mais biodisponível para ser absorvido pelo intestino. A biodisponibilidade do alumínio depende da forma presente na água, que geralmente é maior quando formas solúveis incluem o íon livre  $\text{Al}^{3+}$ , os complexos monoméricos com  $\text{OH}^-$  e  $\text{F}^-$ , Al na forma coloidal ou associado à matéria orgânica. Os complexos monoméricos com o ânion hidroxila,  $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_2^+$  e  $\text{Al}(\text{OH})_4^-$  representam as formas mais tóxicas (WHO, 2011; MARTYN et al., 1997; RONDÓN-BARRAGÁN et al., 2007).

Após longo tempo de exposição, o alumínio pode causar doenças nos osso e no cérebro, havendo também a hipótese que o mesmo represente risco para o desenvolvimento da Doença de Alzheimer (DA) (BOHRER, et al., 2002; BRUNO, 2014).

O acúmulo de Al em pacientes urêmicos pode resultar em doenças relacionadas com a diálise, incluindo síndrome da encefalopatia dialítica, anemia microcítica não relacionada com Fe, e doenças ósseas induzidas por Al. Alta biodisponibilidade do Al livre no meio fisiológico levou a hipótese de que ele pode competir com outros metais,

causando mudanças na atividade de muitas enzimas bem como afetando o processo de mineralização dos ossos (MENDEL, 1996 apud NOREMBERG, 2010).

Em 1965 foi mencionado que a inoculação intracerebral de fosfato de alumínio em coelhos resultava em degeneração neurofibrilar com uma grande semelhança à degeneração da DA, e em 1973 foi publicada a primeira evidência da relação entre o metal e esta doença, quando foram encontradas concentrações elevadas de alumínio em todos os cérebros de pacientes falecidos com diagnóstico da DA (FERREIRA, P. C. et al., 2008).

Ferreira, P. C. et al. (2008) fez uma revisão da literatura e selecionou 34 trabalhos sobre o assunto, destes, 68% estabeleceram relação entre o metal e a DA, verificando que o Alumínio intervém em diversos processos neurofisiológicos responsáveis pela degeneração característica dessa doença, 23,5% não apresentaram dados conclusivos e 8,5% não estabeleceram nenhuma relação.

Apesar de indicações da relação entre a ingestão de alumínio e a ocorrências de doenças, no Brasil a legislação vigente que trata dos padrões de potabilidade da água (Portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde) não considera o alumínio como substância química que representa risco à saúde, mas sim, como parâmetro organoléptico e determina Valor Máximo Permissível (VMP) de 0,2 mg/L. Conforme Brasil (2006), valores superiores à este padrão podem provocar deposições de hidróxido de alumínio nas redes de distribuição e ainda promover o aumento de cor da água, devido à presença de ferro.

O grande problema na associação da DA com a ingestão de alumínio pela água de consumo humano, é que, mesmo em concentrações elevadas de Al, a água contribui com uma pequena fração da ingestão total. Em particular, os consumidores regulares de antiácidos ingerem quantidades em gramas de Al diariamente, milhares de vezes maiores que as quantidades ingeridas através da água potável, e estudos epidemiológicos têm mostrado relação negativa entre a ingestão de antiácido e a DA. Enquanto isso, nove de treze estudos epidemiológicos publicados de Al em água potável e DA mostraram relações positivas estatisticamente significativas, provavelmente devido a sua biodisponibilidade neste meio (FLATEN, 2001).

Embora tenham sido realizados muitos estudos sobre o possível envolvimento do alumínio em uma variedade de doenças humanas, o que proporcionou avanços no conhecimento dos efeitos deste metal, principalmente no sistema nervoso central, ainda

não está totalmente esclarecido o mecanismo exato e a atividade funcional do alumínio, tanto nesse sistema quanto nos demais (SILVA JUNIOR, 2013b).

No conjunto, a relação positiva entre o alumínio em água potável e a DA não pode ser totalmente descartada. No entanto, fortes reservas quanto a inferir uma relação causal são garantidos em vista do fracasso para explicar os mecanismos dessa relação. Um risco atribuível à população não podem ser calculado com precisão, porque as estimativas de risco são imprecisas por uma variedade de razões, no entanto, tais previsões imprecisas podem ser úteis na tomada de decisões sobre a necessidade de controlar riscos de alumínio na população em geral (WHO, 2011).

A DA é uma desordem neurodegenerativa, predominante na população idosa, caracterizada clinicamente pela perda progressiva da memória e de outras habilidades cognitivas e, patologicamente, por perda neuronal severa, proliferação glial e placas amilóides compostas da proteína  $\beta$ -amilóide ( $A\beta$ ), rodeadas de terminações nervosas degeneradas e de emaranhado neurofibrilar. O diagnóstico dessa patologia é dado quando são excluídas outras causas de demência, pois somente a necropsia permite estabelecer diagnóstico definitivo da DA (FERREIRA, P. C. et al., 2008; SELKOE, 1994).

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Local do Estudo

A Comunidade Santa Luzia pertence ao município de Picuí, estado da Paraíba, o qual está situado na mesorregião da Borborema, microrregião Seridó Oriental, a 242 km de distância da capital paraibana, João Pessoa. O município possui área territorial que abrange 661,658 km<sup>2</sup> e população de 18.222 habitantes (IBGE, 2014). A comunidade é formada por 230 famílias, das quais 192 moram em uma vila com coordenadas geográficas 06°26'6,8"S e 36°17'34,5"W, como ilustrado na Figura 5.

Figura 5: Imagem de satélite da Vila Santa Luzia



FONTE: GOOGLE MAPAS (2014)

Esta comunidade não dispõe de rede de distribuição de água tratada, o abastecimento de água para consumo humano é realizado através de um sistema de dessalinização de água que utiliza membranas de osmose inversa, localizado na própria comunidade, o qual é mostrado na Figura 6. Este sistema possui seis elementos de membranas e capacidade máxima de produção de 1.500 L/h, no entanto, cada família

recebe em média apenas 60 litros de água por semana para beber e cozinhar devido à baixa vazão do poço que abastece este sistema de dessalinização.

Figura 6: Dessalinizador de água



O abastecimento de água para usos múltiplos é realizado através de fontes alternativas, principalmente, pela operação pipa que transporta água do Açude Boqueirão, localizado em Parelhas, estado do Rio Grande do Norte. Além desta, existem alguns poços particulares, um poço comunitário (Figura 7) e um pequeno manancial conhecido como “Olho d’água” (Figura 8). Quando a água dessalinizada fornecida é insuficiente, a população utiliza também água dessas fontes para consumo humano sem realização de nenhum tratamento.

Figura 7: Poço comunitário

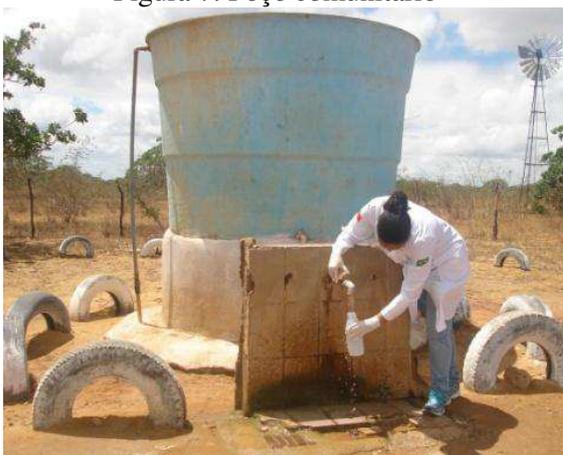


Figura 8: “Olho d’água”



### 3.2 Avaliação bacteriológica da água de consumo humano

As análises bacteriológicas, assim como todas as outras descritas neste trabalho foram realizadas no Laboratório de Referência em Dessalinização (LABDES) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

Coletaram-se amostras de água usada para consumo humano (Figura 9) em 30 domicílios selecionados aleatoriamente para quantificação de coliformes totais e *Escherichia coli*. As coletas foram realizadas em dois períodos, compreendendo agosto/2013 a março/2014 e agosto/2014 a fevereiro/2015. Nos mesmos períodos, também foram coletadas amostras de água diretamente no dessalinizador.

Figura 9: Coleta de amostra da água de consumo humano



Todas as análises foram realizadas em triplicata, utilizando-se a técnica do substrato cromogênico Colilert<sup>®</sup>, de acordo com a metodologia descrita no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA/AWWA/WEF, 1998).

Para avaliar se houve diferença significativa entre os resultados de coliformes totais e *Escherichia coli*, nas amostras de água coletadas nas residências, dos dois períodos de coletas foi utilizado o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, uma vez que as variâncias não apresentaram homogeneidade. O intervalo de confiança usado foi de 95% e o teste foi realizado através do software Minitab<sup>®</sup> 16.0.

### 3.3 Avaliação físico-química das águas de usos múltiplos e consumo humano

As amostras de água de usos múltiplos foram coletadas nas 30 residências, enquanto que as amostras de água de consumo humano para fins de análises físico-químicas foram coletadas em apenas 3 residências escolhidas aleatoriamente, tendo em

vista que todas eram procedentes do dessalinizador e transportadas e armazenadas de maneira semelhante, por isso, não devem apresentar grandes variações.

Estas amostras foram submetidas a análises para avaliação de pH, turbidez, cor, cloreto, sódio, sulfato, dureza total, ferro, alumínio, nitrato, nitrito, amônia e sólidos totais dissolvidos. Todos os parâmetros foram determinados de acordo com a metodologia descrita no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA/AWWA/WEF, 1998).

Enquanto as águas de consumo humano eram armazenadas diretamente nos filtros e potes de barro, as águas de usos múltiplos provenientes das fontes alternativas de abastecimento se encontravam armazenadas em cisternas, tanques de cimento, caixas d'água e recipientes plásticos, como ilustrado na Figura 10.

Figura 10: Coleta de amostra da água de usos múltiplos



Todos os resultados foram comparados com os padrões de potabilidade estabelecidos na Portaria 2.914/2011, tendo em vista sua utilização para consumo humano quando a água dessalinizada fornecida é insuficiente.

Para comparação dos resultados de cada parâmetro com relação às fontes de abastecimento e das concentrações de alumínio com relação ao tipo de reservatório também se utilizou o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, com 95% de confiança, através do software Minitab<sup>®</sup> 16.0, o qual foi aplicado devido à heterogeneidade das variâncias e a inexistência de vínculo entre os fatores de variação, no caso, as fontes de abastecimento e os tipos de reservatórios.

### 3.4 Classificação das fontes alternativas de abastecimento

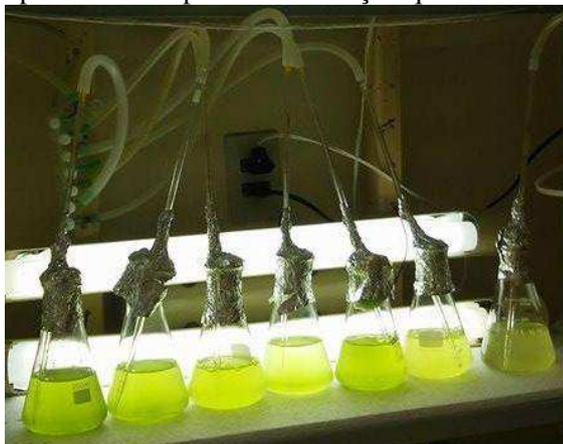
Análises de ecotoxicidade, *Escherichia coli*, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), oxigênio dissolvido (OD), turbidez, cor, pH, alumínio, cloreto, ferro, fósforo, nitrato, nitrito, amônia e sulfato foram utilizadas para classificar as fontes alternativas de abastecimento (operação pipa, poço comunitário e “Olho d’água”), de acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005. Desta forma, foi possível averiguar a conformidade entre a qualidade das águas de fontes alternativas de abastecimento e os usos preponderantes dessas águas na comunidade em estudo.

Para as análises bacteriológicas e físico-químicas utilizaram-se as metodologias descritas no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA/AWWA/WEF, 1998). Os ensaios de ecotoxicidade foram realizados de acordo com a NBR ABNT 12.648/2011, a qual especifica um método de avaliação da toxicidade crônica para microalgas da família *Chlorophyceae*. A espécie utilizada foi a *Chlorella vulgaris*, cultivada em meio de cultura Bold's Basal Medium (BBM).

Realizou-se uma determinação qualitativa de ecotoxicidade utilizando amostras sem diluição, estas foram enriquecidas com as mesmas quantidades de soluções usadas na preparação do meio de cultura BBM. Foi adicionado 1 mL da cultura de microalgas *Chlorella vulgaris* na sua fase exponencial de crescimento em 100 mL das amostras enriquecidas e no controle (composto apenas por BBM), de forma que a concentração inicial de microalgas fosse  $10^5$  células/mL.

Os recipientes testes, mostrados na Figura 11, com três réplicas do controle e de cada uma das amostras enriquecidas, foram mantidos a  $25 \pm 2^\circ\text{C}$ , 4.500 lux e aeração constante por 72 horas. Estes recipientes foram distribuídos de forma aleatória, tendo suas posições alternadas todos os dias.

Figura 11: Recipientes testes para determinação qualitativa de ecotoxicidade



O ensaio foi validado de acordo com as recomendações da norma utilizada, considerado: i) aumento de 16 vezes da biomassa algácea média do controle, após 72 horas de exposição; e ii) coeficiente de variação da biomassa algácea entre as réplicas do controle inferior ou igual a 20%.

O crescimento algáceo foi determinado a partir de contagens com câmara de Neubauer em microscópio óptico e analisado estatisticamente através do Teste de Fisher, exigido pela NBR ABNT 12.648/2011, para verificar a existência de diferenças significativas entre o controle (A) e as amostras de água da operação pipa (B), “Olho d’água” (C) e poço comunitário (D), com intervalo de confiança de 95%. Para a análise estatística, utilizou-se o software Minitab<sup>®</sup> 16.0.

### **3.5 Investigação de doenças de veiculação hídrica**

Efetuuou-se um levantamento de dados a partir de resultados de exames parasitológicos com o intuito de identificar indivíduos contaminados por parasitos patogênicos. Para isto, utilizaram-se exames de 36 pessoas residentes nos domicílios onde foram coletadas amostras de água, 14 homens e 22 mulheres. Entre as pessoas 5 têm idade entre 0 e 14 anos, 17 entre 15 e 60 anos, e 14 têm mais de 60 anos.

### **3.6 Estudo do transporte de componentes da argamassa de cimento para a água**

Buscando comprovar que altas concentrações de alumínio encontradas nas águas armazenadas em cisternas, ou outros tipos de reservatórios construídos por alvenaria, também podem ter origem na liberação de compostos por parte da argamassa de cimento usada no revestimento das mesmas, além de tentar elucidar os fenômenos que envolvem essa liberação, foram elaborados corpos de prova com mesma composição que os revestimentos utilizados nas cisternas da Comunidade Santa Luzia.

Para dimensionamento dos corpos de prova, a fim de deixá-los imersos em 1 L de água deionizada, foi considerada a área de contato entre o revestimento de argamassa de cimento e a água em uma cisterna de placas com capacidade para 16.000 L, que geralmente possui altura de 2,40 m e raio de 1,46 m. Os cálculos são mostrados a seguir:

$$A_{\text{base}} = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot (1,46 \text{ m})^2 = 6,70 \text{ m}^2 \quad (\text{Equação 1})$$

$$A_{\text{lateral}} = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot h = 2 \cdot \pi \cdot 1,46 \text{ m} \cdot 2,40 \text{ m} = 22,02 \text{ m}^2 \quad (\text{Equação 2})$$

$$A_{\text{total}}(\text{em contato com a água}) = A_{\text{base}} + A_{\text{lateral}} = 28,72 \text{ m}^2 \quad (\text{Equação 3})$$

$$V = A_{\text{base}} \cdot h = 6,70 \text{ m}^2 \cdot 2,40 \text{ m} = 16,08 \text{ m}^3 = 16.080 \text{ L} \quad (\text{Equação 4})$$

$$\frac{28,72 \text{ m}^2}{A} = \frac{16.080 \text{ L}}{1 \text{ L}} \rightarrow A = 0,0018 \text{ m}^2 \rightarrow A = 18 \text{ cm}^2 \quad (\text{Equação 5})$$

Com base nos cálculos realizados, os corpos de prova foram elaborados com 4,0 cm x 4,5 cm, totalizando 18 cm<sup>2</sup> e tendo 2 cm de espessura, pois, de acordo com Azevêdo et al. (2007) o revestimento da parede interna das cisternas possui aproximadamente essa medida de espessura.

Os corpos de prova, com dimensões 4,0 x 4,5 x 2,0 cm, foram compostos por uma mistura de cimento Portland comum Poty<sup>®</sup> e areia na proporção 1:4 e impermeabilizados com lama de cimento, assim como é feito na construção de cisternas da comunidade em estudo, com tempo de cura de 30 dias.

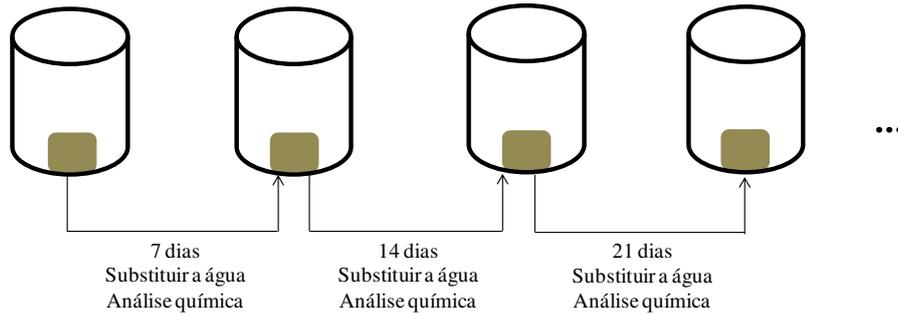
Ao longo de dois meses, foram realizados ensaios para avaliar o transporte de cálcio, alumínio, ferro e sílica, que constituem os principais componentes do cimento. Para isso, os corpos de prova ficaram imersos em 1 L de água deionizada como mostra a Figura 12.

Figura 12: Corpo de prova imerso em água deionizada



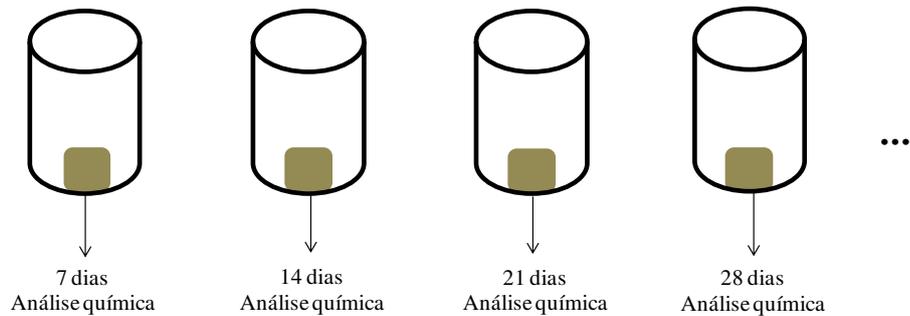
Para estudar as concentrações das substâncias em função das renovações de água foi efetuado um ensaio onde a água era substituída a cada 7 dias, como ilustra a Figura 13, totalizando 8 renovações de água, sendo a última análise realizada no 63º dia.

Figura 13: Renovações de água



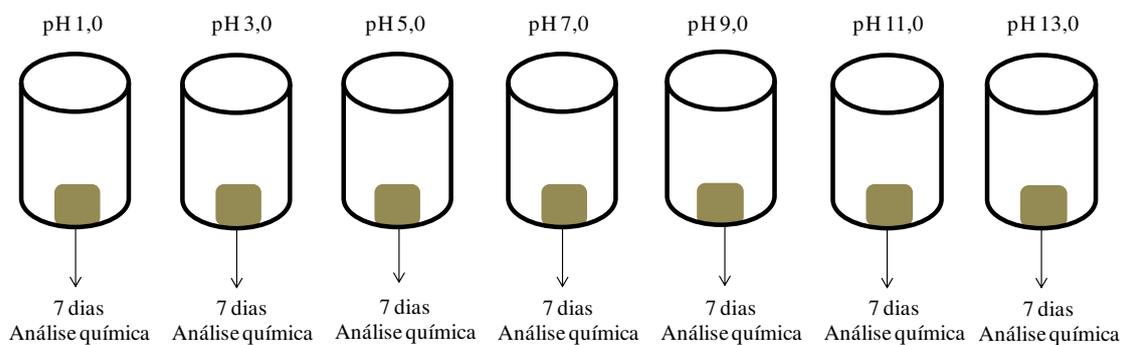
Para verificar o comportamento das concentrações em função do tempo de contato entre os corpos de prova e a água, efetuaram-se nove ensaios, nos quais os corpos de prova ficaram em contato com a água durante tempos pré-determinados variando de 7 a 63 dias como mostra a Figura 14.

Figura 14: Tempo de contato



Por fim, sete ensaios foram utilizados para avaliar a influência do pH da água no transporte de substâncias da argamassa de cimento, onde corpos de prova ficaram imersos em águas com valores de pH variando entre 1,0 e 13,0, ajustados com a utilização de ácido clorídrico e hidróxido de sódio, como mostra a Figura 15.

Figura 15: Variações de pH



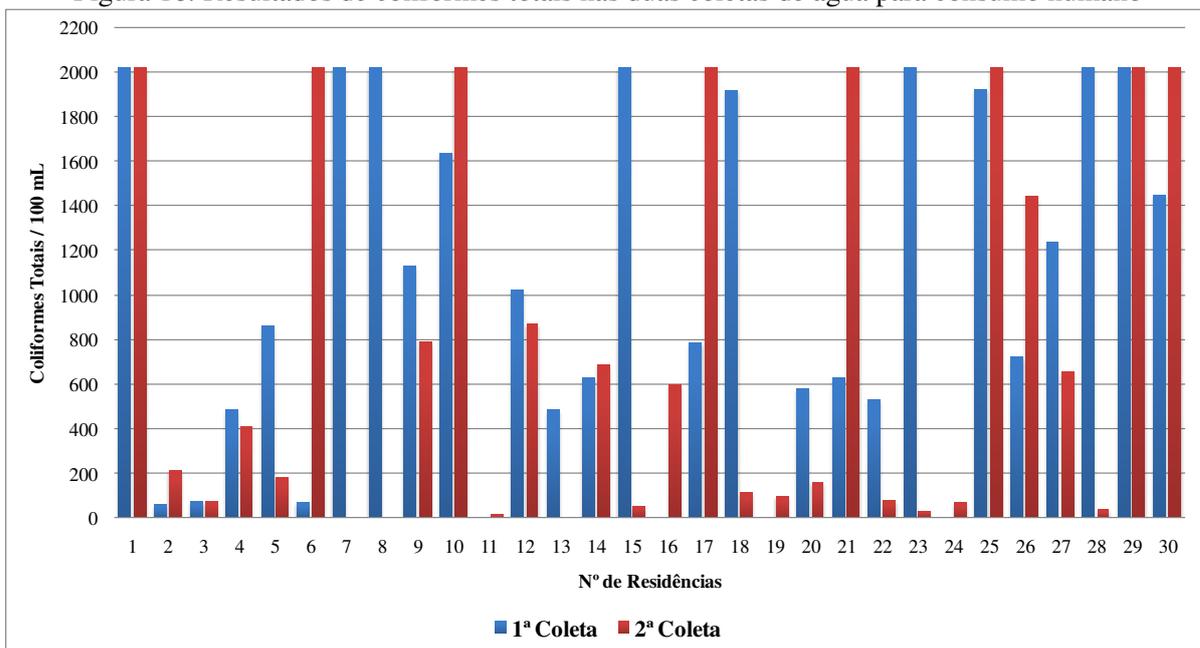
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Avaliação bacteriológica da água de consumo humano

De acordo com a Portaria 2.914/11, coliformes totais e *Escherichia coli* devem estar ausentes em águas utilizadas para consumo humano. Estas bactérias foram pesquisadas nas amostras de água coletadas diretamente nos filtros e potes de barro das residências. Todas as amostras são provenientes do dessalinizador.

No primeiro período de coletas, foram encontrados coliformes totais nas amostras de água de consumo humano em 29 residências (96,7%), com resultados variando entre 5 e 2.022 coliformes/100mL, enquanto que no segundo período, amostras de 28 residências (93,3%) apresentaram coliformes totais com resultados variando entre 6,20 e 2.022 coliformes/100mL, como ilustra a Figura 16.

Figura 16: Resultados de coliformes totais nas duas coletas de água para consumo humano

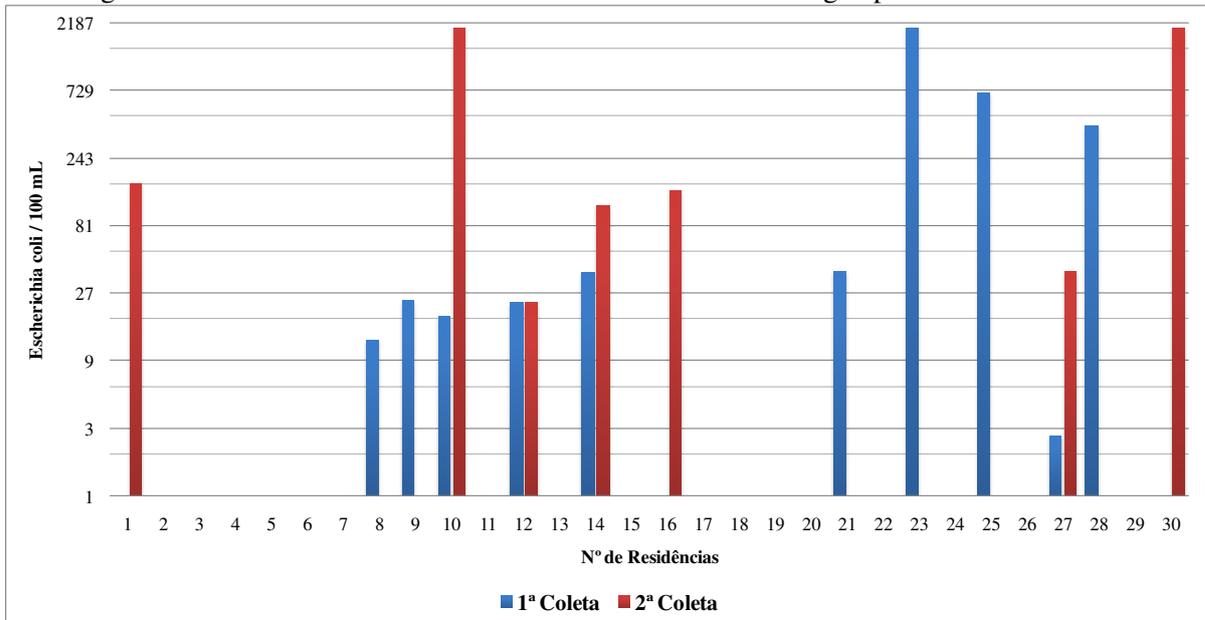


A água produzida através da dessalinização por osmose inversa apresenta excelente qualidade, pois as bactérias também são removidas junto com os sais. Após a produção da água potável, a mesma pode ser contaminada através do contato com recipientes que não passaram por uma correta higienização. As altas concentrações encontradas dessas bactérias na água de consumo humano demonstram a falta de tratamento adequado nas residências, nas quais não se utiliza cloração que evitaria contaminações e proliferações das bactérias.

As médias gerais dos resultados de coliformes totais nos dois períodos de coleta não apresentaram diferença estatisticamente significativa, com 95% de confiança, sendo P-valor = 0,049.

Na Figura 17, observa-se que no primeiro período de coletas foi encontrada *Escherichia coli* nas amostras de 10 residências (33,3%) com valores variando entre 2,67 e 2.022 coliformes/100 mL. Já no segundo período, esta bactéria foi encontrada nas amostras de 7 residências (23,3%) com valores variando entre 23,33 e 2.022 coliformes/100 mL. A comparação entre as médias gerais de *Escherichia coli* nos dois períodos de coleta não mostrou diferença estatisticamente significativa, com 95% de confiança, sendo P-valor = 0,436.

Figura 17: Resultados de *Escherichia coli* nas duas coletas de água para consumo humano



A contaminação por *Escherichia coli* é ainda mais preocupante, sua presença pode ocasionar diarreia aguda, além de ser utilizada como indicação de contaminação fecal podendo estar também presentes outros organismos patogênicos. Essas contaminações podem ter origem no manuseio da água com as mãos sujas e através de vetores, como moscas e outros insetos que porventura pousam nos recipientes de água.

Com base nas Figuras 16 e 17, foi observada certa homogeneidade nas contaminações, já que as análises não apresentaram diferença estatisticamente significativa entre os dois períodos de coletas.

Nenhuma das residências teve resultados negativos nas duas coletas para o total de bactérias pesquisadas, o que mostra o quanto a população encontra-se exposta a risco de

doenças de veiculação hídrica. A contaminação dessas águas ocorreu, sem dúvida, durante o transporte e/ou armazenamento das mesmas, uma vez que amostras de água coletadas diretamente no dessalinizador não apresentaram contaminação com coliformes totais e consequentemente, *Escherichia coli*.

#### **4.2 Avaliação físico-química das águas de consumo humano e usos múltiplos**

Nesta etapa foram coletadas amostras de água nas 30 residências apenas no primeiro período de coletas, desta forma, os resultados referem-se à apenas uma amostra de água.

Em todas as residências visitadas, a principal água utilizada para consumo humano era proveniente do sistema de dessalinização da comunidade, como já mencionado anteriormente. Esta água é transportada em baldes ou garrações plásticos e armazenada diretamente em filtros e potes de barro. Os resultados físico-químicos de todas as amostras coletadas apresentaram muita semelhança entre si, não ultrapassando, em nenhum caso, os Valores Máximos Permissíveis (VMP) pela Portaria de Potabilidade do Ministério da Saúde 2.914/2011 para água destinada ao consumo humano.

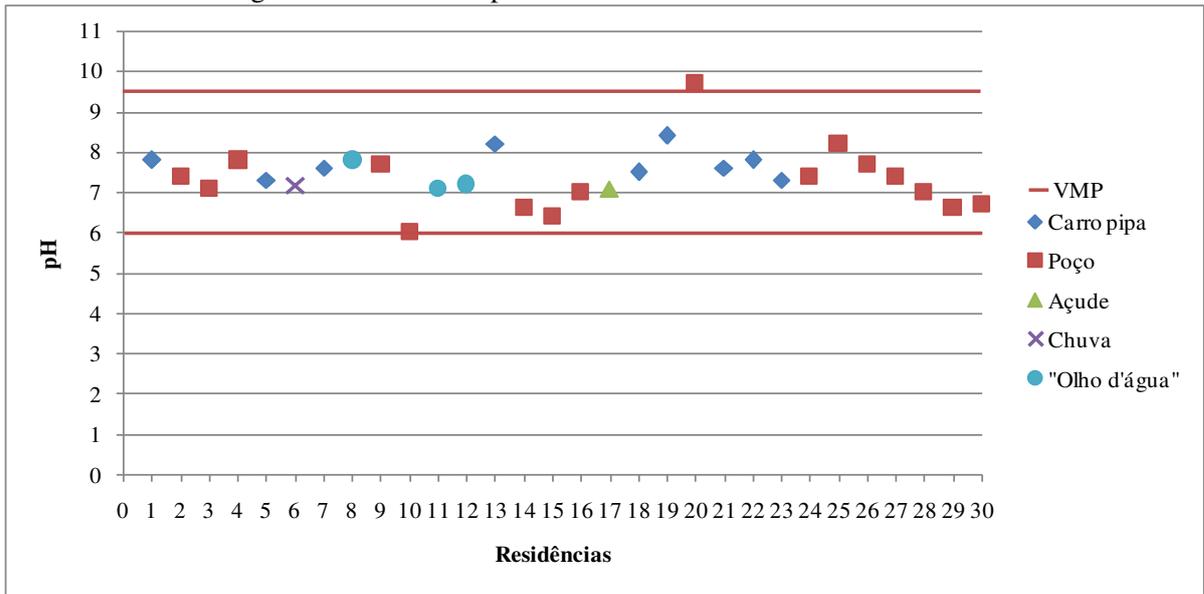
A seguir são apresentados graficamente os resultados das análises físico-químicas das águas de usos múltiplos, as quais são armazenadas em cisternas, caixas d'água e recipientes plásticos nas residências. As amostras eram procedentes de carros pipa, poços (comunitário e particulares), "Olho d'água", açude e chuva.

Nas Figuras 18 a 30 são mostrados os resultados de pH, turbidez, cor, cloreto, sódio, sulfato, dureza total, ferro, alumínio, nitrato, nitrito, amônia e sólidos totais dissolvidos, com todas as amostras representadas de acordo com a procedência da água e a linha vermelha indicando o VMP pela Portaria de Potabilidade, que foi utilizada em virtude do uso dessas águas para consumo humano na falta de água dessalinizada.

Os resultados de pH (Figura 18) encontram-se entre os valores máximo e mínimo permissíveis, com exceção da água de apenas uma residência procedente de um poço, onde foi observado pH de 9,7.

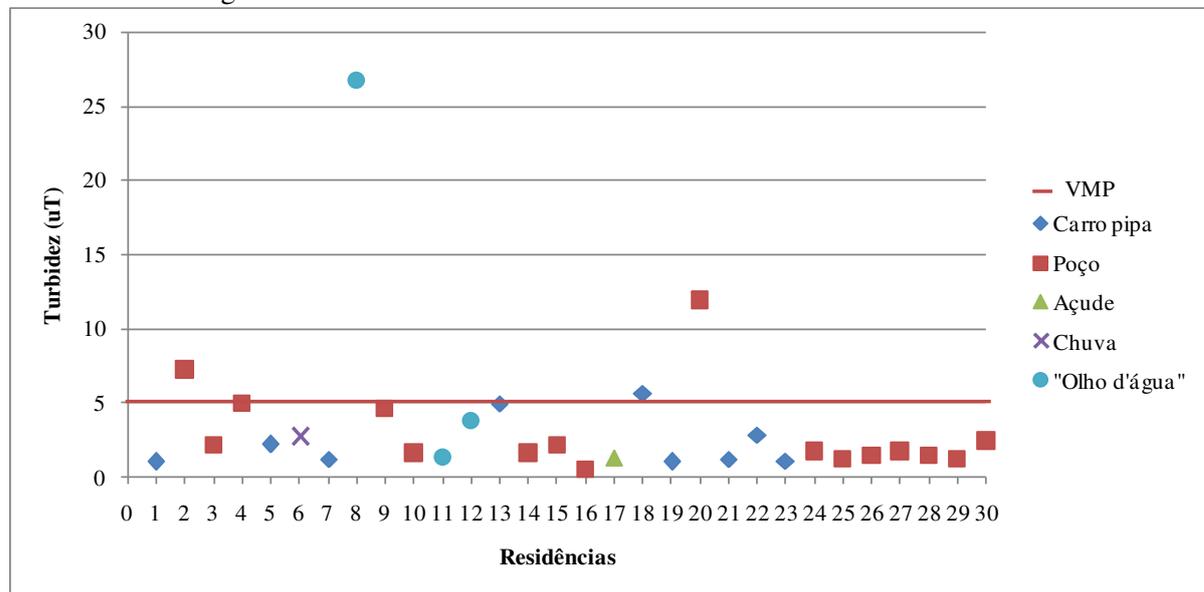
O pH é um parâmetro muito suscetível à modificação, em decorrência das transformações químicas que podem ocorrer na água durante o armazenamento. Cardoso et al. (2005) afirma que valores de pH relativamente baixo podem potencializar a liberação de metais como o alumínio, devido à agressividade ao concreto, comprometendo a qualidade da água consumida pela população.

Figura 18: Valores de pH das amostras coletadas nas residências



Na Figura 19 observa-se que 3 amostras (10%) encontram-se acima do VMP para turbidez, sendo duas provenientes de poços e uma proveniente do “Olho d’água”, a qual apresentou 26,7 uT, muito acima do padrão.

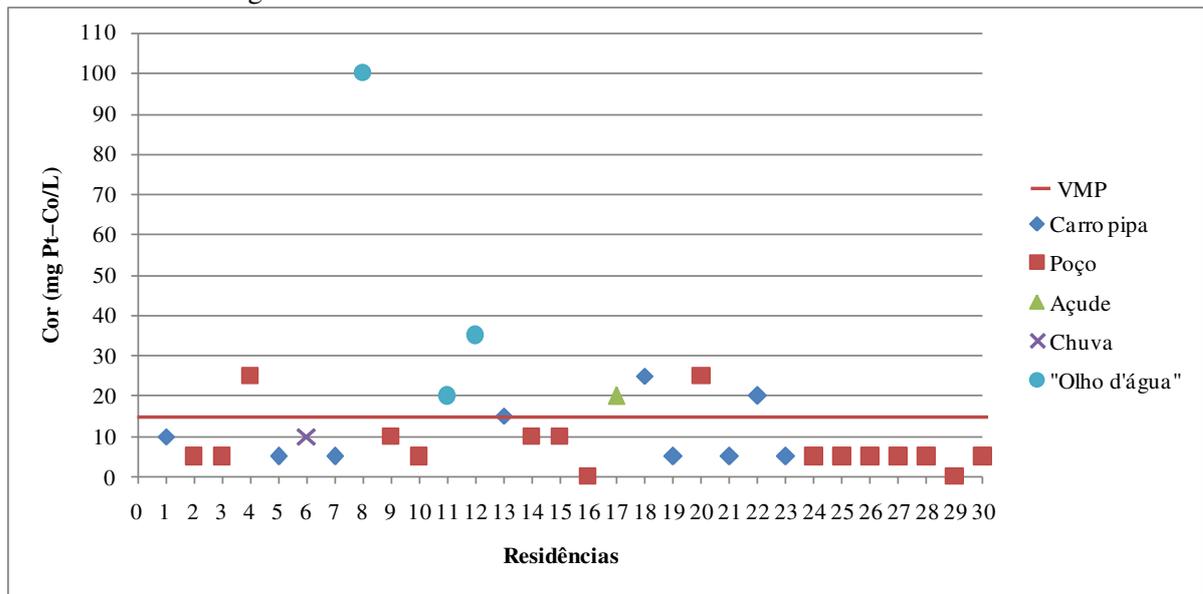
Figura 19: Valores de turbidez das amostras coletadas nas residências



A turbidez é uma característica da água resultante da presença de partículas em estado coloidal, em suspensão, de matéria orgânica e inorgânica finamente dividida, de plâncton e de outros organismos microscópicos. Apesar de ser um parâmetro estético, a turbidez pode assumir função de indicador sanitário, pois as partículas em suspensão podem incluir oocistos de protozoários e proteger microrganismos contra ação desinfetante (BRASIL, 2006).

Em 8 amostras (26,7%) foram observados valores de cor acima do padrão, três provenientes do “Olho d’água”, duas de poços, duas de carros pipa e uma de açude, como pode ser observado na Figura 20. Destaca-se a amostra do “Olho d’água” com resultado de cor 100 mg Pt–Co/L, a qual também apresentou maior valor e turbidez.

Figura 20: Valores de cor das amostras coletadas nas residências

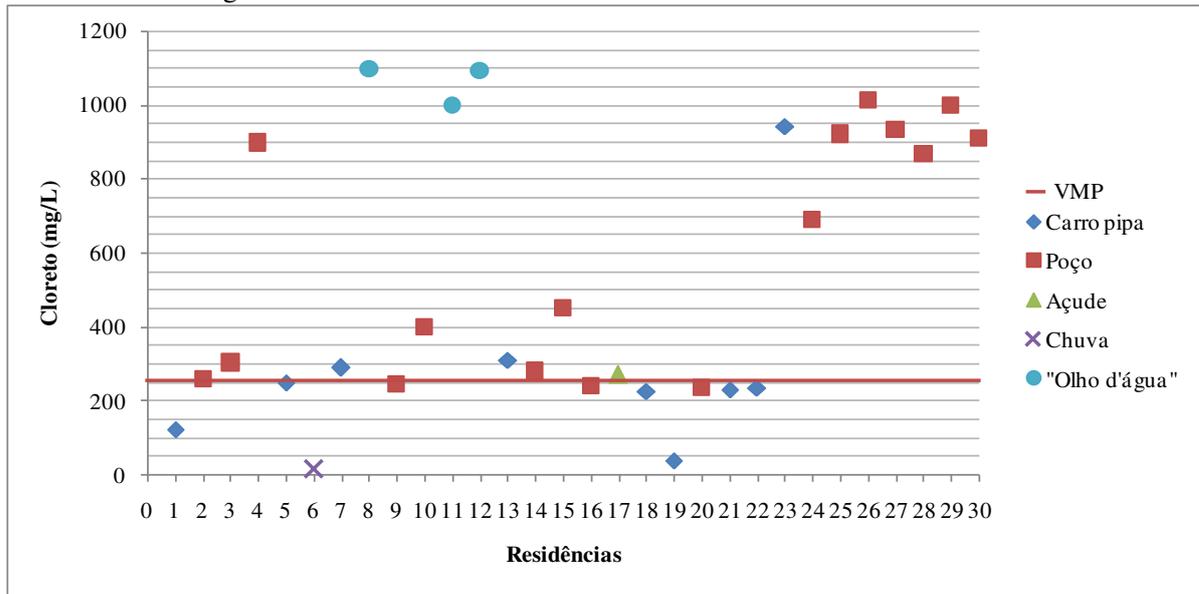


A cor da água deve-se às minúsculas partículas denominadas colóides, finamente dispersas, de origem predominantemente orgânica, devido principalmente, a decomposição de matéria orgânica, com dimensão inferior a 1µm. Pode também ser resultado da presença de ferro e manganês, que nas formas reduzidas,  $Fe^{2+}$  e  $Mn^{2+}$ , encontram-se dissolvidos na água (LIBÂNIO, 2008).

Na Figura 21 estão apresentados os resultados de cloreto, onde é possível observar que 20 amostras (66,7%) apresentaram valores de cloreto acima de 250 mg/L, dessas amostras, 3 encontram-se com valores acima de 1000 mg/L e 8 entre 800 e 1000 mg/L.

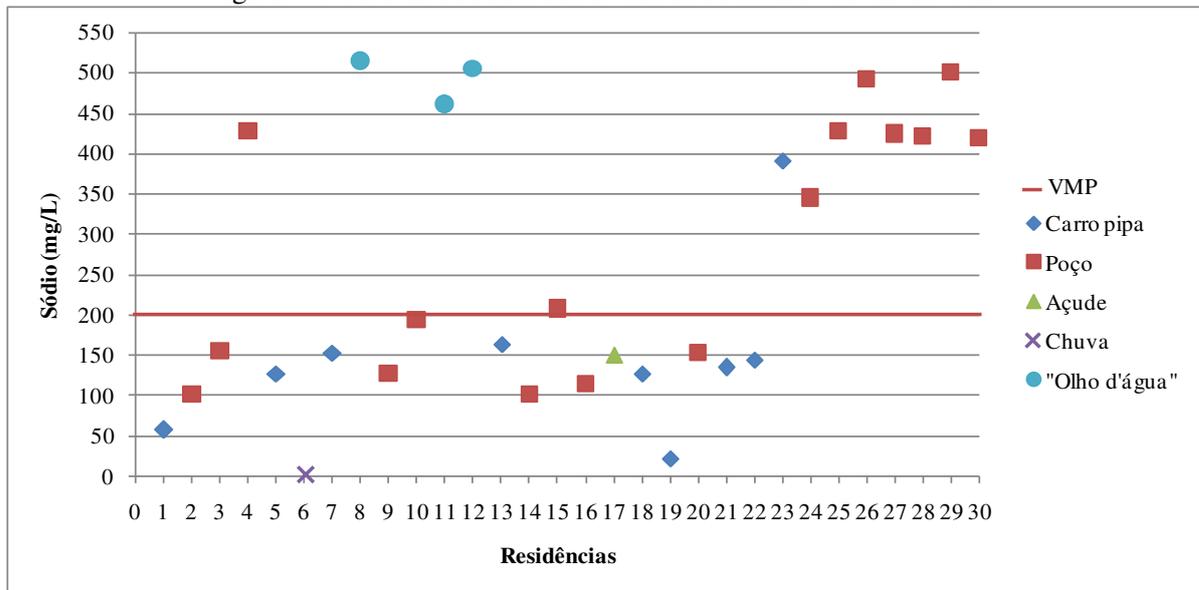
Cloreto é o ânion inorgânico mais frequente nas águas. Fisiologicamente não apresenta perigo, apenas sabor salgado quando a concentração de cloreto é  $> 100$  mg, porém, isso também depende dos outros componentes dissolvidos. Todas as águas superficiais contêm cloretos, geralmente, em menores concentrações que águas subterrâneas e em regiões litorâneas a ocorrência de cloretos em águas superficiais é maior do que no interior (POHLING, 2009).

Figura 21: Valores de cloreto das amostras coletadas nas residências



Os íons de cloreto juntamente com os íons de sódio, cujos resultados são mostrados na Figura 22, são geralmente os principais causadores de salinidade nas águas, sendo encontrados muitos valores acima do VMP devido à utilização de água de poços, devendo-se destacar também as altas concentrações em águas provenientes do "Olho d'água". Na Figura 22 verificam-se 13 amostras (43,3%) com valores acima de 200 mg/L.

Figura 22: Valores de sódio das amostras coletadas nas residências

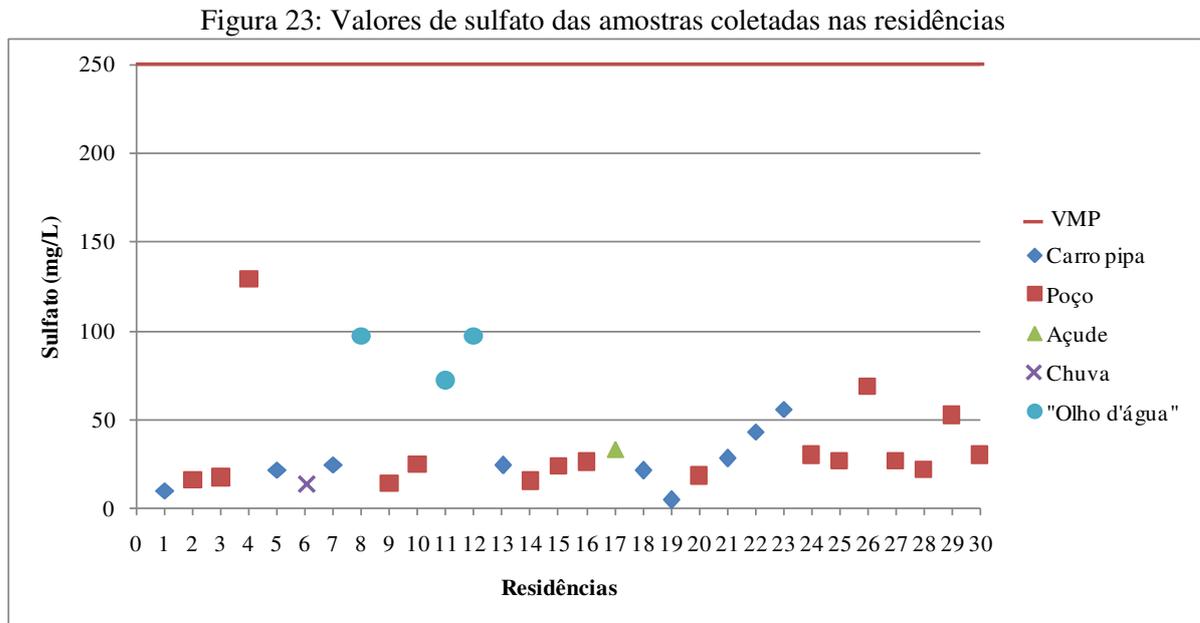


Comparando as Figuras 21 e 22 observa-se grande semelhança nos resultados, onde as amostras com altas concentrações de cloreto também apresentaram altas concentrações de sódio.

As concentrações de cloreto e sódio nas amostras provenientes de poços apresentam-se bastante variáveis, isso porque se trata de poços diferentes; além do poço comunitário, algumas residências são abastecidas com água de poços particulares, podendo apresentar diferenças nas características das águas devido à sua localização.

A ingestão de água com elevada concentração de sódio pode afetar a pressão arterial e vários estudos evidenciaram que uma dieta rica em sódio, além de proteínas de origem animal e bebidas adoçadas com sacarose e frutose, leva a excreção de cálcio, ácido úrico, oxalato e fósforo e uma diminuição do citrato e pH urinário, favorecendo assim a formação de cálculos renais (NERBASS, 2014).

A Figura 23 mostra os resultados para o parâmetro sulfato, onde todos os valores verificados encontram-se abaixo do VMP.

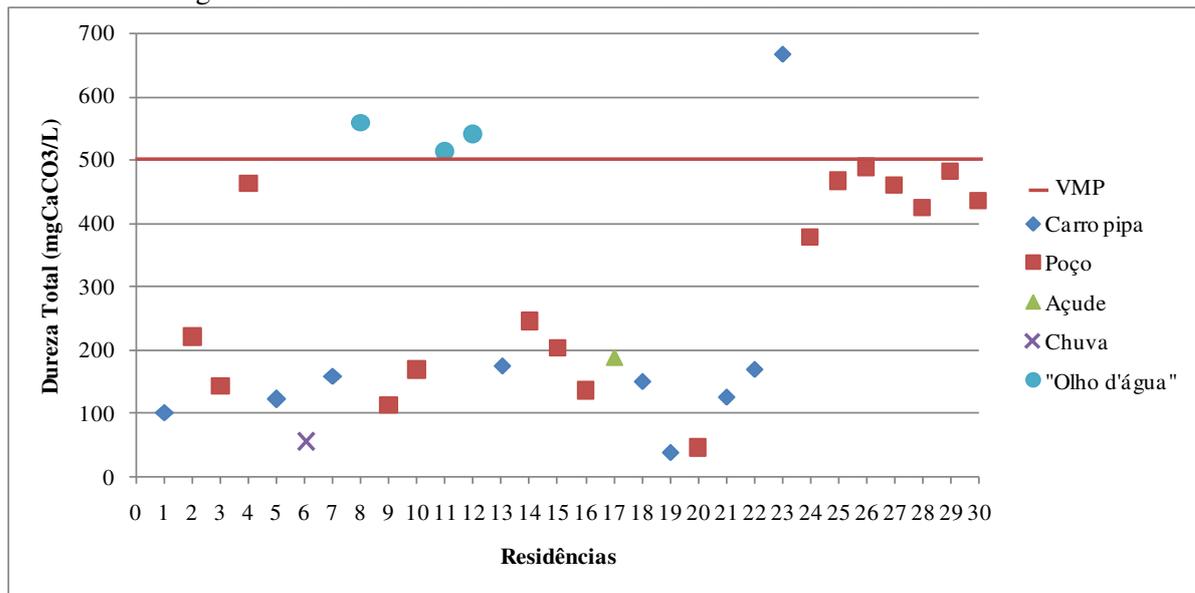


Além de estarem abaixo do VMP, os baixos valores de sulfato são muito importantes no que se refere às águas armazenadas em cisternas, pois, segundo Bauer (2012), a partir de 200 mg/L essa substância começa a apresentar certo grau de agressividade para o concreto podendo liberar substâncias do cimento na água.

Altas concentrações de sulfato podem conferir propriedades laxativas, assim como outros íons causadores de salinidade, no entanto, seu efeito laxativo é muito mais acentuado (Ferreira, W. B., 2008).

Os íons de magnésio e cálcio representam a dureza total da água, cujos resultados são apresentados na Figura 24.

Figura 24: Valores de dureza total das amostras coletadas nas residências



O nome dureza de uma água provém da capacidade de precipitar sabão impedindo o desenvolvimento de espuma, assim, uma água dura causa problemas na lavagem em geral. A dureza da água deve-se, principalmente, à presença de sais de cálcio e magnésio em solução, que reagem com os sais de sódio ou potássio de ácidos graxos, existentes no sabão, formando sais insolúveis (POHLING, 2009).

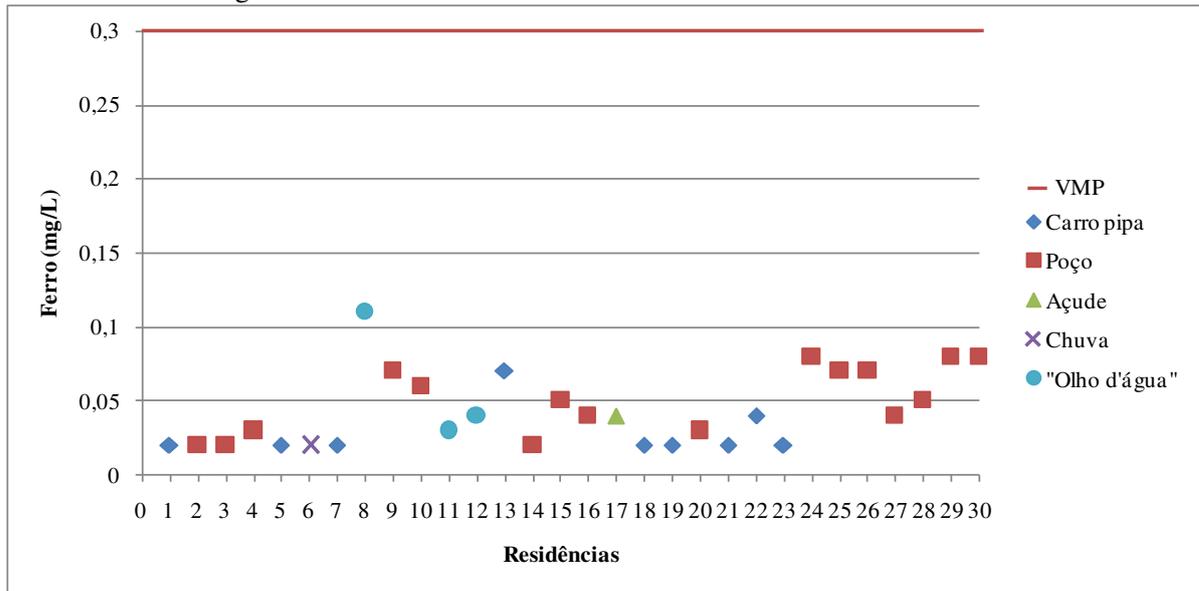
A dureza é expressa em mg/L de carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>) e em função deste parâmetro pode ser classificada como: branda (< 50 mg/L de CaCO<sub>3</sub>), moderada (entre 50 e 150 mg/L de CaCO<sub>3</sub>), dura (entre 150 e 300 mg/L de CaCO<sub>3</sub>) e muito dura (> 300 mg/L de CaCO<sub>3</sub>) (POHLING, 2009).

Os resultados de dureza mostram ainda que 2 amostras (6,67%) se classificam como água branda, 7 amostras (23,33%) como água moderada, 9 amostras (30,00%) como água dura e 12 amostras (40,00%) com água muito dura.

Os teores de ferro encontrados situam-se abaixo do VMP, como pode ser visto na Figura 25. O ferro é um elemento essencial com funções importantes para o organismo humano, porém, em alta concentração é considerado tóxico. Este elemento se dissolve no solo pela ação da chuva saturada com dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e permanece dissolvido na água quando: saturação de oxigênio < 50%, alto teor de CO<sub>2</sub>, ambiente redutor e pH < 7,5 (POHLING, 2009).

Quando a água contém ferro na forma reduzida (Fe<sup>2+</sup>) e é exposta ao ar atmosférico ou alguns produtos de limpeza, o ferro volta à sua forma insolúvel (Fe<sup>3+</sup>) podendo causar cor na água, além de manchar roupas durante a lavagem (FERREIRA, W. B., 2008).

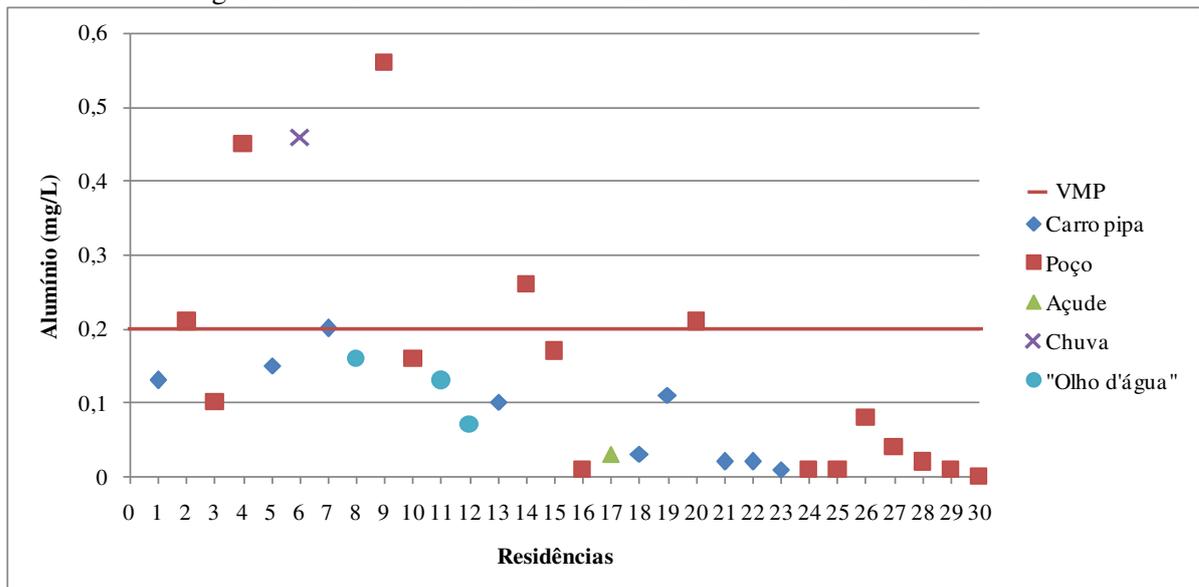
Figura 25: Valores de ferro das amostras coletadas nas residências



O ferro, juntamente com alumínio, cálcio e silício, são os principais metais componentes do cimento utilizado no revestimento interno das cisternas, no entanto, até o momento, apenas as altas concentrações de alumínio têm sido associadas com o armazenamento de águas em cisternas.

A Figura 26 mostra os valores de alumínio encontrados neste trabalho, dos quais 6 amostras (20%) apresentaram concentrações acima do VMP, estas amostras eram provenientes de poços e da chuva e encontravam-se armazenadas em cisternas, caixas d'água e tanques com revestimento de argamassa de cimento.

Figura 26: Valores de alumínio das amostras coletadas nas residências



Cardoso et al. (2005) e Souza et al. (2011) encontraram uma grande concentração de alumínio em águas de cisternas recém-construídas, havendo uma tendência de diminuição ao longo do tempo. Não foi possível encontrar a mesma relação neste trabalho, pois a maioria das cisternas foram construídas a mais de 4 anos, salvo raras exceções.

As Figuras 27, 28, e 29 mostram os resultados de nitrato, nitrito e amônia. Para nenhum desses parâmetros foram encontrados valores acima do padrão. A pesquisa de compostos nitrogenados é muito importante, pois em concentrações elevadas sugerem contaminação por esgotos domésticos, escoamento de fertilizantes, entre outras causas.

Figura 27: Valores de nitrato das amostras coletadas nas residências

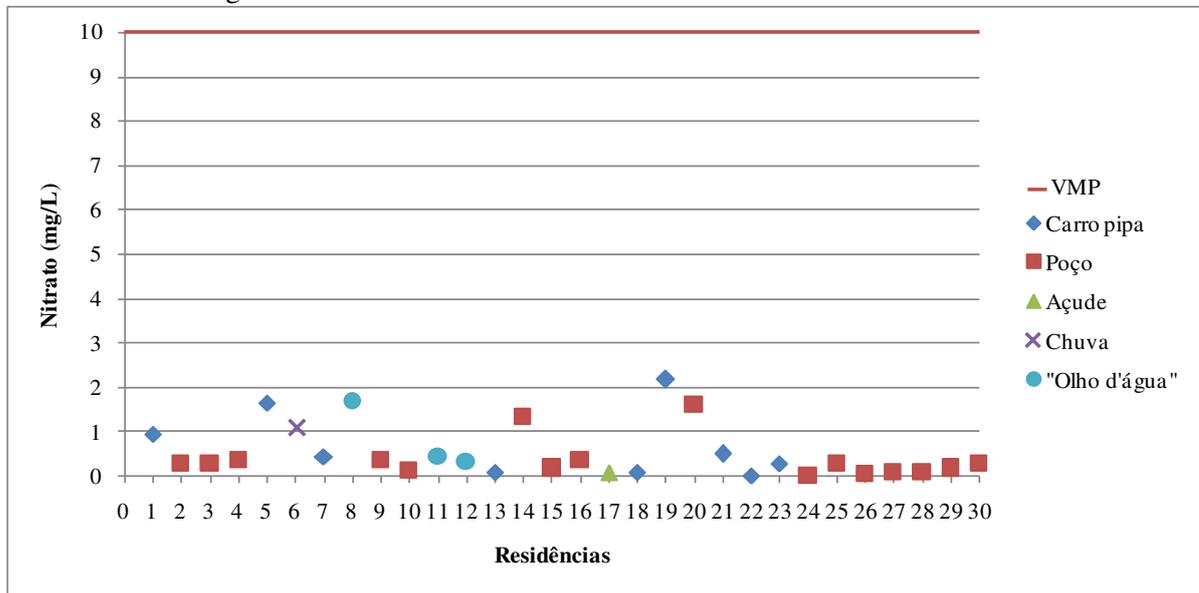


Figura 28: Valores de nitrito das amostras coletadas nas residências

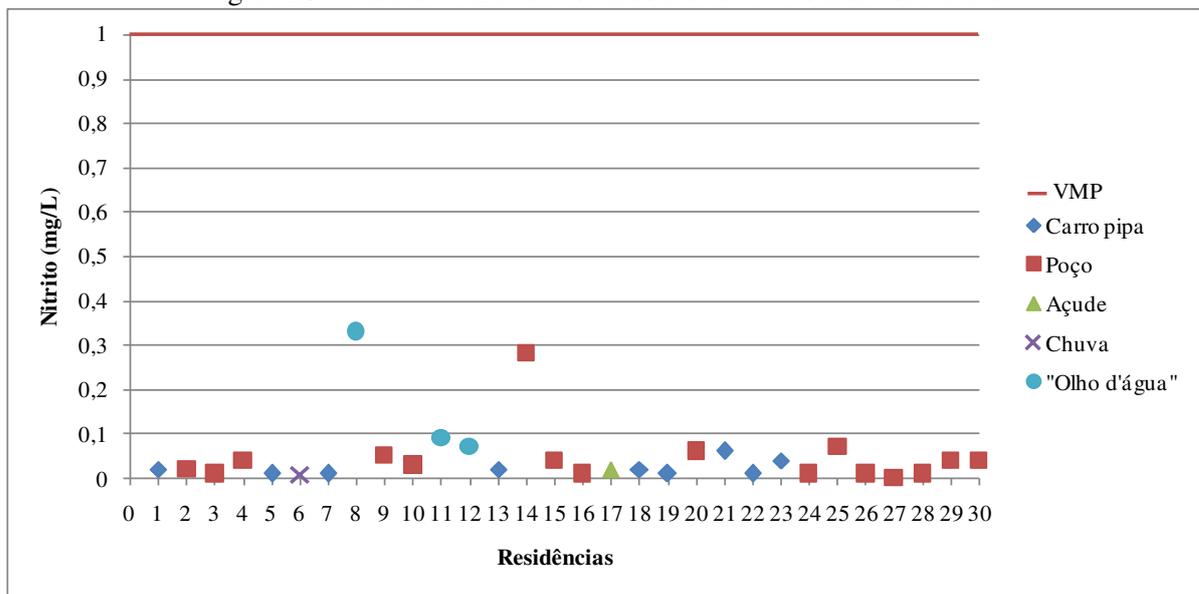
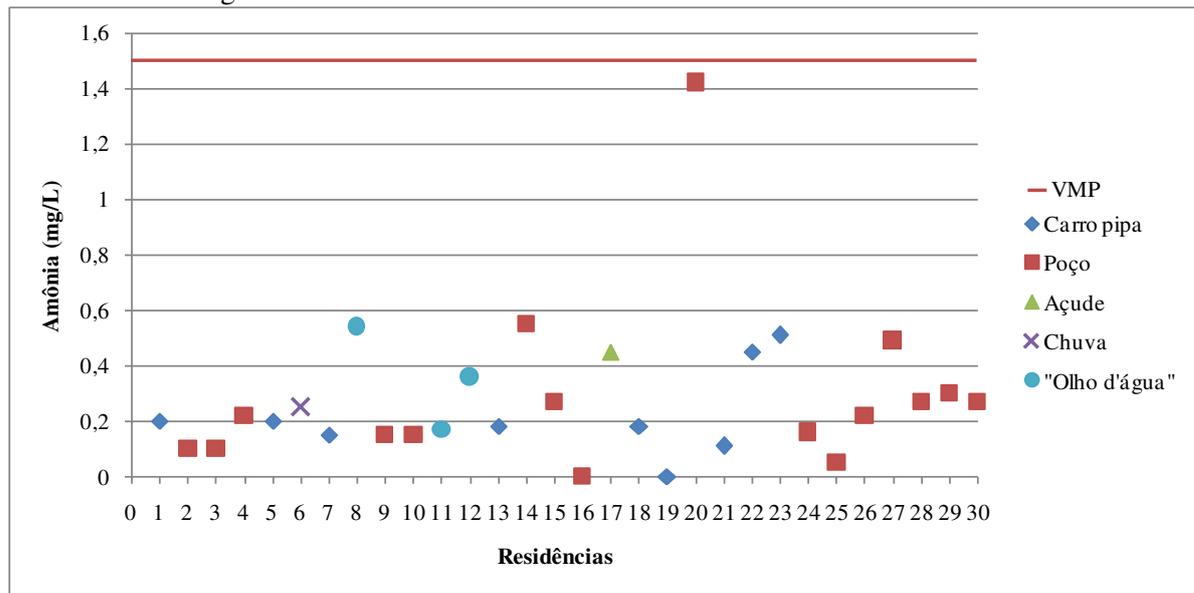
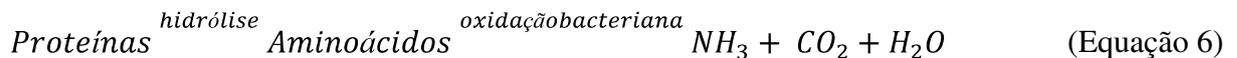


Figura 29: Valores de amônia das amostras coletadas nas residências

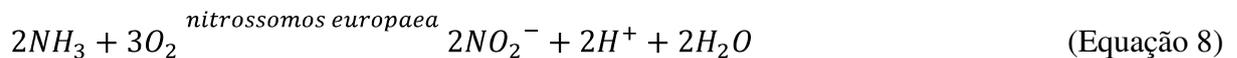


Pohling (2009) explica o ciclo do nitrogênio na água, iniciando pela decomposição de materiais orgânicos nitrogenados, como proteínas (Equação 6) e uréia (Equação 7).

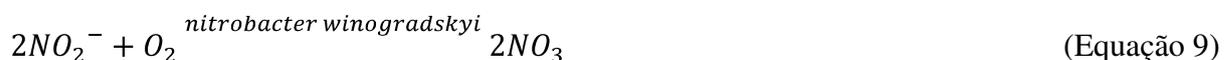


A amônia ( $\text{NH}_3$ ) é extremamente solúvel e reage formando hidróxido de amônio ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ). A redução entre a presença de  $\text{NH}_3$  e  $\text{NH}_4^+$  depende do pH e da temperatura da água.

O nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) é um composto de oxigênio e nitrogênio no estado de oxidação intermediário de nitrogênio na água e, pode ser formado a partir da oxidação aeróbica (nitrificação) da amônia, como é expresso na Equação 8.



O nitrato é o composto de nitrogênio com oxigênio no estado de oxidação mais alto que pode ocorrer com o elemento nitrogênio. Este pode ser formado a partir da oxidação aeróbica (nitrificação) do nitrito, como é expresso na Equação 9.

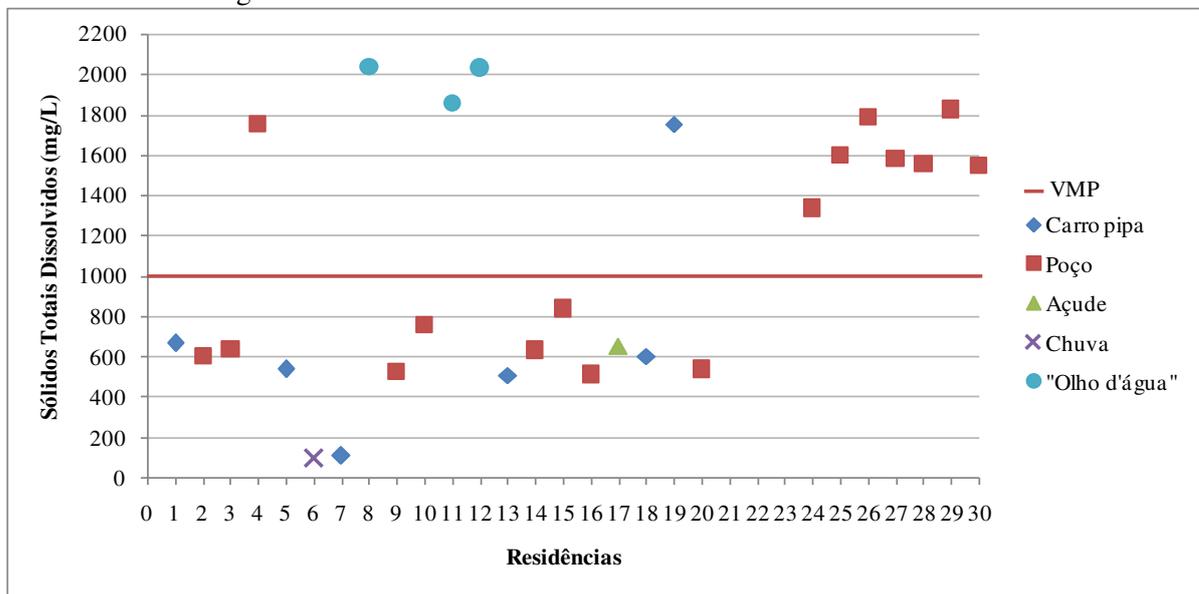


A presença de dois ou mais compostos nitrogenados podem levar a formação de nitrosaminas, que são compostos cancerígenos (POHLING, 2009).

O processo descrito acima pode ter início também na captação de água da chuva e falta de limpeza das cisternas. Fezes de aves no telhado arrastadas pela água das chuvas e insetos que entram e morrem dentro das cisternas, por exemplo, podem constituir matéria orgânica necessária para que este ciclo tenha início. Também por este motivo é tão importante o descarte das primeiras chuvas e assepsia das cisternas.

A Figura 30 mostra os resultados para Sólidos Totais Dissolvidos (STD), esse parâmetro é um dos principais indicadores da qualidade de água e representa todos os íons dissolvidos.

Figura 30: Valores de STD das amostras coletadas nas residências



Os resultados de STD mostram 12 amostras (40%) acima do VMP, sendo 1 amostra proveniente de carro pipa, 3 amostras provenientes do “Olho d’água” e 8 amostras provenientes de poços. É importante observar que as amostras do “Olho d’água” apresentaram valores de STD acima de 1800 mg/L, maiores do que todas as amostras de poços que geralmente apresentam concentrações maiores de íons.

Nas amostras de água do “Olho d’água”, as elevadas concentrações de cloreto, sódio, dureza e principalmente STD, além de elevada cor e turbidez, possivelmente indicam contaminação por efluentes. Essa idéia é ainda reforçada tendo em vista as condições ambientais que este manancial se apresenta.

A Tabela 4 mostra o resultado médio de cada parâmetro físico-químico para todas as amostras de água coletadas nas residências da comunidade.

Tabela 4: Diferenças de cada parâmetro em relação à fonte de água

	<b>Operação Pipa</b>	<b>Poço</b>	<b>“Olho d’Água”</b>	<b>Dessalinizador</b>	<b>P**</b>
<b>pH</b>	7,72 ± 0,38	7,29 ± 0,87	7,37 ± 0,38	6,47 ± 0,49	<b>0,034</b>
<b>Turbidez</b>	2,33 ± 1,77	2,97 ± 2,95	2,55* ± 1,77	0,83 ± 0,55	0,114
<b>Cor</b>	10,56 ± 7,68	7,81 ± 7,30	51,67 ± 42,52	1,67 ± 2,89	<b>0,015</b>
<b>Cloreto</b>	293,1 ± 257,4	602,0 ± 323,2	1061,5 ± 55,34	25,80 ± 3,91	<b>0,001</b>
<b>Sódio</b>	146,3 ± 103,1	287,9 ± 154,9	493,2 ± 28,45	16,87 ± 2,15	<b>0,001</b>
<b>Sulfato</b>	25,76 ± 15,65	33,53 ± 29,09	88,40 ± 14,38	5,47 ± 0,42	<b>0,006</b>
<b>Dureza Total</b>	189,5 ± 183,7	304,1 ± 158,2	536,7 ± 22,68	15,03 ± 4,91	<b>0,002</b>
<b>Ferro</b>	0,03 ± 0,02	0,05 ± 0,02	0,05 ± 0,03	0,01 ± 0,02	<b>0,013</b>
<b>Alumínio</b>	0,09 ± 0,07	0,14 ± 0,17	0,12 ± 0,05	0,04 ± 0,06	0,585
<b>Nitrato</b>	0,68 ± 0,76	0,36 ± 0,45	0,81 ± 0,76	6,78 ± 2,12	<b>0,014</b>
<b>Nitrito</b>	0,02 ± 0,02	0,05 ± 0,07	0,16 ± 0,14	0,01 ± 0,00	<b>0,023</b>
<b>Amônia</b>	0,22 ± 0,16	0,30 ± 0,33	0,36 ± 0,19	0,00 ± 0,00	<b>0,045</b>
<b>STD</b>	635,6 ± 454,2	1125,3 ± 530,3	1974,3 ± 100,9	70,37 ± 7,61	<b>0,001</b>

Valores de “P” em **negrito** representam diferença estatisticamente significativa com 95% de confiança

\* Retirado um valor extremo

\*\* Valor P obtido através do Teste de Kruskal-Wallis

A maioria dos parâmetros analisados apresentou diferença estatisticamente significativa com 95% de confiança em função da fonte de água, como pode ser observado na Tabela 4, tendo como exceções turbidez e alumínio. Para esta comparação não foram utilizadas as amostras de água das fontes “Chuva” e “Açude”, por se tratar de apenas uma amostra.

A turbidez é um parâmetro que pode ser modificado em decorrência do tempo de armazenamento da água devido à sedimentação, fato este que pode ter gerado uma igualdade estatisticamente significativa entre as fontes de água.

Para avaliar também a relação entre as concentrações de alumínio e o local onde as águas encontravam-se armazenadas, classificaram-se como Tipo I os reservatórios construídos por alvenaria e, Tipo II os reservatórios de material plástico ou de barro. A Tabela 5 mostra a média das concentrações de alumínio para cada tipo de reservatório e o valor de P obtido através do Teste de Kruskal-Wallis.

Tabela 5: Diferença dos valores médios de alumínio com relação à forma de armazenamento

	<b>Reservatório Tipo I</b>	<b>Reservatório Tipo II</b>	<b>P*</b>
<b>Alumínio</b>	0,20	0,03	0,0000

Reservatório Tipo I: Construído por alvenaria

Reservatório Tipo II: Material plástico ou barro

\* Valor P obtido através do Teste de Kruskal-Wallis

Ao aplicar o Teste de Kruskal-Wallis para os resultados de alumínio utilizando como fator o tipo de reservatório, verifica-se uma diferença estatisticamente significativa para o mesmo intervalo de confiança usado nas comparações das fontes de água, com P-valor = 0,000. Também se observa na Tabela 5 que a média da concentração de alumínio foi superior nas amostras dos reservatórios Tipo I. Estes resultados indicam que as altas concentrações de alumínio encontradas neste trabalho estão associadas ao material que se encontra em contato com a água, no caso, a argamassa de cimento.

### 4.3 Classificação das fontes alternativas de abastecimento

Os ensaios de ecotoxicidade, exigidos pela Resolução CONAMA 357/2005 para classificação das fontes de água, foram realizados e validados conforme a NBR ABNT 12.648/2011. Como se pode observar na Tabela 6, o número de células final no controle foi 16 vezes superior ao número de células inicial, além disso, o coeficiente de variação não ultrapassou 20% nas réplicas do controle, assim como em nenhuma das amostras.

Tabela 6: Resultados dos ensaios ecotoxicológicos com *Chlorella vulgaris*

Amostra	Conc. Inicial (Cél./mL)	Conc. Final (Cél./mL)	Cresc. Algáceo (Cél./mL)	Média	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação
A	2,35E+05	4,77E+06	4,53E+06			
A	2,35E+05	3,78E+06	3,55E+06	4,20E+06	461596,1	10,99%
A	2,35E+05	4,76E+06	4,52E+06			
B	2,35E+05	3,63E+06	3,39E+06			
B	2,35E+05	3,58E+06	3,34E+06	3,25E+06	158455,1	4,87%
B	2,35E+05	3,27E+06	3,03E+06			
C	2,35E+05	9,20E+05	6,85E+05			
C	2,35E+05	1,22E+06	9,83E+05	9,00E+05	153303,1	17,03%
C	2,35E+05	1,27E+06	1,03E+06			
D	2,35E+05	3,68E+06	3,45E+06			
D	2,35E+05	3,78E+06	3,55E+06	4,00E+06	704362,5	17,63%
D	2,35E+05	5,23E+06	4,99E+06			

(A) Controle / (B) Operação pipa / (C) “Olho d’água” / (D) Poço comunitário

Miashiro et al. (2012) realizou ensaios ecotoxicológicos com a microalga *Pseudokirchneriella subcapitata*, também da família *Chlorophyceae* e obteve resultados válidos, demonstrando a viabilidade do ensaio que pode ser utilizado por gestores ambientais nas tentativas de mensurar as extensões dos impactos ambientais.

Gomes (2007) explica a facilidade de utilização das algas como organismo-teste, pois apresentam curto ciclo de vida, altas taxas de crescimento, além da possibilidade de manter culturas no laboratório e da capacidade de crescer em meios sintéticos bem definidos.

Na Tabela 7 é mostrado o resultado do Teste de Fisher para determinação de ecotoxicidade crônica.

Tabela 7: Resultados do Teste de Fisher para verificação de ecotoxicidade

Diferença entre Níveis	Média	Limite Inferior	Limite Superior	P
A-B	947222,22	-56490,69	1950935,13	0,0612
A-C	3301111,11	2297398,2	4304824,02	0,0001
A-D	205555,56	-798157,35	1209268,46	0,6494

(A) Controle / (B) Operação pipa / (C) “Olho d’água” / (D) Poço comunitário

A igualdade entre as médias é rejeitada quando  $P < 0,05$ , o que acontece entre o controle (A) e a amostra de água do “Olho d’água” (C) como consta na Tabela 2, onde P-valor = 0,001, neste caso o intervalo de confiança não contém o valor zero. Desta forma, o teste de Fisher mostrou que apenas a média da amostra de água do “Olho d’água” (C) é estatisticamente diferente da média do controle (A), ao nível de 95% de confiança. Estes resultados confirmam estatisticamente que a água do “Olho d’água” apresenta ecotoxicidade crônica para o organismo-teste utilizado.

Utilizando os resultados dos ensaios de ecotoxicidade, contagem de *Escherichia coli*, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), oxigênio dissolvido (OD), turbidez, cor, pH, alumínio, cloreto, ferro, fósforo, nitrato, nitrito, amônia e sulfato, as fontes alternativas de abastecimento de águas foram classificadas de acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005.

A Tabela 8 mostra os resultados obtidos através da análise da água fornecida pela operação pipa proveniente do Açude Boqueirão e os limites estabelecidos na classe 1 de águas doces, na qual esta fonte se enquadra.

De acordo com a Resolução utilizada, águas da classe 1 podem ser utilizadas para consumo humano após tratamento simplificado, à recreação de contato primário e outros usos. Seu enquadramento nessa classe esta de acordo com os usos preponderantes na comunidade, que em geral são: banho, limpeza de louças, roupas e da casa em geral. Eventualmente essa água também é utilizada para consumo humano, neste caso, fazem-se necessários tratamentos como filtração e cloração.

Tabela 8: Classificação da fonte “operação pipa”

AVALIAÇÕES	OPERAÇÃO PIPA	ÁGUAS DOCES (CLASSE 1)
Ecotoxicidade	Não	Não
Coliformes termotolerantes	24 col./100mL*	≤ 200 col./100 mL
DBO 5 dias a 20°C	3 mg/L O <sub>2</sub>	≤ 3 mg/L
OD	6,3 mg/L O <sub>2</sub>	≥ 6 mg/L
Turbidez	21,6 UT	≤ 40 UT
Cor verdadeira	80 mgPt-Co/L	Natural
pH	8,2	6,0 a 9,0
Alumínio dissolvido	0,07 mg/L	≤ 0,1 mg/L
Cloreto total	137,7 mg/L	≤ 250 mg/L
Ferro dissolvido	0,19 mg/L	≤ 0,3 mg/L
Fósforo total	0 mg/L	≤ 0,02mg/L
Nitrato	0,22 mg/L	≤ 10 mg/L
Nitrito	0,02 mg/L	≤ 1,0 mg/L
Nitrogênio amoniacal total	0,55 mg/L	≤ 1,0 mg/L
Sulfato total	26,6 mg/L	≤ 250 mg/L

\* *Escherichia coli*

A água do “Olho d’água” enquadra-se na classe 3 das águas salobras, como pode ser observado na Tabela 9. Águas dessa classe não são adequadas para consumo humano, mesmo passando por tratamentos convencionais ou avançados, nem à recreação de contato primário ou secundário e outros usos; destinam-se apenas à navegação e harmonia paisagística.

Tabela 9: Classificação da fonte “Olho d’água”

AVALIAÇÕES	"OLHO D'ÁGUA"	ÁGUAS SALOBRAS		
		CLASSE 1	CLASSE 2	CLASSE 3
Ecotoxicidade	Sim	Não	Apenas crônica	-
Coliformes termotolerantes	2.022 col./100mL*	≤ <b>200</b> col./100 mL	≤ 2.500 col./100 mL	≤ 4.000 col./100 mL
OD	5,2 mg/L	≥ 5 mg/L	≥ 5 mg/L	≥ 3 mg/L
pH	7,3	6,5 a 8,5	6,5 a 8,5	5,0 a 9,0
Alumínio dissolvido	0,03 mg/L	≤ 0,1 mg/L	≤ 0,1 mg/L	-
Ferro dissolvido	0,1 mg/L	≤ 0,3 mg/L	≤ 0,3 mg/L	-
Fósforo total	1,7 mg/L	≤ <b>0,124</b> mg/L	≤ <b>0,186</b> mg/L	-
Nitrato	0,58 mg/L	≤ <b>0,40</b> mg/L	≤ 0,70 mg/L	-
Nitrito	0,16 mg/L	≤ <b>0,07</b> mg/L	≤ 0,20 mg/L	-
Nitrogênio amoniacal total	1,15 mg/L	≤ <b>0,40</b> mg/L	≤ <b>0,70</b> mg/L	-

\* *Escherichia coli*

Os valores em **negrito** representam os padrões que não permitem a classificação do “Olho d’água” na respectiva classe.

Seu enquadramento na classe 1 não é possível devido à ecotoxicidade, elevado número de *Escherichia coli*, fósforo, nitrato, nitrito e amônia, assim como também não é possível na classe 2 devido às concentrações de fósforo e amônia acima do valor máximo estabelecido.

O poço comunitário enquadra-se na classe 1 de Águas Salobras, como pode ser observado na Tabela 10, onde se encontram os resultados obtidos nas análises e os limites estabelecidos nessa classe. De acordo com a classificação a água deste manancial pode ser utilizada para recreação de contato primário, abastecimento para consumo humano após tratamento convencional ou avançado e outros usos.

Tabela 10: Classificação da fonte “poço comunitário”

AVALIAÇÕES	POÇO COMUNITÁRIO	ÁGUAS SALOBRAS (CLASSE I)
Ecotoxicidade	Não	Não
Coliformes termotolerantes	6 col./100mL*	≤ 200 col./100 mL
OD	6,2 mg/L	≥ 5 mg/L
pH	6,3	6,5 a 8,5
Alumínio dissolvido	0,1 mg/L	≤ 0,1 mg/L
Ferro dissolvido	0,15 mg/L	≤ 0,3 mg/L
Fósforo total	0,1mg/L	≤ 0,124 mg/L
Nitrato	0 mg/L	≤ 0,40 mg/L
Nitrito	0,02 mg/L	≤ 0,07 mg/L
Nitrogênio amoniacal total	0,14 mg/L	≤ 0,40 mg/L

\* *Escherichia coli*

A população utiliza água dessas fontes alternativas para diversos usos como: banho, limpeza de louças, roupas e da casa em geral. A água proveniente da operação pipa e do poço comunitário não apresenta nenhum problema neste sentido, pois sua classificação permite contato primário, no entanto, a água proveniente do “Olho d’água” não permite nem mesmo contato secundário.

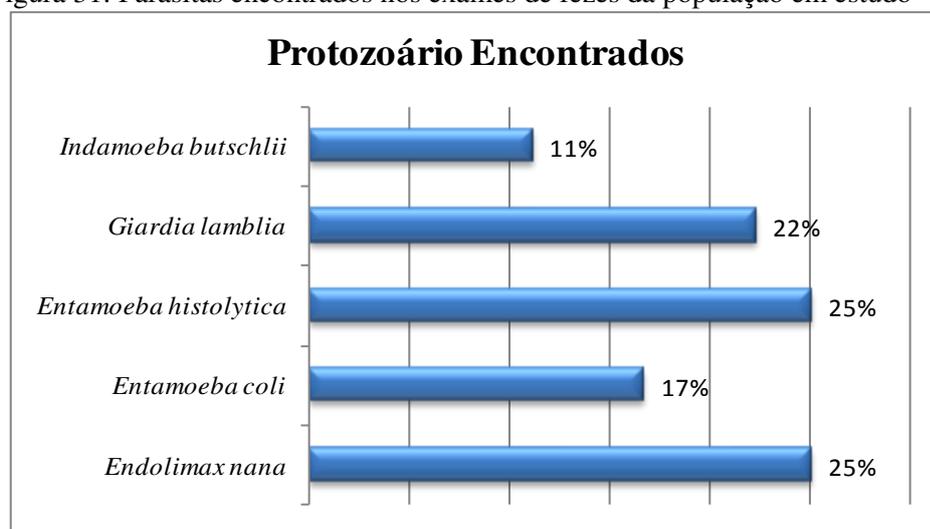
Em determinadas ocasiões, quando a água dessalinizada fornecida é insuficiente para o consumo, utilizam-se águas das fontes alternativas para cocção de alimentos e limpeza de frutas e verduras que são consumidas cruas, o que neste caso, pode representar enorme perigo à saúde da população.

Em resumo, a Comunidade Santa Luzia, assim como muitas comunidades do Semiárido Brasileiro, necessita urgentemente de medidas administrativas no sentido de atenuar os impactos provocados pelas estiagens, fornecendo água com qualidade adequada para uso e consumo humano.

#### 4.4 Avaliação de exames parasitológicos das pessoas

De acordo com os resultados de exames parasitológicos da população em estudo, observa-se que 56% das pessoas apresentaram no mínimo um tipo de parasita e no máximo quatro. Os tipos encontrados foram: *Indamoeba butschlii*, *Giardia lamblia*, *Entamoeba histolytica*, *Entamoeba coli* e *Endolimax nana*, mostrados na Figura 31 com seus respectivos percentuais.

Figura 31: Parasitas encontrados nos exames de fezes da população em estudo



De todos os parasitas encontrados, apenas a *Giardia lamblia* e a *Entamoeba histolytica* são consideradas patogênicas, causadoras de giardíase e amebíase respectivamente, podendo causar diarreias agudas.

A amebíase também provoca infecção, na qual ocorre invasão do parasito nos tecidos originando a forma extra-intestinal da doença; em casos graves, as formas trofozoíticas se disseminam através da corrente sanguínea, provocando abscesso no fígado (com maior frequência), nos pulmões ou no cérebro. Quando não diagnosticadas a tempo, podem levar o paciente ao óbito (BRASIL, 1998).

A água é o principal veículo de transmissão de doenças, portanto, a contaminação das pessoas com os referidos parasitas está diretamente relacionada à qualidade de água das fontes de abastecimento, sua forma de armazenamento e falta de tratamentos como filtração e desinfecção. A presença de *Escherichia coli* nas águas de consumo humano é o principal indicador de contaminação por microrganismos patogênicos.

#### 4.5 Transporte de componentes da argamassa de cimento Portland comum para a água

A água deionizada, com pH inicial em torno de 7,0, em contato com os corpos de prova constituídos de argamassa de cimento adquiriu cálcio, alumínio, sílica e ferro.

As Figuras 32, 33, 34 e 35 mostram as concentrações dessas substâncias em função do tempo de contato entre os corpos de prova e água deionizada. Nestes ensaios foram utilizados diferentes corpos de prova para avaliação de cada tempo, evitando assim, a concentração das substâncias com a retirada de água para as análises. A extrapolação das linhas nos gráficos é justificada pela ausência de substâncias químicas na água deionizada no início dos ensaios.

Figura 32: Concentrações de cálcio em função do tempo de contato

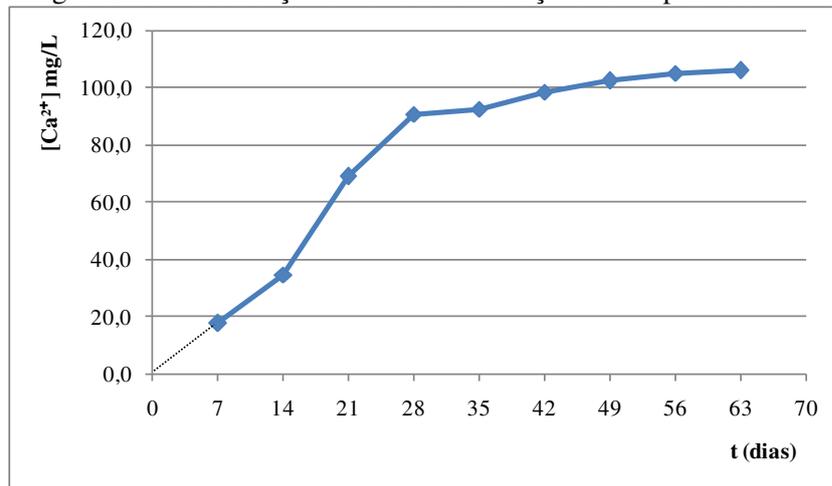


Figura 33: Concentrações de alumínio em função do tempo de contato

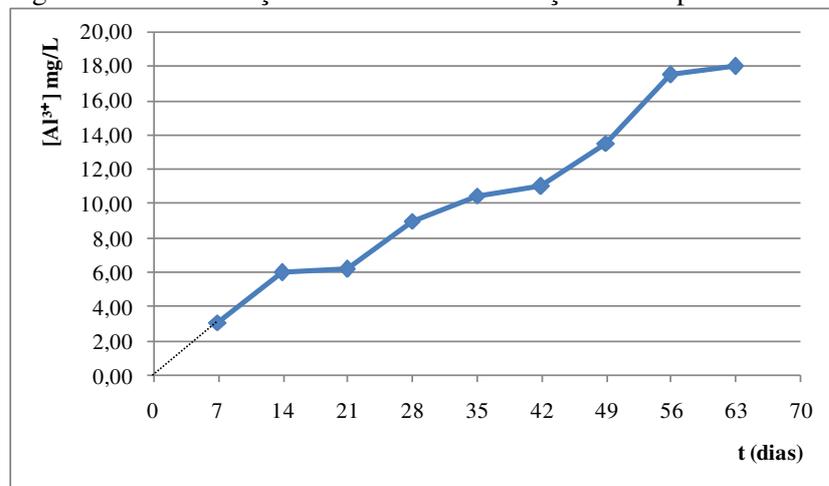


Figura 34: Concentrações de ferro em função do tempo de contato

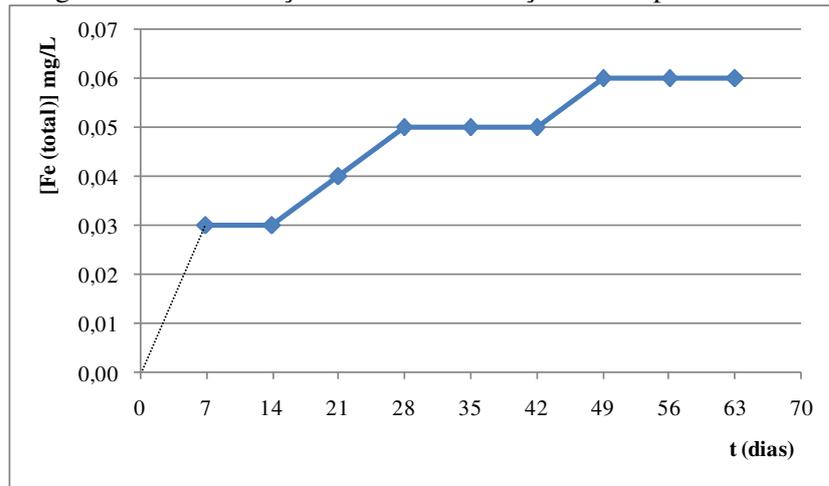
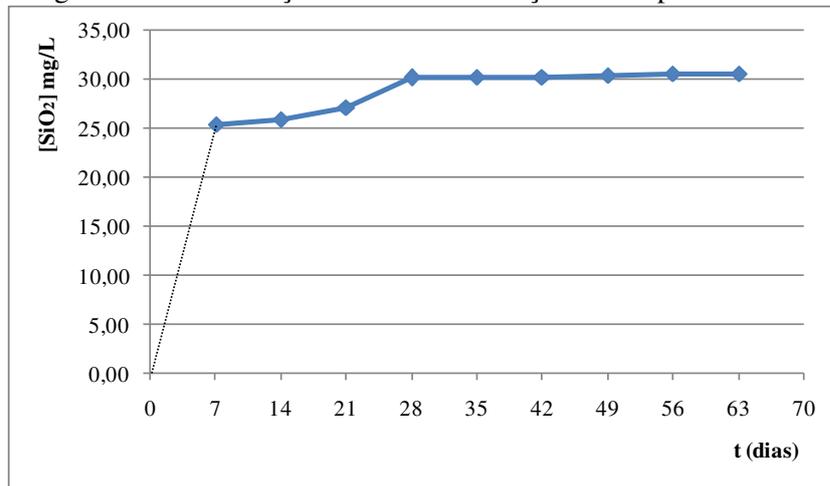


Figura 35: Concentrações de sílica em função do tempo de contato



Quanto maior o tempo de contato, maiores são as concentrações observadas, com valores atingindo 106,00 mg(Ca<sup>2+</sup>)/L, 18,00 mg(Al<sup>3+</sup>)/L, 0,06 mg(Fe total)/L e 30,60 mg(SiO<sub>2</sub>)/L. Além disso, para as avaliações de cálcio e sílica verifica-se que os valores tornam-se praticamente constantes em torno de 100 mg(Ca<sup>2+</sup>)/L e 30 mg(SiO<sub>2</sub>)/L, respectivamente, o que deve ser gerado pela saturação dessas substâncias ou de outras ligadas a elas.

As Figuras 36, 37, 38 e 39 mostram as concentrações das substâncias em estudo em função da renovação de água, onde um corpo de prova ficou imerso em água deionizada com pH inicial em torno de 7,0 e, a cada 7 dias, a água era retirada para realização das análises e substituída por nova água deionizada.

Com as renovações de água, as concentrações das substâncias em estudo tendem a diminuir evidenciando que o processo de liberação das mesmas é acelerado, como já havia

vido sugerido por Ferreira, W. B. (2008), pois, ao renovar a água retiram-se os produtos das reações e renovam-se os agentes agressivos.

Figura 36: Concentrações de cálcio em função das renovações de água

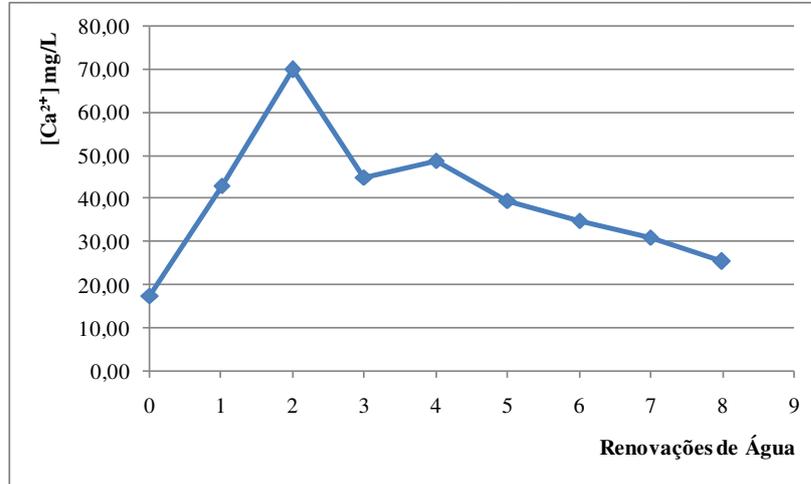


Figura 37: Concentrações de alumínio em função das renovações de água

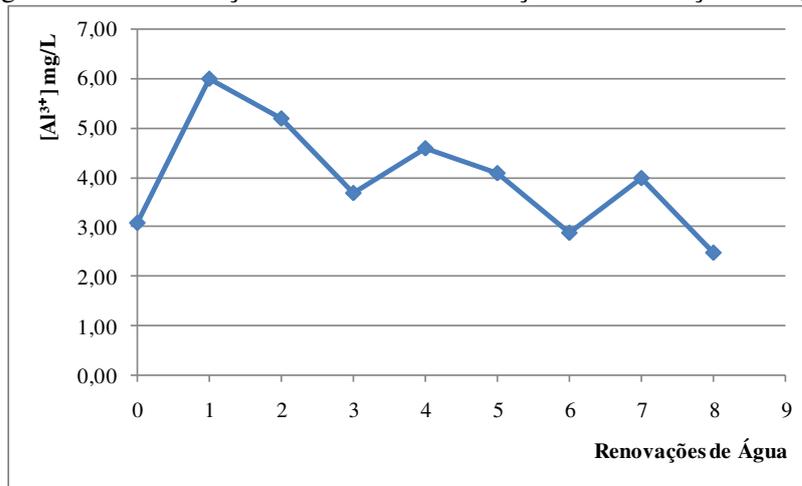


Figura 38: Concentrações de ferro em função das renovações de água

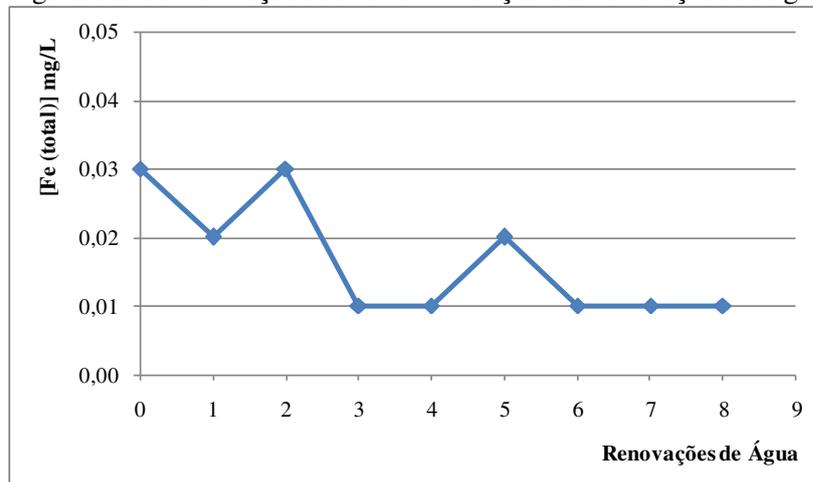
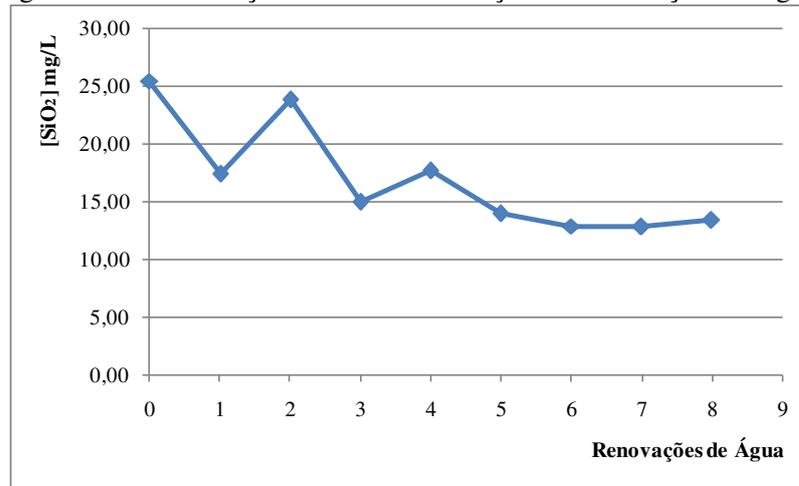


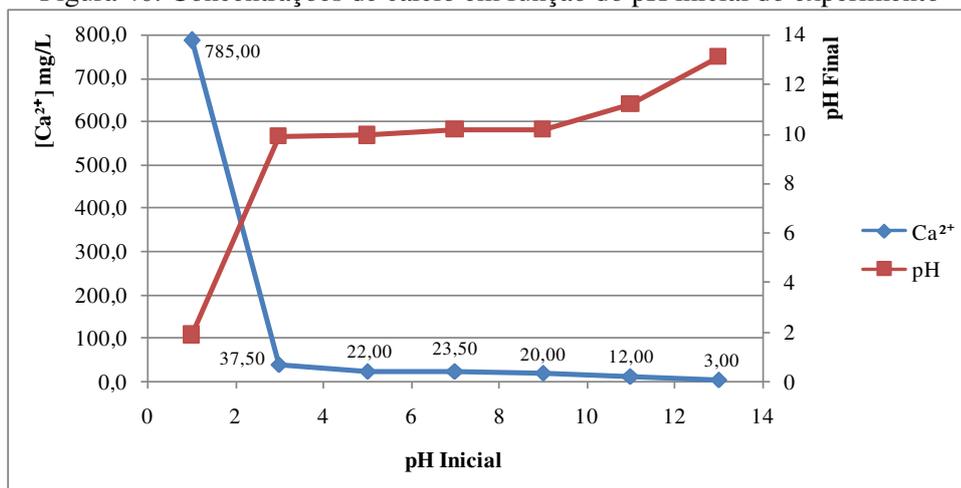
Figura 39: Concentrações de sílica em função das renovações de água



Se considerarmos também a soma de todas as concentrações medidas nas 8 renovações de água, que correspondem aos 63 dias monitorados, é possível observar valores muito superiores às concentrações encontradas no ensaio com tempo de contato de 63 dias (Figuras 32, 33, 34 e 35).

Com o estudo do transporte de componentes da argamassa de cimento em função do pH foram obtidos os resultados expressos nas Figuras 40, 41, 42 e 43, nas quais são mostrados também os valores finais do pH em cada ensaio.

Figura 40: Concentrações de cálcio em função do pH inicial do experimento



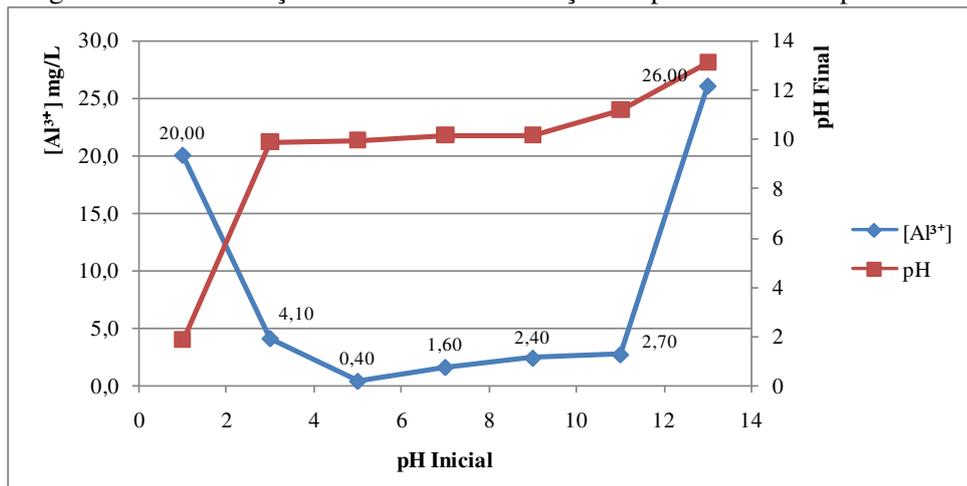
Verifica-se na Figura 40 uma grande concentração de cálcio no ensaio com pH 1,0, o qual apresentou pH final próximo de 2,0, evidenciando que a maior liberação se dá em maiores concentrações de H<sup>+</sup>. Isso porque este metal encontra-se na forma Ca(OH)<sub>2</sub>, a qual é

liberada na hidratação do cimento e removida quando em contato com a água (LIBÂNIO, 2008).

Com o aumento do pH inicial são observadas concentrações menores de cálcio e valores bem maiores de pH final, diminuindo ainda mais a partir do ensaio com pH inicial 11,0, provavelmente devido à saturação de  $\text{OH}^-$ .

A alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), óxido encontrado no cimento Portland, tem comportamento anfótero, podendo reagir com ácidos ou bases, produzindo substâncias solúveis na água (CHANG, 2010). Este comportamento é observado na Figura 41, onde temos altas concentrações de alumínio nos ensaios com pH inicial 1,0 e 13,0. Verifica-se ainda um valor mínimo em pH inicial 5,0, possivelmente devido a taxa de corrosão da alumina em meio aquoso que é maior em pH inferior a 4,5 e superior a 8,0 (BRUNO, 2014).

Figura 41: Concentrações de alumínio em função do pH inicial do experimento

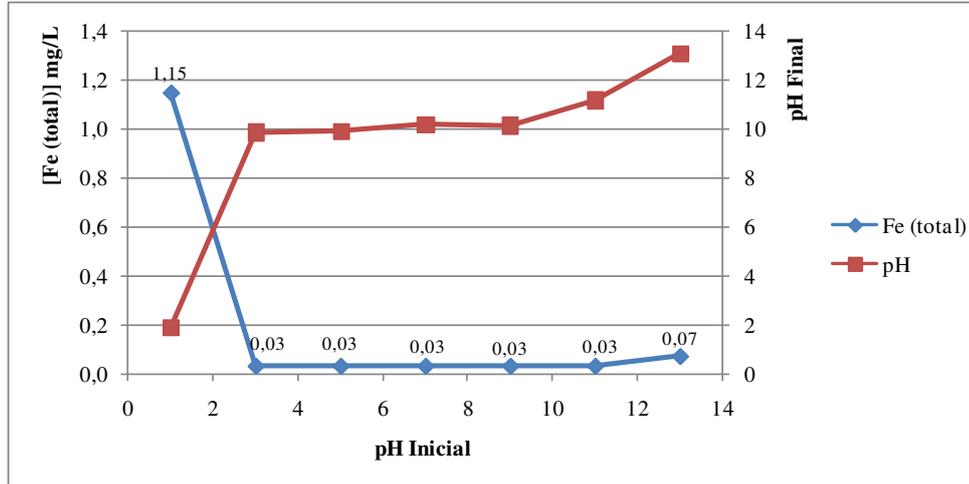


O alumínio é, sem dúvida, uma grande preocupação relacionada a este assunto, o qual foi observado em concentrações muito superiores ao padrão estabelecido na Portaria de Potabilidade (0,2 mg/L). Na referida portaria ele é considerado como parâmetro organoléptico, ou seja, que causa sensações aos órgãos dos sentidos humanos, no caso, o paladar; no entanto, atualmente o alumínio vem sendo relacionado com doenças neurológicas e ósseas.

O ferro é bastante solúvel em pH ácido, como pode ser observado na Figura 42, no entanto, com índices entre 4,3 e 10,0 a taxa de corrosão é menos influenciada pelo pH, porque a despolarização por oxigênio é o principal fator determinante da corrosão. Qualquer aumento adicional do pH reduz a taxa de corrosão até um valor mínimo que é atingido por volta do pH 12, neste ponto, o ferro comporta-se como anfótero e a taxa de corrosão começa a aumentar

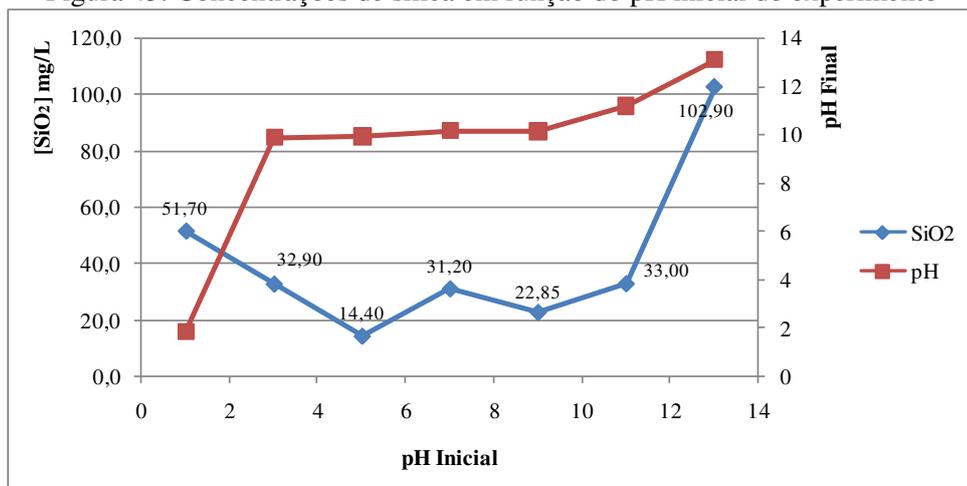
novamente (PRATA, 2014). Por este motivo, foram observadas baixas concentrações desse metal nos ensaios onde se avaliou o tempo de contato e as renovações de água, pois o pH inicial era cerca de 7,0 e em nenhum dos ensaios ultrapassou 11,0.

Figura 42: Concentrações de ferro em função do pH inicial do experimento



Como a sílica ( $\text{SiO}_2$ ) é um óxido ácido, esta tem a capacidade de reagir no meio aquoso com  $\text{OH}^-$  (CHANG, 2010), por isso, observa-se na Figura 43 que a concentração de sílica atingiu 102,9 mg( $\text{SiO}_2$ )/L no pH mais alcalino. Em pH inicial 1,0 também observa-se um valor elevado em relação aos demais (51,7 mg( $\text{SiO}_2$ )/L), o que pode ser devido à reações com  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , já que o cálcio teve maior liberação neste pH.

Figura 43: Concentrações de sílica em função do pH inicial do experimento



Os ensaios comprovam que existe um transporte das substâncias presentes na argamassa de cimento para água, assim como ocorre para águas armazenadas em cisternas. Os

três fatores estudados devem influenciar este processo, sendo eles, o tempo que a água fica em contato com o revestimento das cisternas, as renovações de água e o pH.

Nas águas naturais, o pH geralmente varia entre 6,0 e 9,5, no entanto, de acordo com os resultados obtidos, quando estas ficam em contato com argamassa de cimento, a tendência é aumentar favorecendo ainda mais a liberação de alumínio e sílica.

## 5 CONCLUSÕES

- A Comunidade Santa Luzia é beneficiada com água dessalinizada para consumo humano, porém, o sistema existente não é capaz de atender a demanda e se faz necessário sua ampliação, uma vez que a população, sem outra opção, acaba utilizando água imprópria para o consumo humano.
- As análises bacteriológicas revelaram altas concentrações de coliformes totais e *Escherichia coli* na água de consumo humano, sendo necessário o incentivo à correta higienização dos recipientes e utilização de cloro para prevenção de contaminações.
- As análises físico-químicas apontam características comuns de águas do Semiárido Brasileiro, principalmente pela elevada concentração de sais nas águas subterrâneas, ressaltando-se apenas altas concentrações de alumínio nas águas armazenadas em reservatórios de alvenaria, o que pode estar associado ao transporte de substâncias da argamassa de cimento para a água.
- Com a classificação das fontes alternativas de abastecimento pela Resolução CONAMA 357/2005, conclui-se que duas fontes alternativas (operação pipa e poço comunitário) são adequadas ao uso humano, enquadrando-se na classe 1 de Águas Doces e Salobras, respectivamente. No entanto, a terceira fonte, “Olho d’água”, apresentou grande contaminação, enquadrando-se apenas na classe 3 de Águas Salobras, representando perigo à saúde das pessoas que utilizam sua água.
- Os exames parasitológicos mostraram que 56% das pessoas que realizaram o exame estavam contaminadas com pelo menos um tipo de parasita intestinal, entre estes, a *Giardia lamblia* e a *Entamoeba histolytica*, que são parasitos patogênicos. Essa avaliação reflete de certa forma a qualidade da água disponível na comunidade, a qual apresentou contaminação com *Escherichia coli* que indica contaminação fecal.
- Os ensaios com corpos de prova (constituídos com argamassa de cimento, da mesma forma que o revestimento de cisternas) imersos em água deionizada, comprovam que existe um transporte de componentes do cimento para a água. Este transporte é influenciado pelo tempo em que a água fica armazenada nas cisternas, pelas renovações de água que podem acelerar este processo e pelas variações de pH que podem ocorrer. Das substâncias analisadas o alumínio representa o maior risco, pois as

concentrações são muito elevadas quando comparadas com o padrão de potabilidade e sua ingestão tem sido associada a doenças neurológicas e ósseas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12.648. **Ecotoxicologia aquática – toxicidade crônica – método de ensaio com algas (*Chlorophyceae*)**. Rio de Janeiro, 2011.

APHA, AWWA, WPCF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 20th ed., Washington, D.C: American Public Health Association/ American Water Works Association/ Water Environment Federation, 1998.

AMARAL, L. A.; NADER FILHO, A.; ROSSI JUNIOR, O. D.; FERREIRA, F. L. A.; BARROS, L. S. S. Água de consumo humano como fator de risco à saúde em propriedades rurais. **Revista Saúde Pública**, Jaboticabal, v. 37, n. 4, p. 510-514, 2003.

ANDRADE, J. A.; NUNES, M. A. Acesso à água no Semiárido Brasileiro: uma análise das políticas públicas implementadas na região. **Revista espinhaço**, Diamantina, v. 3, n. 2, p. 28-39, 2014.

ARAÚJO, A. C. S. P. A. **Contribuição para o Estudo da Viabilidade/ Sustentabilidade da Dessalinização enquanto Técnica de Tratamento de Água**. 2013. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente), Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2014.

ASA. **Articulação no Semiárido Brasileiro**. Disponível em: <<http://www.asabrasil.org.br/portal/Default.asp>>. Acesso em: 30 jan. 2015.

AZEVEDO, M. A.; FURTADO, D. A.; NASCIMENTO, J. W. B.; LEAL, A. F. Cisternas Rurais. **Revista Educação Agrícola Superior**, Brasília, v. 22, n. 1, p. 47-52, 2007.

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção: Novos Materiais para Construção Civil**. v. 1. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

BOHRER, D.; NASCIMENTO, P. C.; BINOTTO, R; BECKER, E.; POMBLUM, S. Contribution of the Raw Material to the Aluminum Contamination In Parenterals. **Journal of Parenteral and Enteral Nutrition**, v. 26, n. 6, p. 382-388, nov./dec. 2002.

BONIFÁCIO, S. N. **A percepção dos beneficiários do P1MC quanto à utilização das cisternas de água de chuva no semiárido mineiro**. 2011. 126 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

BRASIL. Agência Nacional de Águas. **A Questão da Água no Nordeste**. Brasília, DF: CGEE, 2012.

BRASIL. Ministério da Saúde. 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**. Brasília, DF, 2011.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Boas práticas no abastecimento de água: procedimentos para minimização de riscos à saúde**. Brasília, DF, 2006.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Relatório final do Grupo de Trabalho Interministerial para redelimitação do semiárido nordestino e do polígono das secas.** Brasília: 2005a. (Mídia impressa e eletrônica).

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento e dá outras providências.** Brasília, DF, 2005b.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Doenças infecciosas e parasitárias: aspectos clínicos, de vigilância epidemiológica e de controle.** Brasília, DF, 1998.

BRUNO, G. U. **Lixiviação de alumínio durante o processo de tribocorrosão em meio ácido, básico e neutro: simulação de cozimento.** 2014. 53 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia de Materiais), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

CARDOSO, M. P.; SILVA, C. V.; PÁDUA, V. L. Captação de água de chuva em cisternas, verificação da potencial liberação de alumínio e seu efeito sobre a saúde. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 26., 2004, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005.

CHANG, Raymond. **Química Geral: Conceitos essenciais.** 4 ed. ArtMed, 2010.

DELFIACO, A. M. **Bomba de acionamento manual para cisterna.** 2012. 57 f. Relatório (Graduação em Engenharia Mecânica). Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

ENGELMAN, R.; CINCOTTA, R. P.; DYE, B.; GARDNER-OUTLAW, T.; WISNEWSKI, J. **People in the Balance: Population and Natural Resources at the Turn of the Millennium.** Population Action International: Washington, 2000. 31 p.

FERREIRA, P. C.; PIAI, K. A.; TAKAYANAGUI, A. M. M.; SEGURA-MUÑOZ, S. I. Alumínio como fator de risco para a Doença de Alzheimer. **Revista Latino Americana de Enfermagem**, Ribeirão Preto, v. 16, n. 1, jan./fev. 2008.

FERREIRA, W. B. **Solução alternativa de abastecimento de água para consumo humano em comunidades difusas: monitoramento e controle de qualidade de água.** 2008. 129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008.

FLATEN, T. P. Aluminium as a risk factor in Alzheimer's disease, with emphasis on drinking water. **Brain Research Bulletin**, v. 55, n. 2, p. 187–196, 2001.

GALHARDO, P. G. **Estudo do setor cimenteiro: produção e aplicação.** 2014. 96 f. Projeto de Graduação (Graduação em Engenharia Civil). Escola Politécnica - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

GNADLINGER, J. Rumo a um padrão elevado de qualidade de água de chuva coletada em cisternas no Semi-árido Brasileiro. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO E

MANEJO DE ÁGUA DE CHUVA, 6., 2007, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Associação Brasileira de Captação e Manejo de Água de Chuva, 2007.

GNADLINGER, J. Tecnologias de captação e manejo de água de chuva em regiões semi-áridas. In: KÜSTER, A.; MARTÍ, J. F.; MELCHERS, I. (Org.). **Tecnologias Apropriadas para Terras Secas** - Manejo sustentável de recursos naturais em regiões semi-áridas no Nordeste do Brasil. Fortaleza: Fundação Konrad Adenauer, GTZ, 2006. p. 103-122.

GOMES, A. I. E. **Avaliação da Ecotoxicidade de Águas Superficiais**: Aplicação à Bacia Hidrográfica do Rio Leça. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, 2007.

GOOGLE MAPS. **Picuí**. Disponível em:  
<<https://www.google.com.br/maps/search/picu%C3%AD/@-14.408749,-51.6631085,4z?hl=pt-BR>> Acesso em: 15 ago. 2014.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2010**. Disponível em:  
<<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default.shtm>>. Acesso em: 20 jan. 2015.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Informações sobre os municípios brasileiros**. Disponível em:  
<<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=251140&search=paraibalpicui>> Acesso em: 12 ago. 2014.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 2 ed. Campinas: Editora Átomo, 2008.

LIMA, V. L. A.; FARIAS, S. A. R. Recursos Hídricos. In: ROCHA, A. P. T.; ABREU, B. S.; FURTADO, D. A.; BARACUHY, J. G. V.; FERNANDES NETO, S. **Manejo ecológico integrado de bacias hidrográficas no semiárido brasileiro**. v. 1, Campina Grande: EPGRAF, 2011. 332 p.

LUNA, C. F. **Avaliação do impacto do Programa Um Milhão de Cisternas Rurais (P1MC) na saúde: ocorrência de diarreia no Agreste Central de Pernambuco**. 207 f. Tese (Doutorado em Saúde Pública). Centro de Pesquisas Aggeu Magalhães - Fundação Oswaldo Cruz, Recife, 2011.

MARTYN, C. N.; COGGON, D. N.; INSKIP, H.; LACEY, R. F.; YOUNG, W. F. Aluminum concentrations in drinking water and risk of Alzheimer's Disease. **Epidemiology**, v. 8, n. 3, p. 281-286, may. 1997.

MEDEIROS, L. R. A.; ISMAEL, L. L.; BRASILIANO, L. N.; SCHMIDT FILHO, R. Desertificação na Paraíba: diagnóstico e perspectivas. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v. 7, n. 1, p. 239-248, jan/mar 2012.

MEDEIROS, S. S.; CAVALCANTE, A. M. B.; MARIN, A. M. P.; TINÔCO, L. B. M.; SALCEDO, I. H.; PINTO, T. F. **Sinopse do Censo Demográfico para o Semiárido Brasileiro**. Campina Grande: INSA, 2012.

MEDEL, A.S.; FAIRMAN, B.; WROBEL, K. Aluminum and silicon speciation in biological materials of clinical relevance. In: CAROLI, S. **Element Speciation in Bioinorganic Chemistry**, v. 135, Ed. Series, Roma, 1996, cap. 7, p. 223-247.

MIASHIRO, L.; LOMBARDI, J. L.; MERCANTE, C. T. J. Ecotoxicity assessment in aquaculture system using the test organism *Pseudokirchneriella subcapitata* (Chlorophyceae). **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 34, n. 4, p. 373-379, oct/dec, 2012.

MILLER, G. T. **Ciência Ambiental**. Tradução All Tasks. São Paulo: Cengage Learning, 2008.

NERBASS, F. B. Orientação dietética e litíase renal. **Jornal Brasileiro de Nefrologia**, São Paulo, v. 36, n. 4, p. 428-429, 2014.

NÓBREGA, R. L. B.; GALVÃO, C. O.; PALMIER, L. R.; CEBALLOS, B. S. O. Aspectos político-institucionais do aproveitamento de água de chuva em áreas rurais do Semiárido Brasileiro. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 17, n. 4, p.109-124, out/dez 2012.

NOREMBERG, S. M. S. **Influência da formação de hidroxialuminossilicatos na biodisponibilidade do alumínio**. 2010. 90 f. Dissertação (Mestrado em Química). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

PEREIRA, J. P. J.; BARACUHY, J. G. V. Contextualização Do Semiárido. In: ROCHA, A. P. T.; ABREU, B. S.; FURTADO, D. A. ; BARACUHY, J. G. V.; FERNANDES NETO, S. **Manejo ecológico integrado de bacias hidrográficas no semiárido brasileiro**. v. 1, Campina Grande: EPGRAF, 2011. 332 p.

PEREIRA, R. A. Semiárido Brasileiro: um histórico de secas e degradação socioambiental. **Revista de História Regional**, Ponta Grossa, v. 17, n. 1, p. 135-161, 2012.

POHLING, R. **Reações Químicas na Análise de Água**. Fortaleza: Arte Visual, 2009.

PRATA, H. D. R. **Manual de Manutenção de Edifícios**: Guia Prático. Engebook: Porto, 2013.

RONDON-BARRAGÁN, I. S.; RAMÍREZ-DUARTE, W. F.; BARATO, P.; ESLAVA-MOCHA, P. R. Importance of the biogeochemical cycle of aluminium (Al) with relationship with soil acidity in the fish production and public health What would be Orinoquia's case? **Revista Orinoquia**, Villavicencio, v. 11, n. 2, 2007.

SELKOE, D. J. Normal and abnormal biology of the betaamyloide precursor protein. **Annu Rev Neurosci**, v.17, p. 489-517, 1994.

SILVA JUNIOR, A. F.; AGUIAR, M. S. S.; CARVALHO JUNIOR, O. S.; SANTANA, L. N. S.; FRANCO, E. C. S.; LIMA, R. R.; SIQUEIRA, N. V. M.; FEIO, R. A.; FARO, L. R. F.; LEAL, W. G. Hippocampal neuronal loss, decreased GFAP immunoreactivity and cognitive impairment following experimental intoxication of rats with aluminum citrate. **Brain Research**, v. 49, p.23-33, 2013a.

SILVA JUNIOR, A. F. **Intoxicação crônica experimental com alumínio: padrões degenerativos, comportamentais e terapia experimental com magnésio após lesão hipocampal**. 2013. 116 f. Tese (Doutorado em Neurociências e Biologia Celular). Universidade Federal do Pará, Belém, 2013b.

SILVA, J. A. L.; MEDEIROS, M. C. S.; DANTAS, H. F. S. A; FREITAS, J. P.; AZEVEDO, P. V. Captação de água de chuva em cisternas de placa: instrumento de gestão sustentável e socioambiental. **Revista Polêm!ca**, Rio de Janeiro, v. 12, n.3, p. 499-510, jul/ago/set 2013.

SOUZA, A. C. M. **Manejo integrado do rejeito da dessalinização da água salobra na agricultura**. 2014. 59 f. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo e Água), Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2014.

SOUZA, S. H. B.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SANTOS, S. M.; PESSOA, S. G. S.; NÓBREGA, R. L. B. Avaliação da qualidade da água e da eficácia de barreiras sanitárias em sistemas para aproveitamento de águas de chuva. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 16, n.3, p. 81-93, jul/set 2011.

TUNDISI, J. G.; T. MATSUNURA- TUNDISI. **Recursos Hídricos no Século XXI**. São Paulo: Oficina de textos, 2011. 311 p.

WHO - World Health Organization. **Guidelines for drinking-water quality**. 4 ed. Genebra, 2011.

## **APÊNDICE**

Apêndice A – Resultados bacteriológicos das amostras de água para consumo humano da 1ª coleta

Residências	1ª Coleta							
	Coliformes Totais			Média	<i>Escherichia coli</i>			Média
1	2022,0	2022,0	2022,0	2022,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	67,0	78,0	25,0	56,7	0,0	0,0	0,0	0,0
3	74,0	69,0	86,0	76,3	0,0	0,0	0,0	0,0
4	410,0	644,0	402,0	485,3	0,0	0,0	0,0	0,0
5	832,0	1002,0	757,0	863,7	0,0	0,0	0,0	0,0
6	52,0	63,0	93,0	69,3	0,0	0,0	0,0	0,0
7	2022,0	2022,0	2022,0	2022,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	2022,0	2022,0	2022,0	2022,0	13,0	10,0	15,0	12,7
9	1150,0	1150,0	1099,0	1133,0	10,0	30,0	32,0	24,0
10	1828,0	1583,0	1511,0	1640,7	15,0	19,0	22,0	18,7
11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12	1373,0	872,0	832,0	1025,7	4,0	62,0	4,0	23,3
13	456,0	521,0	476,0	484,3	0,0	0,0	0,0	0,0
14	688,2	597,4	597,4	627,7	39,8	37,4	37,0	38,1
15	2022,4	2022,4	2022,4	2022,4	0,0	0,0	0,0	0,0
16	0,0	4,0	15,0	6,3	0,0	0,0	0,0	0,0
17	419,6	1067,0	874,8	787,1	0,0	0,0	0,0	0,0
18	1921,2	1921,2	1921,2	1921,2	0,0	0,0	0,0	0,0
19	6,2	6,2	8,2	6,9	0,0	0,0	0,0	0,0
20	544,6	626,0	570,2	580,3	0,0	0,0	0,0	0,0
21	688,0	598,0	598,0	628,0	40,0	38,0	37,0	38,3
22	597,4	570,2	437,4	535,0	0,0	0,0	0,0	0,0
23	2022,4	2022,4	2022,4	2022,4	2022,4	2022,4	2022,4	2022,4
24	2,0	2,0	11,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0
25	1827,8	1921,2	2022,4	1923,8	31,2	2022,4	42,2	698,6
26	756,8	688,2	721,8	722,3	0,0	0,0	0,0	0,0
27	1258,8	1203,0	1258,8	1240,2	2,0	2,0	4,0	2,7
28	2022,4	2022,4	2022,4	2022,4	473,4	357,8	402,8	411,3
29	2022,4	2022,4	2022,4	2022,4	0,0	0,0	0,0	0,0
30	1659,4	1378,6	1317,2	1451,7	0,0	0,0	0,0	0,0



Apêndice C – Resultados físico-químicos das amostras de água para consumo humano provenientes do dessalinizador

	Residências			Média	Desvio Padrão
	1	2	3		
Condutividade Elétrica, mmho/cm a 25 °C	86,7	112,1	107,9	102,2	13,62
Potencial Hidrogeniônico, pH	5,9	6,8	6,7	6,5	0,49
Turbidez, (uT)	0,3	1,4	0,8	0,8	0,55
Cor, Unidade Hazen (mg Pt–Co/L).	0,0	5,0	0,0	1,7	2,89
Dureza em Cálcio (Ca <sup>++</sup> ), mg/L	1,3	2,0	4,1	2,5	1,46
Dureza em Magnésio (Mg <sup>++</sup> ), mg/L	1,6	2,5	2,3	2,1	0,47
Dureza Total (CaCO <sub>3</sub> ), mg/L	10,0	15,3	19,8	15,0	4,91
Sódio (Na <sup>+</sup> ), mg/L	16,9	19,0	14,7	16,9	2,15
Potássio (K <sup>+</sup> ), mg/L	1,2	1,2	1,0	1,1	0,12
Alumínio (Al <sup>3+</sup> ), mg/L	0,00	0,02	0,11	0,04	0,06
Ferro Total, mg/L	0,00	0,03	0,01	0,01	0,02
Alcalinidade em Hidróxidos, mg/L (CaCO <sub>3</sub> )	0,0	0,0	0,0	0	0,00
Alcalinidade em Carbonatos, mg/L (CaCO <sub>3</sub> )	0,0	0,0	0,0	0	0,00
Alcalinidade em Bicarbonatos, mg/L (CaCO <sub>3</sub> )	4,6	8,0	8,0	6,9	1,96
Alcalinidade Total, mg/L (CaCO <sub>3</sub> )	4,6	8,0	8,0	6,9	1,96
Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> ), mg/L	5,6	5,8	5,0	5,5	0,42
Fósforo Total, mg/L	0,0	0,4	0,5	0,3	0,26
Cloreto (Cl <sup>-</sup> ), mg/L	21,3	28,4	27,7	25,8	3,91
Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ), mg/L	7,84	8,15	4,34	6,78	2,12
Nitrito (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ), mg/L	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00
Amônia (NH <sub>3</sub> ), mg/L	0,00	0,00	0,00	0	0,00
Sílica, mg/L (SiO <sub>2</sub> )	1,6	1,4	0,8	1,3	0,42
STD (Sólidos Totais Dissolvidos a 180°C), mg/L	63,0	78,2	69,9	70,4	7,61

Apêndice D – Resultados físico-químicos das amostras de água de usos múltiplos coletadas nas residências

<b>Residência</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
<b>Fonte de água</b>	<b>Carro pipa</b>	<b>Poço</b>	<b>Poço</b>	<b>Poço</b>	<b>Carro pipa</b>	<b>Chuva</b>	<b>Carro pipa</b>	<b>Olho d'água</b>	<b>Poço</b>	<b>Poço</b>
<b>Tipo de reservatório</b>	<b>Tipo I</b>	<b>Tipo I</b>	<b>Tipo I</b>	<b>Tipo I</b>	<b>Tipo I</b>	<b>Tipo I</b>	<b>Tipo I</b>	<b>Tipo I</b>	<b>Tipo I</b>	<b>Tipo I</b>
Condutividade Elétrica, mmho/cm a 25 °C	470,1	963,1	1.002,00	2.630,00	840,1	133,2	1.002,00	3.170,00	815,2	1.204,00
Potencial Hidrogeniônico, pH	7,8	7,4	7,1	7,8	7,3	7,2	7,6	7,8	7,7	6
Turbidez, (uT)	1	7,2	2,1	4,9	2,2	2,7	1,2	26,7	4,6	1,6
Cor, Unidade Hazen (mg Pt–Co/L).	10	5	5	25	5	10	5	100	10	5
Dureza em Cálcio (Ca <sup>++</sup> ), mg/L	32,6	38,6	15	49,5	20	20	26	51	21,4	19
Dureza em Magnésio (Mg <sup>++</sup> ), mg/L	4,7	29,6	25,3	81,3	17,2	1,2	22,3	103,2	14,2	29
Dureza Total (CaCO <sub>3</sub> ), mg/L	101	220	143	462,5	121,5	55	158	557,5	112,5	168,5
Sódio (Na <sup>+</sup> ), mg/L	56,6	101,2	155	427,3	127,2	3,2	151,9	514	127,2	193
Potássio (K <sup>+</sup> ), mg/L	4,2	11,9	8,3	20	5,8	1,1	9,1	26,1	5,3	9,9
Alumínio (Al <sup>3+</sup> ), mg/L	0,13	0,21	0,1	0,45	0,15	0,46	0,2	0,16	0,56	0,16
Ferro Total, mg/L	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,11	0,07	0,06
Alcalinidade em Hidróxidos, mg/L (CaCO <sub>3</sub> )	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Alcalinidade em Carbonatos, mg/L (CaCO <sub>3</sub> )	0	0	0	0	0	0	0	16	0	0
Alcalinidade em Bicarbonatos, mg/L (CaCO <sub>3</sub> )	58	58	40,4	75	24	30	68	58	24	6,4
Alcalinidade Total, mg/L (CaCO <sub>3</sub> )	58	58	40,4	75	24	30	68	74	24	6,4
Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ), mg/L	10	15,8	17,2	128,8	21,5	14,3	24,3	96,7	14	24,4
Fósforo Total, mg/L	1,3	0,6	0,5	0,7	0,4	0,9	1,2	1,6	0,1	0,1
Cloreto (Cl <sup>-</sup> ), mg/L	120,7	259,2	301,8	896,4	249,9	13,5	287,6	1.095,20	245	398,3
Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ), mg/L	0,93	0,27	0,27	0,35	1,64	1,11	0,44	1,68	0,35	0,13
Nitrito (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ), mg/L	0,02	0,02	0,01	0,04	0,01	0,01	0,01	0,33	0,05	0,03
Amônia (NH <sub>3</sub> ), mg/L	0,2	0,1	0,1	0,22	0,2	0,25	0,15	0,54	0,15	0,15
Sílica, mg/L (SiO <sub>2</sub> )	36,7	71,9	61	58	72,8	2,7	64,8	63,8	68,4	71,8
STD (Sólidos Totais Dissolvidos a 180°C), mg/L	337,4	599,4	633,2	1.753,90	545,5	94,4	669,6	2.033,10	525,7	753,7

Apêndice D – Resultados físico-químicos das amostras de água de usos múltiplos coletadas nas residências

Residência	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Fonte de água	Olho d'água	Olho d'água	Carro pipa	Poço	Poço	Poço	Açude	Carro pipa	Carro pipa	Poço
Tipo de reservatório	Tipo I	Tipo I	Tipo II	Tipo I	Tipo I	Tipo I	Tipo I	Tipo II	Tipo II	Tipo I
Condutividade Elétrica, mmho/cm a 25 °C	2.910,00	3.120,00	1.056,00	1.068,00	1.295,00	884,2	1.073,00	879,2	168,3	951,3
Potencial Hidrogeniônico, pH	7,1	7,2	8,2	6,6	6,4	7	7,1	7,5	8,4	9,7
Turbidez, (uT)	1,3	3,8	4,9	1,6	2,1	0,5	1,3	5,6	1	11,9
Cor, Unidade Hazen (mg Pt–Co/L).	20	35	15	10	10	0	20	25	5	25
Dureza em Cálcio (Ca <sup>++</sup> ), mg/L	47,5	46,5	12	45	26	29	27,2	22	8,6	16
Dureza em Magnésio (Mg <sup>++</sup> ), mg/L	94,5	101,7	34,8	31,8	32,8	15	28,8	23	3,8	1,3
Dureza Total (CaCO <sub>3</sub> ), mg/L	512,5	540	175	245	201,5	135	188	151	37,5	45,5
Sódio (Na <sup>+</sup> ), mg/L	460,8	504,9	162,9	101,2	207,4	113,8	150,4	127,2	21,2	152,2
Potássio (K <sup>+</sup> ), mg/L	22,6	24,7	10,4	13	10,7	5,3	6,7	5,6	1,2	42,8
Alumínio (Al <sup>3+</sup> ), mg/L	0,13	0,07	0,1	0,26	0,17	0,01	0,03	0,03	0,11	0,21
Ferro Total, mg/L	0,03	0,04	0,07	0,02	0,05	0,04	0,04	0,02	0,02	0,03
Alcalinidade em Hidróxidos, mg/L (CaCO <sub>3</sub> )	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Alcalinidade em Carbonatos, mg/L (CaCO <sub>3</sub> )	0	0	8,8	0	0	0	64	0	8	0
Alcalinidade em Bicarbonatos, mg/L (CaCO <sub>3</sub> )	75	74	87,2	60	12,8	40,4	4	94	17,2	110
Alcalinidade Total, mg/L (CaCO <sub>3</sub> )	75	74	96	60	12,8	40,4	68	94	25,2	110
Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ), mg/L	71,8	96,7	24	15,1	23,7	25,9	33	20,9	4,3	18
Fósforo Total, mg/L	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	0	0,1	0	0	0
Cloreto (Cl <sup>-</sup> ), mg/L	997,6	1.091,60	308,9	278,3	449,4	239,3	269,8	223,7	39,1	234,3
Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ), mg/L	0,44	0,31	0,09	1,33	0,18	0,35	0,09	0,09	2,17	1,59
Nitrito (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ), mg/L	0,09	0,07	0,02	0,28	0,04	0,01	0,02	0,02	0,01	0,06
Amônia (NH <sub>3</sub> ), mg/L	0,17	0,36	0,18	0,55	0,27	0	0,45	0,18	0	1,42
Sílica, mg/L (SiO <sub>2</sub> )	70,6	74,8	1,4	71,1	71,4	33,5	0,1	0,1	0,1	26,2
STD (Sólidos Totais Dissolvidos a 180°C), mg/L	1.857,80	2.032,00	666,4	631,1	837,7	511,5	650,9	537,5	106,4	537,5

Apêndice D – Resultados físico-químicos das amostras de água de usos múltiplos coletadas nas residências

<b>Residência</b>	<b>21</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>24</b>	<b>25</b>	<b>26</b>	<b>27</b>	<b>28</b>	<b>29</b>	<b>30</b>
<b>Fonte de água</b>	<b>Carro pipa</b>	<b>Carro pipa</b>	<b>Carro pipa</b>	<b>Poço</b>						
<b>Tipo de reservatório</b>	<b>Tipo II</b>	<b>Tipo II</b>	<b>Tipo II</b>	<b>Tipo II</b>	<b>Tipo II</b>	<b>Tipo II</b>	<b>Tipo II</b>	<b>Tipo II</b>	<b>Tipo II</b>	<b>Tipo II</b>
Condutividade Elétrica, mmho/cm a 25 °C	865,7	912,1	3.010,00	2.250,00	2.840,00	3.060,00	2.800,00	2.690,00	3.100,00	2.790,00
Potencial Hidrogeniônico, pH	7,6	7,8	7,3	7,4	8,2	7,7	7,4	7	6,6	6,7
Turbidez, (uT)	1,2	2,8	1,1	1,7	1,2	1,4	1,7	1,4	1,2	2,4
Cor, Unidade Hazen (mg Pt–Co/L).	5	20	5	5	5	5	5	5	0	5
Dureza em Cálcio (Ca <sup>++</sup> ), mg/L	23,6	24,2	68,5	43	50	50	45	41,5	47,5	45,5
Dureza em Magnésio (Mg <sup>++</sup> ), mg/L	16	26,3	118,8	64,8	81,9	87	83,4	76,8	87	77,1
Dureza Total (CaCO <sub>3</sub> ), mg/L	125,5	170	666,3	377,5	466,3	487,5	460	423,8	481,3	435
Sódio (Na <sup>+</sup> ), mg/L	134,2	144,4	391,4	344,9	427,5	491,4	424,3	421,2	500,3	419,2
Potássio (K <sup>+</sup> ), mg/L	6,3	5,8	18,7	11,8	14,5	13,1	16	14,5	14	13,1
Alumínio (Al <sup>3+</sup> ), mg/L	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,08	0,04	0,02	0,01	0
Ferro Total, mg/L	0,02	0,04	0,02	0,08	0,07	0,07	0,04	0,05	0,08	0,08
Alcalinidade em Hidróxidos, mg/L (CaCO <sub>3</sub> )	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Alcalinidade em Carbonatos, mg/L (CaCO <sub>3</sub> )	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Alcalinidade em Bicarbonatos, mg/L (CaCO <sub>3</sub> )	55,2	98,8	95	98	35	22	12	60	70	13
Alcalinidade Total, mg/L (CaCO <sub>3</sub> )	55,2	98,8	95	98	35	22	12	60	70	13
Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ), mg/L	28	43	55,8	29,7	26,1	68,2	26,1	21,6	52,2	29,7
Fósforo Total, mg/L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cloreto (Cl <sup>-</sup> ), mg/L	230	235,7	942,5	688,7	921,2	1.011,80	931,9	868	999,3	908,8
Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ), mg/L	0,49	0	0,27	0	0,27	0,04	0,09	0,09	0,18	0,27
Nitrito (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ), mg/L	0,06	0,01	0,04	0,01	0,07	0,01	0	0,01	0,04	0,04
Amônia (NH <sub>3</sub> ), mg/L	0,11	0,45	0,51	0,16	0,05	0,22	0,49	0,27	0,3	0,27
Sílica, mg/L (SiO <sub>2</sub> )	0,2	0,2	38,3	31,8	34,3	35,6	37	35,4	39,2	37,2
STD (Sólidos Totais Dissolvidos a 180°C), mg/L	506,4	600,6	1.750,70	1.334,50	1.598,60	1.784,20	1.579,00	1.552,60	1.825,50	1.547,00

