



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS ERECHIM
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA**

ANA PAULA DA SILVEIRA SANTOS

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE POÇOS ARTESIANOS UTILIZADOS
NO ABASTECIMENTO PÚBLICO DO MUNICÍPIO DE CARLOS GOMES-RS,
ATRAVÉS DE ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS, MICROBIOLÓGICAS E TESTES
TOXICOLÓGICOS**

ERECHIM

2017

ANA PAULA DA SILVEIRA SANTOS

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE POÇOS ARTESIANOS UTILIZADOS
NO ABASTECIMENTO PÚBLICO DO MUNICÍPIO DE CARLOS GOMES-RS,
ATRAVÉS DE ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS, MICROBIOLÓGICAS E TESTES
TOXICOLÓGICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal da Fronteira Sul, como requisito para a obtenção do título de Bacharela em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Prof.^a Dra. Cristiane Funghetto Fuzinatto

ERECHIM

2017

ANA PAULA DA SILVEIRA SANTOS

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE POÇOS ARTESIANOS UTILIZADOS
NO ABASTECIMENTO PÚBLICO DO MUNICÍPIO DE CARLOS GOMES-RS,
ATRAVÉS DE ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS, MICROBIOLÓGICAS E TESTES
TOXICOLÓGICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal da Fronteira Sul, como requisito para a obtenção do título de Bacharela em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Prof.^a Dra. Cristiane Funghetto Fuzinatto

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi defendido e aprovado pela banca em:
27/ 11 / 2017

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Liérson Borges de Castro — UFFS – Erechim

Prof^a. Dra. Marília Teresinha Hartmann — UFFS – Erechim

Prof^a. Dra Gean Delise Leal P. Vargas — UFFS – Erechim

AGRADECIMENTOS

À Deus, por ter me dado a oportunidade de realizar este trabalho e a capacidade de me esforçar para concluir mais uma importante etapa em minha vida.

À minha família e amigos, que puderam compreender minhas angústias e a falta de atenção não só durante este trabalho, mas durante todo o curso.

Ao meu namorado Willian, por toda a compreensão e paciência durante esta etapa importante de minha vida, bem como toda a ajuda prestada nos mais diversos momentos.

Aos meus amigos e colegas do curso que contribuíram de diferentes formas para esta minha conquista.

À minha orientadora professora Doutora Cristiane Funghetto Fuzinato, por aceitar mais uma orientanda, quando já tinha demais, e mesmo assim não medir esforços para que tudo ocorresse da melhor maneira, sempre com muita paciência devido a minha falta de tempo e com muito carinho e objetividade.

Às colegas do laboratório, em especial à Andressa Balen, que sempre estava por perto me auxiliando, muitas vezes, deixando suas coisas de lado para me ajudar.

Ao Bruno Prina, técnico do laboratório de geoprocessamento e sensoriamento remoto por toda a sua ajuda, sempre com muita atenção e presteza.

Enfim, gostaria de agradecer a todos os professores, funcionários, colegas e todas as pessoas que de alguma maneira fizeram parte da minha vida dentro da Universidade.

RESUMO

A disponibilidade hídrica subterrânea e a crescente demanda por água potável acentuam a exploração dos aquíferos, causando muitas vezes, sua contaminação, e por isso a questão da qualidade da água subterrânea vem se tornando cada vez mais importante para o gerenciamento do recurso hídrico no Brasil. O objetivo deste trabalho foi de avaliar a qualidade da água subterrânea utilizada para o abastecimento público do município de Carlos Gomes, localizado no norte do Rio Grande do Sul através de análises físico-químicas, microbiológicas e toxicológicas da água de 3 poços artesianos do município. As amostras foram coletadas em três meses no ano de 2017. Além disso, foi elaborado o mapa de uso e ocupação do solo para estabelecer possíveis relação do uso do solo com a qualidade da água subterrânea. Foram analisados: turbidez, condutividade elétrica, temperatura, pH, oxigênio dissolvido, alcalinidade, fósforo, sólidos totais, cloretos, dureza, nitrato, nitrito, nitrogênio amoniacal e organismos indicadores de contaminação microbiológica (coliformes totais e *Escherichia coli*), além da realização teste de toxicidade aguda e crônica com o microcrustáceo *Daphnia magna*. Nos testes físico-químicos, o parâmetro nitrato apresentou valores acima do máximo permitido pela legislação para os poços P1 e P3 no mês de junho e próximo ao máximo permitido para o P2 no mês de julho. Quanto aos testes microbiológicos, o P2 apresentou coliformes totais e deve receber tratamento de desinfecção por cloração. Os testes de toxicidade aguda e crônica com a *D. magna* realizaram-se com amostras do mês de junho, devido aos altos valores de nitrato. As amostras dos três poços não causaram toxicidade aguda para os organismos expostos. Já o teste crônico com *D. magna* apresentou efeitos crônicos na reprodução dos organismos expostos em água bruta dos poços P1 e P2 e efeitos crônicos no crescimento em organismos expostos em amostra bruta do P1. A longevidade dos organismos não foi afetada. O P3 não apresentou efeito de toxicidade crônica para nenhum dos parâmetros avaliados, mas, em contrapartida, teve a maior quantidade de machos (organismos que não se reproduziram) e de neonatos produzidos pelas fêmeas sobreviventes no bioensaio. Os organismos sobreviventes foram observados em lupa e não apresentaram deformações morfológicas para nenhuma das amostras avaliadas. Os poços localizados em área agrícola apresentaram maiores valores de fósforo comparados ao poço localizado em área urbana, que apresentou maiores valores de cloretos, condutividade elétrica, dureza, alcalinidade, sólidos totais e no mês de junho, valores de turbidez mais elevados. Devido aos riscos da ingestão constante de água com altas concentrações de nitrato, é necessário um monitoramento constante nas águas subterrâneas do município de Carlos Gomes – RS.

Palavras-chave: Água subterrânea, Uso do solo, Toxicologia, *Daphnia magna*.

ABSTRACT

Groundwater availability and the growing demand for drinking water accentuate the exploitation of aquifers, often causing them to be contaminated, and therefore the issue of groundwater quality has become increasingly important for the management of water resources in Brazil. The objective of this work was to evaluate the groundwater quality used for the public supply of the municipality of Carlos Gomes, located in the north of Rio Grande do Sul through physical-chemical, microbiological and toxicological analyzes of the water of three artesian wells in the municipality. The water samples were collected in three months in the year of 2017. In addition, the land use and occupation map were elaborated to establish possible relationship between land use and groundwater quality. The following parameters were analyzed: turbidity, electrical conductivity, temperature, pH, dissolved oxygen, alkalinity, phosphorus, total solids, chlorides, hardness, nitrate, nitrite, ammoniacal nitrogen and organisms indicating microbiological contamination (total coliforms and *Escherichia coli*). Toxicological tests (acute and chronic) were performed with the microcrustacean *Daphnia magna*. In the physical-chemical tests, the nitrate parameter presented values above the maximum allowed by the legislation for wells P1 and P3 in the month of June and close to the maximum allowed for P2 in the month of July. Regarding microbiological tests, P2 presented total coliforms and should receive disinfection treatment by chlorination. The acute and chronic toxicity tests with *D. magna* were carried out with samples from June, due to the high nitrate values. Samples from the three wells did not cause acute toxicity to *D. magna*. On the other hand, the chronic toxicity test had chronic effects on the average reproduction in organisms exposed in raw water of the P1 and P2 wells and chronic effects on the growth in organisms exposed in the crude sample of P1. P3 had no chronic effects, but had the highest number of males and the females who survived the test produced the highest quantity s in the bioassay. The surviving organisms were observed in magnifying glass and showed no morphological deformations. The wells located in agricultural area had higher values of phosphorus compared to the well located in urban area, which presented higher values of chlorides, electrical conductivity, hardness, alkalinity, total solids and in the month of June, higher values of turbidity. Due to the risks of constant water intake with high concentrations of nitrate, a constant monitoring of the groundwater of the municipality of Carlos Gomes - RS is required.

Keywords: Groundwater, Soil use, Toxicology, *Daphnia magna*.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Microcrustáceo <i>Daphnia magna</i>	30
Figura 2 - Localização do Município de Carlos Gomes e dos três poços de coleta. .	34
Figura 3 Localização do poço artesiano P1 em área rural do município de Carlos Gomes - RS.....	35
Figura 4: Localização do poço artesiano P2 em área rural do município de Carlos Gomes – RS.....	36
Figura 5 - Localização do poço artesiano P3 em área urbana do município de Carlos Gomes RS.....	36
Figura 6 - Valores de temperatura obtidos durante três meses em três poços artesanais amostrados no município de Carlos Gomes - RS.....	43
Figura 7 – Variação da concentração de Oxigênio Dissolvido durante três meses de coleta, em três poços artesanais amostrados no município de Carlos Gomes – RS	44
Figura 8 – Variação do pH durante três meses de coleta, em três poços artesanais amostrados no município de Carlos Gomes – RS.....	45
Figura 9 - Valores de Condutividade elétrica obtidos durante três meses em três poços artesanais amostrados no município de Carlos Gomes – RS	46
Figura 10 - Valores de Turbidez obtidos durante três meses em três poços artesanais amostrados no município de Carlos Gomes - RS	47
Figura 11 – Variação da concentração de Sólidos obtidos durante três meses em três poços artesanais amostrados no município de Carlos Gomes – RS.....	48
Figura 12 - Valores de Alcalinidade obtidos durante três meses em três poços artesanais amostrados no município de Carlos Gomes – RS	50
Figura 13 - Valores de Dureza obtidos durante três meses em três poços artesanais amostrados no município de Carlos Gomes – RS.....	51
Figura 14- Variação da concentração de Cloretos durante três meses em três poços artesanais amostrados no município de Carlos Gomes - RS.....	52
Figura 15- Concentração de Nitrogênio Amoniacal durante três meses em três poços artesanais amostrados no município de Carlos Gomes – RS	54
Figura 16 - Concentração de Nitrito durante três meses em três poços artesanais amostrados no município de Carlos Gomes – RS.....	55
Figura 17 – Variação na concentração de Nitrato nos poços amostrados, durante três meses, em três poços artesanais amostrados no município de Carlos Gomes - RS	56

Figura 18 - Variação na concentração de Fósforo durante três meses, em três poços artesianos amostrados no município de Carlos Gomes – RS	59
Figura 19 - <i>Daphnia magna</i> sobrevivente no teste crônico observada na lupa com aumento de 40x.....	66
Figura 20 - Mapa de uso e ocupação do solo do município de Carlos Gomes - RS .	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Variáveis medidas, suas respectivas unidades e metodologia de análise.	38
Tabela 2 - Valores dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos apresentados nas amostras analisadas nos meses de Junho, Julho e Agosto de 2017.	42
Tabela 3 - Resultados coliformes totais e termotolerantes (fecais) nos poços artesanais amostrados no município de Carlos Gomes – RS.	60
Tabela 4 - Resultados do teste de toxicidade crônica utilizando o microcrustáceo D. magna para as amostras coletadas no mês de Junho de 2017.	63
Tabela 5: Resultados do teste crônico através de bioensaios com D. magna em amostras do poço artesiano P3 do município de Carlos Gomes – RS.....	64
Tabela 6: Distribuição do uso e ocupação da terra no município de Carlos Gomes – RS.	67

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
2 OBJETIVOS	10
2.1 OBJETIVO GERAL	10
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
3.1 A ÁGUA NO MEIO AMBIENTE	11
3.2 IMPORTÂNCIA DA ÁGUA SUBTERRÂNEA.....	12
3.3 FATORES QUE INTERFEREM NA QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA ..	15
3.4 DOENÇAS DE VEICULAÇÃO HÍDRICA	17
3.5 LEGISLAÇÃO.....	17
3.6 PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA.....	19
3.6.1 Parâmetros físicos	19
3.6.1.1 Turbidez.....	19
3.6.1.2 Condutividade Elétrica.....	20
3.6.1.3 Sólidos Totais	20
3.6.1.4 Temperatura	21
3.6.2 Parâmetros químicos	21
3.6.2.1 Potencial Hidrogeniônico (pH)	21
3.6.2.2 Oxigênio Dissolvido	21
3.6.2.3 Alcalinidade	22
3.6.2.4 Cloretos	22
3.6.2.5 Dureza	23
3.6.2.6 Fósforo	23
3.6.2.7 Demanda Bioquímica de Oxigênio	24
3.6.2.8 Formas Nitrogenadas	24
3.6.3 Análises microbiológicas	25
3.7 TOXICOLOGIA AMBIENTAL	26
3.7.1 Testes toxicológicos	27
3.7.2 Organismo-teste	30
4 METODOLOGIA	32
4.1 ÁREA DE ESTUDO.....	32

4.2 LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS ARTESIANOS.....	33
4.3 COLETA E PRESERVAÇÃO DAS AMOSTRAS	37
4.4 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS E MICROBIOLÓGICAS.....	37
4.5 TESTES DE TOXICIDADE.....	39
4.6 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E SUA RELAÇÃO COM A QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA	41
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
5.1 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS	43
5.1.1 Temperatura	43
5.1.2 Oxigênio Dissolvido	44
5.1.3 Potencial Hidrogeniônico.....	45
5.1.4 Condutividade Elétrica	46
5.1.5 Turbidez.....	47
5.1.6 Sólidos Totais	48
5.1.7 Alcalinidade.....	49
5.1.8 Dureza.....	50
5.1.9 Cloretos	52
5.1.10 Nitrogênio Amoniacal.....	53
5.1.11 Nitrito	54
5.1.12 Nitrato	55
5.1.13 Fósforo	58
5.1.14 Demanda Bioquímica de Oxigênio	59
6.2 ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS.....	59
5.3 TESTES DE TOXICIDADE.....	61
5.3.1 Toxicidade Aguda com <i>Daphnia magna</i>.....	61
5.3.2 Toxicidade Crônica com <i>Daphnia magna</i>.....	62
5.4 RELAÇÕES ENTRE OS TESTES DE QUALIDADE DA ÁGUA E A OCUPAÇÃO DO SOLO.....	66
6 CONCLUSÃO	69
7 RECOMENDAÇÕES.....	70
8. REFERÊNCIAS.....	71

1 INTRODUÇÃO

Nosso planeta abriga uma grande diversidade de organismos, sendo que todos dependem da água para sobreviver. Os seres humanos apresentam cerca de 60% de seu peso constituído de água e não se conhece outro elemento que possa substituí-la (SPERLING, 2005; BAIRD & CANN, 2011; TELLES, 2013).

A utilização de água para abastecimento humano está diretamente ligada a história da humanidade, principalmente a partir do momento em que o homem deixou de ser nômade e passou a ter vida sedentária, procurando sempre se instalar em locais próximos a este recurso. Importantes eventos marcaram a evolução histórica do abastecimento de água, sempre buscando atender as preocupações existentes na época (HELLER & DE PÁDUA, 2010). Com o desenvolvimento de novas e diversas culturas, foram surgindo sociedades cada vez mais complexas, e para garantir sua sobrevivência, passou a exigir ao mesmo tempo, a busca por maior quantidade de água, como também melhor qualidade da água, visto que o aumento de aportes tecnológicos, trazem consigo novas demandas pela água (HELLER & DE PÁDUA, 2010). De acordo com Telles (2013), a água sendo uma substância fundamental para todos os processos vitais, torna-se um fator limitante para o desenvolvimento sustentável, visto que todas as formas de desenvolvimento, seja urbano, rural ou industrial estão diretamente ligadas tanto à sua disponibilidade, como também à sua qualidade.

Vale lembrar que o volume total de água disponível no Planeta Terra mantém-se relativamente constante ao longo do tempo, mas apresenta variações na distribuição em seus diferentes compartimentos, sendo ainda distribuída desigualmente entre as regiões (HELLER & DE PÁDUA, 2010). A distribuição média da água é extremamente desigual, pois apenas 0,8% do volume total é água doce e a maior parte desta água é subterrânea (SPERLING, 2005). A pressão sobre a disponibilidade de água aumenta à medida em que o crescimento populacional, aliado aos altos níveis de industrialização e o crescimento desordenado das cidades, ocasionam o lançamento de despejos e resíduos em cursos de águas superficiais, dificultando e encarecendo o seu tratamento (DELLAMATRICE et al., 2011).

Nesta perspectiva, o uso da água subterrânea, ou seja, toda a água que ocupa os espaços vazios nas formações geológicas, vem se intensificando juntamente com o melhoramento de técnicas de exploração, permitindo a retirada de volumes e

profundidade cada vez maiores, para acompanhar o crescimento da demanda (TELLES, 2013).

No entanto, a crença de que as águas subterrâneas estavam naturalmente protegidas ocasionou uma certa despreocupação na manutenção de fatores que podem degradar a qualidade destes reservatórios (COLVARA, LIMA & SILVA, 2009).

Segundo a Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde, toda a água destinada ao consumo humano, distribuída coletivamente por sistema ou solução alternativa coletiva de abastecimento de água, deve ter controle e vigilância da qualidade da água, além de que todo responsável pelo abastecimento, deve manter registros atualizados sobre qualidade da água, sendo estes disponíveis e de pronto acesso e consulta pública (BRASIL, 2011).

No Rio Grande do Sul, o Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano – Sisagua fornece as informações sobre a qualidade da água proveniente dos sistemas, soluções alternativas coletivas e individuais de abastecimento de água, entretanto, nem todos os municípios são atingidos e os nem sempre os resultados são divulgados (BRASIL, 2012a).

De acordo, com o Plano de Saneamento Básico Municipal, o município de Carlos Gomes, situado na região Norte do Rio Grande do Sul, apresenta residências sem esgotamento sanitário adequado, com lançamento direto na rede pluvial, na rua e ainda diretamente no próprio terreno, indicando a fragilidade do sistema de saúde pública frente à precariedade do sistema de esgotamento sanitário. Além disso, nem todos os poços usados para abastecimento público são usados são monitorados mensalmente (PMSB, 2013).

O município de Carlos Gomes, situado na região norte do Rio Grande do Sul tem o abastecimento de água da área urbana realizado pelos poços artesianos da sede e uma associação ABAGE (Abastecimento de Água de Carlos Gomes) e na área rural o abastecimento acontece por fontes naturais (cerca de 10%) e por poços artesianos onde cada comunidade é responsável pelos seus. A Prefeitura Municipal auxilia o abastecimento de água com materiais, análise de água, etc., porém, não é a responsável pelo abastecimento. O município de Carlos Gomes- RS não possui Estação de Tratamento de Água – ETA (PMSB, 2013). Para a realização do tratamento dos poços usados atualmente, se faz a contratação de empresas disponíveis no mercado, mudando de acordo com as licitações.

Diante a situação exposta, em que se observa a baixa disponibilidade de informações referentes a qualidade da água oferecida para os consumidores do município e a inviabilidade de implantação de uma estação de tratamento de água, devido aos custos elevados, destaca-se a importância de realizar estudos para que sejam disponibilizados dados da qualidade da água utilizada para abastecimento público no município e possíveis adequações necessárias para garantir a água em conformidade com a legislação vigente. Neste trabalho objetivou-se realizar um monitoramento de poços utilizados para abastecimento público pelo município de Carlos Gomes - RS, através da realização de análises físico-químicas, microbiológicas e toxicológicas da água coletada em 3 poços artesianos. Os parâmetros analisados foram definidos de acordo com a possibilidade atual e baseados na Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde e na Resolução CONAMA 396/2008.

Espera-se que a realização deste estudo possa sensibilizar a população local quanto a importância de preservar este recurso necessário para sua sobrevivência e a necessidade de conhecimento da qualidade da água que estão utilizando diariamente.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Verificar a qualidade da água de poços artesianos utilizados para o abastecimento público do município de Carlos Gomes-RS, através da análise de parâmetros físicos, químicos, microbiológicos e toxicológicos.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Caracterizar a água subterrânea de poços de captação de interesse público, através da determinação de parâmetros físico-químicos e microbiológicos;

Complementar as análises de qualidade de água com a realização de testes de toxicidade aquática, utilizando o microcrustáceo *Daphnia magna*.

Relacionar a qualidade da água verificada nos testes realizados com o uso preponderante do solo na região de entorno onde os poços estão inseridos.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 A ÁGUA NO MEIO AMBIENTE

A água é abundante na superfície da Terra, mas cerca de 97% dela está nos oceanos, sendo salgada demais, tanto para o consumo humano, como para outros seres vivos, sendo o volume destinado para esse uso menor que o volume que escoam superficialmente no mundo (SPIRO & STIGLIANI, 2009). Esse fato é agravado pela baixíssima proporção de água doce, em relação ao montante global, visto que cerca de 95% do montante de água doce está localizada em mananciais subterrâneos, o que faz destes reservatórios uma reserva a longo prazo (HELLER & DE PÁDUA, 2010).

Além disso, a água se movimenta de um meio para outro na Terra (SPERLING, 2005), sendo essa circulação muito vulnerável às condições ambientais (HELLER & DE PÁDUA, 2010), e ainda distribuída de maneira muito heterogênea no espaço e no tempo em toda a Terra. Por isso, acredita-se que mais de 1 bilhão de pessoas não têm acesso a água potável, com previsões de que por volta de 2050, 4 bilhões de pessoas sofrerão a falta deste recurso (TELLES, 2013).

O Brasil, segundo dados da Organização das Nações Unidas (ONU), detém 13,3% de toda Reserva Hídrica da Terra, com 180.000 km³/s, o que representa uma disponibilidade hídrica de cerca de 47.000 m³/habitante/ano (GIAMPÁ & GONÇALES, 2015). Considera-se uma situação confortável, visto que menos de 1000 m³/habitante/ano, representa uma condição de estresse de água e menos de 500 m³/habitante/ano já é considerado escassez de água (TELLES, 2013). A distribuição no Brasil, também é mais regular do que em muitos outros países. No entanto, um país de dimensões continentais, submetido a diferentes condições físico climáticas, não consegue distribuir uniformemente esta riqueza, sendo a Amazônia detentora de 73% dos recursos hídricos e apenas 4% da população do país (GIAMPÁ & GONÇALES, 2015).

Essa visão de abundância, tem levado o Brasil ao desperdício e o não investimento na sua proteção (TELLES, 2013). Percebe-se ainda a crescente demanda de água para consumo humano no Brasil, incremento da industrialização aliado a perdas de grandes volumes em sistemas ineficientes. Tudo isso, aliado com

o avanço da agricultura, tem gerado conflitos e problemas para a gestão dos recursos hídricos no Brasil (HELLER & DE PÁDUA, 2010). Além disso, a agricultura irrigada (56% do consumo total de água no Brasil), a geração hidráulica de energia elétrica tem competido pela água disponível. Na região Sul do Brasil, os principais conflitos são inerentes à qualidade da água, devido a sua grande deterioração.

Neste contexto, a utilização de águas subterrâneas vem se intensificando, pois segundo Giampá e Gonçalves (2015, p.13), a quantidade de águas subterrâneas, armazenadas nos interstícios das rochas formadoras dos aquíferos, é da ordem de 30 vezes a quantidade de águas doces superficiais, com uma distribuição mais regular que as superficiais, sendo muitas vezes mais acessíveis para os diversos usos, desde médias e pequenas demandas, adquirindo dessa forma, grande importância para o atendimento das demandas de todos os usuários.

3.2 IMPORTÂNCIA DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

As águas subterrâneas são exploradas desde os tempos mais remotos da civilização humana, sendo que o seu uso acompanhou a evolução da humanidade e representa uma importante forma de abastecimento, não só para consumo humano. De acordo com Spiro e Stigliani (2009, p. 182):

Uma parte da água da chuva que escoar pelo processo de escoamento superficial é levada pelas águas superficiais diretamente para o oceano, mas a maior parte que cai no solo é lixiviada através das camadas permeáveis da rocha e é armazenada, em aquífero, [...], os poços cavados até esses aquíferos suprem uma parcela substancial da água destinada para o consumo humano.

Considerando as condições hidráulicas, os aquíferos são classificados em livres ou freáticos (o nível da água coincide com o topo da zona saturada, ocorre próximo à superfície do terreno), confinados (formações geológicas permeáveis sob pressões maiores que a atmosférica) e semi- confinados (DA COSTA et al., 2010).

Para facilitar o estudo das águas subterrâneas o Brasil foi dividido em regiões homogêneas, formando 10 províncias hidrogeológicas, a saber: Escudo Setentrional, Escudo Central, São Francisco, Escudo Oriental, Escudo Meridional, Centro Oeste, Amazonas, Paraíba, Paraná e Costeira. Os limites dessas províncias não coincidem

necessariamente com os das bacias hidrográficas que são divididas em 12 regiões hidrográficas: Amazônica, Tocantins-Araguaia, Atlântico Nordeste Ocidental, Parnaíba, Atlântico Nordeste Oriental, São Francisco, Atlântico Leste, Atlântico Sudeste, Atlântico Sul, Uruguai, Paraná e Paraguai. Estas províncias são regiões onde os sistemas aquíferos apresentam condições semelhantes de armazenamento, circulação e qualidade de água (BRASIL, 2016).

A partir do mapeamento das Áreas Aflorantes dos Aquíferos e Sistemas Aquíferos do Brasil, produzido pela Gerência de Aguas Subterrâneas (GESUB) da Agência Nacional de Águas, feito através da análise de consistência, adequação e reclassificação de informações geológicas e hidrogeológicas existentes, gerou-se a segregação de 181 Aquíferos e Sistemas Aquíferos Aflorantes no Brasil, divididos em Sistema poroso, cárstico e fraturado (ANA, 2013).

A região nordeste do estado do Rio Grande do Sul é caracterizada pela presença de dois grandes aquíferos: o Serra Geral (SASG, associado às rochas vulcânicas da Formação Serra Geral) e o Guarani (SAG, associado às rochas sedimentares da Formação Botucatu). O Aquífero Guarani, é um gigantesco depósito de água transfronteiriço confinado (REGINATO; AHLERT & SCHNEIDER, 2013), abrange uma área de 1,1 milhão de km², é formado por uma espessa camada de arenitos, na bacia do Paraná, em três países, Brasil, Argentina e Paraguai, distribuído no Brasil em oito estados, entre eles, o Rio Grande do Sul (TELLES, 2013). Já o Aquífero Serra Geral, é do tipo fraturado e apresenta uma área de recarga de 411.855 km² e disponibilidade hídrica de 746,3m³/s (ANA, 2005; ANA, 2007b).

O Sistema Aquífero Guarani compreende um ambiente geológico heterogêneo, contendo uma complexidade de camadas, o que torna difícil a compreensão dos fenômenos de fluxo de suas águas na grande área onde ocorre. Além disso não apresenta homogeneidade com relação à sua qualidade e quantidade, com extensas áreas de águas que ultrapassam os padrões de potabilidade, com potencial de uso maior em estâncias termais, principalmente no compartimento Norte - Alto Uruguai, onde encontra-se totalmente coberto pelas rochas vulcânicas da unidade hidroestratigráfica Serra Geral. Devido ao posicionamento estrutural do aquífero nessa área, os poços são de grande profundidade (350 a 1.200 metros) (MACHADO, 2007).

As águas do aquífero Serra Geral são exploradas através de poços relativamente rasos e geralmente têm ligação direta com as águas da superfície,

tornando-as muito mais acessíveis, mas também muito mais vulneráveis aos processos de contaminação (SCHEIBE & HIDRATA, 2008).

Atualmente, tem sido relativamente frequente encontrar, na literatura, a expressão “Sistema Aquífero Serra Geral” (SASG), bem como evidências de conectividade hidráulica entre esse sistema e o Sistema Aquífero Guarani, especialmente nos estados de Santa Catarina, Paraná e do Rio Grande do Sul. A região Oeste dos dois primeiros estados, bem como a região Norte e Noroeste do Rio Grande do Sul, tem como principal fonte de águas subterrâneas o SASG, e a utilização das águas subterrâneas deste aquífero tem crescido exponencialmente e sendo muito maior do que aquela do Aquífero Guarani. Também existem propostas de gestão integrada das águas superficiais e subterrâneas, denominação de “Sistema Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral” (SAIG/SG) (SCHEIBE & HIDRATA, 2008).

A região em que se desenvolveu este estudo, norte do Rio Grande do Sul, é compreendida por aquíferos com alta a média possibilidade para águas subterrâneas em rochas com porosidade por fraturas, chamado Sistema Aquífero Serra Geral. Este constitui-se principalmente de litologias basálticas, amigdalóides e fraturadas, capeadas por espesso solo avermelhado e provavelmente correspondem a porções do aquífero influenciadas por águas ascendentes do Sistema Aquífero Guarani (MACHADO & FREITAS, 2005).

De acordo com a Agência Nacional das Águas (ANA, 2010), o Estado do Rio Grande do Sul possui 496 municípios e 9,1 milhões de habitantes, encontrando-se totalmente inserido nas Regiões Hidrográficas do Atlântico Sul e Uruguai, destacando-se como um dos estados que mais se utiliza de mananciais subterrâneos, 286 municípios (59% das sedes) são abastecidos exclusivamente por águas subterrâneas, enquanto que os mananciais superficiais são utilizados para o abastecimento de 134 sedes urbanas. Os demais municípios (13%) são abastecidos de forma mista (mananciais superficiais e subterrâneos). No que se refere aos tipos de sistemas de abastecimento existentes, 440 sedes urbanas (90%) são abastecidas por sistemas isolados, o que corresponde a 6,9 milhões de habitantes. As demais 47 sedes são abastecidas por sistemas integrados, sendo que tais sistemas respondem pelo abastecimento de água de 20% da população urbana do Estado. Em municípios com menos de 50 mil habitantes, o uso da água subterrânea para consumo humano é ainda mais expressivo correspondendo a 70% do total.

Percebe-se que o uso da água subterrânea vem se intensificando, devido as suas vantagens, onde destacam-se: a menor suscetibilidade às variações sazonais dos reservatórios subterrâneos; exploração não afetada por eventos catastróficos, como terremotos, vulcões e guerras; não compete com outras formas de uso do solo; geralmente apresentam características compatíveis com os padrões de potabilidade exigidos; apresentam vantagens em custos, prazos e execuções (HELLER & DE PÁDUA, 2010).

3.3 FATORES QUE INTERFEREM NA QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

Apesar das águas subterrâneas estarem mais protegidas que as águas superficiais, elas também estão sujeitas a contaminação. As ações antrópicas que mais podem influenciar a qualidade da água são: lançamento de cargas de esgoto no solo e nos sistemas hídricos; alteração do uso do solo rural e urbano e modificações no sistema fluvial (TUCCI, HESPANHOL & NETTO, 2003). A profundidade dos poços, também influencia na qualidade da água. Águas de poços com profundidade inferior a 6 metros estão mais vulnerável devido a alterações antrópicas em função da concentração de nitrato, coliformes totais e termotolerantes (DA COSTA et al., 2010).

Fatores construtivos dos poços tubulares também podem representar risco de contaminação das águas subterrâneas, como o não isolamento das camadas indesejáveis durante a perfuração, deixando a parte de rochas alteradas mais superficiais, mais vulneráveis à contaminação ou a ausência de laje de proteção sanitária e altura inadequada da boca do poço. A não desinfecção do poço após a construção e a não cimentação do espaço anelar entre o furo e o poço, facilita a entrada de águas superficiais, podendo contribuir para a contaminação da água. Outro aspecto que exige atenção, refere-se à localização próxima a locais potencialmente contaminantes da água como fossas, postos de gasolina, lixões, etc. (ZOBY & OLIVEIRA, 2005). Além disso, o destino final do esgoto doméstico e industrial em fossas negras e tanques, a disposição inadequada de resíduos sólidos e a utilização de agrotóxicos podem favorecer ainda mais a contaminação das águas subterrâneas (NETO et al., 2013).

O município de Carlos Gomes-RS, cidade com 1607 habitantes (IBGE, 2010), não conta com coleta e tratamento de esgotos, sendo que muitas fossas são antigas e em muitos casos, os dejetos são lançados diretamente na rede coletora das águas pluviais ou em sumidouros. Segundo dados da Federação das Associações dos municípios do Rio Grande do Sul (FAMURS, 2016), em 2000, haviam residências no município sem banheiro, e a maioria tinha como forma de esgotamento sanitário, fossa rudimentar.

Nem todos os fatores de contaminação são de origem antropogênica, pois a formação rochosa do próprio aquífero pode lixiviar minerais tóxicos para dentro da água (SPIRO & STIGLIANI, 2009), e geralmente, a qualidade das águas de poços mais profundos depende basicamente de suas características hidrogeológicas e hidrogeoquímicas naturais (DA COSTA, 2010).

A disponibilidade hídrica subterrânea e a produtividade de poços acentuam a exploração dos aquíferos, causando muitas vezes, sua contaminação, e por isso a questão da qualidade da água subterrânea vem se tornando cada vez mais importante para o gerenciamento do recurso hídrico no país (ANA, 2007a).

Não existe um cadastro completo de poços no Brasil, mas estima-se que existam mais de 200.000 poços tubulares em atividade, com distribuição muito irregular e acredita-se que muitos não são controlados e não estão sendo mantidos corretamente (HELLER & DE PÁDUA, 2010) o que dificulta o gerenciamento deste recurso:

O Brasil ainda apresenta uma deficiência séria no conhecimento do potencial hídrico de seus aquíferos, do seu estágio de exploração e da qualidade das suas águas. Os estudos regionais são poucos e encontram-se defasados. A maior parte dos estudos de qualidade da água subterrânea publicados recentemente está voltada à caracterização de áreas contaminadas. A questão da vulnerabilidade e proteção dos aquíferos é ainda um tema pouco explorado e que necessita ser incorporado à gestão das águas subterrâneas e ao planejamento do uso e ocupação territoriais (ANA, 2007a, p. 64).

Em estudo regional realizado no Bairro Nossa Senhora do Perpétuo Socorro em Santa Maria – RS, constatou diversos poços construídos de forma irregular, apresentando risco à saúde da população que se abastece de água subterrânea para consumo humano. Nos poços escavados tem-se vulnerabilidade natural à contaminação variando de média a alta (KEMERICH et al., 2011).

3.4 DOENÇAS DE VEICULAÇÃO HÍDRICA

A contaminação dos recursos hídricos, especialmente em áreas com saneamento inadequado e abastecimento de água, é um grande fator de risco de problemas de saúde, visto que a água pode ser um veículo para a transmissão de agentes biológicos (vírus, bactérias e parasitas (NISHI et al., 2012). Ao longo da história, foram desenvolvidos inúmeros trabalhos com o intuito de vincular a qualidade da água consumida com melhorias na saúde pública, como por exemplo, na década de 1980, que foi decretada pela ONU como a década Internacional do Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário, devido ao conjunto numeroso de estudos epidemiológicos interessados em avaliar essa relação (HELLER & DE PÁDUA, 2010).

A transmissão de doenças pela água se dá de diversas maneiras, como pela ingestão de água contaminada ou alimentos e bebidas com ela preparados; insuficiência da quantidade de água (higiene deficiente) ou contato acidental ou em horas de lazer. Dentre as principais doenças destacam-se patologias gastrointestinais como a disenteria, hepatite A, giardíase, além de infecções epidêmicas como a cólera e a febre tifoide. O resultado de sua elevada endemicidade ocasiona grandes custos para a saúde pública em países em desenvolvimento (TELLES, 2013).

O Relatório de Desenvolvimento Humano da ONU (2006), problemas gastrointestinais como a diarreia tiram a vida de aproximadamente 5.000 crianças menores de 5 anos, por dia no mundo. De acordo com estudo do Trata Brasil, do Ministério da Saúde (DATASUS), foram notificadas mais de 340 mil internações em 2013, por infecções gastrintestinais no país. Somente nas 100 maiores cidades este gasto foi de R\$ 23 milhões, ou seja, 16,4% do total. O custo básico do SUS com internações por diarreia foi de R\$ 140 milhões, sendo que 2.135 pessoas morreram no hospital por causa das infecções gastrintestinais, porém se houvesse investimento em saneamento básico, haveria uma redução de 329 mortes (15,5%) (TRATA BRASIL, 2013).

3.5 LEGISLAÇÃO

O Brasil possui legislações específicas sobre a qualidade da água. A Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 357/2005 traz a classificação

dos corpos de água superficiais e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Esta resolução designa que toda água destinada ao abastecimento público deve passar ao menos pelo processo de desinfecção (BRASIL, 2005).

Já, a Portaria nº 2.914 de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, determina que toda água destinada ao consumo humano deve obedecer ao padrão de potabilidade e está sujeita a vigilância da qualidade da água. Ainda, estabelece valores máximos permitidos (VMP) para cada parâmetro de qualidade da água de consumo humano (BRASIL, 2011).

Ao se tratar das águas subterrâneas, adota-se a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 396/2008, que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas, complementa a Resolução nº 357/2005, bem como aborda as condições e padrões de lançamento de efluentes, na qual, estabelece em seu artigo 12 que:

Os parâmetros a serem selecionados para subsidiar a proposta de enquadramento das águas subterrâneas em classes deverão ser escolhidos em função dos usos preponderantes, das características hidrogeológicas, hidrogeoquímicas, das fontes de poluição e outros critérios técnicos definidos pelo órgão competente. Dentre os parâmetros selecionados, deverão ser considerados, no mínimo, Sólidos Totais Dissolvidos, nitrato e coliformes termotolerantes. Os órgãos competentes deverão monitorar os parâmetros necessários ao acompanhamento da condição de qualidade da água subterrânea, bem como pH, turbidez, condutividade elétrica e medição de nível de água.

A Portaria acima citada, ressalta em seu artigo 7, a competência dos Estados e Municípios em exercer a vigilância da qualidade da água em sua área de competência, bem como a responsabilidade do responsável pelo sistema ou solução coletiva de abastecimento humano exercer o controle da qualidade da água (BRASIL, 2011).

O Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (Vigiagua) foi concebido para orientar a operacionalização da vigilância de forma abrangente, considerando a execução descentralizada das ações, segundo as diretrizes do Sistema Único de Saúde (SUS), atingindo no ano de 2011, 90% dos municípios brasileiros. No Rio Grande do Sul, o Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano – Sisagua fornece as informações sobre a qualidade da água proveniente dos sistemas, soluções alternativas coletivas

e individuais de abastecimento de água, atingindo um percentual de 99% dos municípios (BRASIL, 2012b).

3.6 PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA

O acesso à água potável, livre de microrganismos patogênicos, de substâncias e elementos químicos prejudiciais à saúde, é direito fundamental de todo cidadão (ZERWES et al., 2015). Nesse contexto, e de acordo com a Resolução n^o 396/2008 do CONAMA, devem ser realizadas análises físico-químicas, microbiológicas e possíveis complementações através de análises toxicológicas.

Os parâmetros a serem monitorados dependem do objetivo do trabalho que está sendo desenvolvido, podendo por exemplo verificar a sazonalidade da qualidade da água, verificar o atendimento aos padrões de potabilidade, entre outros (HELLER & DE PÁDUA, 2010).

As características físicas da água, normalmente são de fácil determinação. Para a investigação de água subterrânea bruta, geralmente se analisam: cor, turbidez, sabor e odor e temperatura. Já se a água subterrânea for tratada não é necessário analisar a temperatura. Os principais parâmetros químicos a serem analisados em água subterrânea bruta são: pH, alcalinidade, acidez, dureza, ferro e manganês, cloretos, nitrogênio, matéria e micropoluentes orgânicos e inorgânicos. Se for água tratada, as principais análises químicas são: pH, dureza, ferro e manganês, nitrogênio e micropoluentes orgânicos e inorgânicos (SPERLING, 2005).

3.6.1 Parâmetros físicos

3.6.1.1 Turbidez

A turbidez da água é devido à presença de materiais sólidos em suspensão, que reduzem a sua transparência. Pode ser provocada também pela presença de partículas variadas: argila, areia e silte, resultantes do processo natural de erosão ou matéria orgânica de despejos domésticos e industriais. Água com turbidez elevada, e

dependendo de sua natureza, forma flocos pesados que decantam mais rapidamente do que água com baixa turbidez. Quanto menor a turbidez, maior a eficiência no processo de desinfecção (RICHTER, 2009). A Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde estabelece o Valor Máximo Permitido de 1,0 UT para água subterrânea pós-filtração ou pré-desinfecção. E em qualquer ponto da rede de distribuição 5,0 UT como padrão organoléptico de potabilidade (BRASIL, 2011).

3.6.1.2 Condutividade Elétrica

A Condutividade Elétrica representa a capacidade da água natural de transmitir corrente elétrica. Pode ser originada pela presença de substâncias dissolvidas, dissociação de ânions e cátions. Pode ser um indicador de lançamento de efluentes, mas não integra os parâmetros do padrão de potabilidade brasileiro. É medida através de um aparelho chamado condutímetro. A condutividade elétrica da água deve ser expressa em unidades de resistência (mho ou S) por unidade de comprimento (geralmente cm ou m). Enquanto que as águas naturais apresentam teores de condutividade na faixa de 10 a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, em ambientes poluídos por esgotos domésticos ou industriais os valores podem chegar a 1.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (FUNASA, 2014).

3.6.1.3 Sólidos Totais

Sólidos totais, de acordo com a SABESP (1999), são todas as substâncias que permanecem em uma cápsula após a total secagem de um determinado volume de amostra. Abrangem os sólidos totais dissolvidos e os sólidos em suspensão. Para o abastecimento público de água, a Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde estabelece como padrão de potabilidade 1.000 mg/L de sólidos totais dissolvidos. O mesmo é usado também para águas de irrigação, pois o excesso de sólidos dissolvidos pode levar a graves problemas de salinização do solo. A presença de sólidos dissolvidos relaciona-se também com a condutividade elétrica da água.

3.6.1.4 Temperatura

A temperatura expressa a energia cinética das moléculas de um corpo, sendo seu gradiente responsável pela transferência de calor. A alteração da temperatura da água pode ser causada por fontes naturais (principalmente energia solar) ou antropogênicas (despejos industriais e águas de resfriamento de máquinas). A temperatura exerce influência marcante na velocidade das reações químicas, nas atividades metabólicas dos organismos e na solubilidade de substâncias. Ocorrem variações dependendo da local em que se encontram entre 5° a 30°C. Para consumo humano, rejeita-se águas com temperaturas elevadas. Águas subterrâneas captadas a grandes profundidades frequentemente geralmente necessitam de unidades de resfriamento (FUNASA, 2014).

3.6.2 Parâmetros químicos

3.6.2.1 Potencial Hidrogeniônico (pH)

O potencial hidrogeniônico (pH) representa a concentração de íons hidrogênio em uma solução. Na água, esse fator é de excepcional importância, principalmente nos processos de tratamento. A medição é feita facilmente por meio de pHmetro ou por métodos colorimétricos (RICHTER, 2009). A Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde recomenda que o pH da água seja mantido na faixa de 6,0 a 9,5 no sistema de distribuição.

3.6.2.2 Oxigênio Dissolvido

O oxigênio dissolvido é medido através de um equipamento chamado oxímetro. As variações nos teores de oxigênio dissolvido estão associadas aos processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem nos corpos d'água. Para a manutenção da

vida aquática aeróbica são necessários teores mínimos de oxigênio dissolvido de 2 mg/L a 5 mg/L (FUNASA, 2014).

3.6.2.3 Alcalinidade

A alcalinidade mede a capacidade da água em neutralizar os ácidos, é de fundamental importância durante o processo de tratamento de água, pois é em função de seu teor que se estabelece a dosagem dos produtos químicos utilizados. Os principais constituintes da alcalinidade são os bicarbonatos (HCO_3^-), carbonatos (CO_3^{2+}) e hidróxidos (OH^-). A distribuição entre as três formas de alcalinidade na água (bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos) se dá em função do seu pH: pH > 9,4 (hidróxidos e carbonatos); pH entre 8,3 e 9,4 (carbonatos e bicarbonatos); pH entre 4,4 e 8,3 (apenas bicarbonatos) (RICHTER, 2009). Outros ânions, como cloretos, nitratos e sulfatos, não contribuem para a alcalinidade. A alcalinidade não tem significado sanitário para a água potável, mas em elevadas concentrações confere um gosto amargo a água (SPERLING, 2005).

3.6.2.4 Cloretos

Todas as águas naturais, em maior ou menor escala, contém íons formados pela dissolução de minerais e os íons Cl^- são resultantes da dissolução de sais como o cloreto de sódio. Os cloretos, geralmente, estão presentes em águas brutas e tratadas em concentrações que podem variar de pequenos traços até centenas de mg/L. Estão presentes na forma de cloretos de sódio, cálcio e magnésio. A água do mar possui concentração elevada de cloretos que está em torno de 26.000 mg/L.

Concentrações altas de cloretos podem restringir o uso da água em razão do sabor que eles conferem e pelo efeito laxativo que eles podem provocar. A Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde estabelece o teor de 250 mg/L como o valor máximo permitido para água potável. Os métodos convencionais de tratamento de água não removem cloretos. A sua remoção pode ser feita por dessalinização (osmose reversa) ou eletrodialise (troca iônica) (FUNASA, 2013).

3.6.2.5 Dureza

A dureza da água está relacionada à concentração de cátions multimetálicos em solução, principalmente de cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}). A dureza é normalmente expressa como número de equivalente de miligramas por litro (mg L^{-1}) de carbonato de cálcio (CaCO_3). Tal característica imprime à água a dificuldade em dissolver sabão (fazer espuma) pelo efeito do cálcio, magnésio e outros elementos como ferro, manganês, cobre, bário, etc. A dureza temporária ou de carbonatos é causada pela presença de bicarbonatos de cálcio e magnésio, esta resiste aos sabões e provoca incrustações, pois os bicarbonatos, pela ação do calor, se decompõem em gás carbônico, água e carbonatos insolúveis, os quais precipitam. Já a dureza permanente ou de não carbonatos é devida à presença de sulfatos, cloretos e nitratos de cálcio e magnésio, que também resiste à ação dos sabões, mas não produz incrustações. A dureza total é a soma das duas. Água com valores inferiores a 50 mg/L de CaCO_3 é considerada mole, entre 50 e 150 mg/L de CaCO_3 é considerada moderada, entre 150 e 300 mg/L de CaCO_3 é considerada dura e acima de 300 mg/L de CaCO_3 é classificada como muito dura (SPERLING, 2005).

3.6.2.6 Fósforo

No ambiente aquático, o fósforo pode ser encontrado sob várias formas: orgânica (matéria orgânica dissolvida e particulada na biomassa) e inorgânica (fração solúvel, representada pelos sais de fósforo dissolvidos, e insolúvel, representada pela presença de minerais de difícil solubilização). A fração mais significativa no estudo do fósforo é a inorgânica solúvel (PO_4^{2-}), que pode ser diretamente assimilada para o crescimento de algas e macrófitas, principalmente em ambientes aquático superficial e lântico (FEITOSA & MANOEL FILHO, 1997).

O fósforo aparece em águas naturais devido, principalmente, às descargas de esgotos sanitários, matéria orgânica fecal e os detergentes em pó. Diversos efluentes industriais, de indústrias como a de fertilizantes, pesticidas, químicas em geral, conservas alimentícias, abatedouros, frigoríficos e laticínios, apresentam fósforo em quantidades excessivas. As águas drenadas em áreas agrícolas e urbanas também

podem provocar a presença excessiva de fósforo em águas naturais o que pode levar a eutrofização das águas (CETESB, 2008).

De acordo com a Resolução nº 357/2005 do CONAMA, o Fósforo Total deve apresentar valores máximos de 0,020mg/L para ambientes lênticos e um máximo de 0,1mg/L para ambientes lóticos.

3.6.2.7 Demanda Bioquímica de Oxigênio

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) de uma água é a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica por decomposição microbiana aeróbia para uma forma inorgânica estável. A DBO é normalmente considerada como a quantidade de oxigênio consumido durante um determinado período de tempo, numa temperatura de incubação específica. Um período de tempo de 5 dias numa temperatura de incubação de 20°C é frequentemente usado e referido como DBO_{5,20} (BAIRD & CANN, 2011).

3.6.2.8 Formas Nitrogenadas

O nitrogênio alterna suas formas e estados de oxidação dentro do ciclo do nitrogênio. Dentre as substâncias encontradas na água, o composto nitrogenado em seus diferentes estados de oxidação (nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato) pode apresentar riscos à saúde humana. É resultado de sólidos em suspensão e sólidos dissolvidos e sua presença na água pode ser de origem natural, como matéria orgânica e inorgânica e chuvas; e antrópica, como esgotos domésticos (SPERLING, 2005).

O nitrato, uma das formas nitrogenadas mais encontrados em águas naturais, apresenta-se em baixos teores nas águas superficiais, podendo alcançar altas concentrações em águas profundas, como nas fontes minerais, por ser altamente lixiviante nos solos, contaminando corpos d'água e aquíferos subterrâneos (ALABURDA & NISHIHARA, 1998). O nitrato, em concentrações elevadas, está associado à doença da metahemoglobinemia, que dificulta o transporte de oxigênio na corrente sanguínea de bebês. Em adultos, a atividade metabólica interna impede

a conversão do nitrato em nitrito, que é o agente responsável por esta doença (FUNASA, 2014).

3.6.3 Análises microbiológicas

A determinação da potenciabilidade de uma água transmitir doenças pode ser efetuada de forma indireta através de organismos indicadores de contaminação fecal. Para a análise da qualidade da água superficial ou subterrânea, bruta ou tratada, utilizam-se organismos indicadores, pertencentes principalmente ao grupo dos coliformes (SPERLING, 2005). Os Coliformes Totais, bactérias do grupo coliforme, são bacilos gram-negativos, aeróbios ou anaeróbios facultativos, não formadores de esporos e oxidase-negativos. São utilizados em testes microbiológicos por serem capazes de desenvolver na presença de sais biliares ou agentes tensoativos que fermentam a lactose com produção de ácido, gás e aldeído a $35,0 \pm 0,5$ °C em 24-48 horas, e que podem apresentar atividade da enzima β - galactosidase. A maioria das bactérias do grupo coliforme pertence aos gêneros *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella* e *Enterobacter*, embora vários outros gêneros e espécies pertençam ao grupo (FUNASA, 2013). São avaliadas bactérias do grupo coliformes, para analisar a possibilidade de contaminação fecal, visto que estes microrganismos são provenientes de intestino de mamíferos, inclusive o homem, sendo que a sua confirmação indica a presença de organismos patogênicos (RICHTER, 2009).

Os parâmetros microbiológicos exigidos pela Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde, são de coliformes totais, coliformes termotolerantes ou *Escherichia coli*. Numericamente, qualquer amostra deve obter ausência de *Escherichia coli* em 100 mL.

As amostras de água de fontes alternativas destinadas ao consumo humano que abastecem menos de 20.000 habitantes podem ter a presença de coliformes totais, em apenas uma das amostras realizadas no mês, devendo ainda ser monitorada a origem da ocorrência da provável contaminação e providenciar as medidas corretivas e preventivas (BRASIL, 2011).

Estudos realizados no município de Concórdia –SC, utilizaram amostras de água de 32 poços, destinados exclusivamente para consumo, através de análises de parâmetros físico-químicos e microbiológicos, visando investigar a qualidade das

águas subterrâneas da região do município, no qual 25 % das amostras apresentaram coliformes termotolerantes (MATTHIENSEN et al., 2015). Resultados semelhantes foram obtidos por meio de análises realizadas em dez poços em comunidade do município de Aquiraz-CE, pois verificou-se amostras em desacordo com a Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde nos parâmetros ferro, coliformes termotolerantes e coliformes totais (NETO et al., 2013).

3.7 TOXICOLOGIA AMBIENTAL

A toxicologia ambiental tem como preocupação investigar qual a influência que os agentes tóxicos ambientais podem exercer sobre a saúde e o bem-estar de humanos, animais e plantas, através de interações entre estes organismos (COSTA et al., 2008).

A ecotoxicologia é uma área da toxicologia ambiental que estuda os efeitos provocados por agentes químicos e físicos sobre a dinâmica de populações e comunidades de ecossistemas definidos. Já a ecotoxicologia aquática busca, avaliar o efeito de substâncias químicas tóxicas sobre organismos do ecossistema aquático, pois utilizando testes de toxicidade aquática, é possível se ter uma base para todo o ecossistema, pois os meios aquáticos recebem todos os contaminantes lançados ao meio ambiente, sejam eles lançados diretamente nos corpos d'água, emitidos no ar ou depositados nos solos (COSTA et al., 2008).

A resolução nº 396/ 2008 do CONAMA indica ainda que “a avaliação da qualidade da água subterrânea deverá ser complementada, quando tecnicamente justificado, por meio de testes de toxicidade com organismos apropriados para cada um dos usos ou por análises toxicológicas adequadas. A referida resolução define análises toxicológicas como análises químicas ou bioquímicas realizadas com a função de determinar compostos tóxicos, seus produtos de biotransformação ou seus efeitos em materiais biológicos de organismos potencialmente expostos.

Somente as análises físico-químicas utilizadas como método de monitorização da qualidade das águas não são suficientes, uma vez que são incapazes de expor o efeito da biodisponibilidade das substâncias, da sua persistência no ambiente, da interação entre substâncias e da sua toxicidade ao ecossistema aquático (CAMPOS,

2015). Apesar de os testes de toxicidade não substituem as análises químicas tradicionais, pois as análises químicas identificam e quantificam as concentrações das substâncias tóxicas, os testes de toxicidade avaliam o efeito dessas substâncias sobre sistemas biológicos, fazendo com que as análises químicas e os testes de toxicidade se complementem (COSTA et al., 2008). Isso explica o crescente uso da associação dos testes toxicológicos e análises químicas para avaliação da qualidade de água usada para abastecimento humano.

3.7.1 Testes toxicológicos

Os testes de toxicidade tratam-se de ensaios laboratoriais que são realizados sob condições experimentais específicas e controladas, utilizados para estimar a toxicidade de substâncias, efluentes industriais e amostras ambientais (águas ou sedimentos), nos quais organismos-testes são expostos a diferentes concentrações de amostra para que seja possível observar e quantificar os efeitos tóxicos produzidos sobre os mesmos (COSTA et al., 2008).

Os efeitos tóxicos de uma substância ou conjunto de substâncias podem ser agudos ou crônicos. No teste agudo, o organismo é exposto por um curto período de tempo e os *endpoints* medidos são, geralmente, morte ou imobilização, onde se permitem observar concentrações de efeito para a substância em estudo, que podem ser letais (CL_x) ou concentrações efetivas (CE_x), dependendo do *endpoint* utilizado. Enquanto que os testes crônicos consistem na exposição do organismo a uma concentração subletal, por um período que seja representativo do seu ciclo de vida com o intuito de estudar as consequências na reprodução, desenvolvimento, crescimento e comportamento (CAMPOS, 2015).

Apesar de não fornecerem informações adicionais para compreensão do mecanismo da toxicidade, os testes agudos são amplamente aplicados para a avaliação da toxicidade, pois são rápidos e baratos (PALMA, LEDO & ALVARENGA, 2016), sendo para complementar as análises físico-químicas e microbiológicas da água subterrânea do local do estudo, visando investigar a sua qualidade.

Já os testes de toxicidade crônica são realizados para medir os efeitos de substâncias químicas sobre espécies aquáticas expostas por um período que pode abranger parte ou todo o ciclo de vida. O fato de uma substância química não causar

efeitos tóxicos em testes de toxicidade aguda não significa ausência de toxicidade. Além disso, testes de toxicidade crônica permitem avaliar os possíveis efeitos tóxicos de substâncias químicas em concentrações que permitem a sobrevivência dos organismos, mas que afetam suas funções biológicas (CAMPOS, 2015). Os efeitos que precisam de um grande intervalo de tempo para serem notados, podem ser percebidos submetendo o organismo-teste a pelo menos parte do ciclo de vida de forma significativa (2/3 da vida do indivíduo), abrangendo a juventude, crescimento e reprodução (RAND, 1995 apud MALUF, 2008).

Os testes toxicológicos, através de ensaios com matéria viva, permitem conhecer características ecotoxicológicas de ecossistemas aquáticos lóticos. Testes com microcrustáceos, como a *Daphnia magna*, plantas, como a alface *Lactuca sativa* e a cebola *Allium cepa* e várias espécies de microalgas, são muito utilizados por serem caracterizadas por alta sensibilidade à exposição de organismos contaminantes (CASTILLO, 2004 apud ARIAS, 2016).

Estudos através de bioensaios com organismos indicadores de toxicidade aguda e crônica, foram desenvolvidos para avaliar a qualidade da água do açude Gavião, que abastece a Cidade de Fortaleza - CE. Para isso, realizou-se a investigação dos efeitos tóxicos sobre os organismos utilizando a alga *Selenastrum capricornutum*, o microcrustáceo *D. magna* e sementes de alface *Lactuca sativa* para toxicidade aguda, e *D. magna* para toxicidade crônica. Análises físico-químicas também foram realizadas. As águas superficiais do açude não apresentaram nenhum efeito tóxico sobre os organismos testados, mostrando não oferecer riscos ao ambiente e à saúde humana, podendo ser considerado de boa qualidade para fins de abastecimento (DELLEMATRICE et al., 2011).

Em outro trabalho, o organismo *D. magna*, foi exposto a amostras do rio Cubatão (Norte), principal fonte de abastecimento da cidade de Joinville, a maior do estado de Santa Catarina, objetivando a implementação de testes ecotoxicológicos agudos e crônicos. Verificou-se a presença de toxicidade ou indício de toxicidade aguda em apenas dois dos cinco pontos na coleta de janeiro, entre as dez coletas mensais realizadas. Já a avaliação crônica permitiu verificar que os dois pontos, o RC1 (a montante da ETA Cubatão) e RC2 (a jusante de RC1) não se harmonizam com o enquadramento pela legislação brasileira em vigor, uma vez que se detectaram efeitos crônicos em todos os *endpoints* medidos (CAMPOS, 2015).

A verificação da qualidade da água de rios de Florianópolis, Santa Catarina, foi investigada através de parâmetros físico-químicos, biológicos e testes de toxicidade aguda e crônica utilizando o microcrustáceo *D. magna* e testes de toxicidade aguda utilizando a bactéria marinha *Vibrio fischeri*. Os testes de toxicidade aguda para *D. magna* realizados em todos os pontos de coleta de amostras de água superficial não apresentaram toxicidade para este organismo teste, já a toxicidade crônica foi observada em todos os testes realizados. Percebeu-se a elevação da turbidez, sólidos totais, DBO₅, nitrogênio total e fósforo total ao longo do curso dos rios e decréscimo das concentrações de oxigênio dissolvido quanto mais distante da nascente, mostrando a deterioração da qualidade das águas destes rios (FUZINATTO, 2009).

A maioria dos estudos para verificação de qualidade de água utilizando testes toxicológicos é realizado em águas superficiais, mas também podem ser utilizados para avaliação da qualidade da água subterrânea. Amostras de água subterrânea do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - SP, foram submetidas a ensaios de toxicidade aguda e crônica, usando a *Daphnia similis*, *Ceriodaphia dubia* e *Ceriodaphnia silvestrii* (BUONGERMINO & MOREL, 2008).

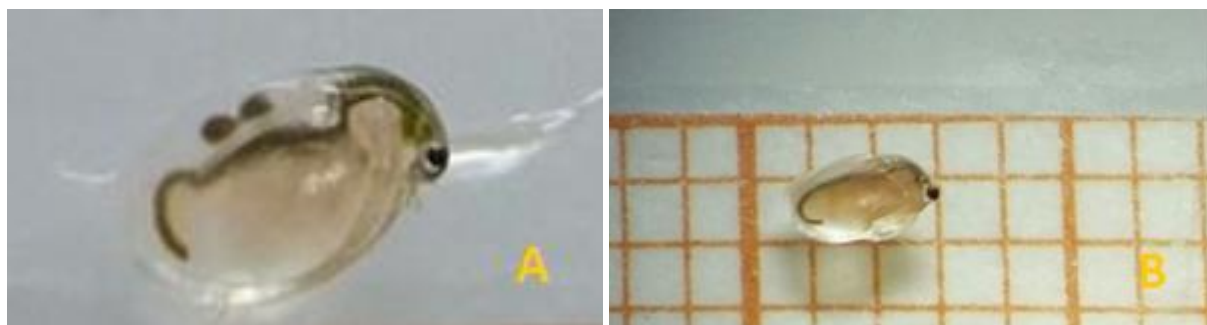
Um estudo realizado para avaliar a toxicidade crônica da água de poços artesianos no município de Cidreira – RS, utilizou ensaios de toxicidade, tendo como organismo teste o nematódeo *Caenorhabditis elegans*. A análise dos dados foi feita pela taxa de inibição do crescimento e da reprodução e verificada ainda a fertilidade e a presença de machos (CANDIAGO, 2014). Para a avaliação ecotoxicológica do antigo manancial subterrâneo de Paranhos (também conhecido como manancial da Arca d'Água ou da Arca das Três Fontes) que constituiu durante mais de cinco séculos uma das principais fontes de abastecimento de água à cidade do Porto, localizada em Portugal, foram realizados bioensaios padronizados de toxicidade aguda com o microcrustáceo *D. magna*. Para cada amostra de água, efetuaram-se simultaneamente dois bioensaios para determinação da CL50 às 48h: um com correção de pH e outro sem correção, utilizando 5 diluições de cada amostra (AFONSO et al., 2007). Outro estudo recente realizado na cidade de Osório - RS, analisou a toxicidade da água subterrânea do Camping Municipal da Lagoa do Peixoto, através de ensaios agudos utilizando o microcrustáceo *D. magna* (DANI & LANZER, 2017). Todos os estudos citados não verificaram toxicidade aguda nas amostras de água subterrânea observadas.

3.7.2 Organismo-teste

Os organismos mais comumente utilizados nos testes são algas, microcrustáceos, peixes e bactérias. Crustáceos de água doce da ordem *Cladocera* e do gênero *Daphnia* são bastante utilizados em testes de toxicidade pois abrangem critérios importantes para uso como organismo-teste, como o fato de possuírem ampla distribuição nos corpos d'água, serem espécies-chave em muitas cadeias alimentares, terem ciclo de vida curto e serem partenogenéticos (estabilidade genética). Tais características faz com que sejam facilmente cultivados em laboratórios e por serem sensíveis a vários contaminantes e são considerados bioindicadores. Várias espécies de *Daphnia* são utilizadas em testes de toxicidade e a mais utilizada é a *D. magna* em regiões temperadas. (BEATRICI, 2001). A sequenciação do genoma de *D. magna* foi publicada recentemente, em 2015 (*Daphnia Genomics Consortium*), abrindo caminho para que a ecotoxicogenômica se torne numa ferramenta capaz de expor respostas ocultas nos testes toxicológicos convencionais (CAMPOS, 2015).

A *Daphnia magna* Straus, 1820 (*Crustacea, Cladocera*), também conhecida como pulga d'água, é um microcrustáceo plantônico de 5 a 6 mm de comprimento, o qual é consumidor primário na cadeia alimentar aquática e se alimenta por filtração de material orgânico particulado em suspensão. Embora possa reproduzir-se o ano inteiro, se as condições do local o permitirem, a reprodução atinge o seu pico no período do Verão, no hemisfério norte, tolera temperaturas entre 2 e 28 °C, condutividade até 2000 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ e pH 6.5 a 9.9 (CAMPOS, 2015). O microcrustáceo *D. magna* pode ser visualizado na figura 1.

Figura 1 - Microcrustáceo *Daphnia magna*



A - Fêmea de *D. magna*; B - macho de *D. magna*

Fonte: Autora (2017)

Embora não ocorra naturalmente no Brasil, a *D. magna* vem sendo muito utilizada em testes toxicológicos pela fácil manutenção, reprodução partenogênica e sensibilidade a poluentes, além de já possuir normas técnicas no Brasil.

Este microcrustáceo foi utilizado entre muitos estudos, para verificar a toxicidade de Hidrocarbonetos monoaromáticos (BERTON, 2013), em efluentes industriais (DE PAULA DIAS, 2006), além de inúmeros trabalhos realizados para avaliar a toxicidade em água superficial (DELLEMATRICE et al., 2011; CAMPOS, 2015; FUZINATTO, 2009; MALUF, 2008) e em água subterrânea (DANI & LANZER, 2017; AFONSO et al., 2007).

4 METODOLOGIA

A metodologia utilizada para este trabalho foi dividida em área de estudo, pontos de coleta, coleta e preservação das amostras, análises e testes realizados e relação entre a qualidade da água e a ocupação do solo onde os poços amostrados estão localizados.

4.1 ÁREA DE ESTUDO

O município de Carlos Gomes, está inserido na Região Norte do Estado do Estado Rio Grande do Sul, entre as coordenadas geográficas de Latitude Sul $-27,7^{\circ}$ e $-51,9^{\circ}$, é cortado no sentido Leste-Oeste pelo paralelo $51^{\circ}54'50''$ e em sentido Norte-Sul pelo meridiano de $27^{\circ}43'04''$.

Carlos Gomes-RS apresenta faixas de altitudes aproximadamente 447m acima do nível do mar. O território municipal tem uma área total de 82,6 km², representando 0,0309% do estado, 0,0148% da região sul do Brasil e 0,001% de todo território brasileiro. Apresenta temperatura média anual entre 15°C e 18°C e precipitação média anual entre 1.900mm a 2.000mm (PMSB, 2013). Está situado no Planalto Meridional do estado do Rio Grande do Sul, que é formado por rochas basálticas decorrentes de um grande derrame de lavas, ocorrido na era Mesozoica. O tipo de solo de Carlos Gomes é do tipo predominantes Círiaco – Brunizém-Avermelhado raso textura argilosa que apresentam um relevo bastante acentuado e ondulado, o que acaba dificultando a mecanização, exigindo práticas conservacionistas intensivas.

O município está inserido na Bacia Hidrográfica Apuaê-Inhandava, que tem como rios principais: Rio Uruguai, Rio Socorro, Rio Cerquinha, Arroio Água Branca, Rio Forquilha, Rio São João Velho, Rio Suçuarana, Rio Bernardo José, Rio Suzana, Rio Apuaê, Rio Inhandava, Rio Dourado, Arroio Teixeira Soares, Rio Abaúna, Rio Tainhas, entre outros com porte menor. O Rio Apuaê-Mirim, conhecido também como Rio do Peixe e Ligeiro, localiza-se a 1km da cidade. A rede de drenagem do município de Carlos Gomes é de 145,79km. Suas águas subterrâneas pertencem ao aquífero Serra Geral (PMSB, 2013).

A economia do município de Carlos Gomes- RS é baseada na agricultura e praticada por pequenos agricultores que também produzem frequentemente: milho,

soja, trigo, feijão, bovinos e suínos, etc. Os produtos mais cultivados são: cana-de-açúcar, cevada, feijão, mandioca, milho e soja. O setor primário é o maior responsável pela arrecadação municipal, onde várias propriedades desenvolvem atividades agropecuárias em regime familiar. O setor industrial, comércio e serviços, isto é, o setor secundário, não é expressivo, porém possuem importância econômica para o município pelo fato de gerar mão-de-obra e renda. Além disso, a maior parte destes setores está acoplada com o setor primário (PMSB, 2013).

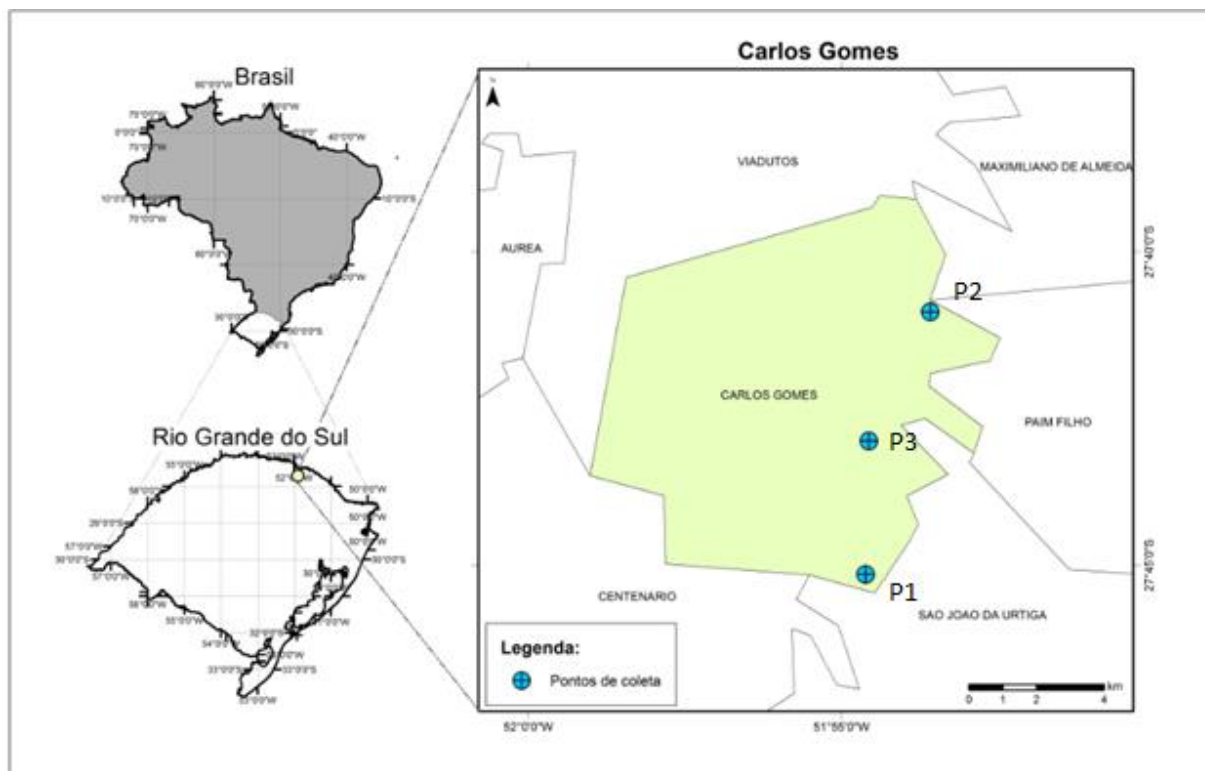
Segundo a Associação dos Moradores de Carlos Gomes (ABAGE), o município tem 6 poços artesianos abastecendo a população atualmente, e nem todos recebem cloração, pois alguns são administrados por moradores de comunidades rurais, os quais não são monitorados frequentemente, justamente pela ideia de que estas águas estão protegidas e não representam risco para a saúde de quem as consome.

4.2 LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS ARTESIANOS

As amostras d'água foram coletadas em 3 poços artesianos do município de Carlos Gomes-RS. Foram amostrados dois poços artesianos na área rural e um na área urbana, com o intuito de fazer uma comparação da qualidade da água apresentada por estes poços localizados em lugares contendo diferentes formas de uso do solo. A localização dos poços artesianos analisados é mostrada na Figura 2.

Para a identificação dos poços foi usada a abreviação P1 para o primeiro poço artesiano amostrado, P2 para o segundo poço artesiano amostrado e P3 para o terceiro poço artesiano amostrado.

Figura 2 - Localização do Município de Carlos Gomes e dos três poços de coleta.



Fonte: Elaborado pela autora (2017).

O poço artesiano P1 localiza-se na comunidade da Linha Rio Acima ($27^{\circ}45'8.88''S$, $51^{\circ}54'36.67''O$). Tem 84 m de profundidade e vazão de $2 \text{ m}^3/\text{s}$. O poço P1 está situado dentro de uma propriedade particular, ao lado da moradia do proprietário. Existe ainda, em um raio de 100 m, a criação de alguns animais, açudes e área de lavoura. O poço fica próximo ao rio Apuaê.

Este poço é responsável pelo abastecimento de 34 famílias e recebe tratamento de desinfecção através de cloração que é feita logo na saída do poço, dificultando a coleta de água sem a presença de cloro. Através da figura 3, é possível observar o local onde o P1 está inserido.

Figura 3 Localização do poço artesiano P1 em área rural do município de Carlos Gomes - RS



Fonte: Google Earth Pro (2017)

O poço P2, localiza-se no interior do município, na Localidade de Lageado Albino ($27^{\circ}40'57.51''S$, $51^{\circ}53'34.98''O$). O poço localiza-se ao lado de uma escola desativada e no meio de uma plantação de couve-flor. Dentro de um raio de 100 metros estão situados o salão e a igreja da Comunidade, além de casas e açudes.

Com uma profundidade 70 metros e vazão de $4 \text{ m}^3/\text{s}$, o P2 atende a 60 famílias. O referido poço artesiano não tem sua qualidade de água monitorada e não recebe nenhum tratamento atualmente. A localização do P2 e a visualização do seu entorno pode ser observada na figura 4.

Figura 4: Localização do poço artesiano P2 em área rural do município de Carlos Gomes – RS.



Fonte: Google Earth Pro (2017)

O poço artesiano P3, localizado na área urbana do município ($27^{\circ}43'1.09''S$, $51^{\circ}54'34.00''O$), foi o primeiro poço a ser perfurado no município, em 1987 e por algum tempo foi responsável pelo abastecimento de toda a área urbana do município. Tem 55 m de profundidade. O P3 atualmente recebe tratamento de desinfecção por cloração que é feita logo na saída do poço, dificultando a coleta de água sem a presença de cloro. Com uma vazão de $6 \text{ m}^3/\text{s}$, atualmente é responsável pelo abastecimento de 150 famílias. O referido poço está cercado e no meio de um lote com pastagens. Em um raio de 100m do P3, estão localizadas diversas residências e ruas, um açude e uma creche, conforme mostra a figura 5.

Figura 5 - Localização do poço artesiano P3 em área urbana do município de Carlos Gomes RS.



Fonte: Google Earth Pro (2017)

4.3 COLETA E PRESERVAÇÃO DAS AMOSTRAS

As coletas foram realizadas nos dias 19 de junho, 17 de julho e 14 de agosto. As amostras usadas para as análises foram coletadas em frascos de plástico devidamente higienizados e transportados para o laboratório onde foram refrigeradas, seguindo recomendações do Manual Prático de Análise da Água da Fundação Nacional da Saúde.

Foram realizadas análises físico-químicas, além de análises microbiológicas e testes toxicológicos.

4.4 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS E MICROBIOLÓGICAS

As análises físico-químicas e microbiológicas realizadas, bem como suas unidades de medição e as referidas metodologias estão apresentadas na tabela 1.

Os parâmetros físico-químicos, pH, turbidez, alcalinidade, condutividade elétrica, temperatura, oxigênio dissolvido, cloretos, nitrato, nitrito, e nitrogênio amoniacal foram escolhidos por serem usualmente utilizados em análises de qualidade de água de consumo, mesmo que a legislação vigente sugira mais parâmetros. Os parâmetros coliformes totais e termotolerantes foram escolhidos devido ao fato de que devem estar ausentes em água para consumo humano.

Os parâmetros temperatura, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido e pH foram medidos *in situ*, no momento da coleta das amostras de água para minimizar possíveis interferências. Todas as outras análises foram realizadas nos Laboratórios do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal da Fronteira Sul Campus Erechim/RS para tais análises.

Tabela 1 - Variáveis medidas, suas respectivas unidades e metodologia de análise.

Variáveis	Unidades	Método de Análise
Parâmetros físico-químicos		
pH	Unidades de pH	Medidor multiparâmetro Profissional Plus – YSI®
Turbidez	UNT	Método Nefelométrico através da utilização de Turbidímetro de bancada HACH® modelo 2100N
DBO _{5,20}	mg/L	Método de Winkler – Standard Methods 4500 – O C & 5210 B (APHA, 1998)
Alcalinidade	mg/L	Titulação com ácido sulfúrico (FUNASA, 2013)
Condutividade Elétrica	µS/cm	Medidor multiparâmetro Profissional Plus – YSI
Temperatura	°C	Medidor multiparâmetro Profissional Plus – YSI
Oxigênio Dissolvido	mg/L	Medidor multiparâmetro Profissional Plus – YSI
Cloretos	mg/L	Titulação com nitrato de Prata (FUNASA, 2013)
Dureza	mg/l CaCO ₃	Titulação com EDTA (FUNASA, 2013)
Fósforo Total	mg/L	Espectrofotometria – Standard Methods 4500 – P H. (APHA, 1998)
Nitrato	mg/L	Espectrofotometria – Standard Methods 4500 – NO ₃ ⁻ B. (APHA, 1998).
Nitrito	mg/L	Colorimétrico – Standard Methods 4500 – NO ₂ ⁻ B. (APHA, 1998).
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	Macro Kjehldhal – Standard Methods 4500 Norg B. (APHA, 1998).
Sólidos Totais	mg/L	Seco a 104 ± 1°C – Standard Methods 2540 B. (APHA, 1998)
Parâmetros Bacteriológicos		
Coliformes totais	NMP/100mL	Método dos tubos múltiplos. (FUNASA, 2013)
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	Método dos tubos múltiplos. (FUNASA, 2013)

Fonte: Elaborado pela autora (2017).

4.5 TESTES DE TOXICIDADE

Os testes de toxicidade realizados com o intuito de complementar as análises físicas, químicas e microbiológicas foram desenvolvidos no Laboratório de Ecologia e Conservação da Universidade Federal da Fronteira Sul, Campus Erechim/RS.

Foram realizados testes de toxicidade aguda e crônica tendo como organismo teste o microcrustáceo *D. magna*. Seu cultivo e sua alimentação foram realizados no Laboratório de Ecologia e Conservação da Universidade Federal da Fronteira Sul, Campus Erechim, segundo as indicações da NBR 12.713 (ABNT, 2016). Este organismo foi utilizado devido ao fato de ser um organismo usado internacionalmente para testes de toxicidade e por estar sendo cultivado e usado para pesquisas no laboratório citado anteriormente. A água coletada nos poços e utilizada para os testes de toxicidade foi acondicionada em um freezer do Laboratório onde foram realizados os ensaios.

A metodologia do teste de toxicidade aguda utilizando *D. magna* como organismo-teste foi realizada de acordo com o descrito na NBR 12.713 (ABNT, 2016). As amostras da água subterrânea foram testadas através da exposição de filhotes de *D. magna* com idade variando de 2 a 26 horas em diferentes diluições por um período de 48 horas, com a primeira observação de imobilidade/mortalidade 24 horas após o início do teste.

Foram realizadas as diluições das amostras de acordo com a ISO 6341 (2012), em que cada teste teve 4 diluições por amostra, além de 1 controle (constituído somente de meio ISO, sendo estas correspondentes aos fatores de diluição 1, 2, 4 e 8, correspondendo respectivamente a 100%, 50%, 25% e 12,5% de amostra por diluição. Em cada diluição foram adicionados 20 filhotes, sendo divididos 10 filhotes em cada béquer. A preparação do teste agudo foi realizada partindo da menor concentração de amostra (maior fator de diluição) para a maior concentração de amostra (menor fator de diluição), sendo iniciada pela preparação do controle. Durante o período de duração do teste agudo (48 horas) os organismos foram mantidos em incubadora com temperatura controlada de $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ sem iluminação e sem alimentação.

Após o término do teste observou-se o número de indivíduos imóveis/mortos por concentração. Em seguida foi realizado o cálculo de imobilidade de indivíduos por concentração, sendo o resultado expresso em $\text{CE}_{50,48\text{h}}$ (Concentração Efetiva), ou

seja, a concentração da amostra que causa efeito agudo (imobilidade/morte) em 50% dos organismos testados expostos 48 horas na solução-teste.

Para a realização do teste de toxicidade crônica da água subterrânea, fez-se uma adaptação da NBR 13.373 (ABNT, 2005), expondo organismos jovens de *D. magna*, a diferentes diluições de uma mesma amostra de água por um período de 21 dias. As diluições avaliadas foram as mesmas utilizadas no teste agudo.

Após este período, parâmetros foram analisados: longevidade, fecundidade e crescimento, além das alterações morfológicas. O parâmetro de longevidade se deu pela contagem de indivíduos adultos sobreviventes após os 21 dias de teste. O parâmetro de fecundidade considerou o número de filhotes gerados por *D. magna* durante os 21 dias de teste, enquanto o crescimento foi avaliado através do comprimento das *D. magna* sobreviventes após os 21 dias de ensaio, com o auxílio de uma lupa de 40x de aumento e uma régua milimetrada de 1cm. Ao final do teste, os parâmetros acima descritos obtidos nas diluições foram comparados com os resultados obtidos no controle. Dessa forma, determinou-se a concentração de efeito não-observado (CENO), ou seja, a maior concentração da amostra que não causa efeito significativo aos organismos quando comparado ao controle e a concentração de efeito observado (CEO), que significa a menor concentração da amostra que causa efeito significativo nos organismos testados quando comparado ao controle (FUZINATTO, 2009). Os efeitos observados foram analisados através do programa Graphpad Prism 6 e os valores do CEO e CENO expressos em porcentagem. Os resultados (médias \pm DP) dos *endpoints* obtidos foram comparados utilizando o teste ANOVA (Análise de Variância) com ajuste de Bonferroni para um $p < 0,05$.

Para validação dos testes agudo e crônico, seguindo orientações da NBR 12.713, (ABNT, 2016), realizou-se o teste de sensibilidade, no qual os organismos jovens foram expostos por 24 horas a diluições de dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$) em meio ISO, sendo que a metodologia aplicada a este teste é análoga ao teste agudo e a faixa adequada da sensibilidade para *D. magna* é entre 0,6 e 1,7 mg/L.

4.6 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E SUA RELAÇÃO COM A QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

Com o intuito de verificar a interferência da forma de utilização do solo na qualidade da água dos poços amostrados, elaborou-se o mapa de uso e ocupação da Terra, no qual utilizou-se o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS 2000), o software ArcGis e Qgis, ambos instalados no Laboratório de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto da Universidade Federal da Fronteira Sul – Campus de Erechim.

As imagens de satélite utilizadas para a elaboração do mapa de uso e ocupação do solo da área do município em estudo, foram obtidas acessando o catálogo de imagens do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais através do satélite LANDSAT 8, datadas do dia 20 de março de 2015. Para obter uma melhor visualização, foi feito um recorte na imagem total (zona 22, datum WGS84) através ArcMap. A imagem menor facilitou o georreferenciamento das áreas utilizando pontos de controle identificados em imagens do Google Earth. Assim, foi criado um mosaico desta imagem em modo raster e finalmente delimitadas as classes de uso do solo realizadas através da reflectâncias dos pixels (menor ponto de uma imagem) de cada porção da imagem (DA CRUZ WEISS et al., 2013).

As imagens aparecem distorcidas pelo fato de cada pixel representar uma área muito grande (30mx30m). Com o mapa elaborado, calculou-se as áreas utilizando o software Excel 2013.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos obtidos através pelas amostras de água coletadas nos três poços artesianos durante os meses de junho, julho e agosto de 2017 estão apresentados na tabela 2.

Tabela 2 Valores dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos apresentados nas amostras analisadas nos meses de Junho, Julho e Agosto de 2017.

Parâmetros	Unidade	VMP	Junho			Julho			Agosto		
			P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
Parâmetros físico-químicos											
Temperatura	°C	-	18,5	20,5	20,1	18,1	20,8	19,5	19,4	21,5	20,3
OD	mg/L	-	3,0	3,1	3,1	3,2	3,2	3,7	3,0	3,3	3,4
Ph	-	6 - 9,5	7,27	7,07	7,25	7,14	7,09	7,38	7,0	7,06	7,21
Condutividade Elétrica	µS/cm	-	278,5	203,3	307,5	243,6	202,2	301,4	220,8	206,6	308,4
DBO ₅	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Turbidez	UNT	1 em 95% das amostras	0,01	0,36	1,34	0,03	0,05	0,01	0,01	0,06	0,10
Sólidos Totais	mg/L	1.000	252	239	283	150	146	189	146	161	221
Alcalinidade	mg/L CaCO ₃	-	128	114	140	118	112	142	118	108	148
Cloretos	mg/L	250	6,99	2,25	10,99	7,24	4,49	9,99	6,75	4,49	10,24
Dureza	mg/L CaCO ₃	-	114	94	142	110	98	142	100	94	140
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	1,5	0,03	0,04	0,06	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02
Nitrito	mg/L	-	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,03
Nitrato	mg/L	10	12,79	6,16	10,72	6,14	9,57	6,72	4,08	3,49	3,29
Fósforo Total	mg/L	-	0,00	0,05	0,00	0,05	0,06	0,00	0,01	0,01	0,00
Parâmetros Microbiológicos											
Coliformes Totais	NMP/100mL	Ausentes	<3,0	9,2	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	9,2	3,0
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	Ausentes	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0

VMP: Valores máximos permitidos de acordo com a Resolução CONAMA 396/2008.

Fonte: Elaborado pela autora (2017)

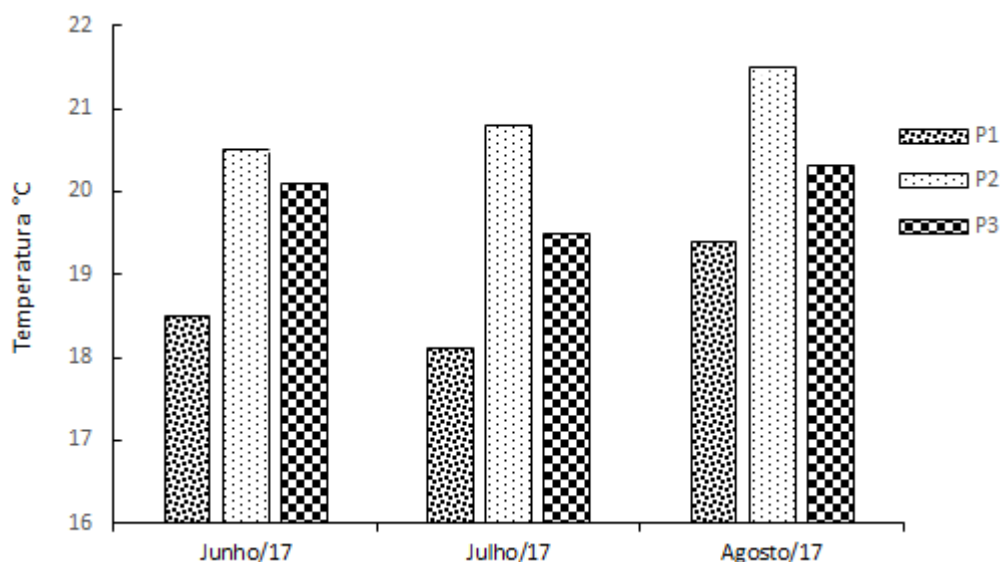
5.1 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

5.1.1 Temperatura

A legislação de potabilidade não estabelece um limite de temperatura para água de consumo humano. No entanto, o conhecimento deste parâmetro é muito importante, pois de acordo com a Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde, para o processo de cloração como processo de desinfecção da água, diferentes temperaturas da água implicam em diferentes tempos de contato da água com o cloro.

A temperatura foi medida nos locais de coleta. Observa-se através da figura 6, a ocorrência de uma pequena variação de temperatura entre os poços e também entre as coletas, na qual, a temperatura da água esteve entre 18,1°C e 21,5°C. A temperatura média da água foi de 19,9°C, sendo que o P2 apresentou a maior temperatura nas três coletas.

Figura 6 - Valores de temperatura obtidos durante três meses em três poços artesanais amostrados no município de Carlos Gomes - RS



Fonte: Autora, 2017

Outros estudos utilizando água subterrânea obtiveram valores semelhantes. As águas de poços artesanais de um distrito de Triunfo - RS apresentaram temperaturas na faixa de 18,3°C a 19,6°C, tendo média de 19,2°C (KUNH, ZART & OLIVEIRA, 2015).

Coletas de água subterrânea no município de Imigrante – RS, apresentaram variações na temperatura de 13,5°C a 20,5°C (ZERWES et al., 2015).

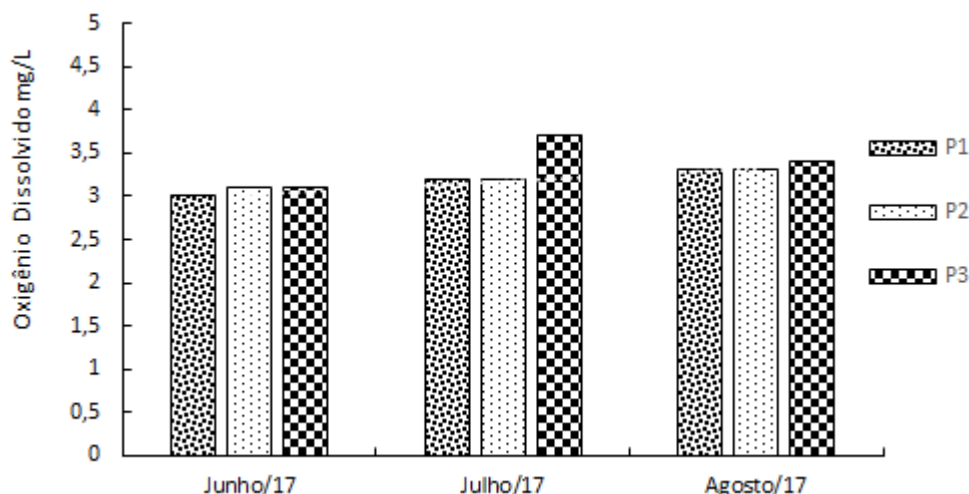
5.1.2 Oxigênio Dissolvido

Os valores de oxigênio dissolvido (OD) em água subterrânea são encontrados em valores menores ao de água superficial, sendo que estes são esperados entre 0 e 5 mg/L, pelo fato de que estas águas não estão em contato direto com a atmosfera (FEITOSA & MANOEL FILHO, 1997). Os valores de OD obtidos durante as três coletas e para os três poços ficaram na faixa de 3 a 3,7 mg/L, dentro da faixa esperada. Não houve uma relação direta entre as concentrações de OD e os valores de temperatura, estas apresentaram uma variação mais significativa.

Estudos realizados em águas subterrâneas do Campus da Universidade de Santa Maria – RS, apresentaram valores de OD na faixa entre 3,88 e 5,68 mg/L, com média de 4,94 mg/L (MARION, CAPOANE & DA SILVA, 2007).

Os valores de oxigênio dissolvido e sua variação entre os poços e durante as coletas estão apresentadas na figura 7.

Figura 7 – Variação da concentração de Oxigênio Dissolvido durante três meses de coleta, em três poços artesianos amostrados no município de Carlos Gomes – RS

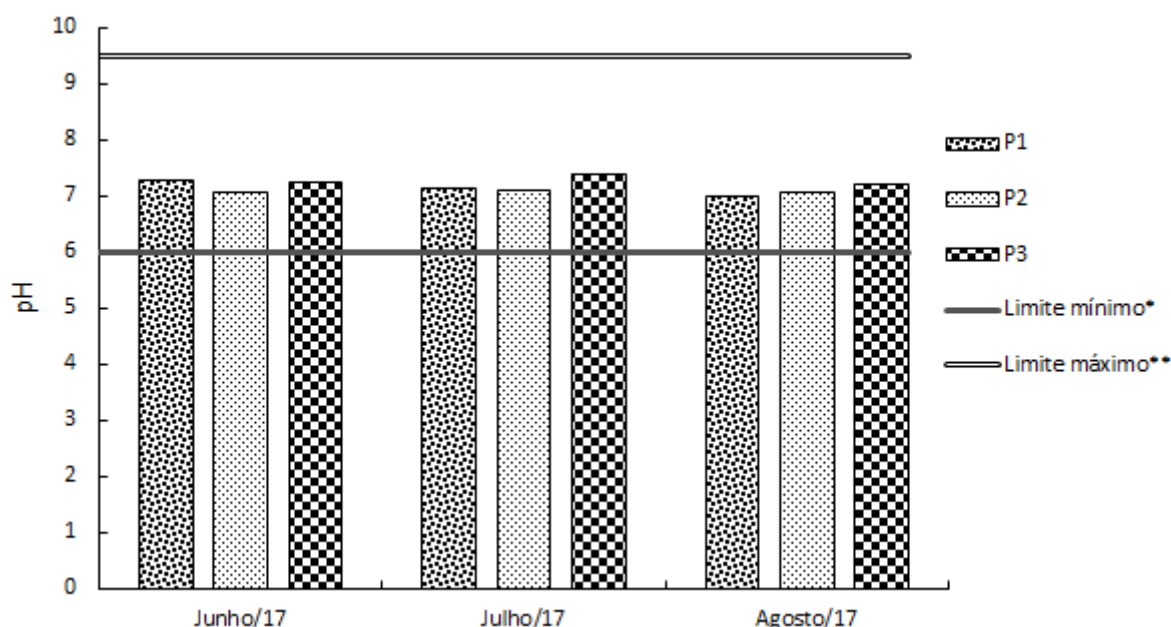


Fonte: Autora, 2017

5.1.3 Potencial Hidrogeniônico

Os valores de potencial hidrogeniônico (pH) dos três poços amostrados apresentaram valores muito próximos a neutralidade, com uma média de 7,2. Nos três meses em que foi realizado o estudo, eles se mantiveram dentro dos valores estipulados pela Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde, na qual recomenda-se valores de pH entre 6,0 a 9,5. É possível observar através da figura 8, que não houve variação significativa nem entre os pontos e nem entre as diferentes coletas.

Figura 8 – Variação do pH durante três meses de coleta, em três poços artesanais amostrados no município de Carlos Gomes – RS



*Limite Mínimo recomendado pela Portaria MS nº 2914/2011. **Limite Máximo recomendado pela Portaria MS nº 2914/2011.

Fonte: Autora, 2017

Além disso, o conhecimento dos valores do pH a água subterrânea é importante durante o tratamento, pois o valor do pH influencia diretamente no tempo de contato da água com o cloro no processo de desinfecção (BRASIL, 2011).

Outros trabalhos tiveram valores próximos aos obtidos nesta pesquisa. Matthiensen et al. (2015), em estudo em poços de Concórdia - SC, verificou um pH médio de 7,8 para as 32 amostras analisadas, sendo semelhantes aos valores médios de 7,6 constatado por Zerwes et al. (2015) em poços de Taquari - RS. Amostras de água dos poços artesanais do distrito de Boa Vista, no município de Triunfo - RS,

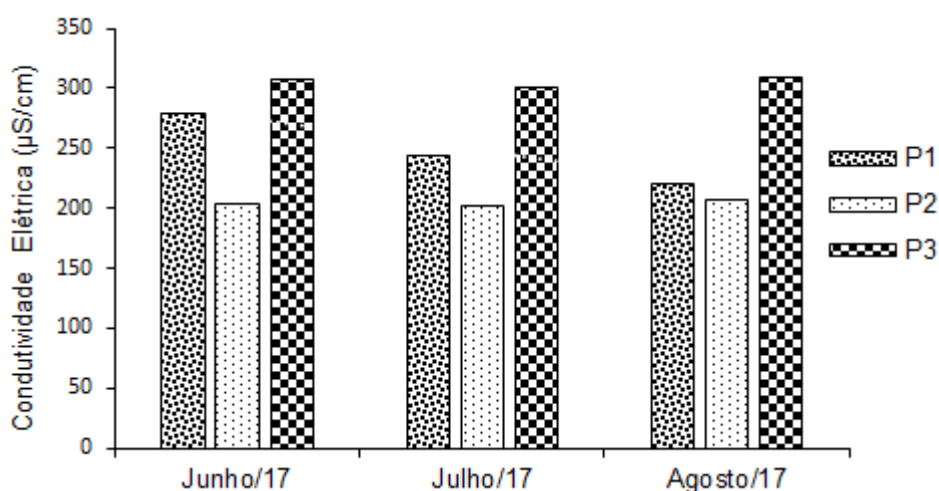
apresentaram tendência de neutras a alcalinas na sua maioria (pH médio de 7,2), com exceção de um ponto que apresentou pH com valor ácido (5,30) (KUNH, ZART & OLIVEIRA, 2015).

5.1.4 Condutividade Elétrica

A condutividade elétrica indica a capacidade da água natural de transmitir a corrente elétrica em função da presença de íons dissolvidos, carregados eletricamente. Quanto maior a quantidade de íons, maior a condutividade. Não existe um limite máximo na legislação referente a potabilidade da água.

Neste estudo os valores não tiveram grandes variações no tempo e nem entre os pontos, ficando entre 202 a 308 μScm^{-1} . Durante todo o período amostral, o P3 foi o que apresentou maiores valores nas três coletas, conforme é apresentado na figura 9.

Figura 9 - Valores de Condutividade elétrica obtidos durante três meses em três poços artesanais amostrados no município de Carlos Gomes – RS



Fonte: Autora, 2017

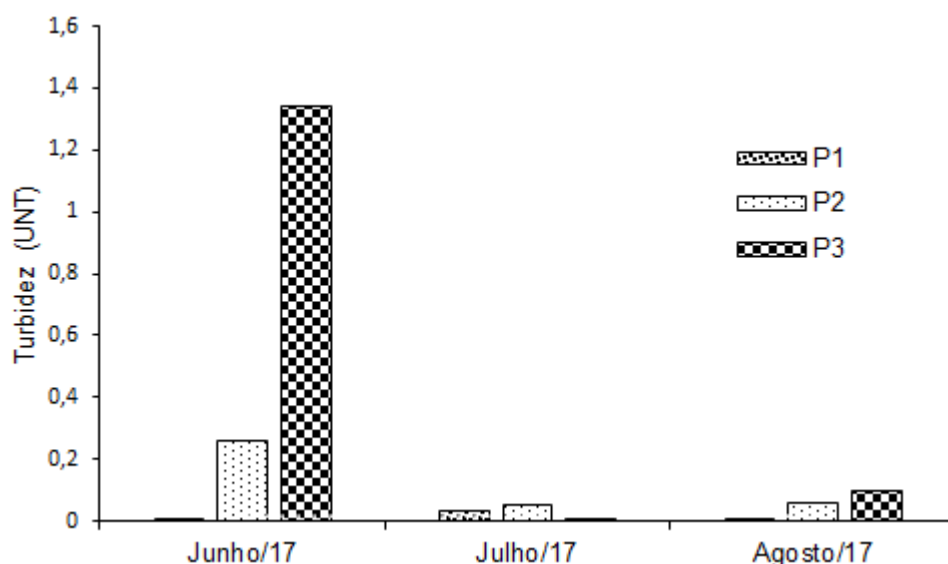
Os valores de condutividade elétrica medidos em poços de Triunfo –RS, foram menores ao deste estudo, estiveram entre 49 e 65,4 μScm^{-1} (KUNH, ZART & OLIVEIRA, 2015), diferentemente aos valores constatados por em poços rasos do município de Anastácio – MS, em que um dos poços apresentou o valor de condutividade elétrica de 2851,2 μScm^{-1} (CAPPI et al., 2012)

5.1.5 Turbidez

A turbidez é provocada por partículas em suspensão, sendo, portanto, reduzida quando ocorre a sedimentação (FUNASA, 2014). De acordo com a Portaria MS nº 2.914/11, para águas subterrâneas com pré-desinfecção, o padrão de turbidez deve ser de até 1,0 UT em 95% das amostras e entre os cinco por cento permitidos que sejam superiores, o limite máximo deve ser de 5,0uT. Esta restrição fundamenta-se pela influência da turbidez nos processos usuais de desinfecção, atuando como escudo aos micro-organismos patogênicos, minimizando a ação do desinfetante (FUNASA, 2014).

Durante a coleta das amostras, procurou-se coletar água sem tratamento, no entanto, observa-se que o P3 ultrapassou o mês de junho o valor máximo de 1uT. Tal fato pode ter ocorrido devido ao período chuvoso da coleta, o que pode ter causado o aumento de partículas suspensas na água. Os valores de turbidez podem ser observados na figura 10.

Figura 10 - Valores de Turbidez obtidos durante três meses em três poços artesianos amostrados no município de Carlos Gomes - RS



Fonte: Autora, 2017

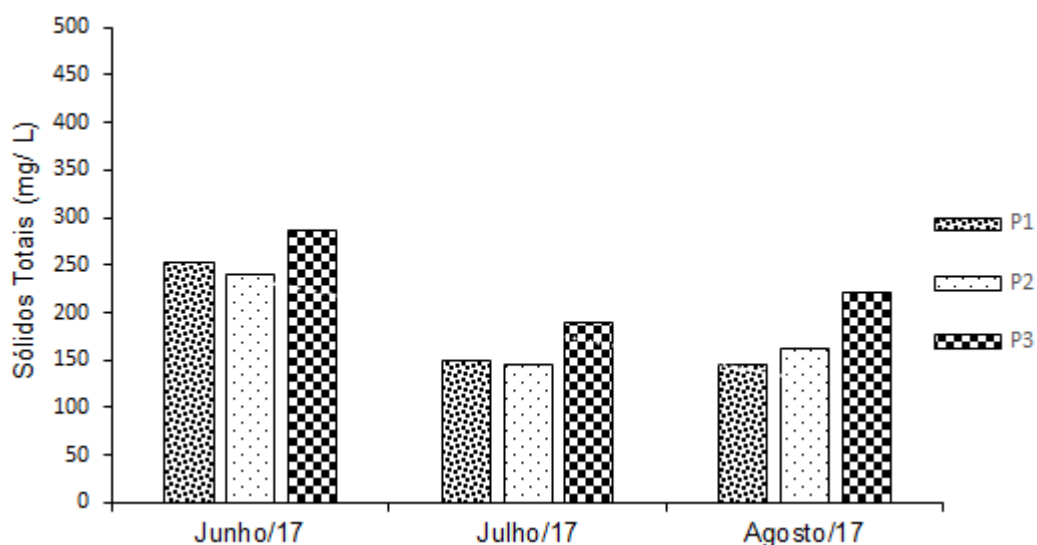
Estudos realizados para verificar a qualidade da água de poços de Santa Clara do Sul - RS, tiveram todos os valores de turbidez dentro do limite estabelecido pela

legislação, menores que 1,0 UT (PALUDO, 2014). Em outro estudo, realizado em Triunfo – RS, dos dez poços analisados, oito tiveram valores superiores a 1,0UT. Além disso, dois apresentaram valores bem superiores a 5uT, chegando a 22,4UT (KUNH, ZART & OLIVEIRA, 2015).

5.1.6 Sólidos Totais

Muito embora os parâmetros turbidez e sólidos totais estejam associados, eles não são absolutamente equivalentes. Uma pedra, por exemplo, colocada em um copo de água limpa, aumenta a concentração de sólidos totais, mas não influencia na turbidez (FUNASA, 2014). As concentrações de sólidos totais nos poços amostrados são indicadas na figura 11.

Figura 11 – Variação da concentração de Sólidos obtidos durante três meses em três poços artesianos amostrados no município de Carlos Gomes – RS



Fonte: Autora, 2017

Todas as amostras obtiveram valores de sólidos totais abaixo do valor máximo permitido, valores entre 146 a 287 mg/L, e que segundo a Resolução nº 396/2008 do CONAMA, o valor máximo é de 1000 mg/L, mas essa se refere a sólidos totais dissolvidos, e no caso os sólidos totais abrangem os dissolvidos e os sólidos em suspensão. No entanto, o mês de maior concentração de sólidos totais, foi o mês de junho, sendo este o período em que houve maior precipitação, 192,2mm, sendo que destes 178,7 foram nos dias anteriores a coleta de água. Os dados de chuva foram

obtidos em uma estação meteorológica particular em Erechim -RS (MADALOZZO, 2017).

Entre os poços, o que obteve maior concentração de sólidos totais, foi o P3, localizado na área urbana. Este poço apresentou grande quantidade de turbidez no mês de junho, em relação ao P1 e ao P2. Além disso, foi o poço que apresentou maior condutividade elétrica nos três meses do estudo.

No mês de julho, quando ocorreram as menores precipitações, 11,2 mm, os poços apresentaram as menores concentrações de sólidos totais.

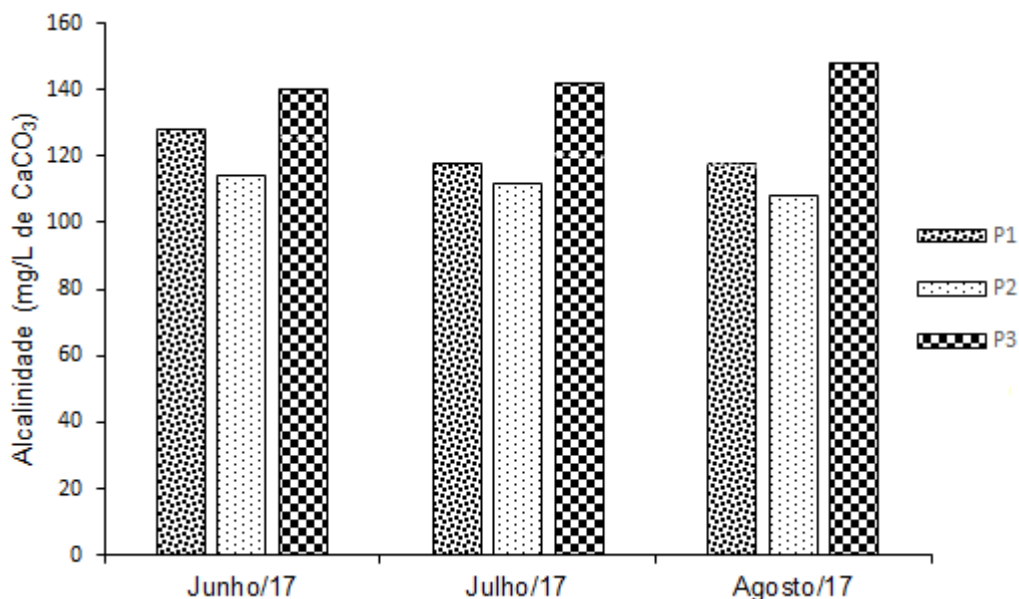
Poços artesianos de Arroio do Meio - RS, apresentaram valores de sólidos totais entre 39 e 41 mg/L, sendo valores ainda mais baixos que os poços do município de Carlos Gomes (STEVENS et al., 2015).

5.1.7 Alcalinidade

A alcalinidade não possui valor máximo permitido, mas se estiver presente em altas concentrações, pode causar sabor desagradável a água, sendo um parâmetro usualmente investigado em água de abastecimento. Além disso, está relacionada diretamente com a coagulação, redução da dureza e corrosão de tubulações. As suas formas estão diretamente ligadas com o pH e nas amostras analisadas, todas tiveram a alcalinidade devido apenas a bicarbonatos pelo valor de pH entre 4,4 e 8,3.

Percebe-se através da figura 12 que nas três coletas o valor de alcalinidade não apresentou grande variação, sendo que em todas o P3 teve o maior valor próximo a 140 mg/L de CaCO_3 e o P2 o menor valor em torno de 110 mg/L de CaCO_3 .

Figura 12 - Valores de Alcalinidade obtidos durante três meses em três poços artesianos amostrados no município de Carlos Gomes – RS



Fonte: Autora, 2017

Testes realizados em poços da Universidade Federal de Santa Maria, apresentaram alcalinidade total, principalmente a presença de ânions bicarbonato, obtido através da titulação, sendo que os valores ficaram entre 134 e 209 mg/L, com média de 189,45 mg/L, sendo algumas vezes necessária a correção, indicando assim, a possibilidade de pH elevado, ficando acima de 8 nos meses de maio a julho (MARION, CAPOANE & DA SILVA, 2007).

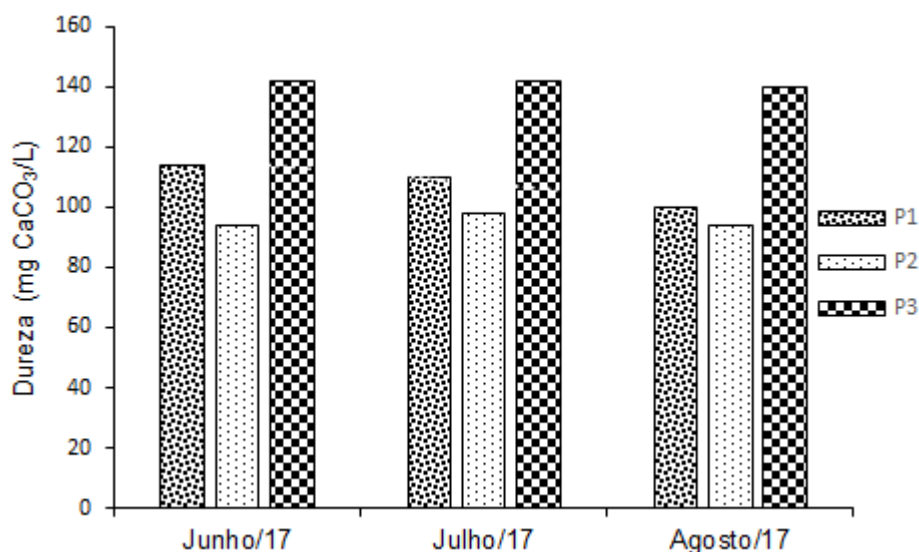
5.1.8 Dureza

A dureza em águas pode ser definida como a concentração de cátions de cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}). Isso significa uma resistência a saponificação, sendo comum em regiões de formação calcárea e baixa presença em terrenos arenosos e argilosos. A dureza, em determinadas concentrações, causa sabor desagradável à água e pode ter efeitos laxativos, reduz a formação de espuma, implicando num maior consumo de sabão, causa incrustação nas tubulações de água quente, caldeiras e aquecedores. Um estudo realizado na área rural da Finlândia, demonstrou pessoas que consomem água dura apresentaram menor suscetibilidade a doenças cardíacas

às que consumiram águas moles, devida a uma maior concentração de magnésio na água de abastecimento diminui o risco de ataques cardíacos (BAIRD & CANN, 2011).

O padrão de potabilidade estabelece valor máximo de 500 mg/L de CaCO_3 . Todos os pontos nas três coletas apresentaram águas moderadamente duras, entre 75 e 150 mg/L de CaCO_3 , conforme é mostrado na figura 13.

Figura 13 - Valores de Dureza obtidos durante três meses em três poços artesianos amostrados no município de Carlos Gomes – RS



Fonte: Autora, 2017

Já em poços de Triunfo - RS, todas as amostras apresentaram resultados muito abaixo do limite estabelecido, na faixa de 2,42 a 53,4 mg/L de CaCO_3 (valor médio de 35,63 mg/L de CaCO_3), sendo consideradas brandas ou moles (KUNH, ZART & OLIVEIRA, 2015).

. Em poços artesianos de Concórdia - SC, os valores também ficaram abaixo do limite, mas com uma média maior de 159,6 mg/L de CaCO_3 (MATTHIENSEN et al., 2015).

Como os valores de alcalinidade observados em todos os pontos nas três coletas ficaram muito próximo aos valores de dureza, pode-se concluir que a dureza é considerada temporária, ou seja, é a fração da dureza total causada pela presença de bicarbonato de cálcio ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_{2(aq)}$) e que pode ser removida por aquecimento.

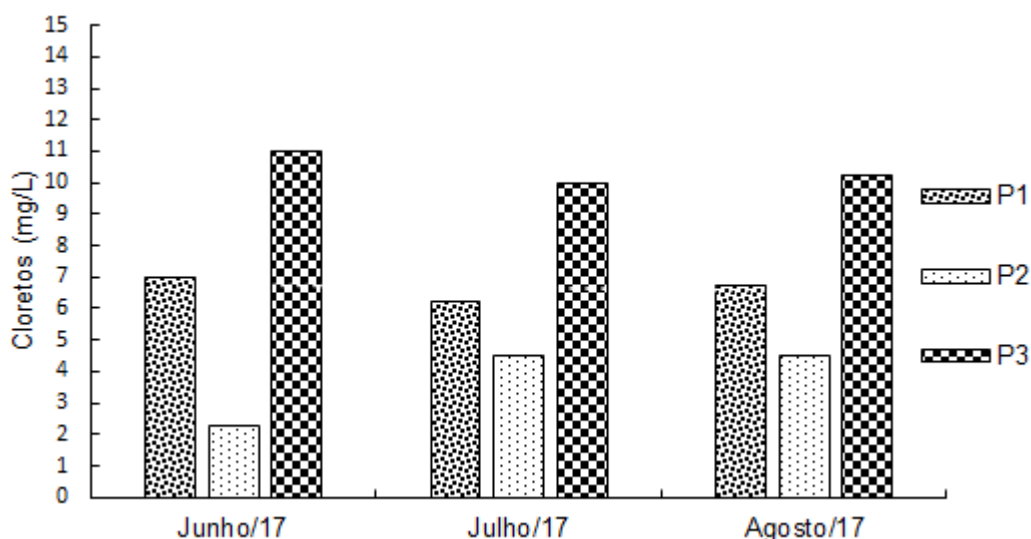
5.1.9 Cloretos

Os cloretos se constituem através de sólidos dissolvidos, pela dissolução de minerais ou intrusão de águas salinas. Em certas concentrações causa sabor salgado à água. É um parâmetro muito importante para a qualidade da água e tem o valor máximo estipulado pela legislação de 250 mg/L (SPERLING, 2005).

Observou-se que nenhum dos poços apresentou altas concentrações de cloretos, sendo que o P2 que está sem receber cloração a algum tempo apresentou o menor valor. O P3 foi o que apresentou maior concentração de cloretos durante os três meses de coletas, além da maior dureza, alcalinidade, sólidos totais e condutividade elétrica.

No entanto, não teve uma grande diferença entre os poços que se mantiveram praticamente com os mesmos valores nas três coletas entre 2,25 e 10,99 mg/L e um valor médio de 6,9 mg/L. Os valores de cloretos obtidos nas três coletas estão apresentados na figura 14.

Figura 14- Variação da concentração de Cloretos durante três meses em três poços artesianos amostrados no município de Carlos Gomes - RS



Fonte: Autora, 2017

Estes valores se assemelham aos valores encontrados em amostras de poços artesianos de Concórdia – SC, onde o valor médio foi de 11,3 mg/L ((MATTHIENSEN et al., 2015) e aos valores observados para os dez poços amostrados em Triunfo – RS, que ficaram entre 1,84 e 10,7 mg/L (KUNH, ZART & OLIVEIRA, 2015).

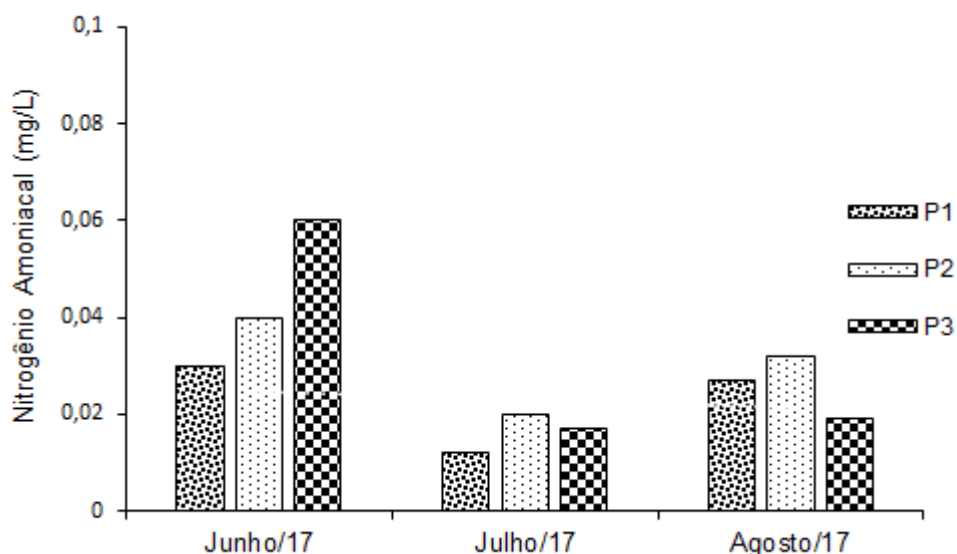
Outro trabalho realizado no município do Arroio do Meio - RS, obteve valores de cloretos entre 13,5 e 70mg/L (STEVENS et al., 2015), valores um pouco mais altos que o presente estudo, mas bem inferiores ao que foi constatado em Anastácio – MS, onde vários poços ultrapassaram o VMP e um dos poços apresentou o valor de 1.038,3 mg/L, quatro vezes maior que o limite de potabilidade, segundo o estudo, pelo fato de existir próximo ao poço uma torre de transmissão de rádio clandestina aonde teria sido usado grande quantidade de cloreto de sódio (CAPPI et al., 2012).

5.1.10 Nitrogênio Amoniacal

A amônia é formada no processo de decomposição de matéria orgânica (ureia-amônia), pode estar presente naturalmente na água subterrânea, e tem importância por ser o primeiro produto da decomposição de substâncias nitrogenadas por isso, a presença desta substância indica uma poluição orgânica recente. A amônia, assim como o nitrito, costuma estar ausente, pois são rapidamente convertidos a nitrato pelas bactérias (ARAUJO, HIPÓLITO & WAICHMAN, 2013).

A presença da amônia produz efeito significativo no processo de desinfecção da água pelo cloro, através da formação de cloraminas, que possuem baixo poder bactericida (BATALHA & PARLATORE, 1993). Percebe-se através da figura 15 que os valores obtidos nas análises de nitrogênio na forma N-amoniacal (N-NH₃) não teve grande variação, mantendo-se bem abaixo do valor máximo permitido para água potável de 1,5 mg/L em todos os poços e durante os três meses de realização das coletas.

Figura 15- Concentração de Nitrogênio Amoniacal durante três meses em três poços artesianos amostrados no município de Carlos Gomes – RS



Fonte: Autora, 2017

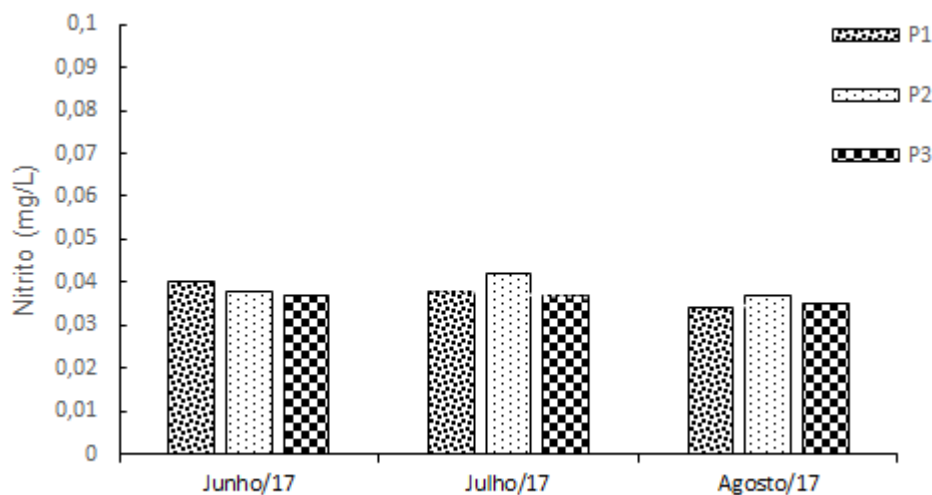
No município de Concórdia – SC, os valores de nitrogênio amoniacal também ficaram bem abaixo dos VMP, com um valor médio de 0,05 mg/L (MATTHIENSEN et al., 2015), bem próximo a média do presente trabalho de 0,028 mg/L de N-NH₃. Isso não se repetiu em poços do interior do município de Agudo – RS, os quais apresentaram concentração de nitrogênio nas águas na forma de N-amoniacoal (N-NH₃) entre zero e 2,66 mg/L, encontrando-se ora superiores, ora inferiores ao VMP, e segundo o estudo pode ter havido uma contaminação pontual (RHEINHEIMER et al., 2010).

5.1.11 Nitrito

O nitrito, quando presente na água de consumo humano, tem um efeito mais rápido e pronunciado do que o nitrato. Se o nitrito for ingerido diretamente, pode ocasionar metemoglobinemia independente da faixa etária do consumidor (BATALHA & PARLATORE, 1993).

Durante os três meses de análises, todas as amostras apresentaram valores muito baixos de concentração de nitrogênio na forma de nitrito, sendo que os valores ficaram entre 0,03 e 0,04 mg/L, como pode-se observar na figura 16.

Figura 16 - Concentração de Nitrito durante três meses em três poços artesianos amostrados no município de Carlos Gomes – RS



Fonte: Autora, 2017

Dos 32 poços amostrados no município de Concórdia – SC, todos apresentaram valores de nitrito igual a zero (MATTHIENSEN et al., 2015). Em poços de Vilhena - RO, os valores ficaram entre 0,02 e 0,05mg/L (OLIVEIRA et al., 2015).

5.1.12 Nitrato

O nitrato em águas superficiais geralmente é encontrado em quantidades pequenas, já em águas subterrâneas, os valores podem ser elevados devido a facilidade da oxidação do nitrogênio para nitrato no solo, sendo móvel migra para a água subterrânea, onde é dissolvido e diluído.

Áreas rurais com alto aporte de nitrogênio e pouca vegetação representam um risco para a água subterrânea, assim como áreas urbanas, onde as fossas sépticas também podem contaminar esta água, pela grande quantidade de íons nitrato no esgoto doméstico (BAIRD & CANN, 2011).

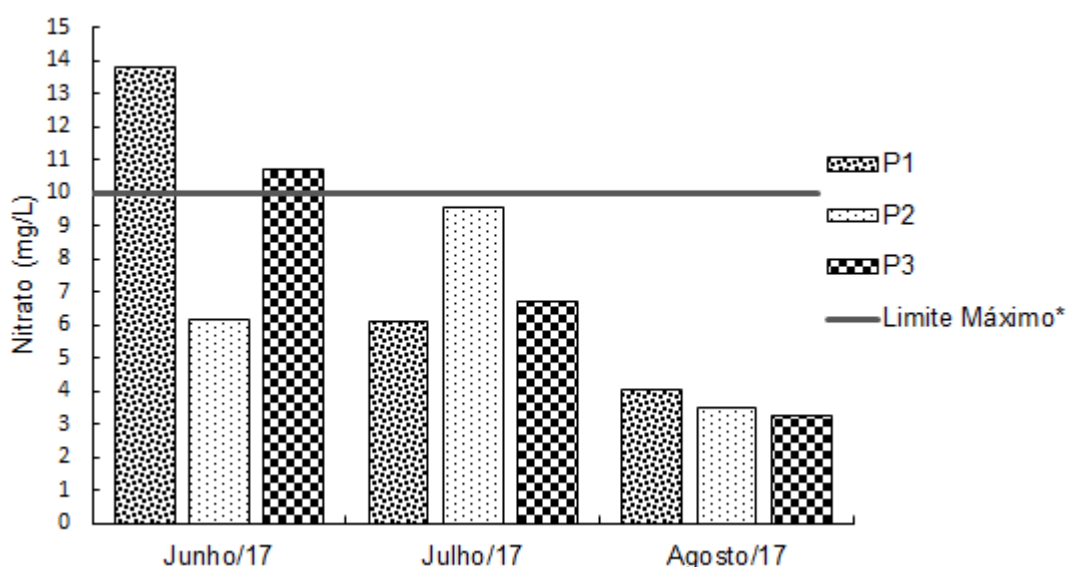
O nitrato representa um risco à saúde humana, devido ao fato de causar a metemoglobinemia (cianose) em crianças. O limite de 10 mg N-NO₃/L foi estabelecido a partir de estudos sobre a ocorrência de metemoglobinemia em crianças que consumiam águas de poços, havendo casos da doença originadas pela ingestão de

águas com valores de nitrato inferiores a esse limite. Existe uma carência de estudos sobre avaliação de compostos de nitrogênio no Brasil (ALABURDA & NISHIHARA, 1998) e pouca investigação sobre seus efeitos carcinogênicos para que haja uma adequação na legislação nacional.

Cientistas têm debatido que o nível de excesso de íon nitrato em água potável e alimentos poderia estar relacionado com o aumento na incidência de câncer de estômago, e é convertido a nitrito, onde podem reagir com aminas e formar compostos conhecidos por serem cancerígenos em animais. Um estudo publicado em Iowa, mulheres que ingeriram água com nível elevado de nitrato ($>2,46\text{mg/L}$) apresentaram quase três vezes mais probabilidade de serem diagnosticadas com câncer de mama do que mulheres que foram menos expostas ($0,36\text{ mg/L}$). Além disso, foi constatado em algumas comunidades em Nebraska, um aumento no risco de adquirir o Linfoma não Hodgking's em pessoas que consumiram por longo tempo água contendo valores de nitrato iguais ou maiores que 4 mg/L (BAIRD & CANN, 2011).

Os valores da concentração de nitrato nos poços amostrados são apresentados na figura 17.

Figura 17 – Variação na concentração de Nitrato nos poços amostrados, durante três meses, em três poços artesanais amostrados no município de Carlos Gomes - RS



*Limite máximo estabelecido pela Resolução CONAMA 396/2008 e Portaria MS 2914/2011.
Fonte: Autora, 2017

Observou-se durante as análises que em todos os poços, ocorreu ao menos em uma das coletas, valores considerados preocupantes. No mês de junho o P1 e o

P3 obtiveram valores acima do limite máximo de 10 mg/L N-NO₃⁻ e no mês de julho o P2 chegou bem próximo a este limite. Além disso, nestes dois meses, todas amostras ultrapassaram o valor considerado de alerta (5 mg/L N-NO₃⁻) pela CETESB.

No mês de agosto, os valores diminuíram ficando entre 3,2 e 4,1 mg/L N-NO₃⁻, mas ainda sendo valores considerados expressivos. Pode-se atribuir os valores maiores na primeira coleta ao grande volume de chuvas antes da coleta, pois o mês de junho acumulou 192,2 mm de chuva, e destes 178,7 foram nos dez dias anteriores a coleta, ocasionando diversos alagamentos e provável infiltração no solo de nutrientes utilizados em lavouras e diluição e dispersão desses poluentes. No mês de julho também choveu dias antes da coleta, mas com uma baixa acumulação nos dias anteriores a coleta. O mês de agosto teve uma precipitação total de 141,2 mm, mas com uma distribuição diária mais uniforme.

Esse fato também foi constatado em estudo feito em Vilhena – RO, em que o parâmetro nitrato foi encontrado em elevada concentração na maioria dos poços no período chuvoso e no período de seca, esteve em desconformidade apenas em dois poços (OLIVEIRA et al., 2015). Isso também ocorreu em amostras de água subterrânea do município de Manaus - AM, onde foram encontrados valores médios de nitrato de 9,1 mg/L e 10,2 mg/L no período de seca e no período chuvoso, respectivamente (ARAUJO, HIPÓLITO & WAICHMAN, 2013).

Nenhuma das amostras de água analisadas em Concórdia – SC, ficou acima do limite de 10mg/L para este parâmetro, porém várias amostras se aproximaram e/ou ficaram acima do valor de 5 mg/L que é um valor considerado “de alerta” (MATTHIENSEN et al., 2015), assim como no estudo no município de Arroio do Meio - RS, em que nenhum dos quatro poços apresentou valor acima da legislação federal, mas um poço apresentou o valor de 6,8mg/L (STEVENS et al., 2015).

A maioria dos estudos envolvendo qualidade da água subterrânea utiliza o parâmetro nitrato e os resultados cada vez mais preocupantes. Amostras avaliadas em Triunfo – RS, apresentaram nível mais elevado do íon nitrato nos pontos de coleta 2 e 9, respectivamente, com concentrações de 14,8 e 18,5 mg/L e um valor médio de 4,81 mg/L (KUNH, ZART & OLIVEIRA, 2015).

As tecnologias utilizadas para a remoção do nitrato são: troca iônica, tratamento biológico, osmose reversa e processos eletroquímicos. No entanto essas técnicas apresentam custo elevado de instalação e manutenção (KUMAR et al., 2016), além de geração de subprodutos e limitações, fazendo com que a proteção do aquífero

apresente-se como a melhor alternativa, através do tratamento de esgotos e técnicas de cultivo que reduzam a quantidade de fertilizantes, bem como a manutenção da vegetação próximo aos rios.

5.1.13 Fósforo

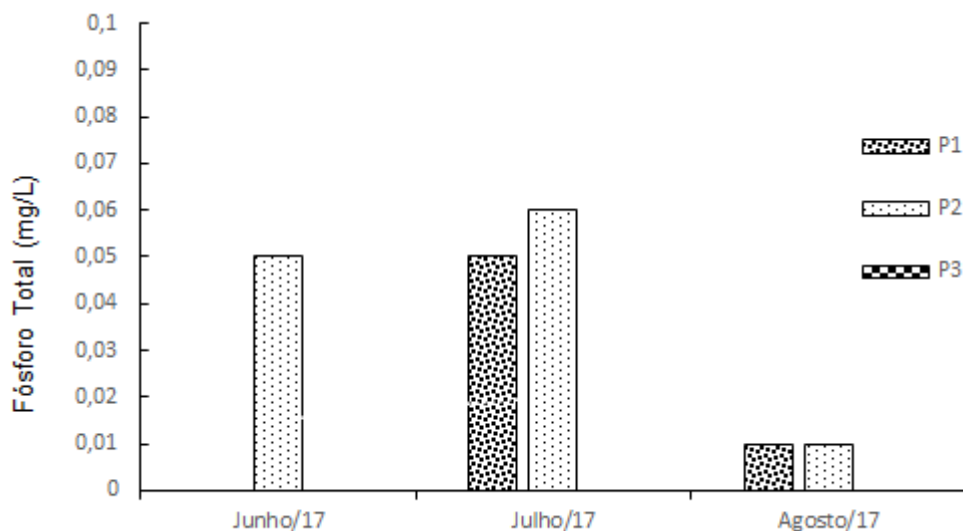
O fósforo pode estar presente na água naturalmente pela dissolução de rochas, decomposição da matéria orgânica, pelo solo, entre outros, e pode ser ocasionado pela ação humana, através do lançamento de efluentes não tratados (principalmente contendo detergente) e uso de adubos químicos na agricultura (VON SPERLING, 2005).

Em águas naturais não poluídas, as concentrações de fósforo são baixas entre 0,01 e 0,05 mg/L. O fósforo na água subterrânea pode ser acrescido por via antropogênica derivados de fertilizantes, detergentes, efluentes domésticos, inseticidas e pesticidas (FEITOSA & MANOEL FILHO, 2008).

Apesar de não existir na legislação vigente um valor máximo permitido para a concentração de fósforo total na água subterrânea, a Resolução nº 357 do CONAMA (BRASIL, 2005), que trata de águas superficiais, estabelece um limite máximo de fósforo total para rios Classe 1, destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado, de até 0,25 mg/L em ambientes intermediários, com tempo de residência entre 2 e 40 dias, e tributários diretos de ambiente lântico, bem como Fósforo total máximo de 0,020 mg/L para ambiente lântico.

De acordo com a figura 18, é possível associar o P2 com os maiores valores de fósforo total nas três coletas. Neste ponto, foi possível associar o período mais chuvoso com os maiores valores de fósforo e também com a sua localização em área agrícola. No entanto o P1 também está em área agrícola e não teve a mesma relação no mês de junho. Já o P3 localizado na área urbana, foi o que apresentou o valor zero para este parâmetro nas três coletas.

Figura 18 - Variação na concentração de Fósforo durante três meses, em três poços artesianos amostrados no município de Carlos Gomes – RS



Fonte: Autora, 2017

Em Arroio do Meio – RS, os valores obtidos para o fósforo ficaram entre 1,12 e 0,26 mg/L, significando uma possível poluição de alguns dos poços amostrados (STEVENS et al., 2015).

5.1 14 Demanda Bioquímica de Oxigênio

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) foi analisada através da incubação da água por cinco dias, $DBO_{5,20}$. A leitura foi realizada pelo equipamento disponível *Lovibond OxiDirect*, com as amostras incubadas a 20 °C, sendo que em todas as amostras os valores foram inferiores aos limites detectáveis pelo equipamento.

5.2 ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS

De acordo com a Portaria MS nº 2.914/2011, a avaliação da contaminação por *E. Coli* no manancial subterrâneo deve ser feita mediante coleta mensal de amostra, recomendado no mínimo quatro amostras, em ponto anterior ao local de desinfecção. Se o sistema ou solução alternativa de abastecimento de água tiver ausência de

contaminação por esta bactéria, deve realizar cloração da água, mantendo o residual mínimo do sistema de distribuição.

Os valores obtidos nas análises microbiológicas foram baseados na tabela contendo o número mais provável de diluições em série, presentes nos métodos de laboratório do Departamento de Saúde e Serviços Humanos dos Estados Unidos (EUA, 2015). Os resultados estão apresentados na tabela 3:

Tabela 3 - Resultados coliformes totais e termotolerantes (fecais) nos poços artesianos amostrados no município de Carlos Gomes – RS.

Poços	Coliformes Totais (NMP/100mL)			Coliformes termotolerantes (NMP/100mL)		
	Junho/17	Julho/17	Agosto/17	Junho/17	Julho/17	Agosto/17
P1	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
P2	9,2	< 3	9,2	< 3	< 3	< 3
P3	< 3	< 3	3	< 3	< 3	< 3

Valor < 3 significa que não teve registro pelo método dos tubos múltiplos.

VMP Coliformes Totais: ausentes em 100 mL de acordo com a Resolução CONAMA 396/2008.

VMP *Escherichia coli*: ausentes em 100 mL de acordo com a Resolução CONAMA 396/2008.

Fonte: Elaborado pela Autora, 2017.

Avaliando os resultados obtidos, verificou-se a presença de coliformes totais no P2 nos meses de junho e em agosto, e no P3 no último mês de análise. Não se confirmou a presença de *Escherichia coli* nas águas dos poços investigados. No entanto, segundo o que estabelece a Portaria MS nº 2.914/ 2011, se houver presença de um desses microrganismos, a água já não é passível de ser consumida sem tratamento prévio, a ser realizado com algum agente antibactericida, como, por exemplo, o cloro e justamente o P2 que apresentou coliformes totais em duas coletas não está recebendo o tratamento de desinfecção.

Em relação aos indicadores biológicos, todas as amostras analisadas em Arroio do Meio – RS estavam de acordo com a legislação vigente, pois não foram detectadas a presença de coliformes totais nem *E. coli* (STEVENS et al., 2015).

Poços de Concórdia –SC, tiveram seus valores de potabilidade alterados devido à contaminação microbiológica (coliformes totais e termotolerantes), sendo que mais de 65% das amostras apresentaram concentrações elevadas de coliformes totais

e 25% dos poços analisados apresentaram algum grau de contaminação por *E. coli* (MATTHIENSEN et al., 2015). Em Imigrante – RS, a maioria dos poços não apresentou contaminação por coliformes totais nem por *E. coli*. No entanto dois dos nove poços analisados apresentaram resultado positivo para a presença de coliformes totais e *E. coli* e outro apresentou resultado positivo somente para coliformes totais. Esses resultados demonstram que os poços apresentam contaminação por fezes (ZERWES et al., 2015). Um levantamento semelhante, realizado na zona rural de municípios da região sul do estado do Rio Grande do Sul, observou altos índices de contaminação por coliformes nas águas de poços artesianos, com até 70% das amostras positivas para coliformes termotolerantes (COLVARA, LIMA & SILVA, 2009). Estes autores ressaltam que a contaminação de águas subterrâneas revela um grave problema de saúde pública, sugerindo que a qualidade sanitária inadequada reflete em uma situação de risco para a população que utiliza essas águas.

5.3 TESTES DE TOXICIDADE

5.3.1 Toxicidade Aguda com *Daphnia magna*

Foram realizados testes de toxicidade aguda para os três poços e para as três coletas realizadas, utilizando em todos os testes 4 diluições e um Controle Negativo com duração de 48h.

Todos os testes de toxicidade aguda utilizando o organismo teste *Daphnia magna* não apresentaram toxicidade aguda, semelhantemente aos estudos de toxicidade aguda realizados no manancial de Paranhos na área urbana da Cidade do Porto. No entanto na Cidade de Paranhos, mesmo tendo obtido resultados negativos para toxicidade aguda, as águas subterrâneas foram consideradas impróprias para o consumo humano pela grande quantidade de nitrato e sulfatos (AFONSO et al., 2007). Em um estudo posterior no mesmo local indicou concentrações de nitrato entre 13 e 145 mg/L de nitrato nas águas subterrâneas da Cidade do Porto e a realização de

testes de toxicidade aguda não apresentou valores de mortalidade superiores a 25% em amostras com valores de pH inferiores a 7, e em amostras com pH corrigido, sendo diminuída para 0 a 5 % com o pH corrigido, devido a alta sensibilidade exibida pelas *D. magna* para ambientes ácidos

Ensaio agudo realizado com o organismo teste *D. magna* em águas do poço do Camping Municipal de da Lagoa do Peixoto, na cidade de Osório – RS também não evidenciaram toxicidade (DANI & LANZER, 2017).

Os estudos realizados no Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) de São Paulo, verificaram que três dos seis pontos amostrados apresentaram toxicidade aguda para a *D. similis*. Algumas amostras apresentaram valores de concentração de nitrato, acima de 10 mg/L, valor máximo permitido, mas não apresentaram toxicidade aguda (BUONGERMINO & MOREL, 2008). Este fato é coerente com os resultados obtidos em um trabalho desenvolvido para verificar a CL50 de nitrato para *D. magna*, no qual foi obtido uma média 462mg/L de NO₃-N (SCOTT & CRUNKILTON, 2000), sendo bem maiores que aos encontrados nos poços artesianos amostrados em Carlos Gomes – RS. Os estudos anteriores aos de Scott e Crunkilton (2000), haviam apontado para concentrações bem maiores de CL50 de nitrato para *D. magna*.

5.3.2 Toxicidade Crônica com *Daphnia magna*

A ausência de toxicidade aguda não elimina a possibilidade de ocorrência de afeitos crônicos aos organismos expostos. Sendo assim optou-se por investigar a possibilidade de existência de toxicidade crônica adotando as amostras que tiveram resultados mais significativos nos testes físico-químicos. Dessa forma, o teste de toxicidade crônica foi realizado somente para a coleta do mês de junho nos três poços devido aos valores de nitrato acima do recomendado pela Portaria MS nº2914/11e pela Resolução CONAMA 396/2008.

No teste de toxicidade crônica, foi verificada a longevidade, o crescimento e a reprodução média (filhotes/postura) dos indivíduos. Além disso, foram observadas possíveis alterações morfológicas nos organismos sobreviventes.

Os dados obtidos após análise estatística, estão apresentados na tabela 4.

Tabela 4 - Resultados do teste de toxicidade crônica utilizando o microcrustáceo *D. magna* para as amostras coletadas no mês de Junho de 2017.

Amostra	Concentração (%)	Longevidade: Sobreviventes (%)	n	Reprodução: Filhotes/posturas	n	Crescimento	n
P1 JUNHO 2017	Controle Negativo	100	10	5,2 ± 0,89	10	3,3 ± 0,17	10
	100 %	90	10	3,1 ± 0,93 **	9	3,0 ± 0,27 *	9
	50 %	90	10	4,9 ± 1,2	9	3,2 ± 0,15	9
	25 %	70	10	5,1 ± 1,3	7	3,3 ± 0,13	7
	12,5 %	90	10	3,6 ± 1,1	9	3,3 ± 0,21	9
CEO %		Sem efeito		100%		100%	
CENO %		100%		50%		50%	
P2 JUNHO 2017	Controle Negativo	100	10	5,2 ± 0,89	10	3,3 ± 0,32	10
	100 %	100	10	3,8 ± 0,94*	9	3,3 ± 0,23	10
	50 %	90	10	4,4 ± 1,3	9	3,3 ± 0,12	9
	25 %	80	10	4,1 ± 1,5	7	3,2 ± 0,20	8
	12,5%	90	10	4,3 ± 0,95	7	3,2 ± 0,28	9
CEO %		Sem efeito		100%		Sem efeito	
CENO %		100%		50%		100%	
P3 JUNHO 2017	Controle Negativo	100	10	5,2 ± 0,89	9	3,3 ± 0,32	10
	100 %	100	10	6,2 ± 1,5	7	3,6 ± 0,42	10
	50 %	90	10	7,2 ± 1,2	6	3,2 ± 0,32	9
	25 %	90	10	6,1 ± 1,3	7	3,5 ± 0,41	9
	12,5%	100	10	6,0 ± 1,3	6	3,4 ± 0,46	10
CEO %		Sem efeito		Sem efeito		Sem efeito	
CENO %		100%		100%		100%	

Os símbolos* e **se referem ao teste estatístico de comparação múltiplas, ANOVA com ajuste de Bonferroni com $p < 0,05$.

Fonte: Elaborado pela autora (2017).

Para a amostra P1, foi registrada uma CENO (menor concentração que não causa efeito) de 100% apenas para a longevidade, na qual não foi observada a CEO.

No entanto, com relação ao crescimento e à reprodução dos indivíduos, a CENO foi de 50%. Já a CEO (menor concentração que causa efeito), para os *endpoints* reprodução média e longevidade foi de 50%. Portanto, em amostras do poço artesiano P1 foram observados efeitos crônicos para a reprodução e para o crescimento. Alguns fatores podem ter interferência no referido teste, pois foram identificados diversos machos (15%). Somente a amostra bruta do P1, que teve 4 machos entre os dez organismos expostos ao teste e isto pode ter contribuído para os efeitos observados nesta concentração, visto que os machos não se reproduziram e apresentaram tamanhos inferiores ao das fêmeas. Além disso, 15% dos organismos morreram em todo o teste.

O teste crônico realizado com amostras do P2 só teve efeito observado na reprodução média, em que o CENO foi de 50% e o CEO foi de 100%. Os endpoints longevidade e crescimento não foram afetados, tendo assim, valores de CENO de 100% e CEO considerada sem efeito. As mortes nesta amostra representaram 10% dos organismos.

Para o poço artesiano P3, foi registrada uma CENO de 100% para a amostra bruta no tocante à longevidade, ao crescimento e à reprodução dos indivíduos. Portanto, não foram identificados efeitos de toxicidade crônica, devido ao fato de que a amostra bruta não causou nenhum efeito e dessa forma, a CEO não pode ser observada. Porém as amostras do P3 submetidas ao teste crônico, apresentaram uma grande quantidade de organismos que não se reproduziram, significando um total de 33,3 % de machos presentes no teste. Apesar disso, apresentaram reprodução elevada se comparada ao controle, como é possível observar na tabela 5.

Tabela 5: Resultados do teste crônico através de bioensaios com *D. magna* em amostras do poço artesiano P3 do município de Carlos Gomes – RS.

Diluição	<i>D. magna</i> Sobreviventes	<i>D. magna</i> que não se reproduziram	Total de Neonatos
100% (Amostra Bruta)	10	3	157
50%	9	4	151
25%	9	2	158
12,5%	10	4	171
Controle	10	1	103

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

Embora a reprodução média não tenha sido afetada, nota-se que houve um aumento significativo na reprodução dos organismos que se reproduziram, fato que

pode indicar uma estratégia de sobrevivência, de manutenção da espécie. Assim, pode-se supor que as concentrações elevadas de nitrato possam ter sido responsáveis por causar desconfortos ao ambiente. Fenômeno semelhante foi constatado em teste crônico com *D. magna* expostas a diferentes concentrações do ácido abiético, alimentadas com algas crescidas em meio de cultivo normal, no qual observou-se uma maior quantidade de machos em relação ao controle, principalmente nas concentrações mais altas. Isso foi atribuído ao estresse provocado pelo agente tóxico presente no bioensaio. Além disso, o autor afirma que a presença de machos no meio ambiente é uma tentativa de aumentar as chances de sobrevivência em uma situação de estresse, buscando a formação de efípios e uma diversificação genética buscando a sobrevivência (ROCHA et al., 2015). Isso ocorre pelo fato de que a reprodução deste microcrustáceo depende de fatores ambientais, e ocorrendo condições desvantajosas, são estimulados pelo meio para produzir machos que posteriormente fecundam as fêmeas (reprodução sexuada) e assim originar ovos de resistência (efípios) que são capazes de sobreviver às condições desfavoráveis (PEREIRA, 2008).

Um estudo realizado pela Faculdade de Recursos Naturais, Universidade de Wisconsin-Stevens Point, nos Estados Unidos, que investigou a concentração sem efeito observado (CENO) e a concentração de efeito observado mais baixo (CEO) de concentrações de nitrato para organismos recém-nascidos de *D. magna*. A média CENO e os valores de CEO para a produção de neonatos em *D. magna* foram 358 mg/L e 717 mg/L de NO₃-N. No entanto, o referido estudo utilizou organismos com seis dias de vida e teve um tempo de exposição de apenas 7 dias, fato que pode ter grande importância na grande diferença de concentração de nitrato que causou algum efeito crônico para o microcrustáceo *D. magna*.

Ensaio realizado com o organismo teste *D. magna* em águas do poço do Camping Municipal de da Lagoa do Peixoto, na cidade de Osório – RS não evidenciaram toxicidade crônica, sendo avaliados a reprodução e o crescimento (DANI & LANZER, 2017).

A observação dos organismos sobreviventes, utilizando a lupa de aumento 40x, não apresentou alterações morfológicas nos organismos, conforme pode-se observar na figura 19.

Figura 19 - *Daphnia magna* sobrevivente no teste crônico observada na lupa com aumento de 40x.



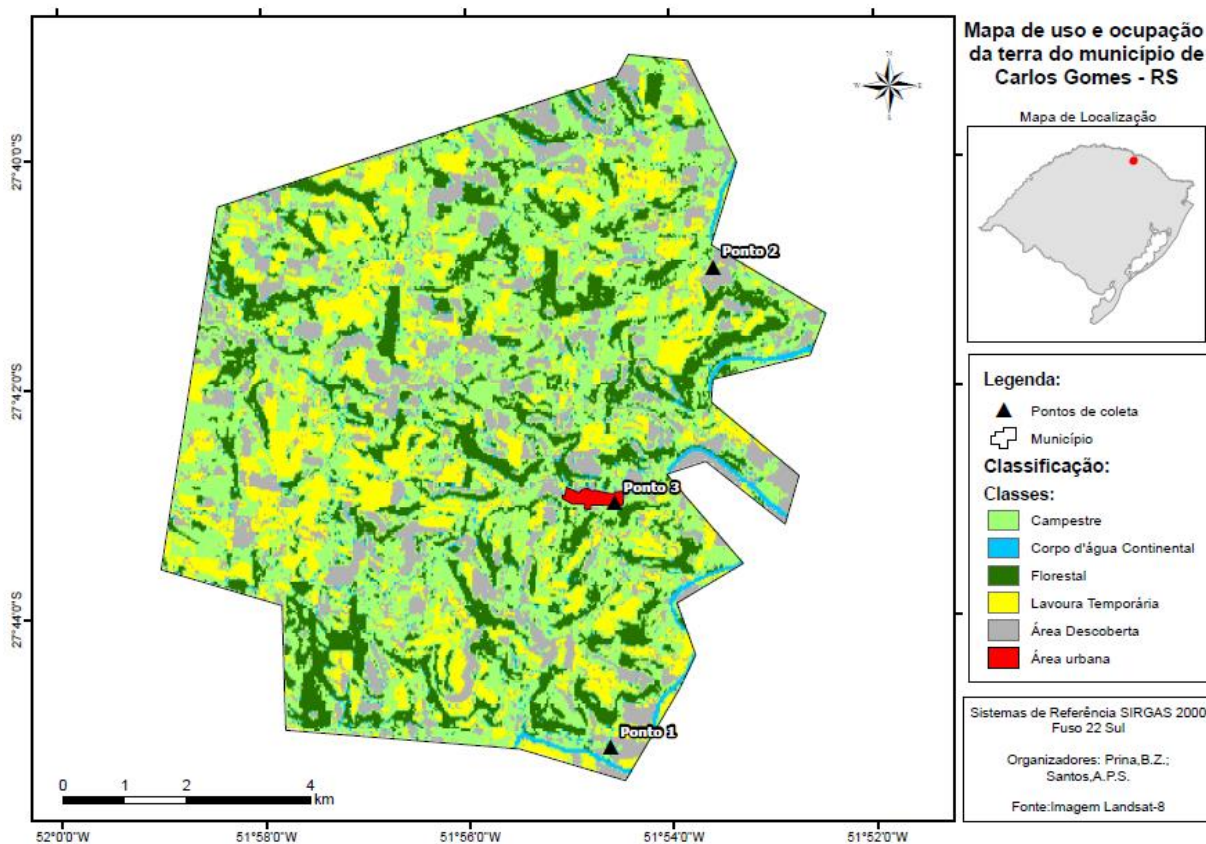
Fonte: Autora (2017).

5.4 RELAÇÕES ENTRE OS TESTES DE QUALIDADE DA ÁGUA E A OCUPAÇÃO DO SOLO

Através do mapa de uso e ocupação do solo do município apresentado na figura 17, é possível perceber a forma como o município de Carlos Gomes – RS, desenvolve suas atividades, bem como ocorre o uso do solo nos locais aonde estão situados os poços escolhidos para a coleta de água.

O município tem sua economia baseada na agricultura, além de várias propriedades com atividades pecuaristas (gado de corte e leite). É possível observar na figura 20 que a maioria do território municipal é utilizado para atividades agrícolas.

Figura 20 - Mapa de uso e ocupação do solo do município de Carlos Gomes - RS



Fonte: Autora (2017).

A distribuição das classes no território municipal de Carlos Gomes – RS, estão apresentadas na tabela 6.

Tabela 6: Distribuição do uso e ocupação da terra no município de Carlos Gomes – RS.

Classe	Porcentagem	Área (Km ²)
Florestal	18,59%	15,36 km ²
Pastagens	41,88%	34,61 km ²
Área descoberta	17,08%	14,11 km ²
Lavoura Temporária	19,08%	15,76 km ²
Corpos d'água	3,10%	2,56 km ²
Área Urbana	0,26%	0,22 km ²
Total	100%	82,64 km²,

Fonte: Autora, 2017.

A área total do município de Carlos Gomes –RS, calculada através do software QGis é de aproximadamente 82,64 km², sendo que o maior uso do solo é destinado

para pastagens, seguido de áreas florestais, devido ao relevo acentuado do município. As lavouras temporárias e as áreas descobertas, são na sua grande maioria áreas de lavouras após a colheita ou com plantio inicial. Os corpos d'água são oriundos principalmente do Rio Apuaê, mas devido ao relevo bem acentuado, a sombra efetuada sobre as áreas baixas se confunde com água, mas não foi considerada. A área urbana corresponde a menor parcela do uso e ocupação do solo.

O poço P1 e P2 estão localizados em áreas agrícolas e apenas o poço P3 está situado em área urbana. O uso do solo não estabeleceu uma relação direta com os parâmetros microbiológicos e nos testes toxicológicos. Quanto aos parâmetros físico-químicos, os poços localizados em área agrícola apresentaram maior concentração de fósforo total, enquanto o P3 localizado na área urbana apresentou valor nulo para este parâmetro.

O P3 localizado na área urbana apresentou maiores valores de cloretos, condutividade elétrica, dureza, alcalinidade, sólidos totais e no mês de junho, turbidez maior que os poços localizados em áreas agrícolas.

Quanto ao parâmetro nitrato, valor mais elevado e preocupante obtido neste estudo, os três poços tiveram concentrações elevadas, sendo P1 e P3 no mês de junho e o P2 no mês de julho.

O P2, localizado em uma área agrícola em que havia sido recentemente plantada com mudas de brócolis, provavelmente contendo adubação, demonstrou uma relação direta do uso do solo para a agricultura e a concentração de nitrato na água subterrânea. Já os valores altos apresentados pelos poços artesianos P1 e P3 na coleta de junho são explicados pela grande precipitação anterior a amostragem, não sendo possível apontar o uso do solo como maior fator de contribuição para os altos valores observados.

6 CONCLUSÃO

Os resultados dos testes físico-químicos e microbiológicos realizados apontaram um sinal de alerta para a qualidade de água subterrânea utilizada pelo município de Carlos Gomes – RS, para o nitrato, considerado um dos principais parâmetros que devem ser investigados, segundo a Resolução CONAMA 396/2008.

Os valores de nitrato obtidos nas análises do mês de junho, estiveram acima do limite máximo permitido pela Portaria MS Portaria nº 2.914/2011 e pela Resolução CONAMA 396/2008 de 10 mg/L para as amostras P1 e P3.

As análises microbiológicas não apresentaram valores de coliformes fecais em nenhuma das três coletas, no entanto o P2 apresentou valores de coliformes totais nos meses de junho e agosto, justamente o poço que não está recebendo o processo de desinfecção por cloração, e neste contexto, estaria impróprio para o consumo humano.

Já os testes toxicológicos, realizados com as amostras das coletas do mês do junho que apresentaram os maiores valores de nitrato, realizadas com o intuito de complementar as análises físico-químicas e microbiológicas, se mostraram muito úteis, à medida em que podem detectar interferências à saúde humana que muitas vezes somente as usuais análises não detectam ou a existência de substâncias tóxicas não analisadas. Mesmo não sendo detectados efeitos imediatos, pode-se observar diversos efeitos crônicos, provavelmente pela presença de substâncias tóxicas a este microrganismo.

Quanto a relação entre o uso do solo e a qualidade da água dos poços analisados, somente o parâmetro fósforo foi afetado diretamente.

Portanto este trabalho pode ser utilizado como uma avaliação inicial da situação atual do abastecimento público do município de Carlos Gomes-RS, apresentando resultados que podem ser disponibilizados e utilizados pelo município.

7 RECOMENDAÇÕES

Realizar um monitoramento dos parâmetros físico-químico e microbiológico em um período amostral superior ao utilizado neste trabalho para realizar comparações, bem como realizá-los para os outros poços não amostrados neste trabalho.

Realizar testes de toxicidade aquática utilizando outros organismos, como microalgas e peixes, buscando uma abrangência maior da cadeia alimentar aquática;

Realizar testes de toxicidade aguda e crônica com *D. magna* e outros organismos nos poços não amostrados.

Realizar testes de toxicidade para o microcrustáceo *D. magna* com concentrações de nitrato semelhantes as obtidas neste estudo para comparar com os disponíveis na literatura.

O poço artesiano P2 deve receber tratamento de desinfecção para se adequar à legislação vigente.

8. REFERÊNCIAS

ABDALLA, K. V. P. et al. Avaliação da dureza e das concentrações de cálcio e magnésio em águas subterrâneas da zona urbana e rural do município de Rosário - MA. **Águas Subterrâneas**, 2010.

AFONSO, M. J. et al. Environmental issues in urban groundwater systems: a multidisciplinary study of the Paranhos and Salgueiros spring waters, Porto (NW Portugal). **Environmental Earth Sciences**, v. 61, n. 2, p. 379-392, 2010.

AFONSO, M. J. et al. Uma abordagem geoambiental no estudo dos subterrâneos da cidade do Porto: o caso do manancial de Paranhos. 2007. In: **Seminário sobre Águas Subterrâneas**, LNEC, 1 - 2 de Março de 2007. Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos (APRH), Lisboa, 10 p.

ALABURDA, J.; NISHIHARA, L. Presença de compostos de nitrogênio em águas de poços. **Revista de Saúde Pública**, v. 32, n. 2, p. 160–165, 1998.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Atlas Brasil: Abastecimento Urbano de Água**: Brasília, 2005.

_____. **Panorama do enquadramento dos corpos d'água do Brasil, e, Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil**. Brasília: ANA, 2007a. 124 p. Disponível em: <http://portalpnqa.ana.gov.br/Publicacao/PANORAMA_DO_ENQUADRAMENTO.pdf>. Acesso em: 07 set. 2016.

_____. **Atlas Brasil**. Abastecimento urbano de água. Brasília, DF: 2010. Disponível em: <<C:/Users/ana%20paula/Downloads/livro-abastecimento-de-agua-urbano-resultados-da-regiao-sul-atlas-brasil-agencia-nacional-de-aguas-ana.pdf>>. Acesso em 11 out. 2017.

_____. **Demandas de recursos hídricos no Brasil. Estudo técnico**. Cadernos de Recursos Hídricos. Brasília, DF: 2005. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/planejamento/planos/pnrh/VF%20DisponibilidadeDemandas.pdf>>. Acesso em: 10 out.2017.

_____. **Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil**. Caderno de recursos hídricos, 2. Brasília, DF: 2007b. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2007/DisponibilidadeEDemandasBrasil.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2017.

_____. **Sistema Aquífero Poroso**. 2013. Disponível em: http://dados.gov.br/dataset/inde_6. Acesso em 10 nov. 2017.

ARAUJO C. F.; HIPÓLITO J. R.; WAICHMAN A. V. Avaliação da qualidade da água de poço. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**. São Paulo, 2013; 72(1):53-8.

ARAÚJO, G. F. R. de et al. Qualidade físico-química e microbiológica da água para o consumo humano e a relação com a saúde: estudo em uma comunidade rural no estado de São Paulo. **O Mundo da Saúde**, v. 35, n. 1, p. 98-104, 2011. Panorama Nacional. Brasília, DF, 2010. Vol. 1. 72 p.

ARIAS, T. L. et al. Índices de calidad ambiental de aguas del Arroyo Caañabe mediante tests microbiológicos y ecotoxicológico. **Revista Ambiente & Água**, v. 11, n. 3, p. 548, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **Ecotoxicologia aquática - Toxicidade aguda - Método de ensaio com *Daphnia* spp. (Cladocera, Crustacea)**. NBR 12.713. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS- ABNT. **Ecotoxicologia Aquática - Toxicidade crônica - Método de ensaio com *Ceriodaphnia* spp. (Crustacea, Cladocera)**. NBR 13.373: Rio de Janeiro, 2005.

BAIRD, C.; CANN, M. **Química Ambiental**. Tradução: Marco Tadeu Grassi, et al; 4ª ed. Porto Alegre. Bookman, 2011.

BATALHA B. H. L., PARLATORE A. C. **Controle da qualidade da água para consumo humano: bases conceituais e operacionais**. São Paulo, CETESB, 1993. 198p.

BEATRICI, A C. **Avaliação da fertilidade e sensibilidade de *Daphnia similis* (Crustacea, Cladocera) submetida a três diferentes dietas**. 2001, 18 f. Monografia (Graduação) – Curso de Ciências Biológicas, Instituto de Biociências, Departamento de Ecologia, UFRGS, Porto Alegre, 2001.

BERTON, S. M. H. **Estudo da toxicidade de hidrocarbonetos monoaromáticos utilizando *Vibrio fischeri*, *Daphnia magna* e *Desmodesmus subspicatus***. 2013. 153 f. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Águas Subterrâneas no Brasil**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/agua/recursos-hidricos/aguas-subterraneas>>. Acesso em: 26 set. 2016

_____. Ministério da Saúde. **Avaliação da Vigilância da Qualidade da Água no Estado do Rio Grande do Sul**. Brasília, 2012a. Disponível em: <<http://portalarquivos.saude.gov.br/images/pdf/2014/maio/07/Rio-Grande-do-Sul.pdf>>. Acesso em 05 set 2017.

_____. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador – DSAST. **Situação da vigilância da qualidade da água para consumo humano no Brasil – ano base 2010/2011**. Brasília, DF, 2012b.

_____. 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. Ministério da Saúde, **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 12 Dez 2011.

_____. Resolução nº 357/2005. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.** Data da legislação: 17/03/2005 – Publicação DOU, de 18/03/2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 05 set 2017. CONAMA-Conselho Nacional de Meio Ambiente, 2005.

_____. Resolução Nº 396. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. **Diário Oficial República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 03 de Abril de 2008. Seção Resoluções, 71p.

BUONGERMINO, C. R. P.; MOREL, M. B. B. **Avaliação da Toxicidade Aguda e Crônica das Águas Subterrâneas do IPEN, SP, para *Daphnia similis*, *Ceriodaphnia dubia* e *Ceriodaphnia silvestrii*.** 2008. Disponível em: <<http://repositorio.ipen.br:8080/xmlui/handle/123456789/26308?show=full>>. Acesso em 17 out. 2016.

CAMPOS, J. F. F. A. et al. **Avaliação da toxicidade das águas do rio Cubatão (Norte) - Joinville, SC, com base em ensaios ecotoxicológicos com *Daphnia magna*.** 2015, 87 f. Dissertação (mestrado em Ecologia) – Universidade do Minho, Braga- Portugal, 2015.

CAPPI, N. et al. Qualidade da água e fatores de contaminação de poços rasos na área urbana de Anastácio (MS). **Geografia Ensino & Pesquisa**, v. 16, n. 3, p. 77-92, 2012.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO- CETESB: **Qualidade das águas interiores no Estado de São Paulo.** Apêndice A. Significado Ambiental e Sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem. São Paulo, 2008.

CANDIAGO, P. M. Teste de toxicidade crônica em resposta a exposição aos contaminantes de águas subterrâneas do litoral médio do Rio Grande do Sul. Universidade de Caxias do Sul, **Centro de Ciências Agrárias e Biológicas**, Laboratório de Toxicologia e Limnologia. 2014.

COLVARA, J. G.; LIMA, A. S.; SILVA, W. P. Avaliação da contaminação de água subterrânea em poços artesianos no sul do Rio Grande do Sul. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 2, p. 11-14, 2009.

COSTA, C. R. et al. A toxicidade em ambientes aquáticos: discussão e métodos de avaliação. **Química Nova**, v. 31, n. 7, p. 1820-1830, 2008.

TELLES, D. **Ciclo ambiental da água: da chuva à gestão**. São Paulo: Blucher, 2013.

DA COSTA, A. B. et al. Avaliação da qualidade das águas subterrâneas em áreas de preservação permanente (sistema aquífero guarani–sag), bacia hidrográfica do Rio Pardo, RS, Brasil. **Tecno-Lógica**, v. 14, n. 1, p. 26-38, 2010.

KEMERICH, P. D. C. et al. Determinação da vulnerabilidade natural à contaminação da água subterrânea no bairro Nossa Senhora do Perpétuo Socorro em Santa Maria–RS. Engenharia Ambiental: **Pesquisa e Tecnologia**, v. 8, n. 3, 2011.

DA CRUZ WEISS, C. V. et al. Mapeamento do uso e ocupação do solo utilizando imagens de satélite do sensor TM/Landsat 5 no litoral sul do Rio Grande do Sul, Brasil. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, INPE. Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 2013. **Anais ...** Foz do Iguaçu: INPE, 2013.

DANI, J.; LANZER, R. **Toxicidade de água de poço de um camping municipal no litoral norte do Rio Grande do Sul**. Universidade de Caxias do Sul, 2017. Disponível em: <http://jovenspesquisadores.com.br/uploads/posteres/1/poster-jovens-final_0_18_44.pdf>. Acesso em 02 nov. 2017.

DE PAULA DIAS, A. M. et al. Avaliação da toxicidade aguda de fluidos de corte utilizados em processos de usinagem usando como organismos-teste *Poecilia reticulata* e *Daphnia magna*. **Biotemas**, v. 19, n. 3, p. 7-13, 2006.

DE SOUZA, L. C. **A Efetividade da Proteção das Águas Subterrâneas no Brasil**. 2010. Disponível em: <http://www.nima.pucrio.br/aprodab/artigos/a_efetividade_da_protecao_das_aguas_subterraneas_luciana_cordeiro.pdf>. Acesso em: 26.set.2016.

DELLAMATRICE, P. M. et al. Avaliação da qualidade da água do reservatório de abastecimento do Município de Fortaleza, CE, através de bioensaios de toxicidade aguda e crônica. **Biológico**, São Paulo, v.73, n.2, p.351-355, jul./dez., 2011.

EUA. Departamento de Saúde e Serviços Humanos dos Estados Unidos. Atualizado em 2015. Disponível em: <<https://www.fda.gov/Food/FoodScienceResearch/LaboratoryMethods/ucm109656.htm#tab1>>. Acesso em 10 set 2017.

Federação das Associações dos municípios do Rio Grande do Sul - FAMURS. Disponível em: <http://www.portalmunicipal.org.br/entidades/famurs/infra/mu_infra_esgotamento.asp?ildEnt=5523&ildMun=100143083>. Acesso em: 10 set. 2016.

FEITOSA, A. C. F.; MANOEL FILHO, J. **Hidrogeologia - conceitos e aplicações**. CPRM - Serviço Geológico do Brasil, Editora Gráfica LCR: Fortaleza, 1997. 389p.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE – FUNASA. **Impactos na saúde e no sistema único de saúde decorrentes de agravos relacionados a um saneamento ambiental inadequado**. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2010. 246 p.

_____. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAs**. Brasília: Fundação Nacional da Saúde, 2014. 112 p.

_____. **Manual prático de análise de água**. 4 ed. Brasília. Funasa, 2013. 150 p.

FUZINATTO, C. F. **Avaliação da qualidade da água de rios localizados na Ilha de Santa Catarina utilizando parâmetros toxicológicos e o índice de qualidade de água**. 2009, 243 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, SC, 2009. Disponível em: < <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/92241>>. Acesso em 29 set 2017.

GIAMPÁ, C. E. Q.; GONÇALES, V. G. Orientações para a Utilização de Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo. 2015. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents/9301/revista_aguas_subterraneas.pdf>. Acesso em 10 set. 2017.

HELLER, L.; DE PÁDUA, V. L. **Abastecimento de água para consumo humano**. 2ª ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010. 859 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=430485&search=rio-grande-do-sul|carlos-gomes>>. Acesso em: 05 set.2016.

KUHN, M. R.; ZART, N.; OLIVEIRA, E. Avaliação físico-química e microbiológica da qualidade das águas dos poços artesianos que abastecem o distrito de Boa Vista, no município de Triunfo–RS. **Revista Destaques Acadêmicos**, v. 7, n. 4, 2015.

KUMAR, S.; MURTHY, H. K.; BASHA, U. I. Removal of nitrate from the simulated groundwater using electrochemical method (aluminum electrodes), **World journal of pharmacy and pharmaceutical sciences**, Volume 5, n.2, p.1262-1274, 2016. Disponível em: <http://www.wjpps.com/wjpps_controller/contact>. Acesso em 01 out 2017.

MACHADO, J. L. F. Sistema Aquífero Guarani: novos dados sugerem nova dimensão de sua potencialidade. In: Zakrzewski, S. B. (Org.). Conservação e uso sustentável da água: múltiplos olhares. Erechim, RS: Edifapes, 2007. P. 87-96.

MACHADO, J. L. F; FREITAS, M. A. Projeto Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: **CPRM**, 2005.

MADALOZZO. **Estação Meteorológica Experimental** - Erechim RS, 2017.

MALUF, C. **Avaliação toxicológica da água do córrego da sub-bacia da UFSC utilizando *Daphnia Magna* como organismo-teste**. 2008. 61 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2008.

MARION, F. A.; CAPOANE, V.; DA SILVA, J. L. S. Avaliação da qualidade da água subterrânea em poço no campus da UFSM, Santa Maria-RS. **Ciência e Natura**, v. 29, n. 1, p. 97, 2007.

MATTHIENSEN, A. et al. Diagnóstico dos poços tubulares profundos e da qualidade das águas subterrâneas no município de concórdia (SC). **Águas Subterrâneas**, 2015.

NETO, F. O. L. et al. Avaliação da Qualidade da Água Subterrânea em Poços da Comunidade do Trairussu Inserida no Litoral Oriental do Ceará, Brasil. **Espaço Aberto**, v. 3, n. 1, p. 173-188, 2013.

NISHI, L. et al. Application of hybrid process of coagulation/flocculation and membrane filtration for the removal of protozoan parasites from water. **Procedia Engineering**, v. 42, p. 148-160, 2012.

OLIVEIRA, G. A. et al. Avaliação da qualidade da água subterrânea: estudo de caso de Vilhena – RO. **Águas Subterrâneas**, v 29(2), p.213-223, 2015.

PALMA, P.; LEDO, L.; ALVARENGA, P. Ecotoxicological endpoints, are they useful tools to support ecological status assessment in strongly modified water bodies? **Science of The Total Environment**, 541: 119-129.

PALUDO, D. **Qualidade da água nos poços artesanais do município de Santa Clara do Sul**. 2010, 75 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Bacharel em Química Industrial. Centro Universitário Univates, Lajeado, 2010.

PEREIRA J. L. **Variações populacionais de cladóceros sujeitos a diferentes condições de stress**. 2008, 152 p. Tese de Doutorado em Biologia. Universidade de Aveiro, Aveiro, 2008.

PESSOA, G. P.; NUNES, A. I. V. Remoção de nitrato por eletrocoagulação como alternativa ao tratamento de água de aquíferos subterrâneos contaminados. **Águas Subterrâneas**, 2008.

PMSB - Plano Municipal de Saneamento Básico. Prefeitura Municipal de Carlos Gomes – RS. 2013

PNUD. Relatório do Desenvolvimento Humano–2006. **Além da escassez: poder, pobreza e a crise mundial da água**, 2006.

REGINATO, P. A. R.; AHLERT, S.; SCHNEIDER, V. El. Caracterização hidroquímica do sistema aquífero Serra Geral na região nordeste do Rio Grande do Sul. **Águas Subterrâneas**, v. 27, n. 1, 2013.

RHEINHEIMER, D. S. et al. Qualidade de águas subterrâneas captadas em fontes em função da presença de proteção física e de sua posição na paisagem. **Engenharia Agrícola**, 2010.

RICHTER, C. A. **Água: métodos e tecnologia de tratamento**. Edgard Blucher, 2009.

ROCHA, M. L.C. et al. **Avaliação da capacidade de bioacumulação e da toxicidade do ácido abiético em microalgas (*Scenedesmus subspicatus*) e em microcrustáceos (*Daphnia magna*)**. 2015, 83 f. TCC (Graduação em Biologia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Biológicas. Florianópolis, 2015.

SCHEIBE, L. F.; HIRATA, R. C. A. O contexto tectônico dos sistemas aquíferos guarani e serra geral em Santa Catarina: uma revisão. **Águas Subterrâneas**, 2008.

SCOTT, G.; CRUNKILTON, R. L. Acute and chronic toxicity of nitrate to fathead minnows (*Pimephales promelas*), *Ceriodaphnia dubia*, and *Daphnia magna*. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 19, n. 12, p. 2918-2922, 2000.

SABESP. **Sólidos totais**. Norma Técnica Interna. NTS 013. 1999.

SOUZA, L. C. **Águas subterrâneas e a legislação brasileira**. Curitiba, Juruá: 2009.

SPIRO, T. G.; STIGLIANI, W. M. **Química ambiental**. São Paulo: Pearson Prentice-Hall, 2009.

STEVENS, D. et al. Análises físico-químicas em quatro poços tubulares no município de Arroio do Meio -RS. **Destaques Acadêmicos**, v. 7, n. 3, 2015.

TRATA BRASIL. 2013. Disponível em:
<<https://tratabr.wordpress.com/2016/04/06/dia-mundial-da-saude-saneamento-basico-para-promocao-a-saude/>>. Acesso em: 02 set. 2016.

TUCCI, C. E. M.; HESPANHOL, I.; NETTO, O. M. C. **Gestão da água no Brasil**. Brasília: UNESCO, 2001, 2003. 156p.

SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Editora UFMG, Belo Horizonte, 2005. 452p.

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. **Guidelines for drinking-water quality**. 4. ed. Geneva, 2011.

ZERWES, M. S. et al. Análise da qualidade água de poços artesianos do município Imigrante, Vale do Taquari/RS. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 37, n.4, p. 651-663, 2015.

ZOBY, J. L. G.; OLIVEIRA, F. R. **Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil**. Brasília: ANA, 2005.

