

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GEOLOGIA**

CRYSTHIAN ZORZO BERNARDI

**VARIAÇÃO DO NITRATO CONFORME PLUVIOSIDADE NAS ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS DE PORTO ALEGRE, RS**

PORTO ALEGRE

2017

Crysthian Zorzo Bernardi

**VARIAÇÃO DO NITRATO CONFORME PLUVIOSIDADE NAS ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS DE PORTO ALEGRE, RS**

Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, apresentado na forma de monografia, junto à disciplina Projeto Temático em Geologia III, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Pedro Viero

Porto Alegre

2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Rui Vicente Oppermann

Vice-Reitor: Jane Fraga Tutikian

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Diretor: André Sampaio Mexias

Vice-Diretor: Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Bernardi, Crysthian Zorzo

Varição do nitrato conforme pluviosidade nas águas subterrâneas de Porto Alegre, RS. / Crysthian Zorzo Bernardi. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2017. [54f.] il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia). - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2017.

Orientador(es): Antonio Pedro Viero

1. Nitrato. 2. Água subterrânea. 3. Porto Alegre. 4. Pluviosidade. I. Título.

CDU 5(81)

Catálogo na Publicação

Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS

Renata Cristina Grun

CRB 10/1113

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Campus do Vale Av. Bento Gonçalves, 9500 - Porto Alegre - RS - Brasil

CEP: 91501-970 / Caixa Postal: 15001.

Fone: +55 51 3308-6569

E-mail: bibgeo@ufrgs.br

Crysthian Zorzo Bernardi

VARIAÇÃO DO NITRATO CONFORME PLUVIOSIDADE NAS ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS DE PORTO ALEGRE, RS

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso “VARIAÇÃO DO NITRATO CONFORME PLUVIOSIDADE NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE PORTO ALEGRE, RS”, elaborado por “Crysthian Zorzo Bernardi”, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Ari Roisenberg

Prof. Marcos Imério Leão

Prof. Dr. Gustavo Athayde

Agradecimentos

Agradeço a todos que fizeram esse trabalho possível. A Deus, por me guiar em minhas escolhas, a minha família, pelo apoio e ensinamento, em especial a minha mãe, Marla e minha vó, Felicita, que sempre fizeram o possível para eu ter o melhor aprendizado.

Ao meu orientador, Antonio Pedro Viero, que sempre se demonstrou disposto a me explicar os conteúdos referentes a esse trabalho. Ao Dani, professor do IGEO, que também se mostrou muito solícito ao me atender e me instruir sobre assuntos relacionados ao Sistema de Informações Geográficas (SIG). A minha orientadora de bolsa no CECO, Carla Barros, que me cedeu um bom tempo no último mês antecedente à entrega do trabalho, para que eu pudesse fazer a monografia da melhor forma.

Agradeço também ao Jardim Botânico e a Casa de Eventos dos Capuchinhos que permitiram, com muita boa vontade, que eu realizasse as coletas de água subterrânea em seus poços.

À UFRGS, por me proporcionar um curso muito bem estruturado, com ótimos professores e do qual tenho a certeza de ter feito a escolha certa.

A todos, que de uma maneira geral sempre estiveram me apoiando, amigos e família, meu muito obrigado.

Resumo

O nitrato é um composto químico presente em solos e águas subterrâneas podendo ter origem natural ou antrópica. As fontes naturais são a precipitação pluviométrica, a decomposição da matéria orgânica e a dissolução de minerais nitrogenados, ao passo que, os fatores antrópicos que influenciam no aumento da concentração de nitrato são o uso de fertilizantes, a atividade industrial, as formas de saneamento *in situ* e a deficiência no sistema de esgoto urbano. A concentração limite de nitrato dissolvido em água para que ela seja considerada potável é de 44,3 mg/L. O município de Porto Alegre (RS), localizado na porção nordeste do Escudo Sul-Riograndense, apresenta o constituinte em suas águas subterrâneas, as quais estão armazenadas em dois tipos de aquíferos: um de natureza fissural, composto de rochas granito-gnáissicas, e outro de natureza granular, formado por depósitos argilo-arenosos e arenosos. Os riscos apresentados à saúde através da ingestão de água contaminada por nitrato são a metahemoglobinemia em recém-nascidos e alguns tipos de cânceres. Por meio de dois poços tubulares profundos locados no aquífero fraturado de Porto Alegre, o estudo analisou semanalmente a interferência da pluviosidade nas concentrações de nitrato em água subterrânea nesses locais. Os resultados mostraram que em períodos considerados secos, por apresentarem precipitação pluviométrica desprezível, as concentrações de nitrato diminuíram e que, após regimes chuvosos, os teores se mostraram elevados. Fato que colabora para a interpretação de que o composto, nesse caso, concentra-se superficialmente sendo lixiviado para o aquífero em grandes regimes pluviométricos. Todas as amostras analisadas demonstraram estar dentro dos padrões de potabilidade segundo a Portaria nº 2.914/11.

Palavras-chave: Nitrato. Água subterrânea. Porto Alegre. Pluviosidade.

Abstract

Nitrate is a chemical compound presente in soils and groundwater that may have a natural or anthropogenic origin. Natural sources are pluviometric precipitation, organic matter decomposition and the dissolution of nitrogenous minerals, while the anthropic factors that influence the increase of nitrate concentration are the use of fertilizers, industrial activity, the forms of *in situ* sanitation and the deficiency in the urban sewage system. The nitrate limit concentration dissolved in water for drinking to be 44.3 mg/L. The municipality of Porto Alegre (RS), located in the northeast portion of the Escudo Sul-Riograndense, presents the constituent in its groundwater, which are stored in two types of aquifers: one of a fissural nature, composed of granito-gneiss rocks, and another of granular nature, formed by clay-sandy and sandy deposits. The health risks posed by ingestion of nitrate-contaminated water are methemoglobinemia in newborns and some types of cancers. By means of two deep tubular wells located in the fractured aquifer of Porto Alegre, the study weekly analyzed rainfall interference at groundwater nitrate concentrations at these locals. The results showed that in periods considered dry, for presenting negligible rainfall, the nitrate concentrations decreased and, after rainy regimes, the levels were high. This fact contributes to the interpretation that the compound, in this case, concentrates superficially being leached to the aquifer in large rainfall regimes. All the analyzed samples showed to be within the potability standards according to the Ordinance nº 2.914/11.

Keywords: Nitrate. Groundwater. Porto Alegre. Rainfall.

Sumário

1 INTRODUÇÃO	8
1.1 Objetivos	9
2 LOCALIZAÇÃO E CONTEXTO GEOLÓGICO	10
2.1 Área de estudo	10
2.2 Geologia da Área	10
2.2.1 Embasamento Cristalino	12
2.2.1.1 Gnaisses Porto Alegre	13
2.2.1.2 Granito Viamão	13
2.2.1.3 Granito Independência.....	14
2.2.1.4 Granito Canta Galo.....	14
2.2.1.5 Granito Ponta Grossa	14
2.2.1.6 Granito Santana	14
2.2.1.7 Diques Ácidos e Básicos	15
2.2.2 Cobertura Sedimentar.....	15
2.3 Características Hidrogeológicas	16
2.3.1 Sistema Aquífero Fraturado Pré-Cambriano (SAFPC)	16
2.3.2 Sistema Aquífero Poroso Cenozóico (SAPC).....	18
3 NITRATO NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.....	19
3.1 Ciclo do Nitrogênio.....	19
3.2 Nitrato	20
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA NA ÁREA DE ESTUDO	22
5 METODOLOGIA DO TRABALHO	26
5.1 Revisão Bibliográfica	26
5.2 Selecionamento dos poços a serem amostrados.....	26
5.3 Coleta de amostras.....	27
5.4 Técnicas Analíticas Aplicadas	29
5.5 Geologia Estrutural – Lineamentos.....	29
6 RESULTADOS OBTIDOS	31
6.1 Análise Estrutural	31
6.1.1 Modelo Digital de Terreno (MDT)	31
6.1.2 Estruturas lineares em escala 1:100.000	35
6.1.3 Estruturas Lineares em escala 1:40.000.....	37
6.2 Precipitação Pluviométrica no Período de Coletas	40
6.3 Resultados Analíticos nos Dois Poços	41
6.3.1 Nitrogênio Amoniacal.....	41
6.3.2 Nitrato	42

6.3.3 Potabilidade da água.....	45
7 CONCLUSÕES.....	46
8 REFERÊNCIAS.....	48

1 INTRODUÇÃO

A água subterrânea, integrante do ciclo hidrológico, é considerada de extrema importância para a humanidade destacando-se por seu suprimento hídrico nos setores doméstico, agrícola e industrial a depender da sua classificação com base na norma 396/2008 do CONAMA. Sua demanda vem aumentando por tornar-se alternativa em áreas com recursos hídricos superficiais escassos, podendo também, representar economia e qualidade. De toda água presente na Terra, 97,5% é constituída pelos oceanos, mares, lagos e aquíferos de água salgada, os 2,5% restantes são águas doces, das quais 68,7% encontram-se em glaciares, tornando-se de difícil acesso, 30,1% correspondem as águas subterrâneas e 1,2% as águas superficiais e atmosférica (SHIKLOMANOV, 1993). Dados que contribuem para a relevância com que devem ser tratados os recursos hídricos. Em relação aos aquíferos, os dois maiores problemas que afetam a integridade e qualidade do mesmo, são as extrações intensivas dos corpos de água e a contaminação. Dessa forma, as informações analíticas são indispensáveis quando se busca uma melhor gestão das águas subterrâneas e a importância do monitoramento qualiquantitativo se justifica diante da dinâmica do aquífero através das variações sazonais e efeitos antrópicos.

Porto Alegre tem suas águas subterrâneas armazenadas em dois tipos de aquíferos. Um com litologia granítico-gnáissica, denominado Sistema Aquífero Fraturado Pré-Cambriano, possui águas classificadas como bicarbonatadas cálcico-sódicas a sódicas e cloretada-bicarbonatada-cálcico-sódicas. O outro, Sistema Aquífero Poroso Cenozóico, é constituído por depósitos argilo-arenosos e arenosos apresentando composições cloretadas sódicas e cloretadas cálcico-sódicas, com maior conteúdo de sólidos totais dissolvidos segundo Roisenberg (2001). Também são registradas altas concentrações de nitrato (NO_3^-) em Porto Alegre em 25% das amostras analisadas, retiradas de poços tubulares cadastrados segundo o Sistema de Cadastro dos Poços Tubulares do Município de Porto Alegre (1997), estando portanto, relacionadas as más condições higiênico-sanitárias e/ou fugas de redes de esgoto. Um dos grandes problemas causados pelo mau gerenciamento e acompanhamento dos sistemas de esgoto é a elevação do íon no solo e em água subterrânea podendo apresentar riscos à saúde humana.

As técnicas de remediações em caso de contaminação da água por NO_3^- no próprio aquífero ainda se encontram em fase de estudos, enquanto as demais demonstram-se complexas e dispendiosas.

A hipótese levantada pelo trabalho é de que a pluviosidade influencie na concentração do nitrato nas águas subterrâneas elevando ou diminuindo os teores.

1.1 Objetivos

O trabalho tem como propósito um estudo de monitoramento qualiquantitativo envolvendo o composto nitrato, relacionando a precipitação pluviométrica com a sua concentração em dois poços locados no aquífero fraturado de Porto Alegre através de coletas de amostras de água subterrânea semanais, bem como avaliará as condições de potabilidade da água.

2 LOCALIZAÇÃO E CONTEXTO GEOLÓGICO

2.1 Área de estudo

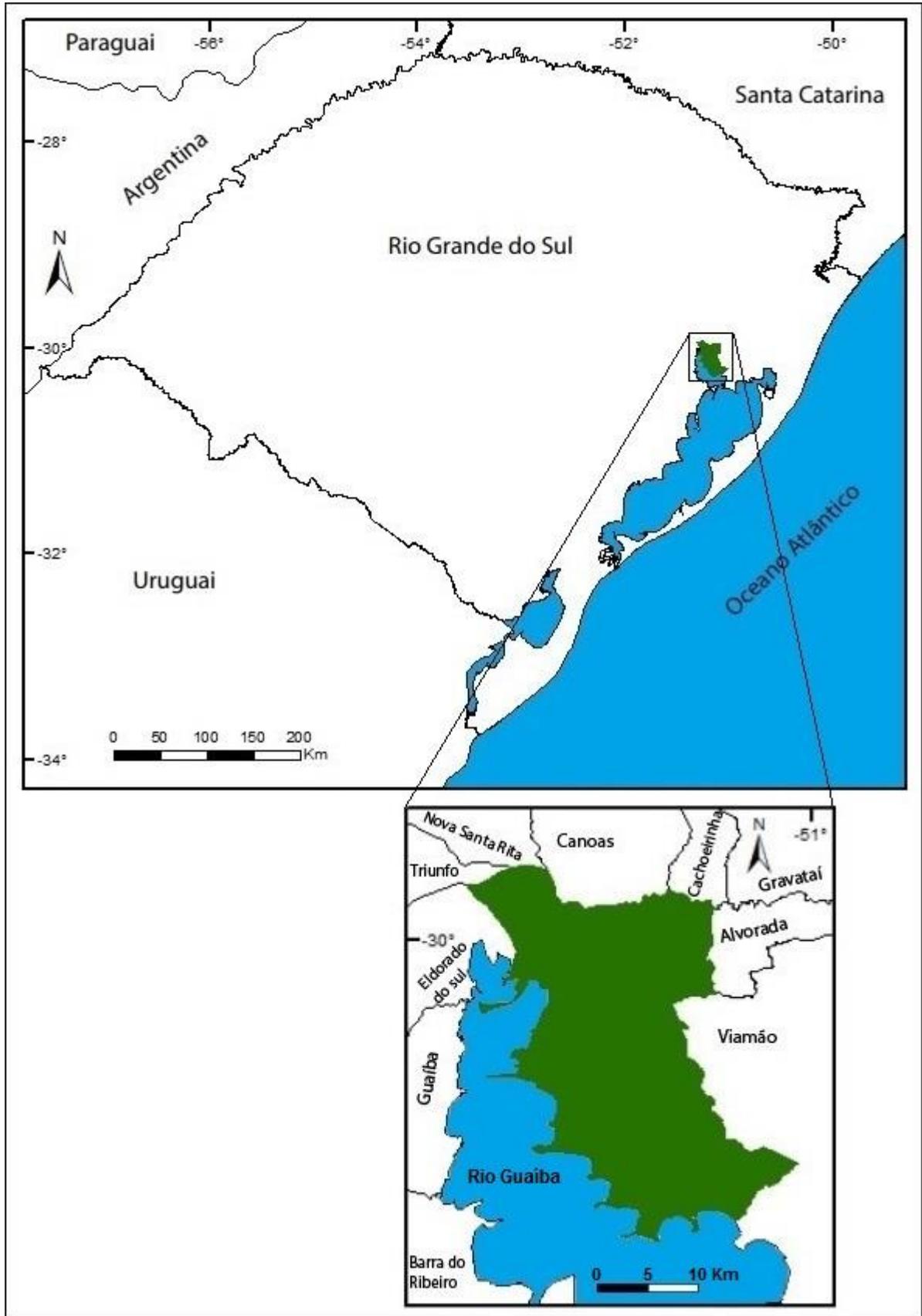
O presente estudo foi realizado na capital do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (Fig. 1), situada entre os limites dos paralelos $29^{\circ}57'14''\text{S}$ e $30^{\circ}16'05''\text{S}$ e dos meridianos $51^{\circ}01'08''\text{W}$ e $51^{\circ}16'00''\text{W}$. A cidade possui uma área de $496,682\text{ km}^2$ (IBGE, 2016), faz divisa a norte, com os municípios de Triunfo, Nova Santa Rita, Canoas e Cachoeirinha, a leste, com Alvorada e Viamão, e a oeste com Eldorado do Sul, onde também é banhada pelo Rio Guaíba. As rodovias federais de acesso a Porto Alegre são a BR-116 e a BR-290 (Freeway).

2.2 Geologia da Área

O contexto geológico no qual Porto Alegre está assentada (Fig. 2) é dividido em dois domínios distintos baseados na gênese de formação e idades diferentes das rochas.

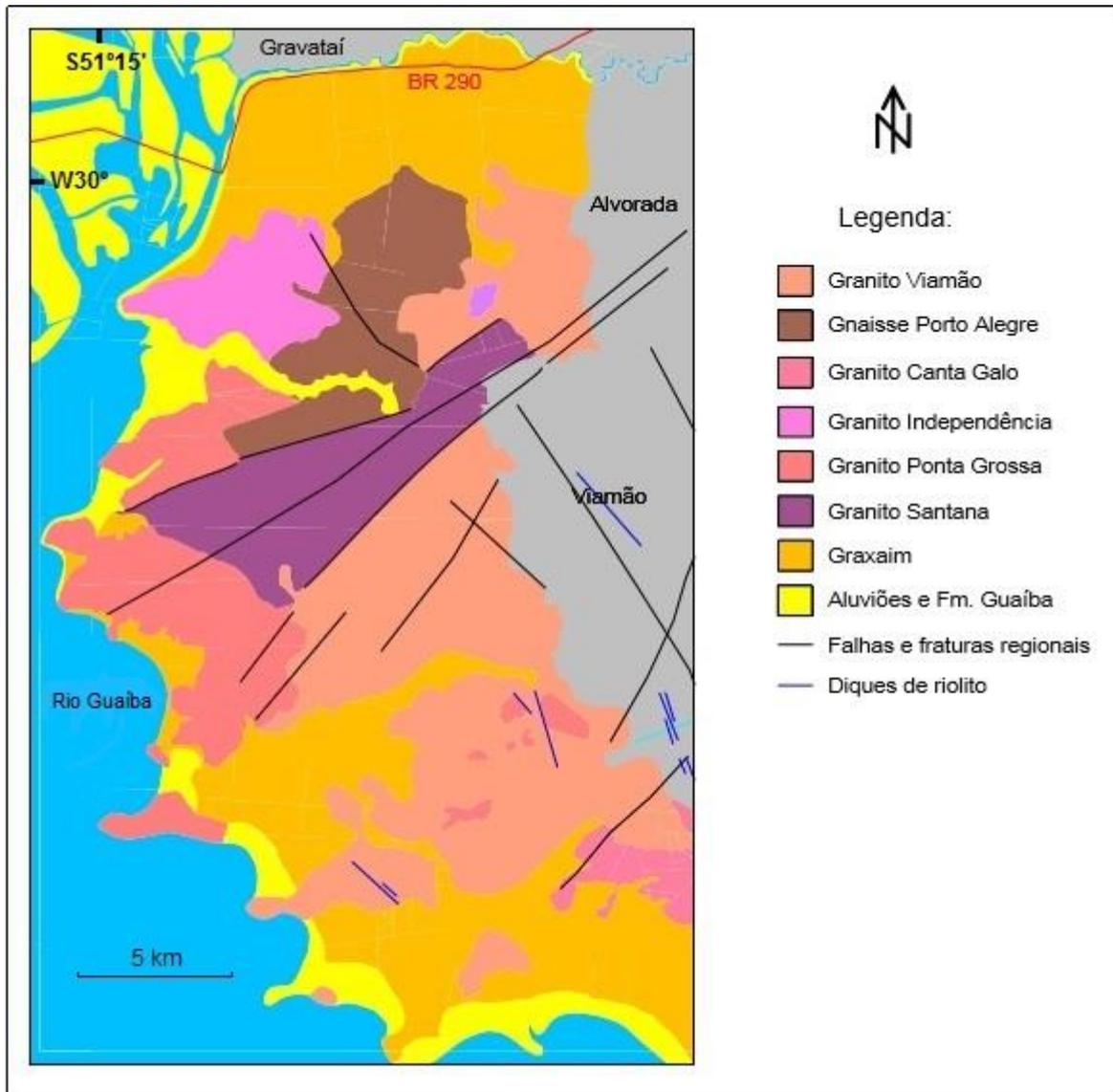
Um refere-se ao embasamento cristalino, o qual apresenta rochas granítico-gnáissicas de idades pré-cambrianas, intrudidas posteriormente por dique ácidos e básicos. O outro, é constituído por depósitos sedimentares terciários e quaternários. As rochas do primeiro, fazem parte do Escudo Sul-Riograndense, mais especificadamente em seu extremo norte, no Batólito Pelotas, um complexo plutônico multi-intrusivo e polifásico relacionado ao orógeno Cinturão Dom Feliciano formado durante o Ciclo Brasileiro. As rochas do segundo estão relacionadas a processos glacio-eustáticos do Quaternário que originaram transgressões e regressões marinhas, com depósitos de leques aluviais, lagunares, flúvio-lacustres, aluvionares atuais e barreiras marinhas.

Figura 1 – Localização de Porto Alegre, destacada em verde.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 2 – Geologia de Porto Alegre.



Fonte: Modificado de Roisenberg (2001).

2.2.1 Embasamento Cristalino

O embasamento cristalino do município de Porto Alegre é dividido em seis unidades litoestratigráficas denominadas Gnaisses Porto Alegre (PHILIPP, 1998), Granito Viamão (PHILIPP et al., 1998), Granito Independência, Granito Canta Galo, Granito Ponta Grossa e Granito Santana (SCHNEIDER et al., 1974; PHILIPP et al. 1994, 1995, 1998). Ocorrem intrusões de diques, predominantemente riolíticos e, em menor número, dacíticos e diabásicos, em algumas dessas litologias.

2.2.1.1 Gnaisses Porto Alegre

Os Gnaisses Porto Alegre são as rochas mais antigas do embasamento com idades entre 600 a 650 Ma. São interpretados como gnaisses granodioríticos a monzograníticos e escassos gnaisses dioríticos. Apresentam cor cinza escura a preta com bandamentos milimétricos alternados de minerais félsicos e máficos. Os níveis félsicos são constituídos de quartzo e feldspato demonstrando textura granoblástica interlobada inequigranular exibindo regularmente dobras isoclinais intrafoliais. Os níveis máficos, são ricos em biotita com textura lépido-granoblástica e pequenas proporções de anfibólio. Os minerais acessórios são zircão, apatita, titanita, alanita e opacos. As feições texturais e estruturais indicam Fácies Anfibolito Superior. Em seu interior ocorrem corpos tabulares intrusivos relacionados aos granitos Independência e Santana e a diques riolíticos e dacíticos (PHILIPP, 1998; PHILIPP; CAMPOS, 2004).

Ocorrem, predominantemente, nos bairros Chácara das Pedras e Lomba do Sabão, estando bastante encobertos pela urbanização, porém ainda sendo observados na Avenida Protásio Alves e em praças dos bairros Chácara das Pedras, Bom Jesus e Três Figueiras (Roisenberg, 2001).

2.2.1.2 Granito Viamão

Possui coloração cinza, composição monzogranítica e textura porfirítica. Ocorrem megacristais tabulares, de 1 a 5 cm, de feldspato potássico frequentemente orientados, inclusos em uma matriz grossa inequigranular contendo quartzo, plagioclásio, biotita e anfibólios. Seus minerais acessórios são zircão, esfero, apatita e opacos. Apresenta foliação tectônica, concordante a nordeste com as estruturas primárias, em que há formação e recristalização de quartzo e K-feldspato, alteração de biotita e plagioclásio para epidoto, cloritização de biotita e sericitização do plagioclásio e K-feldspato. Ocorrem, também, enclaves máficos de textura fina, arredondados, e as vezes estirados devido ao fluxo magmático em decorrência da mistura heterogênea dos magmas (PHILIPP et al., 1998).

2.2.1.3 Granito Independência

Apresenta cores esbranquiçadas, composição monzogranítica e textura equigranular média a grossa. Contém quartzo, K-feldspato (ortoclásio e microclínio), plagioclásio e biotita como minerais principais além de zircão, apatita, esfeno e alanita como minerais acessórios. Possui xenólitos angulosos centimétricos a métricos dos Gnaisses Porto Alegre. Mostra-se maciço, contudo em contato com os Gnaisses Porto Alegre adquire foliação milonítica. Diques ácidos e básicos aparecem preenchendo fraturas Santana (SCHNEIDER et al., 1974; PHILIPP et al. 1994, 1995, 1998).

2.2.1.4 Granito Canta Galo

Exibe cor rosada, possuindo textura equigranular grossa com cristais de tamanho entre 8 a 10 milímetros e textura porfirítica com fenocristais de microclínios da ordem de 1,5 a 2,0 centímetros. Apresenta composição sienogranítica, sendo predominantemente maciço e demonstrando em algumas áreas foliação de fluxo magmático determinada pela orientação de cristais tabulares de quartzo, biotita e microclínio Santana (SCHNEIDER et al., 1974; PHILIPP et al. 1994, 1995, 1998).

2.2.1.5 Granito Ponta Grossa

Ocorre como *stocks*, possui cores rosadas, textura equigranular-hipidiomórfica média a grossa, estrutura maciça e composição sienogranítica. A composição mineralógica é constituída por microclínio pertitizado, quartzo e poucos grãos de plagioclásio e biotita que apresenta cloritização. Os quartzos e feldspatos podem aparecer cataclasados. Os acessórios são zircão, titanita, magnetita, apatita, alanita e escassa fluorita Santana (SCHNEIDER et al., 1974; PHILIPP et al. 1994, 1995, 1998).

2.2.1.6 Granito Santana

Constitui um corpo alongado na direção NE-SW sendo a unidade mais jovem do embasamento. Ocorre intrudindo os Gnaisses Porto Alegre e o Granito Viamão, limitado por zonas de cisalhamento dúcteis com direção N50°E. De composição

sienogranítica, apresenta como minerais essenciais, microclínio pertitzado, quartzo, plagioclásio e moscovita, enquanto os acessórios são compostos por biotita, zircão, magnetita, titanita, apatita e fluorita. A fluorita pode ter sua formação relacionada com a fase residual magmática, de maneira intergranular, ou em veios hidrotermais de espessura milimétrica a centimétrica Santana. Apresenta textura equigranular grossa gradando para milonítica em zonas de deformação intensa com recristalização de microclínio e quartzo para cristais menores. Com frequência mostra orientação magmática dos cristais de K-feldspato, biotita e quartzo alongado (SCHNEIDER et al., 1974; PHILIPP et al. 1994, 1995, 1998).

2.2.1.7 Diques Ácidos e Básicos

Diques ácidos com composições riolíticas a dacíticas e diques básicos de diabásio com idades entre 500 e 550 Ma, aparecem intrudindo fraturas nas direções N20°-40°W e N30°-50°E (Roisenberg, 2001).

Ocorrem também diques de diabásios relativos ao vulcanismo da Bacia do Paraná, com direções principais N30°-50°E intrudindo preferencialmente o Granito Viamão. Possuem cor cinza escuro a preta e textura afanítica (Roisenberg, 2001).

2.2.2 Cobertura Sedimentar

Os depósitos sedimentares de idade cenozoica correspondem a Formação Graxaim (DELANEY, 1962; JOST, 1971; AYALA, 1980) e a Formação Guaíba (SCHNEIDER et al., 1974), estando localizadas em maior quantidade no norte e sul de Porto Alegre, ocorrendo também na margem oeste fazendo contato com o Rio Guaíba.

A Formação Graxaim é interpretada como leques aluviais contendo sedimentos derivados do Escudo Sul-Riograndense, sendo dividida por Jost, em duas fácies: uma areno-pelítica e outra conglomerática. Posteriormente as duas fácies foram melhor descritas por Ayala.

A fácies areno-pelítica é composta por três litotipos: arenitos mal selecionados apresentando quartzo, feldspato e sedimentos finos (silte e argila); arenitos bem selecionados de quartzo e feldspato, escassos em silte e argila, de granulometria fina, média ou grossa e; argilito arenoso com presença de manchas ferruginosas ocorrendo

em camadas espessas ou em estratos menores entre as outras litologias (AYALA, 1980).

A facies conglomerática possui conglomerados de geometria lenticular, com grânulos e seixos de quartzo leitoso e matriz arenosa com escassos silte e argila. Nas laterais podem ocorrer gradação para arenitos de granulometria grossa a muito grossa de matriz síltico-argilosa. Ocorrem também, paraconglomerados de matriz areno-síltica (AYALA, 1980).

A Formação Guaíba ocorre sobreposta a Formação Graxaim. É composta por duas fácies principais. Uma conglomerática, derivada de sedimentos aluvionares, e outra arenosa, de grãos finos bem selecionados, relacionada a rápidas ingressões marinhas (SCHNEIDER et al., 1974).

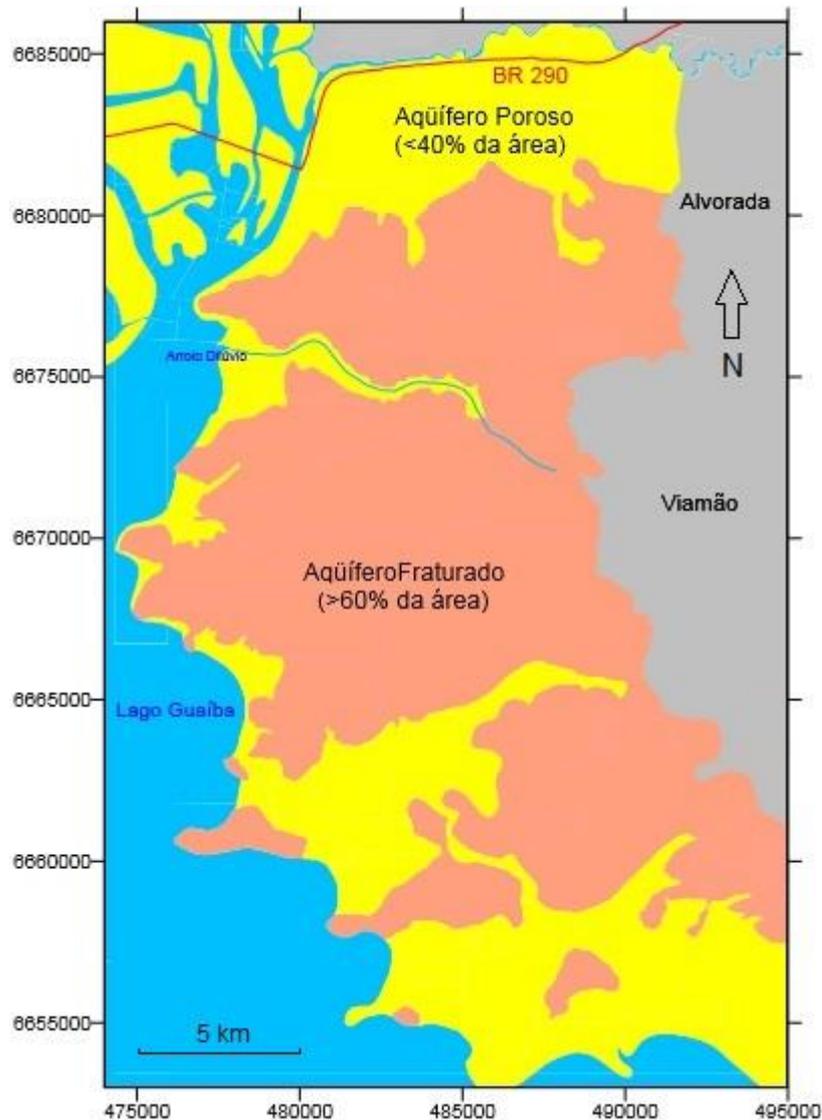
2.3 Características Hidrogeológicas

Porto Alegre apresenta dois tipos de aquíferos (Fig. 3) derivados a partir dos dois domínios geológicos existentes na região, resultando em um modelo de aquífero fraturado vinculado ao embasamento e a um modelo de um aquífero poroso relacionado a cobertura sedimentar.

2.3.1 Sistema Aquífero Fraturado Pré-Cambriano (SAFPC)

O SAFPC apresenta grande variabilidade hidrodinâmica e hidrogeoquímica. As rochas desse reservatório, por serem cristalinas e recortadas por fraturas de diferentes direções apresentam, por consequência, distinta permeabilidade. Suas águas são definidas como bicarbonatadas cálcico-sódicas a sódicas e cloretada-bicarbonatada-cálcico-sódicas contendo um total de sólidos dissolvidos de 200 mg/L. A heterogeneidade composicional não está relacionada a cada unidade granítica-gnaíssica distinta devendo, portanto, ter contribuição significativa as fases minerais mais solúveis presentes em fraturas e falhas, como principalmente os carbonatos e a fluorita. Outra modificação importante na química das águas desse aquífero acontece devido a interação com as águas do aquífero poroso.

Figura 3 – Distribuição dos aquíferos em Porto Alegre.



Fonte: Modificado de Roisenberg (2001).

Esse sistema aquífero, também pode ser coberto por camadas espessas de alteração intempélica e depósitos de leques aluviais imprimindo uma menor perda de captação de água, seja por escoamento ou evaporação.

O nível estático dos poços tubulares profundos presentes nesse Sistema varia de 0 a 28 metros, apresentando média de 6 metros, enquanto o nível dinâmico demonstrou extremos de 14 a 150 metros e média de 48 metros. As vazões possuem valores entre 0,1 e 25,5 m³/h com média de 2,2 m³/h (FREITAS; LISBOA, 1996).

2.3.2 Sistema Aquífero Poroso Cenozóico (SAPC)

O SAPC é formado por depósitos de leques aluviais, flúvio-lacustres, lagunares e aluvionares atuais. Os reservatórios são livres ou semiconfinados podendo atingir mais de 40 metros de espessura. As águas percolantes nesse Sistema Aquífero são classificadas como cloretadas sódicas e cloretadas cálcico-sódicas, demonstrando 2.980 mg/L de sólido totais.

Os poços perfurados em depósitos de leques aluviais registraram vazões médias da ordem de 5 m³/h. O nível estático demonstrou variação entre 0,8 e 6,3 metros, com média de 4,9 metros, ao passo que o nível dinâmico apresentou valores entre 7,4 e 19,8 metros e média de 12,4 metros (ROISENBERG, 2001).

Nos depósitos lagunares e flúvio-lacustres, a maioria dos poços indicou concentrações de ferro e manganês superiores a 0,3 mg/L. A vazão média dos poços foi de 3 m³/h, com valores mínimo e máximo de 1 m³/h e 30 m³/h. O nível estático apresentou média de 1,5 metros e o dinâmico menos de 10 metros (CPRM apud ROISENBERG, 2001).

3 NITRATO NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

3.1 Ciclo do Nitrogênio

O Nitrogênio (N_2) em condições ambientes é um gás, estando presente na atmosfera terrestre em proporções em torno de 79%. Seu ciclo (Fig. 4) tem início através de um processo denominado “fixação do nitrogênio” realizado por meio de radiação ou biofixação, sendo a última mais relevante em termos quantitativos.

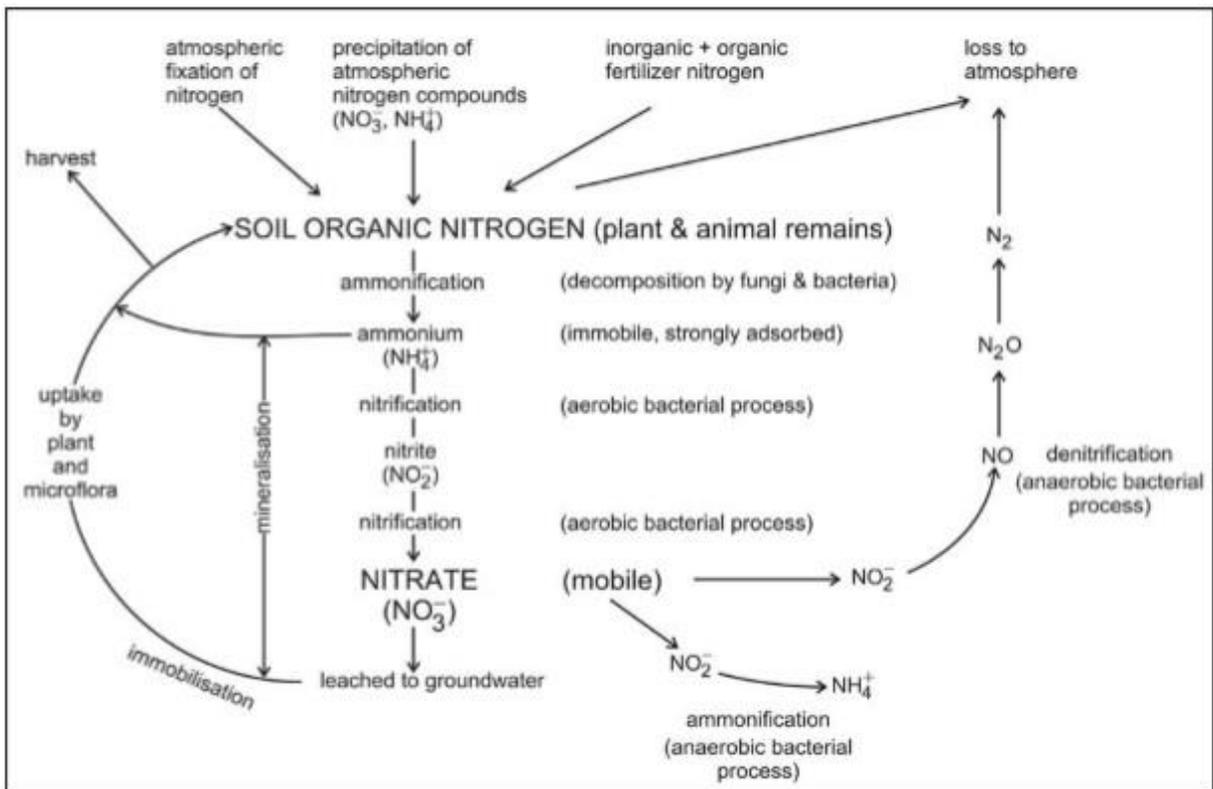
Na radiação, as moléculas de N_2 são partidas através radiação ultravioleta e descargas elétricas onde, posteriormente, os átomos livres se ligam com o oxigênio formando compostos oxidados.

A biofixação é a transformação de N_2 em gás amônia (NH_3) e sais de amônio (NH_4^+), através de bactérias e cianobactérias presentes no solo e raízes de plantas. Os organismos, quando associados as raízes dos vegetais, atuam no aproveitamento dos compostos pela planta, que irá sintetizar aminoácidos e nucleotídeos. Quando livres no solo, o NH_3 e o NH_4^+ produzidos, poderão ser oxidados a nitrito (NO_2^-) e, posteriormente, nitrato (LOPES, 2003).

O nitrogênio contido nas plantas pode ser repassado aos animais por meio da alimentação, retornando ao solo através da ureia, excreção e por decomposição dos organismos após a morte.

Bactérias desnitrificantes existentes no solo, atuam transformando a amônia em N_2 devolvendo o nitrogênio a atmosfera.

Figura 4 – Ciclo do Nitrogênio.



Fonte: Hiscock, Lloyd, Lerner (1991) apud Tredoux, Engelbrecht, Israel (2009).

3.2 Nitrato

O nitrato, de maneira natural, ocorre em pequenas concentrações no solo e na água. É altamente solúvel e móvel possibilitando a contaminação de extensas áreas. A Portaria nº 2.914, do Ministério da Saúde (2011) estabelece que em concentrações acima de 44,3 mg/L a água deixa de ser potável por apresentar risco à saúde humana. Recém-nascidos têm a possibilidade de adquirirem metahemoglobinemia, que se desenvolve quando o nitrato é convertido para nitrito durante a digestão, podendo se dar na saliva ou no trato gastrointestinal (AWWA, 1990; MATO, 1996 apud ALMEIDA; BRILHANTE; FREITAS, 2001), posteriormente, ocorre reação com a hemoglobina transformando-a em metahemoglobina, que é sua forma oxidada, fazendo com que não ocorra mais transporte de oxigênio e, por consequência, falta do mesmo no organismo. Crianças mais velhas e adultos tem maior resistência a essa enfermidade pelo fato de seus organismos realizarem mais facilmente a redução da metahemoglobina de volta para hemoglobina (KINDLEIN, 2010). Também há chance de se contrair câncer no estômago caso o nitrito reaja com as amins secundárias ou

terciárias e amidas presente nos alimentos, originando nitrosaminas, nocivas aos seres humanos (BIGUELINI; GUMY, 2012). Nas mulheres, o câncer de mama também tem sua probabilidade aumentada em decorrência do excesso de nitrato no organismo (BAIRD; CANN, 2001 apud SILVA; BROTTTO, 2014).

Entre as ocorrências naturais que auxiliam no aumento do NO_3^- no solo e em água subterrânea, podemos citar a precipitação atmosférica, a dissolução de minerais nitrogenados como a nitratina (NaNO_3) e o nitro (salitre – KNO_3) e a oxidação da matéria orgânica. Já os sistemas antrópicos principais que contribuem para a elevação do contaminante são a utilização de fertilizantes agrícolas, o manejo do solo para plantação, a atividade industrial, os sistemas de saneamento *in situ*, tanto por tanques sépticos como por fossas rudimentares e a precariedade dos sistemas de esgoto urbano.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA NA ÁREA DE ESTUDO

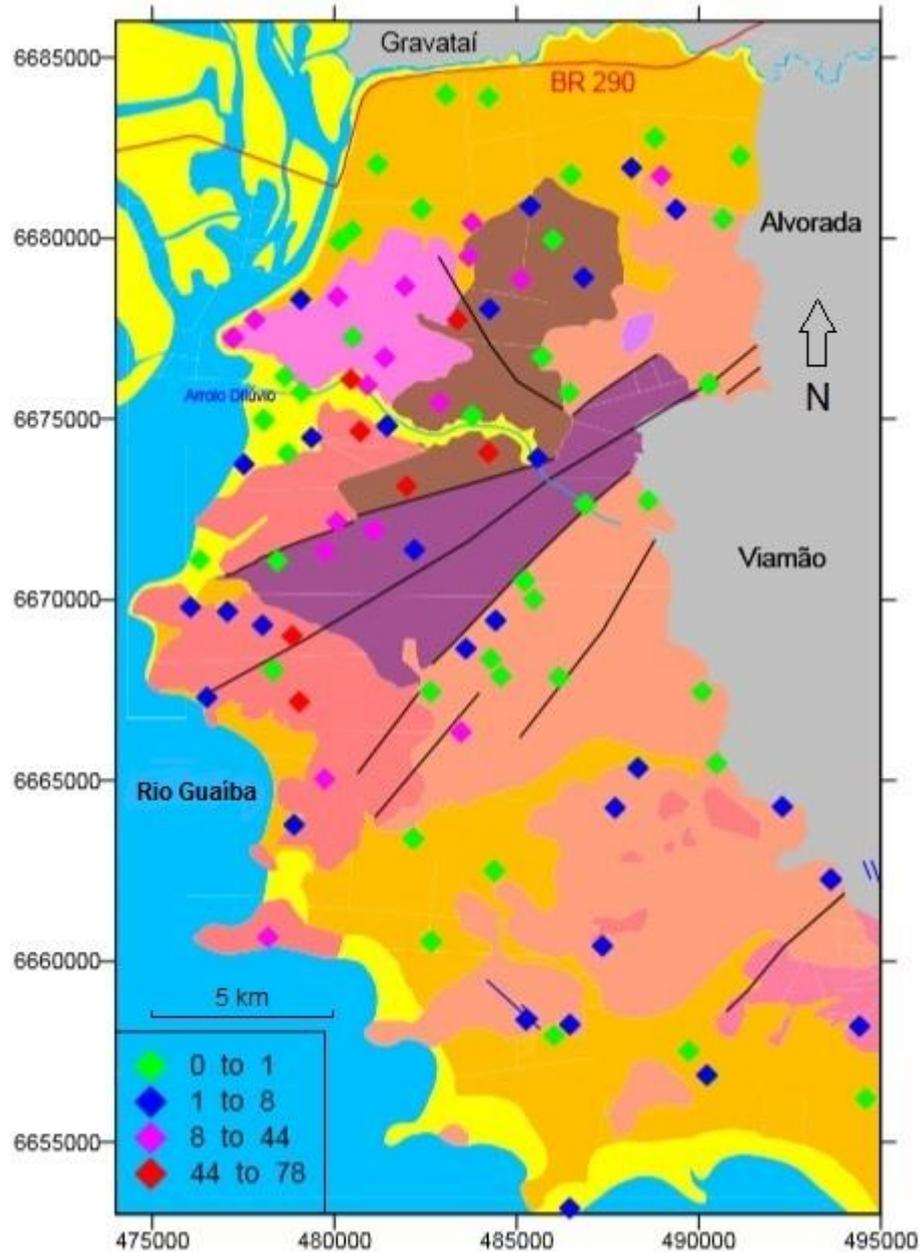
Em 2001, Roisenberg caracterizou geoquimicamente as águas dos dois tipos de aquíferos localizados em Porto Alegre, determinando suas propriedades físico químicas e composições. Foram analisados diversos parâmetros através de 90 poços tubulares espalhados pela cidade, dentre eles o nitrato (Fig. 5), que demonstrou em 50% das amostras, até 1 mg/L de concentração, em 25% entre 1 mg/L e 8,5 mg/L e, nos 25% restantes, entre 8,5 mg/L e 77 mg/L, sendo este último grupo interpretado como recebendo interferência antrópica, enquanto os dois primeiros derivados da pluviosidade e decomposição da matéria orgânica, respectivamente.

Em relação a potabilidade, sete poços ou 6% do total apresentaram água imprópria para consumo, com concentrações superiores a 44,3 mg/L.

Para analisar a existência de variação temporal na composição química das águas subterrâneas, Roisenberg escolheu 30 poços dos 90 totais nos quais foram realizadas duas amostragens em épocas do ano com estações climáticas diferentes. Quanto ao nitrato, a maioria dos poços não apresentou modificação significativa, porém ocorreram casos extremos, como a diminuição de 39,6 mg/L para 1,09 mg/L e, o aumento, de 0,92 mg/L para 45,07 mg/L em relação a estação mais chuvosa (inverno) para a menos chuvosa (verão). Os resultados foram vistos como flutuações locais no nível freático, acarretando entrada de águas contaminadas em níveis rasos dos poços por consequência de defeitos construtivos.

O trabalho também mencionou que o nitrato presente nas águas subterrâneas estava relacionado a fatores externos aos aquíferos, visto que a geologia da região não apresenta minerais nitrogenados sendo, portanto, as fontes naturais a precipitação atmosférica e a dissolução de matéria orgânica, ao passo que as fontes antrópicas são condizentes as más condições higiênico-sanitárias e a precariedade no sistema de esgoto urbano.

Figura 5 – Teores de nitrato (mg/L) nas águas subterrâneas em diferentes pontos nos dois tipos de aquíferos de Porto Alegre.



Fonte: Modificado de Roisenberg (2001).

Ramage, em 2005, realizou a caracterização geoquímica das águas armazenadas no Sistema Aquífero Poroso Cenozoico relatando, em relação aos parâmetros físico-químicos, como ocorrem, seus teores, suas distribuições espaciais e qual a influência dos depósitos sedimentares no conteúdo iônico da água armazenada no aquífero poroso. Os dados de NO_3 foram secundários, retirados da tese de Roisenberg.

Em 2007, Cardoso analisou em específico o nitrato nas águas pertencentes aos dois tipos de aquíferos localizados em Porto Alegre. Foram reunidos dados secundários de Roisenberg (2001) e outros pertencentes ao Departamento Municipal de Água e Esgoto (DMAE), com a intenção de obter a melhor atualização possível para um mapeamento da distribuição do íon no município. Na época, o DMAE era responsável pela organização das informações referentes aos poços de Porto Alegre, como: identificação do poço, perfil geológico, dados construtivos, profundidade, dados hidrológicos de vazão, nível estático e nível dinâmico. Atualmente, a empresa responsável por essas informações é a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) através do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS). Para o presente estudo, a base de dados do sistema foi consultada, porém para o município de Porto Alegre, esse cadastro encontra-se muito desatualizado e incompleto em relação as análises químicas de nitrato nos poços cadastrados. Cardoso também realizou coletas periódicas para a avaliação de nitrato e analisou outras efetuadas por Viero (meio eletrônico)¹. As amostragens feitas por Cardoso ocorreram em um poço localizado no aquífero poroso (PDU-15), totalizando 12 coletas, sendo seis ao longo de um dia (Tabela 1) e as seis restantes em intervalo semanal (Tabela 2). As amostras de Viero, foram coletadas em um poço perfurado no aquífero fraturado (PDU-58), totalizando 33 amostras, com 10 sendo feitas ao longo de um dia (Tabela 1) e as outras 23 em intervalos diários (Tabela 2). Cardoso não chegou a fazer interpretações em relação a concentração e o clima.

Tabela 1 – Variação nas concentrações de nitrato em dois poços de Porto Alegre ao longo de um dia.

<i>Coletas no intervalo de um dia</i>					
<i>Poço</i>	<i>Data</i>	<i>Nitrato (mg/L)</i>	<i>Poço</i>	<i>Data</i>	<i>Nitrato (mg/L)</i>
PDU-15	3/7/2007	37	PDU-58	4/11/2004	59,8
	3/7/2007	39,3		4/11/2004	61,2
	3/7/2007	31,4		4/11/2004	59,8
	3/7/2007	33,4		4/11/2004	62,6
	3/7/2007	35,9		4/11/2004	63,8
	3/7/2007	37		4/11/2004	61,1
				4/11/2004	56
				4/11/2004	66,3
				4/11/2004	63,1
				4/11/2004	64,7

Fonte: Cardoso (2007).

¹ Dados passados por Viero, A. P. através de pen drive visto que o trabalho não chegou a ser publicado e Cardoso (2007) não o referencia.

Tabela 2 – Variação nas concentrações de nitrato em dois poços de Porto Alegre com intervalo semanal no PDU-15 e diário no PDU-58.

<i>Coletas com intervalo semanal/diário</i>					
<i>Poço</i>	<i>Data</i>	<i>Nitrato (mg/L)</i>	<i>Poço</i>	<i>Data</i>	<i>Nitrato (mg/L)</i>
PDU-15	22/5/2007	32,9	PDU-58	10/10/2000	51,0
	29/5/2007	33,6		11/10/2000	50,3
	5/6/2007	36,2		12/10/2000	48,5
	12/6/2007	34,6		13/10/2000	46,6
	19/6/2007	31,3		14/10/2000	61,8
	26/6/2007	32,7		16/10/2000	59,0
				17/10/2000	51,4
				18/10/2000	54,4
				19/10/2000	55,6
				20/10/2000	48,8
				21/10/2000	53,6
				23/10/2000	61,1
				24/10/2000	49,5
				25/10/2000	56,1
				26/10/2000	58,8
				27/10/2000	53,9
				28/10/2000	54,8
				30/10/2000	51,8
				31/10/2000	57
				1/11/2000	52,5
				2/11/2000	54,3
				3/11/2000	58
				4/11/2000	59,3

Fonte: Cardoso (2007).

5 METODOLOGIA DO TRABALHO

5.1 Revisão Bibliográfica

A primeira etapa do trabalho, foi o levantamento de materiais bibliográficos relativo ao tema “nitrato em água subterrânea” envolvendo a cidade de Porto Alegre. Posteriormente, foram revisadas literaturas envolvendo o assunto e temáticas relacionadas em demais regiões. A pesquisa foi realizada em livros, publicações científicas, monografias, dissertações, teses e anais de congressos.

5.2 Selecionamento dos poços a serem amostrados

O primeiro critério utilizado na escolha dos poços a serem amostrados periodicamente, foi terem apresentado um índice elevado de concentração de nitrato em estudos anteriores. Posteriormente, foi entrado em contato com os responsáveis pelos poços para averiguar a atual situação em que se encontravam em relação ao seu funcionamento e se havia a possibilidade de coleta de água na saída do poço ou na entrada de água no reservatório para que a amostra fosse considerada de composição química autêntica em relação ao aquífero no local.

Em dois poços com essas características foram possíveis a realizar as amostragens. Um situa-se na Rua Doutor Salvador França, 1427, pertence ao Jardim Botânico de Porto Alegre e foi denominado JB. O outro, encontra-se na Rua Paulino Chaves, 291, de posse da Casa de Eventos dos Capuchinhos e foi intitulado CA (Fig. 6). Roisenberg em 2001 demonstrou 21,11 mg/L de nitrato em JB e 49,2 mg/L em CA. JB está fixado nos Gnaisses Porto Alegre enquanto CA está locado no Granito Ponta Grossa. Não foi possível incorporar a monografia os dados dos poços referentes a profundidade, diâmetro, vazão, nível dinâmico, nível estático, entre outros, pela falta das informações.

Figura 6 – Localização dos poços amostrados.



Fonte: Modificado de Google earth (2017).

5.3 Coleta de amostras

Ao total foram realizadas dezessete coletas de água subterrânea, divididas entre os dois poços. Uma (1) destinada a verificação de nitrogênio amoniacal enquanto as dezesseis restantes, foram atribuídas a análise da concentração de nitrato.

O intervalo entre as coletas foi semanal e dividido em dois períodos. O primeiro, diz respeito aos meses de junho/julho de 2017 e o segundo, ao mês de setembro do mesmo ano.

As amostras foram armazenadas em recipientes plásticos, sendo retiradas na saída do poço (Fig. 7) e na entrada de água do reservatório (Fig. 8). Respeitou-se as recomendações do Standard Methods for the Examination of Water (APHA, 1998) demonstradas no Quadro 1 optando-se por levar as amostras imediatamente após a coleta para a análise.

Os resultados analíticos foram produzidos pelo laboratório Bioensaios, localizado em Viamão.

Quadro 1 – Armazenamento e preservação de amostras para análise de nitrato e nitrogênio amoniacal.

Determinação	Frasco	Volume (ml)	Preservação	Tempo de armazenamento
Nitrato	Plástico ou vidro	100	Analisar imediatamente ou refrigerar	Até 48hs
Nitrogênio amoniacal	Plástico ou vidro	500	Adicionar H_2SO_4 até $pH < 2$, refrigerar	Até 7 dias

Fonte: APHA (American Public Health Association), 1998.

Figura 7 – Poço do Jardim Botânico. As amostras foram coletadas na saída do poço.



Fonte: Arquivo pessoal do autor.

Figura 8 – Caixa d'água da Casa dos Capuchinhos. As amostras foram coletadas na entrada de água do reservatório.



Fonte: Arquivo pessoal do autor.

5.4 Técnicas Analíticas Aplicadas

O nitrogênio amoniacal foi quantificado através da técnica 350.2 da US EPA (United States Environmental Protection Agency) de 1974. Esse tipo de análise consiste em um processo de destilação colorimétrica, titrimétrica e potenciométrica.

O nitrato teve sua análise realizada por meio da técnica 4110 B da APHA, de 2012 que compreende uma cromatografia de íons com supressão química de condutividade de eluente.

5.5 Geologia Estrutural – Lineamentos

A CPRM (2017) define lineamento como:

Uma feição isolada ou conjunto de feições de topografia, de drenagem ou de variação de tonalidade em imagem (foto aérea, satélite) e mapa topográfico que se apresenta como um alinhamento e que reflete elementos de estrutura

geológica, como direções de camadas, de xistosidade, de falha, de cinturão de cisalhamento e de sistemas de fraturas.

As fraturas e falhas são feições importantes do ponto de vista hidrodinâmico nos aquíferos fraturados, interferindo proporcionalmente na condutividade hidráulica, no caso de estarem interligadas. Para fins de prospecção de água subterrânea, um poço locado em uma intersecção de fraturas ou falhas implicará maior potencialidade. Uma maior concentração dessas estruturas também pode resultar em uma maior distribuição de um contaminante no aquífero. Desse modo, as informações a respeito da tectônica rúptil se tornam relevantes para estudos hidrológicos a respeito dos aquíferos fraturados.

Através de imagens SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), disponibilizadas pelo United States Geological Survey (USGS) em formato *.tif*, manipuladas no *software* ArcGIS, foi elaborado um Modelo Digital de Terreno (MDT), a partir do qual, em escalas 1:100.000 e 1:40.000 foram traçadas as estruturas lineares no município de Porto Alegre. Para obtenção da quantidade de lineamentos e das suas orientações, foi usada a ferramenta computacional *AzimuthFinder* acrescentada ao ArcGIS. Para elaboração dos diagramas de rosetas foi utilizado o *software* Stereo32.

6 RESULTADOS OBTIDOS

6.1 Análise Estrutural

As litologias granítico-gnáissicas de Porto Alegre sofreram influência de processos tectônicos rúpteis que deram origem a fraturas e falhas de direções predominantemente NE-SW e NO-SE e, em menor quantidade, N-S e E-W. As estruturas de maior extensão, possuem direção NE-SW, correspondendo a falhas transcorrentes da Zona de Cisalhamento de Porto Alegre ocasionada em ambiente compressivo. A posição e morfologia do Granito Santana é fortemente influenciada por essa estrutura, que também interferiu no metamorfismo e deformação dos gnaisses no Brasileiro (PHILIPP et al., 1994; ATLAS AMBIENTAL DE PORTO ALEGRE, 1998). Na mesma época ocorreram fraturas de direção NW-SE, as mais abundantes no município, decorrentes de tectônica distensiva, algumas preenchidas por diques ácidos e básicos.

6.1.1 Modelo Digital de Terreno (MDT)

As imagens SRTM, foram produzidas pela NASA (National Aeronautics and Space Administration) e pela NGA (National Geospatial-Intelligence Agency) em fevereiro do ano 2000 em uma missão espacial. Os dados gerados contêm informações da elevação da superfície terrestre em resolução de 30 m, produzidas através de imagens de radar captadas com ângulos ligeiramente diferentes, o que propiciou os dados de elevação. O projeto abrangeu uma cobertura de mais de 80% do território entre as latitudes 60° norte e 56 sul.

As imagens de radar de Porto Alegre foram utilizadas no *software* ArcGIS para produção de MDT's, dos quais foram extraídos os lineamentos contidos no município. Para visualização das estruturas que não ficaram apresentáveis devido à sombra gerada pela direção da luz, foram produzidos quatro MDT's (Fig. 9, 10, 11 e 12), cada qual com uma orientação de iluminação diferente (45°, 135°, 225° e 315°) e todos com incidência da luz de 45° a partir da superfície terrestre. Foi observado que a iluminação advinda de uma determinada direção auxilia na identificação de estruturas ortogonais a ela, porém para que não ocorressem equívocos, tratando-se de um simples efeito

de luz, a confirmação era realizada por meio de luz paralela ou semiparalela a estrutura linear.

Figura 9 – MDT da região de Porto Alegre. O município é destacado no contorno branco. A iluminação provém do azimute 315°.

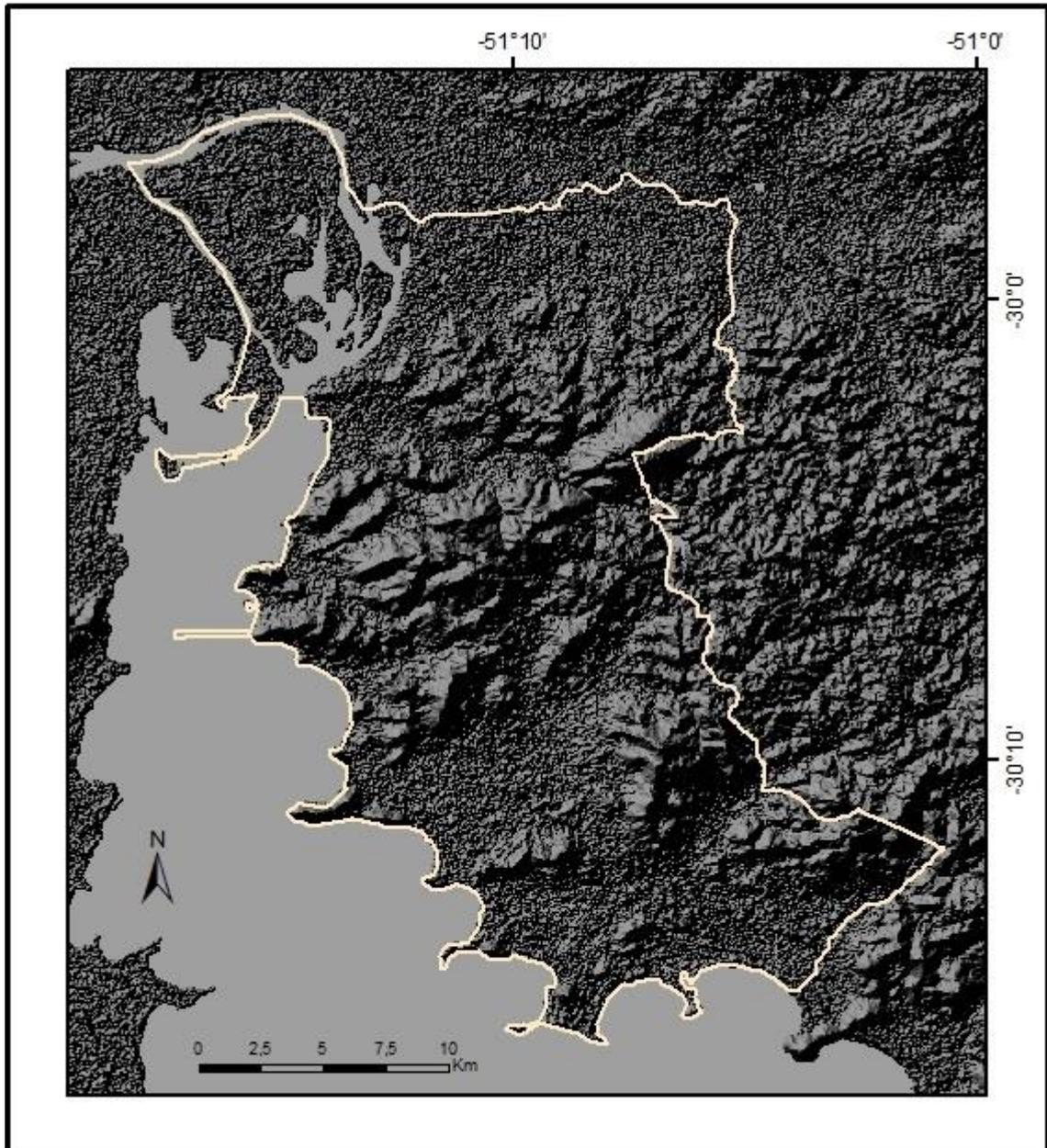


Figura 10 – MTD da região de Porto Alegre. O município é destacado no contorno branco. A iluminação provém do azimute 45°.

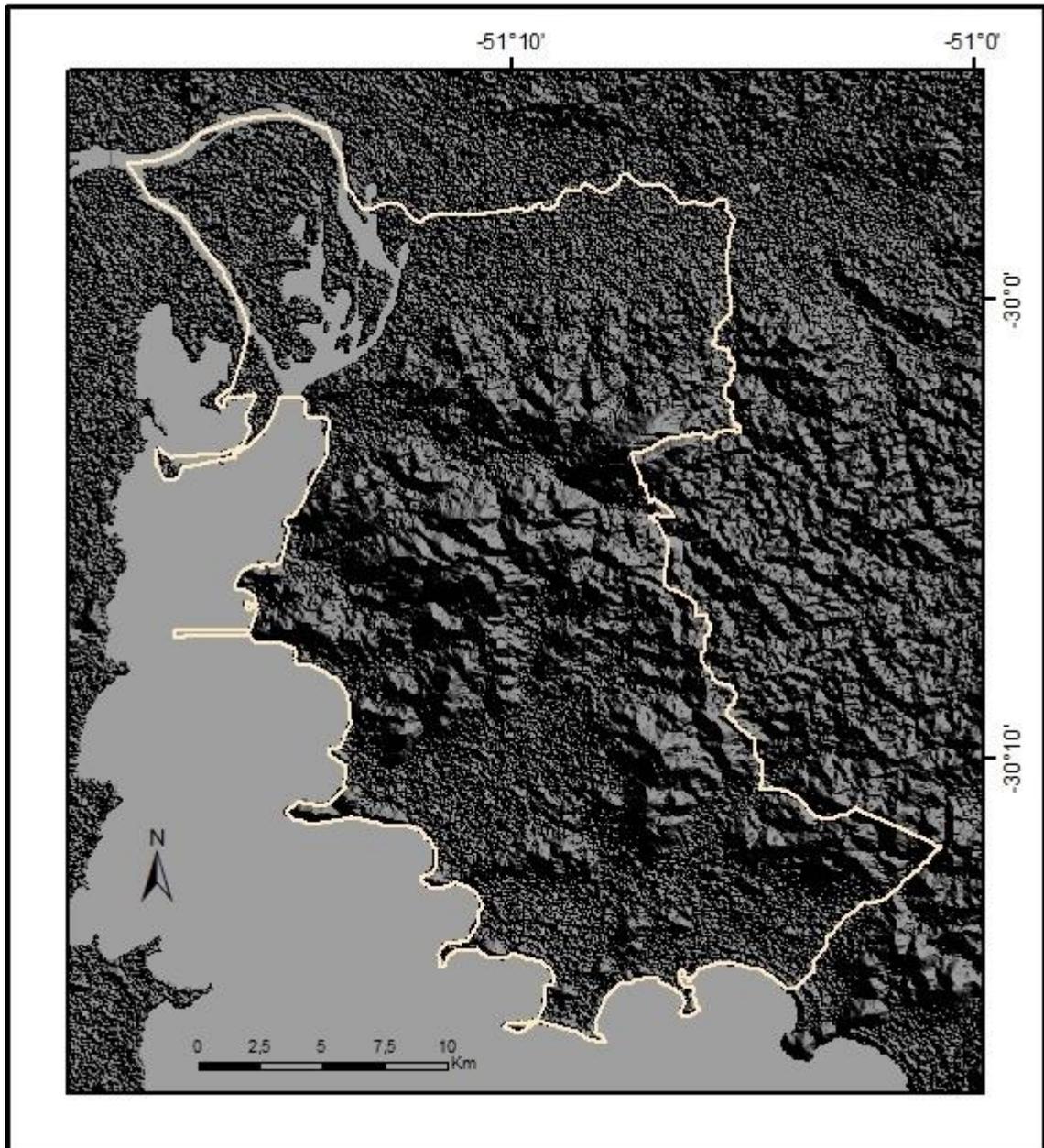


Figura 11 – MTD da região de Porto Alegre. O município é destacado no contorno branco. A iluminação provém do azimute 135°.

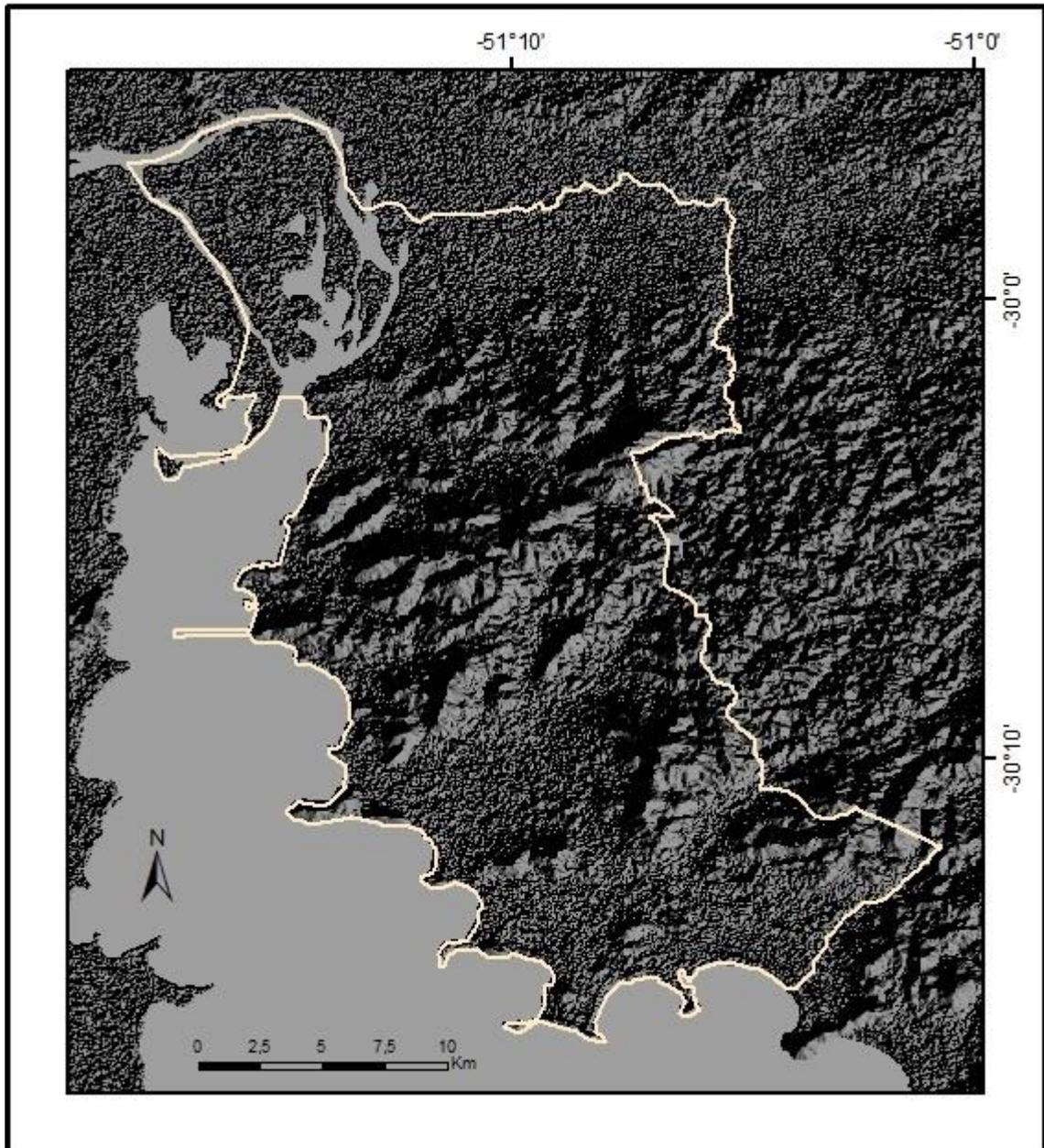
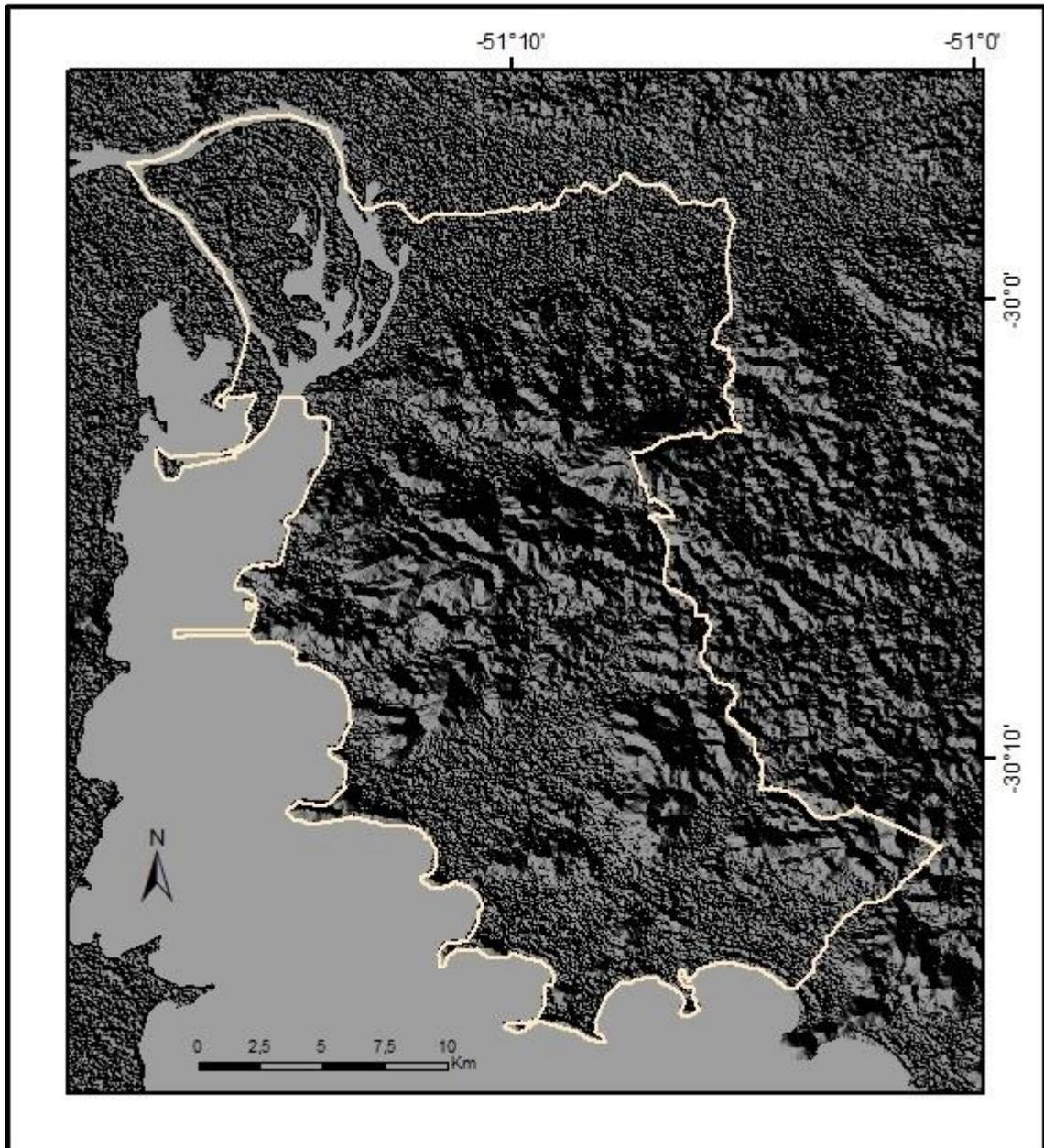


Figura 12 – MTD da região de Porto Alegre. O município é destacado no contorno branco. A iluminação provém do azimute 225°.



6.1.2 Estruturas lineares em escala 1:100.000

Foram identificados 393 lineamentos em escala 1:100.000 (Fig. 13). As principais direções encontradas foram N30°-60°E e N40°-70°W (Fig. 14). Houve predominância, mesmo que não acentuada, das estruturas de direção NW-SE em relação as de direção NE-SW. Quando o fator comprimento é considerado, os maiores lineamentos foram encontrados na direção NE-SW (Fig. 15).

Figura 13 – Mapa de lineamentos encontrados em Porto Alegre na escala 1:100.000.

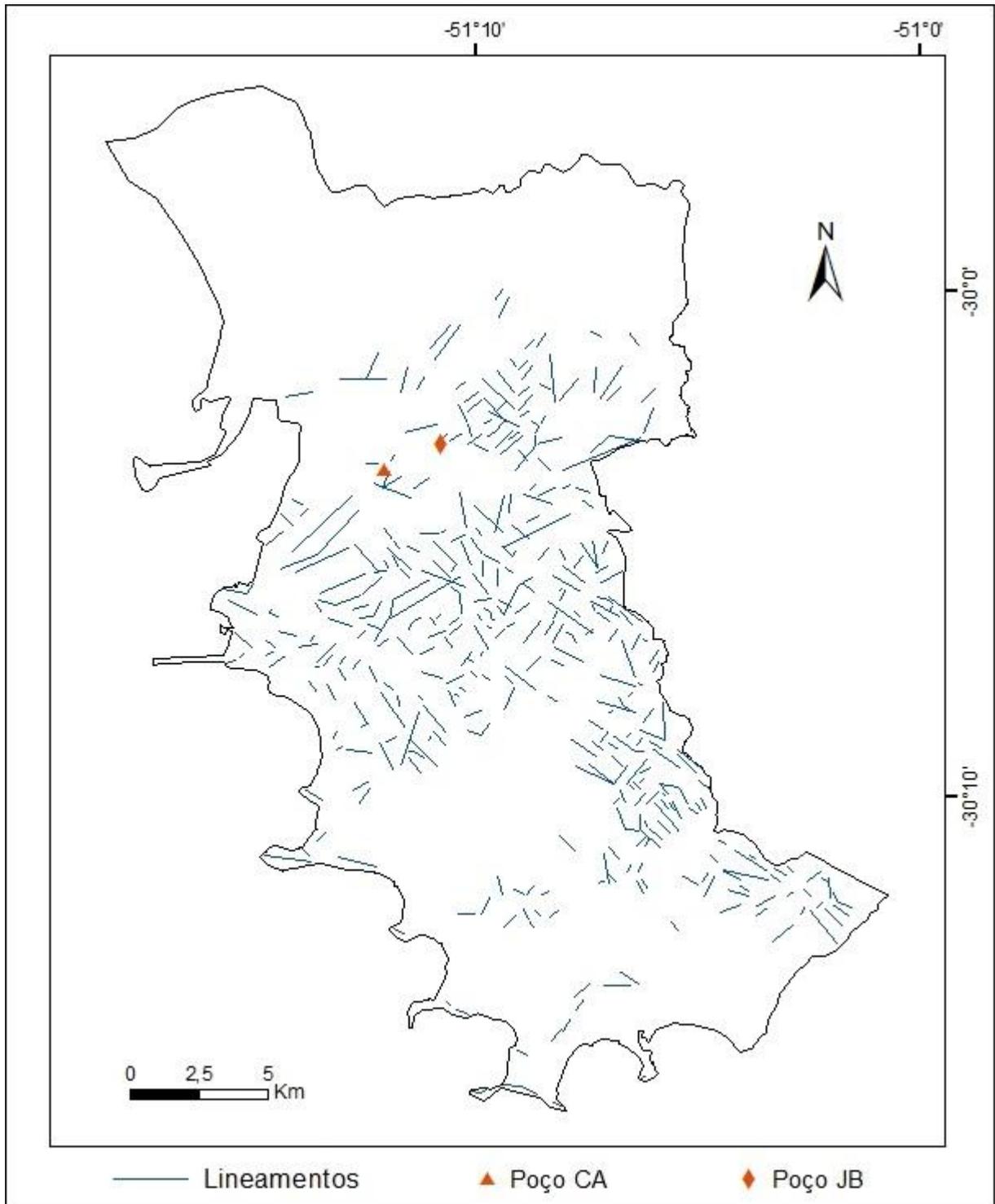


Figura 14 – Diagrama de rosetas dos lineamentos traçados em escala 1:100.000 demonstrando as principais direções encontradas: N30°-60°E e N40°-70°W.

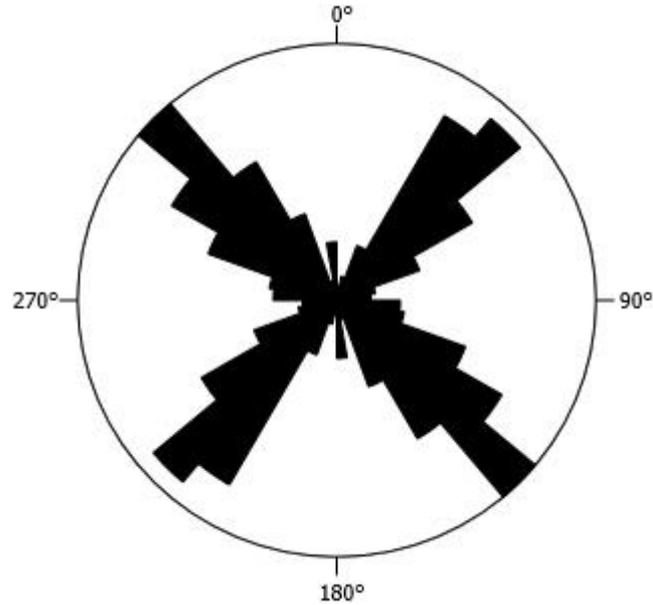
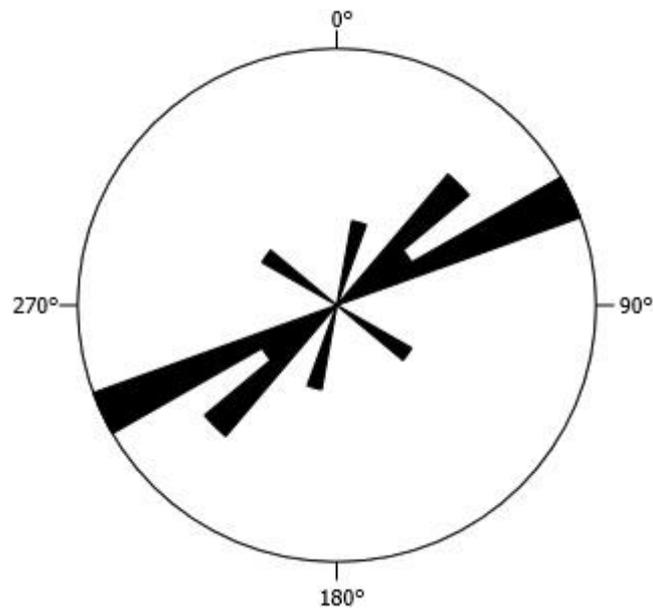


Figura 15 – Diagrama de rosetas demonstrando a preferência de direção NE-SW analisando-se os lineamentos com comprimento acima de 2 Km na escala 1:100.000.



6.1.3 Estruturas Lineares em escala 1:40.000

Na escala 1:40.000, foram reconhecidos 649 lineamentos (Fig. 16) de direções predominantes N40°-50°E e N30°-50°W (Fig. 17), sendo identificadas também, ocorrências significativas nos intervalos N30°-60°E e N30°-60°W. Foi evidenciado predomínio, mesmo que não proeminente, das direções NW-SE em relação as

direções NE-SW. Considerando o fator comprimento, nessa escala também se observa maior extensão nas estruturas NE-SW (Fig. 18).

Figura 16 - Mapa de lineamentos encontrados em Porto Alegre na escala 1:40.000.

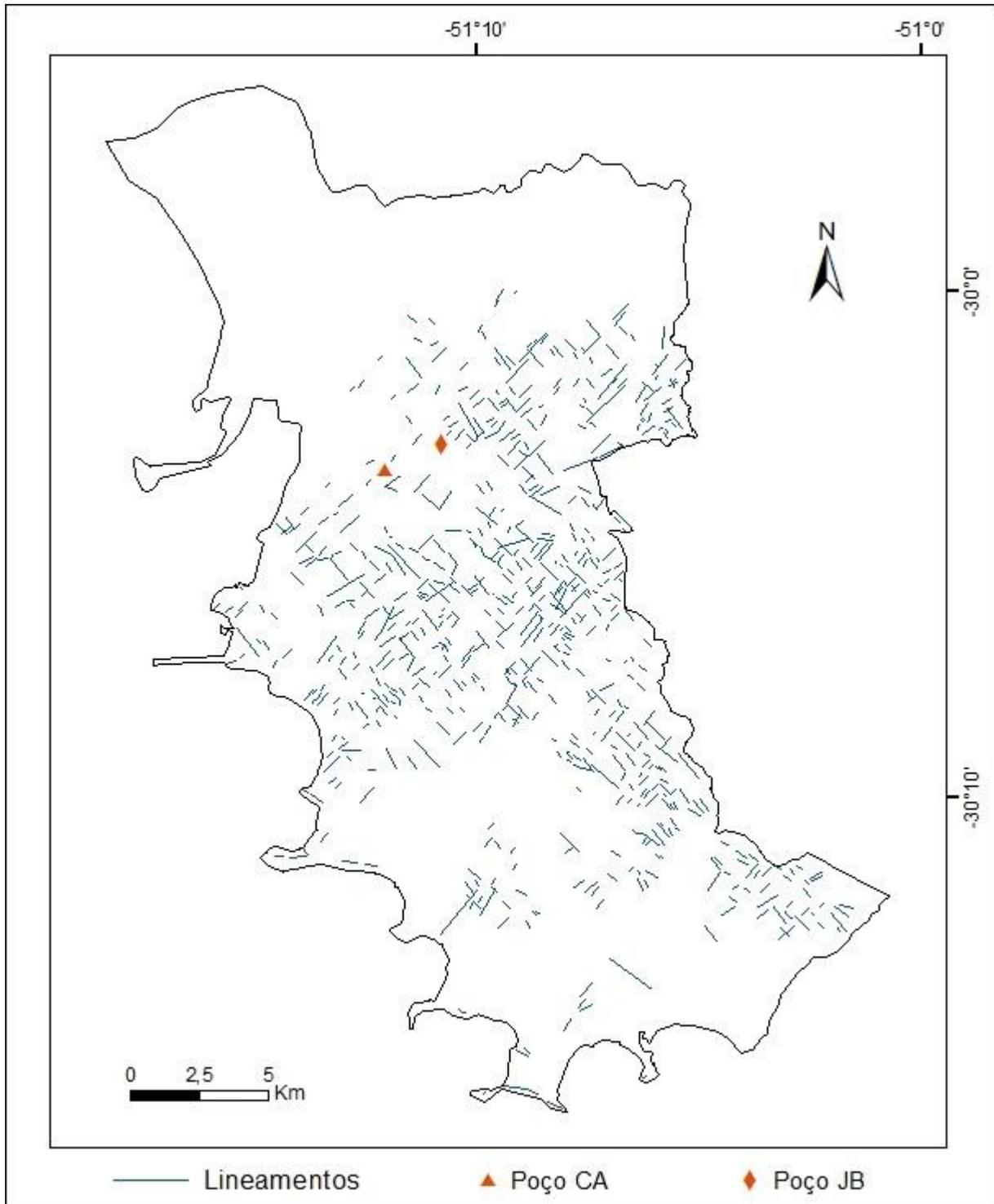


Figura 17 - Diagrama de rosetas dos lineamentos traçados em escala 1:40.000 demonstrando as principais direções encontradas: N40°-50°E e N30°-50°W.

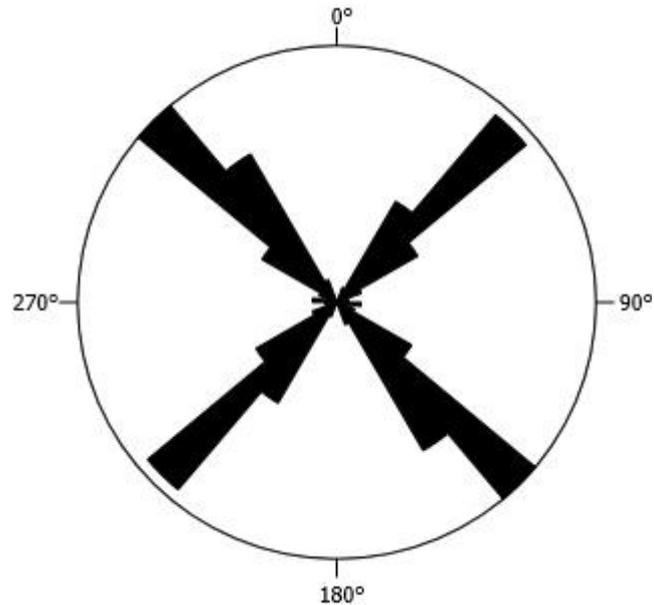
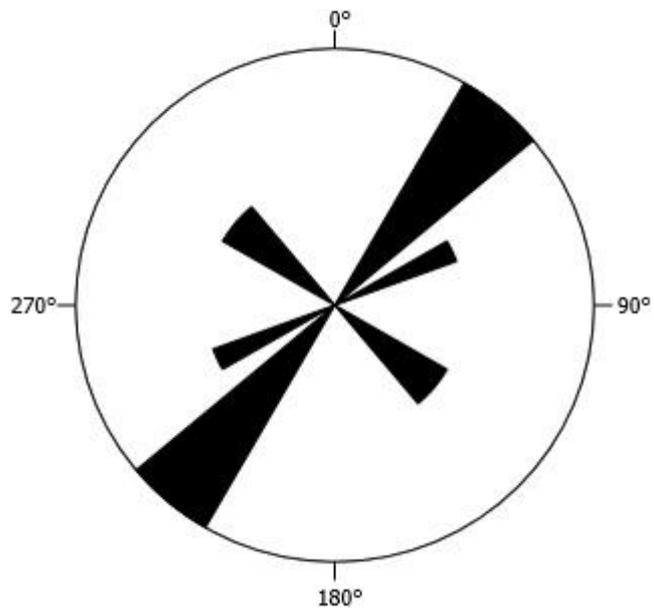


Figura 18 - Diagrama de rosetas demonstrando a preferência da direção NE-SW analisando-se os lineamentos com comprimento acima de 1,5 Km na escala 1.40.000.



Quando são considerados os lineamentos com comprimentos maiores, observa-se nas duas escalas, a preferência NE-SW.

Nas duas escalas utilizadas, os poços CA e JB localizam-se próximos a fraturas de direção NE-SW e não demonstram através das imagens SRTM, ou seja, por superfície, ligação entre si.

6.2 Precipitação Pluviométrica no Período de Coletas

Porto Alegre situa-se em uma região de clima subtropical úmido, caracterizado por chuvas bem distribuídas, amplitude térmica elevada e estações do ano bem definidas.

Os meses de junho, julho e setembro, quando foram feitas as coletas de amostras de água subterrânea, demonstraram historicamente (1961 a 1990), volumes médios de chuva de 132,7 mm, 121,7 mm e 139,5 mm, respectivamente (CEIC, 2017). Abaixo, os gráficos 1, 2 e 3, demonstram como a pluviosidade se distribuiu nesses mesmos meses no ano de 2017. Os dados da quantidade de chuva diária foram retirados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Gráfico 1 – Distribuição de chuvas no mês de junho de 2017, totalizando 197,4 mm no mês.

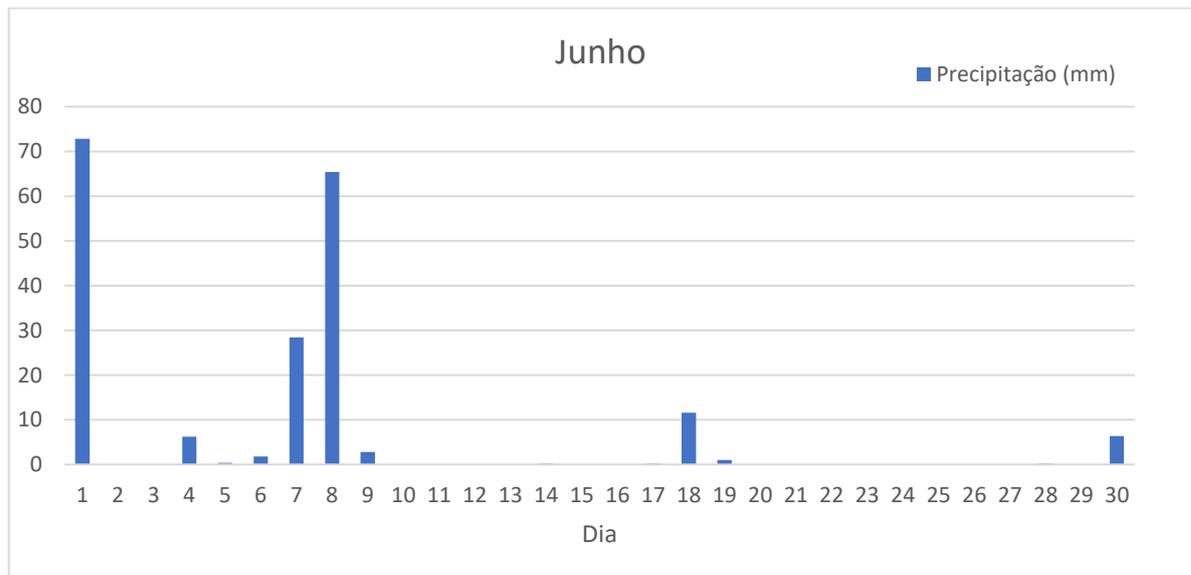


Gráfico 2 – Distribuição de chuvas no mês de julho de 2017, totalizando 17 mm no mês.

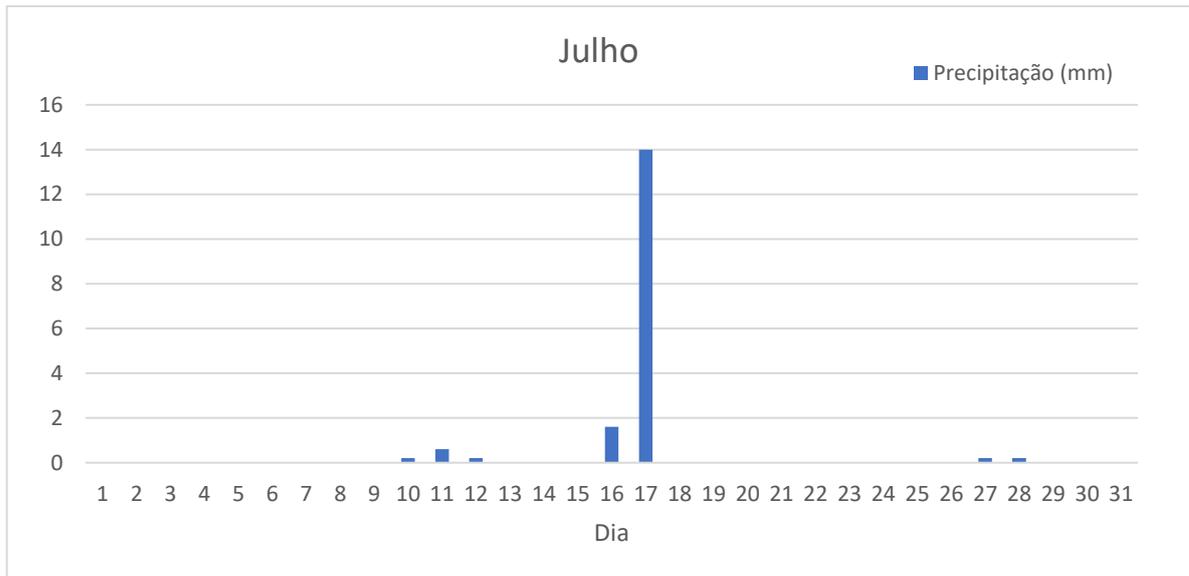
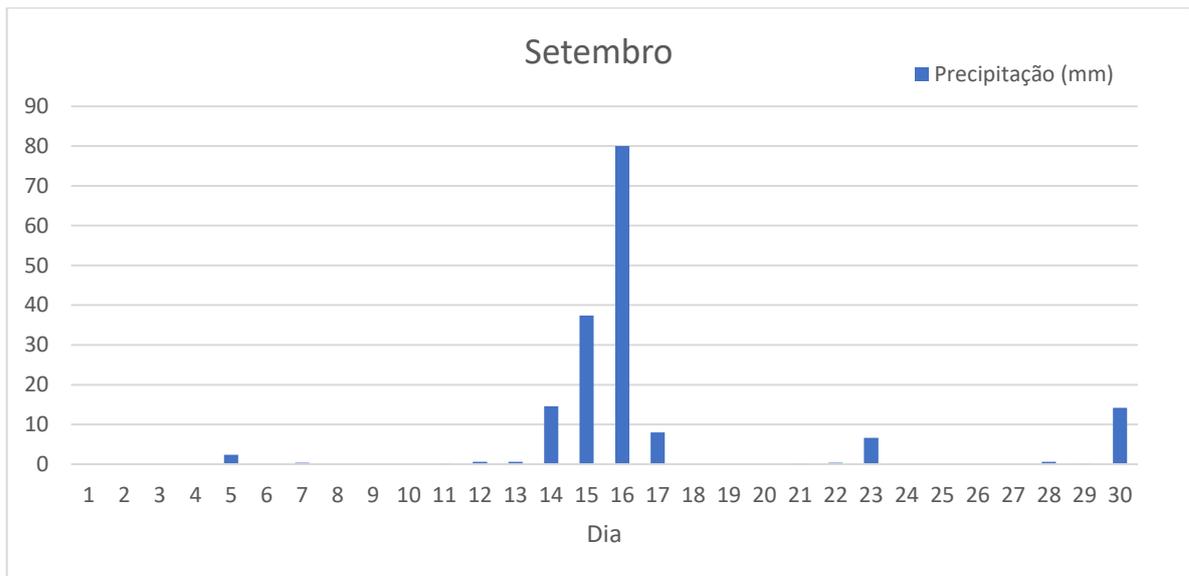


Gráfico 3 – Distribuição de chuvas no mês de setembro de 2017, totalizando 166,4 mm no mês.



6.3 Resultados Analíticos nos Dois Poços

6.3.1 Nitrogênio Amoniacal

O nitrogênio amoniacal, quando constatado altos teores, indica contaminação recente e/ou fonte de contaminação próxima.

A amostra JB-1, na qual foi realizada a análise de nitrogênio amoniacal, demonstrou concentração de 0,387 mg/L. Segundo a Portaria 518/04, do Ministério

da Saúde, o padrão estabelecido para que não haja riscos à saúde em caso de consumo de amônia é de 1,5 mg/L. Não se constatou presença significativa de nitrogênio amoniacal, por isso se fez uma única coleta.

6.3.2 Nitrato

Os resultados revelaram que, em períodos secos, a concentração de nitrato diminui e que, em coletas após regimes chuvosos, os índices encontraram-se elevados.

No início do mês de junho, ocorreram chuvas intensas, totalizando até o começo das coletas da primeira fase, no dia vinte, 190,8 mm. As respostas analíticas referentes as duas primeiras amostras, JB-1 e CA-1, demonstraram 20,82 mg/L e 24,58 mg/L de nitrato, respectivamente (Tabela 3). Até o encerramento desta fase, em onze de julho, a quantidade de chuva foi desprezível (7,4 mm em três semanas). Durante este período, os resultados analíticos caíram gradativamente até as amostras JB-4 e CA-4 (Gráfico 4 e 5).

Tabela 3 – Concentrações de nitrato de cada amostra. As identificações estão separadas por barra pois as duas amostras (JB/CA) contém o mesmo número.

Data de coleta e identificação das amostras	JB (mg/L)	CA (mg/L)
21/20 jun. (JB/CA-1)	20,82	24,58
27 jun. (JB/CA-2)	15,15	24,09
04 jul. (JB/CA-3)	11,76	20,9
11 jul. (JB/CA-4)	5,18	7,66
08 set. (JB/CA-5)	22,32	29,72
15 set. (JB/CA-6)	15,41	31,63
22 set. (JB/CA-7)	20,42	28,92
29 set. (JB/CA-8)	18,07	26,97

Gráfico 4 – Resultados analíticos das concentrações de nitrato das amostras JB-1 a JB-4 em conjunto com a pluviosidade ocorrida no período.

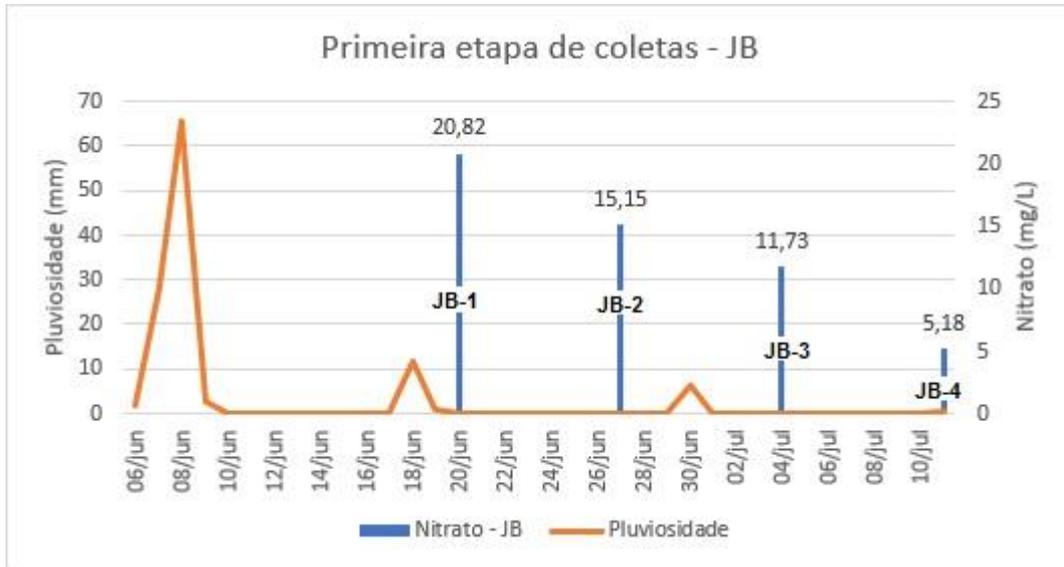
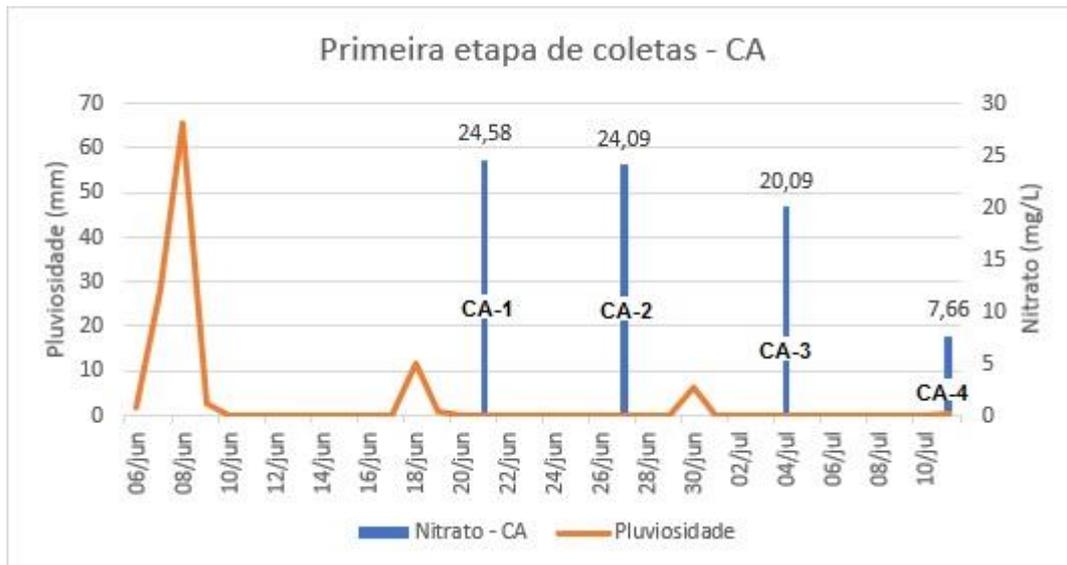


Gráfico 5 - Resultados analíticos das concentrações de nitrato das amostras CA-1 a CA-4 em conjunto com a pluviosidade ocorrida no período.



A segunda etapa de amostragens, realizada em setembro, teve seu início dia oito, com as amostras referentes a essa data, JB-5 e CA-5, demonstrando 22,32 mg/L e 29,72 mg/L, respectivamente. As duas semanas subsequentes, apresentaram elevada pluviosidade, com índices de, 53,4 mm até o dia quinze e, 88,6 mm até o dia vinte e dois. As respostas analíticas variaram nesta parte da segunda etapa para os dois poços. JB-5 para JB-6 demonstrou queda de 22,32 mg/L para 15,41 mg/L, enquanto CA-5 para CA-6 apresentou alta de 29,72 mg/L para 31,63 mg/L (Gráficos

6 e 7). Na última semana das coletas, houve índice pluviométrico reduzido (7,4 mm) e as concentrações de nitrato nos dois poços voltaram a cair.

Gráfico 6 - Resultados analíticos das concentrações de nitrato das amostras JB-5 a JB-8 em conjunto com a pluviosidade ocorrida no período.

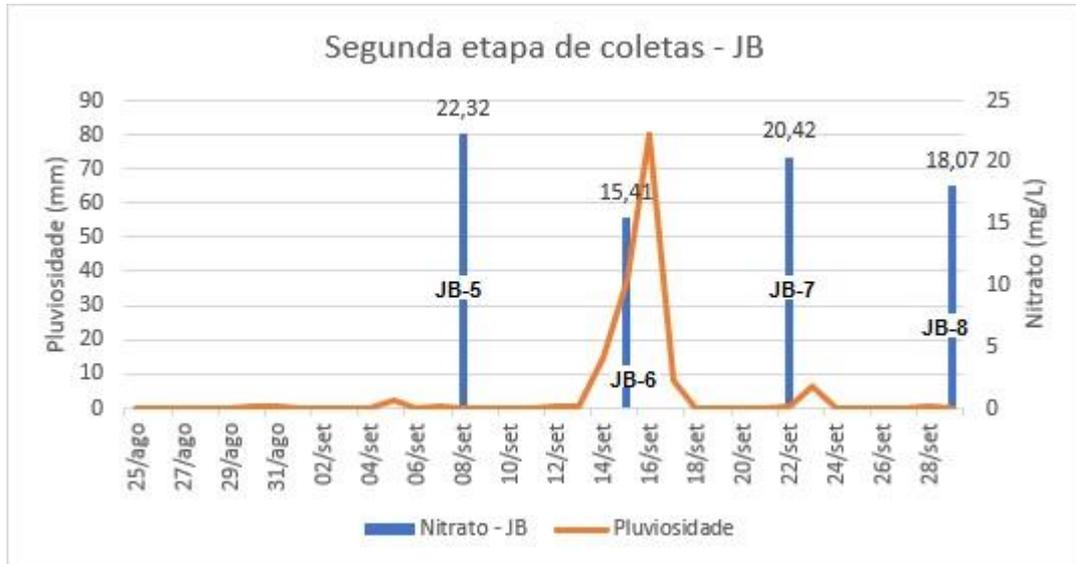
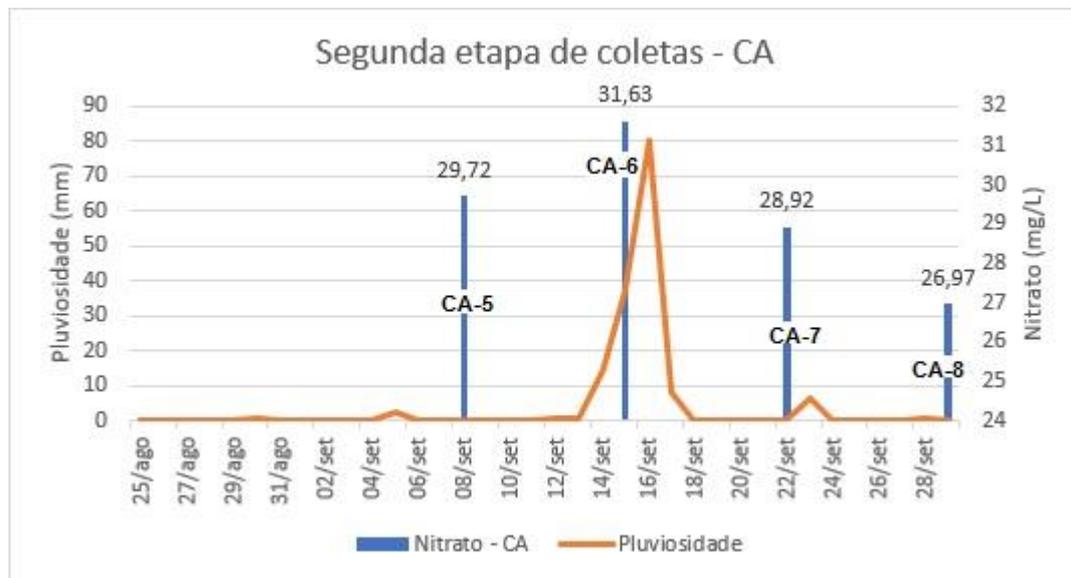


Gráfico 7 - Resultados analíticos das concentrações de nitrato das amostras CA-5 a CA-8 em conjunto com a pluviosidade ocorrida no período.



6.3.3 Potabilidade da água

Apesar de algumas amostras terem apresentado valores mais elevados em relação ao nitrato, como por exemplo CA-5 e CA-6, que demonstraram 29,72 mg/L e 31,63 mg/L, respectivamente, todas ainda estão enquadradas dentro dos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria nº 2.914/11, que indica um máximo de 44,3 mg/L para que a água seja potável.

7 CONCLUSÕES

Com os resultados, foi possível fazer interpretações a respeito da influência da pluviosidade nas concentrações de nitrato nas águas subterrâneas nos dois pontos coletados. A primeira etapa, em que praticamente não ocorreu pluviosidade em relação ao tempo total, verificou-se nos dois locais diminuição da concentração de nitrato gradualmente, colaborando para a hipótese de que a chuva em volumes consideráveis, é a responsável pela introdução do contaminante no aquífero através da lixiviação do composto, que ocorre superficialmente, fato atestado também, pela constatação de que após grandes regimes pluviométricos, a concentração apresentou-se alta. Nos períodos de estiagem, diminui a carga de nitrato no aquífero e ocorre a diluição com águas não contaminadas que contribuem na vazão dos poços.

A segunda etapa de coletas, não demonstrou resposta semelhante nos dois poços em relação a variação do composto como ocorrido na primeira etapa. Em uma das semanas, a concentração de nitrato na amostra JB-6 diminuiu em relação a JB-5, enquanto CA-6 aumentou em relação a CA-5. As coletas de JB-6 e CA-6, ocorreram um dia após pluviosidade constante. Foi interpretado nessa situação que como o Jardim Botânico utiliza seu poço diariamente, demandando grandes volumes de água para irrigação, acaba por renovar constantemente as águas do aquífero localizadas em volta do poço, ocorrendo uma captação mais extensa, acarretando um fluxo mais regional devido ao alto consumo, recebendo também, águas de locais com menor concentração de nitrato, podendo dessa forma ocorrer diminuição do valor de concentração, ao passo que, a Casa dos Capuchinhos, por outro lado, utiliza seu poço semanalmente, bombeando um menor volume de água, o que ocasiona um acúmulo maior do contaminante lixiviado em volta do poço e, assim, demonstrando uma resposta mais significativa em um curto espaço de tempo. Outro fator que pode influenciar em um teor mais elevado na Casa dos Capuchinhos em relação ao Jardim Botânico, demonstrado em todas as amostras, pode ser a sua proximidade com alguns vilarejos, onde há uma maior probabilidade de ocorrência de saneamento básico precário.

Também é considerado uma situação na qual pode ocorrer elevada pluviosidade em curto espaço de tempo lixiviando o nitrato de maneira intensa e a não produção do composto em quantidades significativas nesse período, acaba por tornar

a recarga do aquífero em proporções, maior que a entrada do contaminante nas águas subterrâneas, ocorrendo dessa forma diluição.

Para um resultado mais definitivo a respeito da resposta do nitrato nos aquíferos de Porto Alegre em diferentes climas, é necessária uma modelagem matemática do fluxo das águas subterrâneas obtendo, dessa forma, uma melhor compreensão sobre a hidrodinâmica do aquífero, além de informações a respeito das fraturas (orientação, abertura, rugosidade, preenchimento) no caso do aquífero fraturado e, da composição e granulometria, se tratando do aquífero granular. Um maior número de coletas periódicas também se faz necessário a fim de abranger uma maior variação climática. Cabe destacar que os dados descritivos das fraturas são muito escassos uma vez que a exposição das mesmas é muito limitada, impossibilitando a observação e descrição adequada de forma representativa. Por conta disso, modelos matemáticos apresentam fortes restrições na aplicação e interpretação da dinâmica dos aquíferos fraturados.

Em relação as amostras de Roisenberg (2001), que chegou a demonstrar 49,2 mg/L de nitrato na Casa dos Capuchinhos, foi observado uma melhora na concentração do composto no local, que obteve um máximo de 31,63 mg/L dentre as oito amostras coletadas. Apesar do valor ser considerável, demonstrando ainda haver interferência antrópica na qualidade da água no local, nota-se uma diferença significativa ao resultado de 2001, levando em consideração que o mesmo poço chegou a apresentar uma concentração de 7,66 mg/L em uma das coletas, representando quem sabe, uma melhora na distribuição do saneamento básico na região. O Jardim Botânico que em 2001, apresentou 21,11 mg/L, manteve-se com valores aproximados a esse em 2017, apresentando extremos mínimo e máximo de 5,18 mg/L e 22,32 mg/L, respectivamente.

8 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L. M.; BRILHANTE, O. M.; FREITAS, M. B. Importância da análise de água para saúde pública em duas regiões do Estado do Rio de Janeiro: enfoque para coliformes fecais, nitrato e alumínio. *Cadernos de Saúde Pública*, Rio de Janeiro, v. 17, n. 3, p. 651-660, mai./jun. 2001.

APHA. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20. ed. Washington DC: APHA, 1998. 1268 p.

_____. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 22. ed. Washington DC: APHA, 2012. 1496 p.

AWWA (American Water Works Association). *Water quality and treatment: a handbook of community water supplies*. 4. ed. New York: McGraw Hill, 1990. 672 p.

AYALA, L. Contribuição ao estudo da Formação Graxaim do cenozóico da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. 1980. 89 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1980.

BAIRD, C.; CANN, M. *Química Ambiental*. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011. 844 p.

BIGUELINI, C. P.; GUMY, M. P. Saúde ambiental: índices de nitrato em águas subterrâneas de poços profundos na região sudoeste do Paraná. *Revista faz ciência*, Cascavel, v. 14, n. 20, p. 153-175, jul./dez. 2012.

BOOPATHY, R. Factors limiting bioremediation technologies. *Bioresource technology*, Nova York, v. 74, n. 1, p. 63-67, ago. 2000.

BRASIL. Portaria nº 518, de 25 de março de 2004, Ministério da Saúde. Estabelece as responsabilidades por parte de quem produz a água, a quem cabe o exercício do controle de qualidade da água e das autoridades sanitárias, a quem cabe a missão de "vigilância da qualidade da água" para consumo humano. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, seção 1, p. 266, 26 mar. 2004.

BRASIL. Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011, Ministério da Saúde. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, seção 1, p. 39, 14 dez. 2011.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas

e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, seção 1, p. 64-68, 9 abr. 2008.

CARDOSO, C. N. Avaliação da contaminação por nitrato nas águas subterrâneas do município de Porto Alegre, RS. 2007. 154 f. Monografia (Graduação em Geologia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

CEIC (Centro Integrado de Comando). Prefeitura de Porto Alegre. Disponível em <http://www2.portoalegre.rs.gov.br/ceic/default.php?p_secao=28>. Acesso em: 09 dez. 2017.

COSTA, D. D.; KEMPKE, A. P.; SKORONSKI, E. A contaminação de mananciais de abastecimento pelo nitrato: o panorama do problema no Brasil, suas consequências e as soluções potenciais. REDE – Revista eletrônica do PRODEMA, Fortaleza, v. 10, n. 2, p. 49-61, jul./dez. 2016.

CPRM. Glossário. Disponível em: <<http://sigep.cprm.gov.br/glossario/verbete/lineamento.htm>>. Acesso em: 08 dez. 2017.

_____. Pesquisa. Disponível em: <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/pesquisa_complexa.php>. Acesso em: 07 dez. 2017.

DELANEY, P. J. V. Fisiografia e geologia de superfície da planície costeira do Rio Grande do Sul. 1962. 105 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1962.

ESRI. ArcGIS 10.3. [S. l.]: ESRI, 2015. Software GIS.

FREITAS M. A.; LISBOA N. A. Aspectos da qualidade das águas subterrâneas dos diferentes sistemas aquíferos da região de Porto Alegre, RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 9., 1996, Salvador. Anais... Salvador: ABAS, 1996. CD-ROM.

HISCOCK, K. M.; LLOYD, J. W.; LERNER, D. N. Review of natural and artificial denitrification of groundwater. Water Research, Nova York, v. 29, n. 9, p. 1099-1111, set. 1991.

IBGE. Cidades. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/porto-alegre/panorama>>. Acesso em: 06 dez. 2017.

JOST, H. O quaternário da região norte da Planície Costeira do Rio Grande do Sul – Brasil. 1971. 80 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1971.

KINDLEIN, C. P. Determinação do teor de nitratos e nitritos na água de abastecimento do município de Nova Santa Rita. 2010. 67 f. Monografia (Graduação em Química) – Centro Universitário La Salle, Canoas, 2010.

LOGANATHAN, P.; VIGNESWARAN, S.; KANDASAMY, J. Enhanced removal of nitrate from water using surface modification of adsorbents - A review. *Journal of Environmental Management*, v. 131, p. 363-374, dez. 2013.

LOPES, S. *Biologia essencial*. 1. ed. São Paulo: Editora Saraiva, 2003. 398 p.

MADEIRA, J. Remediação de aquíferos contaminados por nitratos (um caso de estudo por biorremediação). 2010. 56 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Gestão Ambiental) – Faculdade de Ciências (Departamentos de Biologia Animal) – Universidade de Lisboa, Lisboa, 2010.

MATO A. P. Determinação de nitratos, nitritos e prováveis fontes de contaminação em águas de poços e sua influência na metemoglobinemia infantil. 1996. 105 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento Ambiental) – Universidade Mackenzie, São Paulo, 1996.

MELO, J. G.; VASCONCELOS, M. B.; ALVES, R. S.; SOARES, N. C. Problemas de manejo de águas subterrâneas em ambientes urbanos: o caso do Município de Natal, RN. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 19., 2011, Maceió. Anais... Porto Alegre: ABRH.

MENEGAT, R. et al. Atlas ambiental de Porto Alegre. Porto Alegre: Ed. da Universidade/UFRGS, 1998. 228 p. Várias escalas.

PAGE, L.; BRIN, S. Google Earth 7.3.0. Mountain View: Google, 2017. Software de imagens de satélite.

PHILIPP, R. P.; REGO, I. T. S. F.; SIVIERO, R. S. Geologia das rochas granitoides da região de Porto Alegre, RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38., 1994, Balneário Camboriú. Boletim... Balneário Camboriú: SBG, 1994. p. 98-99.

PHILIPP, R. P. Condições de posicionamento do plutonismo da Suíte Dom Feliciano na região de Porto Alegre, RS. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 5., 1995, Gramado. Boletim... Gramado: SBG, 1995. p. 207-209.

_____. A evolução geológica e tectônica do Batólito Pelotas. 1998. 379 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

PHILIPP, R. P.; NARDI, L. V. S.; MACHADO, R. O magmatismo granítico Neoproterozóico tardi a pós-colisional da região de Porto Alegre, RS. Contribuição ao estudo de granitos e rochas correlatas. Salvador, n. 5, p. 129-152, 1998.

PHILIPP, R. P.; CAMPOS R. S. Geologia, Petrografia e Litogeoquímica dos Gnaisses Porto Alegre, RS, Brasil: Implicações Geotectônicas. Pesquisas em Geociências. Porto Alegre, v. 31 (2), p. 79-94, 2004.

QUEIROZ, G. L.; SALAMUNI, E.; NASCIMENTO, E. R. AzimuthFinder: ferramenta para a extração de dados e apoio na análise estrutural. Série Científica, São Paulo, v. 14, n.1, p. 69-80, mar. 2014.

RAMAGE, L. Hidrogeoquímica do sistema aquífero granular cenozoico do município de Porto Alegre, RS. 2005. 111 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

ROISENBERG, C. Hidrogeoquímica do sistema aquífero fraturado pré-cambriano e qualidade das águas subterrâneas do município de Porto Alegre, RS. 2001. 174 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

ROLLER, K.; TREPMANN, C. A. Stereo32 1.0.3. Bochum: Institut für Geologie - Ruhr Universität Bochum, 2003. Software de projeção estereográfica.

SCHNEIDER, A. W.; LOSS E. L.; PINTO J. F. Mapa geológico da folha de Porto Alegre, RS. Porto Alegre: CNPq, 1974. Escala 1:50.000.

SHIKLOMANOV, I. World fresh water resources. In: Gleick P. H. (Ed.). Water in crises: a guide to the world's fresh water resources. New York: Oxford University Press, 1993. p. 13-24.

SILVA, L. C. M.; BROTTTO, M. E. Nitrato em água: ocorrência e consequências. Disponível em: <www.creasp.org.br/biblioteca/wp-content/uploads/2014/09/Nitrato-em-agua-1.doc>. Acesso em 08 dez. 2017.

TORRES, R. M. Remoção biológica de nitrato em água de abastecimento humano utilizando o endocarpo de coco como fonte de carbono. 2011. 42 f. Dissertação (mestrado em Engenharia Sanitária) – Centro de Tecnologia, Programa de Pós-

Graduação em Engenharia Sanitária, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

TREDOUX, G.; ENGELBRECHT, J. P.; ISRAEL, S. Nitrate in groundwater: why is it a hazard and how to control it?. Stellenbosch: WRC, 2009. 15 p.

US EPA. NPDES (National Pollutant Discharge Elimination System). Disponível em: <<http://www.caslab.com/EPA-Methods/PDF/EPA-Method-3502.pdf>>. Acesso em: 08 dez. 2017.

USGS (United States Geological Survey). Earth Explorer. Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 08 dez. 2017.