

Universidade de Évora - Escola de Ciências e Tecnologia

Mestrado em Ciências da Terra e da Atmosfera

Área de especialização | Recuperação Ambiental

Dissertação

**Avaliação da evolução qualitativa das águas subterrâneas em
função das alterações de uso do solo e da água na região do
Alentejo**

Luis Rosa

Orientador(es) | António Chambel

Évora 2024



Universidade de Évora - Escola de Ciências e Tecnologia

Mestrado em Ciências da Terra e da Atmosfera

Área de especialização | Recuperação Ambiental

Dissertação

**Avaliação da evolução qualitativa das águas subterrâneas em
função das alterações de uso do solo e da água na região do
Alentejo**

Luis Rosa

Orientador(es) | António Chambel

Évora 2024



A dissertação foi objeto de apreciação e discussão pública pelo seguinte júri nomeado pelo Diretor da Escola de Ciências e Tecnologia:

Presidente | José Fernando Borges (Universidade de Évora)

Vogais | António Chambel (Universidade de Évora) (Orientador)
José Muñoz-Rojas (Universidade de Évora) (Arguente)

Agradecimentos

Queridos amigos e familiares,

Gostaria de expressar a minha profunda gratidão a todos vocês que me apoiaram ao longo deste desafiante processo de elaboração da minha dissertação. Sei que sem o apoio e encorajamento de cada um de vós, não teria sido possível alcançar este importante marco na minha jornada acadêmica.

Ao meu irmão Pedro, à minha namorada Filipa e à minha prima Milene, estou eternamente agradecido por estarem sempre ao meu lado durante todo este árduo percurso. O vosso apoio constante e os conselhos perspicazes foram um verdadeiro encorajamento durante os períodos de adversidade, ajudando-me a manter a resiliência em momentos de incerteza.

À minha mãe, para a qual não há palavras suficientes para expressar a minha gratidão. O seu amor incondicional e crença em mim foram os pilares que sustentaram a minha jornada acadêmica. Agradeço do fundo do meu coração todo o seu apoio e por me convencer a seguir em frente nos estudos, mesmo nos momentos mais difíceis.

Agradeço profundamente ao professor José Munõz pela sua valiosa orientação durante a elaboração desta dissertação. Infelizmente, devido a questões burocráticas, não foi possível incluí-lo formalmente como orientador, mas a sua contribuição será sempre reconhecida e lembrada com gratidão.

E ao meu orientador, António Chambel, gostaria de estender um sincero agradecimento pela sua orientação e suporte ao longo deste processo. O seu conhecimento e disponibilidade para ajudar sempre que necessário foram fundamentais para o sucesso deste projeto.

A cada um de vocês, a minha mais profunda gratidão. Este trabalho não é apenas meu, mas também de todos vocês que estiveram ao meu lado nesta jornada. Obrigado por fazerem parte deste momento tão significativo na minha vida.

Resumo

Avaliação da evolução qualitativa das águas subterrâneas em função das alterações de uso do solo e da água na região do Alentejo

A água subterrânea é essencial para a sobrevivência humana, sendo a principal fonte de água doce líquida. Atualmente, enfrenta desafios ao nível da sua gestão devido à sua localização subterrânea e ao contínuo crescimento populacional. Este estudo efetua uma análise parcial nos aquíferos das regiões hidrográficas Tejo e Ribeiras do Oeste, Sado e Mira, e Guadiana, examinando a presença de nitratos, cloretos, condutividade elétrica e fosfatos, tanto nas zonas de rega da barragem do Alqueva como em outras áreas. Os resultados obtidos revelam uma concentração excessiva de nitratos, especialmente em áreas regadas, possivelmente relacionada com o uso impróprio de fertilizantes e produtos químicos. Assim, são necessárias medidas de gestão eficazes para preservar a qualidade das águas subterrâneas diante das alterações no uso do solo e da água na região do Alentejo, com ênfase na utilização sustentável de fertilizantes.

Palavras-chave: Hidrogeologia; Águas subterrâneas; Qualidade; Nitratos.

Abstract

Assessment of the qualitative evolution of groundwater as a result of changes in land and water use in the Alentejo region

Groundwater is essential for human survival, being the primary source of liquid freshwater. Currently, it faces challenges in terms of management due to its underground location and continuous population growth. This study conducts an analysis of the aquifers partially in the hydrographic regions of Tejo and Ribeiras do Oeste, Sado and Mira, and Guadiana, examining the presence of nitrates, chlorides, electrical conductivity, and phosphates, both in the irrigation zones of the Alqueva dam and in other areas. The results obtained reveal an excessive concentration of nitrates, especially in irrigated areas, possibly related to the improper use of fertilizers and chemicals. Thus, effective management measures are necessary to preserve the quality of groundwater in the face of changes in land and water use in the Alentejo region, with an emphasis on the sustainable use of fertilizers.

Keywords: Hydrogeology; Groundwater; Quality; Nitrates.

Índice:

1.	<i>Introdução</i>	1
1.1.	Alterações na Paisagem Alentejana	2
1.2.	Água Subterrânea e a sua contaminação pela Agricultura	3
1.3.	Revisão Bibliográfica	4
2.	<i>Análise exploratória dos Dados</i>	6
3.	<i>Área de Estudo</i>	7
3.1.	Região Hidrográfica 5A	7
3.2.	Região Hidrográfica 6	9
3.3.	Região Hidrográfica 7	11
3.4.	Pormenorização da localização área em estudo	12
4.	<i>Evolução do uso do solo no Alentejo</i>	15
4.1.	Ocupação do Solo em 1995	17
4.2.	Ocupação do Solo em 2007	19
4.3.	Ocupação do Solo em 2010	20
4.4.	Ocupação do Solo em 2015	22
4.5.	Ocupação do Solo em 2018	23
5.	<i>A Barragem do Alqueva e o seu papel na evolução da Ocupação e Uso do Solo</i>	25
6.	<i>Os Contaminantes das Águas Subterrâneas</i>	28
6.1.	Nitratos	28
6.2.	Fosfatos.....	31
6.3.	Cloretos.....	33
6.4.	Condutividade Elétrica.....	35
7.	<i>Evolução da contaminação das águas subterrâneas na área de estudo</i>	37
7.1.	Evolução da contaminação das águas subterrâneas na área de estudo - Nitratos ...	39
7.1.1.	Monitorização da concentração de nitratos em Pontos de Amostragem nas Áreas de Rega do Alqueva	40
7.1.2.	Monitorização da concentração de nitratos em Pontos de Amostragem fora das Áreas de Rega do Alqueva	59
7.1.3.	Análise e Interpretação Comparativa de Resultados	63
7.2.	Evolução da contaminação das águas subterrâneas na área de estudo - Cloretos...66	
7.2.1.	Monitorização da concentração de cloretos em Pontos de Amostragem nas Áreas de Rega do Alqueva	68
7.2.2.	Monitorização da concentração de cloretos em Pontos de Amostragem fora das Áreas de Rega do Alqueva	87
7.2.3.	Análise e Interpretação Comparativa de Resultados	91
8.	<i>Considerações Finais</i>	95
9.	<i>Referências Bibliográficas</i>	98

Índice de Figuras

Figura 1 - Região Hidrográfica 5A.....	8
Figura 2 - Região Hidrográfica 6.....	10
Figura 3 - Região Hidrográfica 7.....	12
Figura 4 – Pontos de Amostragem existentes no território considerado.....	14
Figura 5 - Ocupação do Solo em 1995	18
Figura 6 - Ocupação do Solo em 2007	19
Figura 7 - Ocupação do Solo em 2010	21
Figura 8 - Ocupação do Solo em 2015	22
Figura 9 - Ocupação do Solo em 2018	23
Figura 10 - Localização da albufeira da barragem do Alqueva no território nacional.....	27
Figura 11 - Zonas de Irrigação provenientes da barragem do Alqueva.....	38
Figura 12 - Pontos de Amostragem selecionados para a medição da concentração de nitratos.....	39
Figura 13 - Gráfico referente à evolução da concentração de nitratos no Ponto de Amostragem 472/6.....	41
Figura 14 - Gráfico referente à evolução da concentração de nitratos no Ponto de Amostragem 499/131.....	42
Figura 15 - Gráfico referente à evolução da concentração de nitratos no Ponto de Amostragem 509/17.....	42
Figura 16 - Gráfico referente à evolução da concentração de nitratos no Ponto de Amostragem 509/198.....	43
Figura 17 - Gráfico referente à evolução da concentração de nitratos no Ponto de Amostragem 509/220.....	44
Figura 18 - Gráfico referente à evolução da concentração de nitratos no Ponto de Amostragem 520/14.....	44
Figura 19 - Gráfico referente à evolução de nitratos no Ponto de Amostragem 520/15	45
Figura 20 - Gráfico referente à evolução da concentração de nitratos no Ponto de Amostragem 521/38.....	46
Figura 21 - Gráfico referente à evolução da concentração de nitratos no Ponto de Amostragem 521/44.....	47
Figura 22 - Gráfico referente à evolução da concentração de nitratos no Ponto de Amostragem 521/147.....	47
Figura 23 - Gráfico referente à evolução da concentração de nitratos do Ponto de Amostragem 521/163.....	48
Figura 24 - Gráfico referente à evolução da concentração de nitratos no Ponto de Amostragem 521/221.....	49
Figura 25 - Gráfico referente à evolução da concentração de nitratos no Ponto de Amostragem 521/222.....	50
Figura 26 - Gráfico referente à evolução da concentração de nitratos no Ponto de Amostragem 521/264.....	51
Figura 27 - Gráfico referente à evolução da concentração de nitratos no Ponto de Amostragem 521/284.....	52
Figura 28 - Gráfico referente à evolução da concentração de nitratos no Ponto de Amostragem 522/117.....	53
Figura 29 - Gráfico referente à evolução da concentração de nitratos no Ponto de Amostragem 522/165.....	54
Figura 30 - Gráfico referente à evolução da concentração de nitratos no Ponto de Amostragem 522/169.....	54

Figura 31 - Gráfico referente à evolução da concentração de nitratos no Ponto de Amostragem 522/204.....	55
Figura 32 - Gráfico referente à evolução da concentração de nitratos no Ponto de Amostragem 532/11.....	56
Figura 33 - Gráfico referente à evolução da concentração de nitratos no Ponto de Amostragem 532/38.....	57
Figura 34 - Gráfico referente à evolução da concentração de nitratos no Ponto de Amostragem 532/98.....	57
Figura 35 - Gráfico referente à evolução da concentração de nitratos no Ponto de Amostragem 532/136.....	58
Figura 36 - Gráfico referente à evolução da concentração de nitratos no Ponto de Amostragem 532/153.....	59
Figura 37 - Gráfico referente à evolução da concentração de nitratos no Ponto de Amostragem 372/44.....	60
Figura 38 - Gráfico referente à evolução da concentração de nitratos no Ponto de Amostragem 476/14.....	61
Figura 39 - Gráfico referente à evolução da concentração de nitratos no Ponto de Amostragem 535/20.....	61
Figura 40 - Gráfico referente à evolução da concentração de nitratos no Ponto de Amostragem 572/16.....	62
Figura 41 - Gráfico referente à evolução da concentração de nitratos no Ponto de Amostragem 591/43.....	63
Figura 42 – Classificação dos Pontos de Amostragem tendo em conta os valores médios da concentração de nitratos.....	64
Figura 43 - Evolução da concentração de nitratos nos Pontos de Amostragem ao longo do período analisado.....	66
Figura 44 - Pontos de Amostragem selecionados para medição da concentração de cloretos..	67
Figura 45 - Gráfico referente à concentração de cloretos no Ponto de Amostragem 472/6.....	69
Figura 46 - Gráfico referente à concentração de cloretos no Ponto de Amostragem 499/131..	70
Figura 47 - Gráfico referente à concentração de cloretos no Ponto de Amostragem 509/17....	71
Figura 48 - Gráfico referente à concentração de cloretos no Ponto de Amostragem 509/198..	71
Figura 49 - Gráfico referente à concentração de cloretos no Ponto de Amostragem 509/220..	72
Figura 50 - Gráfico referente à concentração de cloretos no Ponto de Amostragem 520/14....	73
Figura 51 - Gráfico referente à concentração de cloretos no Ponto de Amostragem 520/15....	73
Figura 52 - Gráfico referente à concentração de cloretos no Ponto de Amostragem 521/44....	74
Figura 53 - Gráfico referente à concentração de cloretos no Ponto de Amostragem 521/147..	75
Figura 54 - Gráfico referente à concentração de cloretos no Ponto de Amostragem 521/163..	76
Figura 55 - Gráfico referente à concentração de cloretos no Ponto de Amostragem 521/221..	77
Figura 56 - Gráfico referente à concentração de cloretos no Ponto de Amostragem 521/222..	77
Figura 57 - Gráfico referente à concentração de cloretos no Ponto de Amostragem 521/264..	78
Figura 58 - Gráfico referente à concentração de cloretos no Ponto de Amostragem 521/284..	79
Figura 59 - Gráfico referente à concentração de cloretos no Ponto de Amostragem 522/54....	79
Figura 60 - Gráfico referente à concentração de cloretos no Ponto de Amostragem 522/117..	80
Figura 61 - Gráfico referente à concentração de cloretos no Ponto de Amostragem 522/165..	81
Figura 62 - Gráfico referente à concentração de cloretos no Ponto de Amostragem 522/169..	82
Figura 63 - Gráfico referente à concentração de cloretos no Ponto de Amostragem 522/204..	83
Figura 64 - Gráfico referente à concentração de cloretos no Ponto de Amostragem 532/11....	84
Figura 65 - Gráfico referente à concentração de cloretos no Ponto de Amostragem 532/38....	84
Figura 66 - Gráfico referente à concentração de cloretos no Ponto de Amostragem 532/98....	85
Figura 67 - Gráfico referente à concentração de cloretos no Ponto de Amostragem 532/136..	86
Figura 68 - Gráfico referente à concentração de cloretos no Ponto de Amostragem 532/153..	86

Figura 69 - Gráfico referente à concentração de cloretos no Ponto de Amostragem 372/44....	88
Figura 70 - Gráfico referente à concentração de cloretos no Ponto de Amostragem 476/14....	88
Figura 71 - Gráfico referente à concentração de cloretos no Ponto de Amostragem 535/20....	89
Figura 72 - Gráfico referente à concentração de cloretos no Ponto de Amostragem 572/16....	90
Figura 73 - Gráfico referente à concentração de cloretos no Ponto de Amostragem 591/43....	90
Figura 74 - Classificação dos Pontos de Amostragem tendo em conta os valores médios da concentração de cloretos.....	92
Figura 75 - Evolução da concentração de cloretos nos Pontos de Amostragem ao longo do período analisado.....	94

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Aquíferos presentes na área em estudo	13
Tabela 2 - Área ocupada pelas diferentes classes de ocupação do solo em 1995	18
Tabela 3 - Área ocupada pelas diferentes classes de ocupação do solo em 2007	20
Tabela 4 - Área ocupada pelas diferentes classes de ocupação do solo em 2010	21
Tabela 5 - Área ocupada pelas diferentes classes de ocupação do solo em 2015	23
Tabela 6 - Área ocupada pelas diferentes classes de ocupação do solo em 2018	24
Tabela 7 – Pontos de Amostragem dentro das áreas de rega selecionados para a medição da concentração de nitratos	40
Tabela 8 – Pontos de Amostragem fora das áreas de rega selecionados para a medição da concentração de nitratos	59
Tabela 9 – Valores médios de concentração de nitratos dos Pontos de Amostragem dentro das áreas de rega	65
Tabela 10 - Valores médios de concentração de nitratos dos Pontos de Amostragem fora das áreas de rega	65
Tabela 11 - Pontos de Amostragem dentro das áreas de rega selecionados para a medição da concentração de cloretos	68
Tabela 12 - Pontos de Amostragem fora das áreas de rega selecionados para a medição da concentração de cloretos	87
Tabela 13 - Valores médios de concentração de cloretos dos Pontos de Amostragem dentro das áreas de rega	93
Tabela 14 - Valores médios de concentração de cloretos dos Pontos de Amostragem fora das áreas de rega	93

Lista de Siglas

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

APDA – Associação Portuguesa de Distribuição e Drenagem de Águas

COS – Carta de Ocupação do Solo

EAS – European Aquaculture Society

EDIA – Empresa de Desenvolvimento e Infraestruturas do Alqueva

EFMA – Empreendimento de Fins Múltiplos de Alqueva

EIA – Estudo de Impacte Ambiental

EPA – Environmental Protection Agency

FAO – Food and Agriculture Organization

RH – Região Hidrográfica

WHO – World Health Organization

ZOM – Zona de Ossa Morena

ZSP – Zona Sul-Portuguesa

ZCI – Zona Centro Ibérica

Lista de Símbolos

% – Percentagem

°C – Grau Celsius

CaCl₂ – Cloreto de Cálcio

Cl⁻ – Cloretos

KCl – Cloreto de Potássio

Km – Quilómetro

km/h – Quilómetro por hora

km² – Quilómetro quadrado

m – Metros

m³ – Metro cúbico

mg-P/l – Miligramas de fósforo por litro

mg/l – Miligrama por litro

mmhos/cm – Milimhos por centímetro

mm – Milímetros

mS/cm – Milisiemens por centímetro

N – Nitrogénio

N₂ – Azoto molecular

N₂O – Óxido nitroso

Na⁺ – Sódio

NaCl – Cloreto de Sódio

NH₃ – Amoníaco

NH₄⁺ – Amónio

NO – Monóxido de azoto

NO₂⁻ – Nitrito

NO₃⁻ – Nitratos

P – Fósforo

PO₄⁻ – Fosfato

ppm – Partes por milhão

S/m – Siemens por metro

umhos/cm – Micromhos por centímetro

uS/cm – Microsiemens por centímetro

1. Introdução

O propósito da presente dissertação consiste em examinar as modificações ocorridas no uso e na ocupação do solo na região alentejana, antes e depois do início da plantação de extensas áreas de cultivo arbóreo intensivo e superintensivo. Estas plantações têm vindo a provocar alterações significativas na paisagem, principalmente após a construção da barragem do Alqueva. Mais especificamente, os objetivos deste estudo consistem em:

- Identificar as mudanças ocorridas no uso do solo e da água no território do Alentejo entre o final do século XX e todo o século XXI, com ênfase nos últimos 25 anos;
- Identificar as diferentes tipologias de uso do solo nas diferentes regiões do Alentejo, por meio de um mosaico de ocupação cultural;
- Investigar a evolução dos parâmetros físico-químicos ao longo deste período, com atenção especial para os contaminantes agrícolas, sendo dada uma especial atenção aos nitratos;
- Analisar o impacto das mudanças no uso do solo, como as culturas intensivas, e das mudanças no uso da água, como a infraestrutura de Alqueva na qualidade da água subterrânea no Alentejo.

A especial atenção dada aos nitratos (NO_3^-) deve-se ao facto de estes serem o contaminante mais comum encontrado nas águas. São provenientes de atividades agrícolas, de áreas de deposição ou passagem de resíduos orgânicos na superfície ou sob o solo, e afeta as águas subterrâneas em praticamente todo o mundo. Embora o nitrato esteja naturalmente presente nas águas subterrâneas, a sua concentração normalmente não ultrapassa os 2-3 mg/l. Quando os valores ultrapassam esse limite, pode estar-se na presença de contaminação (Chambel, 2018).

Além dos nitratos, esta investigação também terá em consideração os Cloretos, os Fosfatos e a Condutividade Elétrica. Os Cloretos (Cl^-) são iões que se encontram em quase todas as águas naturais, geralmente associados ao sódio. São altamente solúveis, higroscópicos e estáveis em solução, raramente formam precipitados. Devido à sua alta solubilidade e ao movimento lento das águas subterrâneas, a concentração de Cloretos aumenta gradualmente das áreas de recarga para as áreas de descarga. Normalmente, as águas subterrâneas apresentam concentrações de Cloretos inferiores a 100 mg/l (Silva & Migliorini, 2014). Os Fosfatos são compostos essenciais para todas as formas de vida, mas em concentrações elevadas são prejudiciais, pois promovem a eutrofização, ou seja, o crescimento excessivo de

algas e bactérias heterotróficas que alteram as características físico-químicas da água, reduzindo a quantidade de oxigênio dissolvido e precipitando metais pesados, como o ferro. De acordo com a norma holandesa, a concentração de Fosfatos na água subterrânea não deve exceder 0,05 mg-P/l para evitar problemas ao nível da contaminação das águas (Foppa et al., 2004). A Condutividade Elétrica é uma medida da capacidade de uma solução aquosa conduzir corrente elétrica, expressa em unidades de S/m, ou, mais comumente, mS/cm, e está indiretamente relacionada com a quantidade de iões dissociados presentes na água, sejam naturais, sejam provenientes do uso de fertilizantes para a formação da solução nutritiva (GroHo, n.d.).

1.1. Alterações na Paisagem Alentejana

Durante milénios, a relação entre a humanidade e o ambiente natural tem sido evidenciada pelo uso e ocupação da superfície terrestre, o que tem resultado na configuração adaptativa da paisagem (Arvela, 2013). Nos dias que correm, a crescente procura de recursos em todo o mundo tem acelerado a dinâmica de mudanças na ocupação do solo, influenciada por fatores ambientais, económicos, sociais e institucionais que são propícios a essas transformações (Batista, 2009).

Nos últimos anos, as alterações mais notáveis e recentes na paisagem portuguesa têm sido associadas à expansão das áreas urbanas, à construção de grandes infraestruturas, ao abandono de extensas áreas agrícolas e ao aumento da intensificação agrícola, frequentemente com o uso de rega (Cancela et al., 2004).

A região alentejana, caracterizada pela sua vastidão e aridez, era dominada pela presença de culturas agrícolas de sequeiro e pela existência do ecossistema silvo-pastoril conhecido como Montado, fatores estes que são distintivos da sua identidade.

Em comparação com a região norte do país, as diferenças produtivas são evidentes, e isso levou a diversas reformas agrárias ao longo dos séculos XIX e XX. Estas reformas incluíram a implementação de extensas plantações de trigo e outras culturas de sequeiro sob a orientação dos governos da monarquia constitucional e das duas primeiras repúblicas, com o objetivo de combater a ideia de improdutividade associada à região devido à grande quantidade de terras não cultivadas presentes (Sanches, 2007).

A paisagem da região alentejana tem sido sujeita a mudanças constantes, sendo que nas últimas décadas, a construção da barragem do Alqueva tem sido a principal causa destas alterações (Azoia, 2021). A disponibilidade de água proveniente desta barragem permitiu o aumento notável das áreas dedicadas à prática de culturas intensivas, constituindo assim a principal causa das mudanças na paisagem. Para além disto, o turismo fomentado pela infraestrutura da barragem contribui também para as alterações da paisagem, apesar de não terem sido considerados de grande relevância durante o Estudo de Impacte Ambiental (EIA) do Empreendimento de Fins Múltiplos de Alqueva (EFMA). As mudanças na ocupação e uso do solo podem ter várias implicações, incluindo problemas de erosão do solo e o risco de maior assoreamento da albufeira da barragem (Arvela, 2013).

1.2. Água Subterrânea e a sua contaminação pela Agricultura

De acordo com Chambel (2012), a água é uma substância que está presente em diferentes meios naturais, como a atmosfera, o solo, rios, lagos, mares, oceanos e também no interior do planeta. Esses diversos meios estão interconectados através do ciclo hidrológico, fazendo com que a mesma água circule por eles e seja utilizada pelos seres vivos.

A água subterrânea é um dos principais reservatórios de água doce líquida disponível no planeta, correspondendo a cerca de 97% a 98% desse recurso. Embora seja essencial para a sobrevivência humana, a sua gestão e avaliação são desafiantes devido à sua localização subterrânea. A evaporação a partir dos oceanos é importante para a purificação da água, sendo responsável pelo processo de dessalinização natural da água dos oceanos, o que sustenta a biodiversidade nos continentes. A compreensão e gestão adequadas da água subterrânea são fundamentais para garantir a sustentabilidade dos ecossistemas e o acesso à água potável para as populações humanas.

Em Portugal, calcula-se que cerca de 80% da água subterrânea extraída se destina à agricultura, tornando-a a principal causa dos riscos de sobre-exploração deste recurso. A utilização de água subterrânea na agricultura é comum em áreas onde os recursos hídricos de superfície não estão disponíveis ou são pouco acessíveis, sendo uma prática generalizada em todo o território português. A sua produtividade varia de acordo com as características dos aquíferos, quantidade e localização das captações (Chambel, 2018).

A agricultura é a atividade humana que mais influencia a qualidade geral das águas subterrâneas. O uso de fertilizantes e pesticidas e o armazenamento ou dispersão de resíduos de animais ou plantas no solo são as principais atividades que podem causar degradação da qualidade dos recursos hídricos subterrâneos. Contudo, é possível afirmar que os efeitos mais significativos surgem da aplicação de fertilizantes inorgânicos ou orgânicos (Chambel, 2018).

1.3. Revisão Bibliográfica

Esta pesquisa não pode ser considerada pioneira, uma vez que diversos estudos já foram realizados sobre o mesmo tópico ou sobre tópicos semelhantes, contudo com algumas diferenças ao nível de metodologias.

Dentre eles, é possível destacar o artigo *Avaliação da qualidade da água subterrânea e Mobilização Social: Em busca da gestão participativa do uso da água (Praia de Taquaras, Balneário Camboriú/SC)*, conduzida por Foppa et al. (2004), que apresenta uma análise científica abrangente sobre a contaminação da água subterrânea resultante da expansão das infraestruturas rodoviárias, destacando os principais contaminantes, como a condutividade elétrica, nitratos e cloretos. O estudo inova ao incorporar a participação ativa da comunidade local na busca por medidas que reduzam a contaminação dos aquíferos. A metodologia empregue é baseada na utilização de mapas para quantificar a presença dos contaminantes, tornando-se uma abordagem eficiente e comparável com o presente estudo.

O capítulo intitulado *Águas Subterrâneas e Agricultura*, escrito por António Chambel (2018), que faz parte do livro *Hidrologia Agrícola* de Shahidian et al. (2017), aborda minuciosamente a contaminação das águas subterrâneas proveniente das atividades agrícolas, que desempenham um papel preponderante na região alentejana, a qual abrange grande parte da área em estudo. O foco deste estudo é a contaminação por nitratos, tornando-se assim relevante para a investigação.

O estudo *Influence of different land uses on groundwater quality in southern Portugal*, realizado por Penha et al. (2016), concentra-se nas diversas formas em que diferentes parâmetros influenciam a qualidade da água subterrânea. A pesquisa conclui que as medidas de mitigação devem ter em conta os elementos presentes no local, devido às diversas interações. Os parâmetros considerados foram condutividade elétrica, cálcio, potássio, sulfato e fosfato,

com o objetivo de identificar suas distribuições nos aquíferos estudados. A coincidência de alguns parâmetros com a presente investigação torna este artigo uma contribuição valiosa.

O artigo *Correlação entre uso da terra e qualidade da água subterrânea* de Menezes et al. (2014), em conjunto com o estudo *Groundwater quality in rural watersheds with environmental land use conflicts* de Junior et al. (2014), demonstram a relação existente entre o uso da terra e a qualidade da água subterrânea, especialmente em relação ao aumento da concentração de certos elementos nas massas de água. Essa correlação alinha-se com o objetivo da presente investigação. A coincidência de parâmetros analisados em ambas as pesquisas reforça a relevância desses artigos como fontes complementares de informação.

O estudo *Groundwater quality in rural watersheds with environmental land use conflicts* de Junior et al. (2014) destaca a importância fundamental da ocupação do solo na composição da água subterrânea em termos de elementos constituintes, como nitratos e cloretos, que também são abordados na presente pesquisa. Esse artigo constitui uma valiosa fonte de informação, confirmando a influência das classes de uso e ocupação do solo na contaminação dos aquíferos.

De modo geral, pode-se afirmar que essas fontes de informação revelaram-se extremamente valiosas no âmbito da recolha de dados sobre o impacto da ocupação e uso do solo na contaminação das águas subterrâneas, com especial ênfase nas atividades agrícolas. Além disso, tais fontes demonstraram ser altamente benéficas ao explorar uma metodologia que possibilitou a análise das diversas abordagens empregues em estudos desta natureza, permitindo considerar a sua adaptação para complementar as conclusões obtidas. Essa ampla gama de informações obtidas através destas fontes, em conjunto com uma abordagem metodológica sólida, proporcionou uma base substancial para o entendimento dos efeitos das atividades humanas no contexto da contaminação das águas subterrâneas.

2. Análise exploratória dos Dados

Foi obtido um conjunto de dados fornecidos pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA). Esses dados incluíam informações como os locais de amostragem, as massas de água subterrâneas, costeiras e superficiais, bem como os dados de qualidade da água, incluindo os parâmetros relevantes para a presente investigação. Conseguiram-se ainda dados referentes às zonas de rega pertencentes à barragem do Alqueva, o que viria a facilitar a seleção dos pontos onde eram realizadas as coletas de dados.

Após a obtenção desses dados, entrei em contato com a Engenheira Alice Fialho e, numa reunião com ela, esclareci algumas dúvidas que tinha sobre os dados, permitindo-me direcionar a investigação. Especificamente, após essa reunião, decidi, em conjunto com o professor António Chambel utilizar os locais de amostragem, as massas de água subterrâneas e os dados de qualidade da água como base para a investigação. Essa seleção foi feita com base no objetivo da investigação, que consiste em examinar as alterações que o uso e ocupação do solo na região alentejana tiveram na qualidade das águas subterrâneas

Através do professor José Munõz, também foram fornecidos dados sobre a ocupação do solo (COS) no nosso país nos anos de 1995, 2007, 2010, 2015 e 2018, pelo professor Nuno Guiomar, que permitiram observar as alterações ocorridas no período considerado na área em estudo.

Através da aplicação dos dados mencionados anteriormente, juntamente com informações obtidas em artigos científicos, dissertações, depoimentos de especialistas e outros documentos relevantes, foi possível obter de maneira explícita os resultados que permitiram alcançar as conclusões almejadas.

3. Área de Estudo

A área de estudo é predominantemente focada na região do Alentejo. Mais especificamente, os aquíferos estudados estão localizados nas regiões hidrográficas 5A, 6 e 7, correspondendo às regiões hidrográficas Tejo e Ribeiras do Oeste, Sado e Mira, e Guadiana, respetivamente.

Nos próximos capítulos, serão apresentadas informações abrangentes sobre cada uma das áreas hidrográficas investigadas, juntamente com suas devidas caracterizações. Adicionalmente, serão providenciadas várias figuras, as quais delineiam a distribuição e extensão dos distintos aquíferos analisados, segregados de acordo com as respetivas regiões hidrográficas a que pertencem.

3.1. Região Hidrográfica 5A

Segundo a Instituto da Água (2016), a Região Hidrográfica do Tejo e Ribeiras do Oeste (RH5) corresponde a uma região hidrográfica internacional localizada em Portugal, com uma área total de 30.502 km². Abrange a bacia hidrográfica do rio Tejo, a bacia hidrográfica das Ribeiras do Oeste e as bacias hidrográficas das ribeiras de costa, incluindo águas subterrâneas e águas costeiras adjacentes. A RH5 engloba 103 concelhos, dos quais 73 estão completamente situados dentro da região hidrográfica e 30 estão parcialmente abrangidos.

O rio Tejo, com um comprimento de 1.100 km, nasce na Serra de Albarracín, em Espanha, a cerca de 1.600 metros de altitude, dos quais 230 km percorrem território português, e possui um trecho internacional de 43 km. Os seus principais afluentes em território espanhol são os rios Jarama, Alberche, Tietar e Alagon na margem direita, e Guadiela e Almonte na margem esquerda. Em Portugal, são os rios Erges, Pônsul, Ocreza, Zêzere, Sever e Sorraia, destacando-se especialmente o rio Zêzere e o rio Sorraia, que representam cerca de 50% da área da bacia portuguesa.

A bacia hidrográfica das Ribeiras do Oeste compreende as pequenas bacias ao longo da costa atlântica, abrangendo desde a Nazaré, no norte, até à foz do rio Tejo, a sul. Com uma área de 2.125 km² abriga treze ribeiras principais e pequenos rios. A região apresenta diferentes padrões climáticos, com a zona norte sendo a mais húmida e a zona sul, incluindo a bacia do rio Pônsul, apresentando um clima sub-húmido a húmido.

Do ponto de vista geológico, a bacia hidrográfica do Tejo é composta por três unidades distintas: o Maciço Antigo ou Hespérico, a Orla Meso-Cenozóica Ocidental e a Bacia Terciária do Baixo Tejo, cada uma com características hidrogeológicas e geomorfológicas específicas.

Ambas as regiões hidrográficas são de grande relevância ecológica, com diversos ecossistemas dulçaquícolas naturais e riqueza faunística e florística, destacando-se especialmente a importância do estuário do Tejo. A precipitação média anual na bacia hidrográfica do Tejo é de cerca de 870 mm, variando de 2.000 mm a sul do rio Tejo até 600 mm em algumas áreas da Beira Baixa. Na bacia hidrográfica das Ribeiras do Oeste, a precipitação anual mais frequente concentra-se entre 600 mm e 1.100 mm.

Essas regiões possuem uma diversidade geológica e climática que influencia a distribuição da água, a flora, a fauna e a paisagem, tornando-as importantes para a conservação e gestão ambiental.

A seguir será apresentada a Figura 1, a qual representa o mapa da região hidrográfica 5A. É importante realçar que, embora tenha sido descrita integralmente anteriormente, no mapa serão incluídos apenas os aquíferos que serão objeto de estudo.

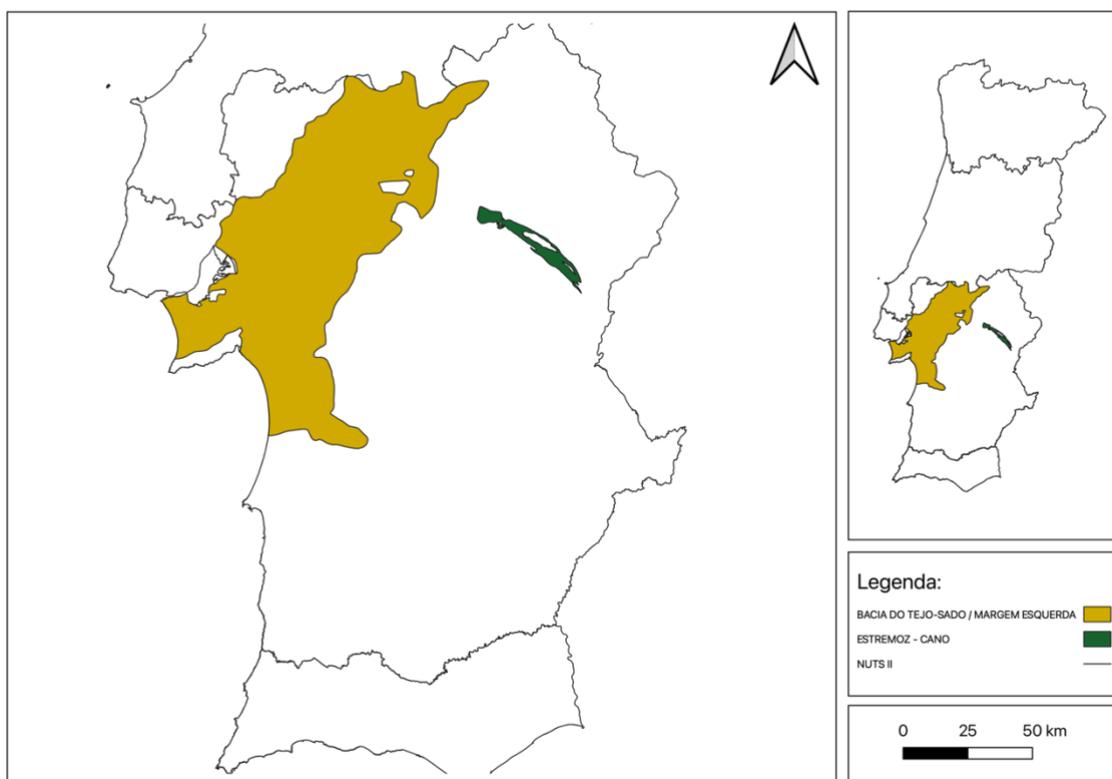


Figura 1 - Região Hidrográfica 5A

3.2. Região Hidrográfica 6

Segundo o relatório elaborado pelo Instituto da Água (2012), a Região Hidrográfica 6 (RH6) abrange as bacias dos rios Sado e Mira, juntamente com as ribeiras adjacentes nas costas Alentejana e Algarvia, incluindo águas subterrâneas e águas costeiras. A área total é de 12.149 km², abrangendo totalmente sete concelhos e parcialmente dezoito.

O rio Sado nasce na serra da Vigia, a 230 m de altitude, percorrendo 180 km até a sua foz no oceano Atlântico, próxima de Setúbal. A sua bacia hidrográfica possui uma área de 7.692 km², com 649 km² correspondentes aos cursos de água da plataforma litoral. Esta é a maior bacia hidrográfica inteiramente portuguesa, limitada ao norte pela bacia do Tejo, a leste pela bacia do Guadiana, ao sul pelas bacias das ribeiras do Algarve e a oeste por uma faixa costeira que drena diretamente para o mar.

O rio Mira, por sua vez, nasce na serra do Caldeirão, a cerca de 470 m de altitude, e percorre aproximadamente 130 km até desaguar no oceano Atlântico, próximo a Vila Nova de Milfontes. A bacia hidrográfica do rio Mira abrange uma área de 1.581 km², sendo 184 km² correspondentes aos cursos de água da plataforma litoral. A bacia do Mira é limitada a norte pela bacia do rio Sado, a leste pela bacia do Guadiana, a sul pelas bacias das ribeiras do Algarve e a oeste por uma faixa costeira que drena diretamente para o mar.

A RH6 apresenta um clima temperado, com inverno chuvoso e verão seco. A temperatura média anual varia entre 10,2 °C a 22,5 °C, com uma média de 15,8 °C. A humidade relativa do ar varia de 65,4% a 89,2%, sendo mais baixa nos meses de julho e agosto e mais elevada nos meses de dezembro e janeiro. A velocidade média do vento varia de 4,2 km/h a 15,7 km/h.

A precipitação é muito irregular ao longo do ano, variando de quase nula em julho e agosto a 40% da precipitação média anual em dezembro e janeiro. O semestre húmido (outubro a março) representa cerca de 86% da precipitação média anual, enquanto o semestre seco compreende os restantes 14%. A evapotranspiração é mais elevada ao longo do vale do rio Sado, na zona do estuário do Sado e na bacia das ribeiras costeiras entre o Mira e o Barlavento.

A região possui terrenos pertencentes a três grandes unidades geológicas: o Maciço Hespérico ou Antigo, a Orla Mesocenozóica Ocidental ou Bacia Lusitaniana e a Bacia Cenozóica do Sado, cada uma com características geológicas e estruturais distintas.

Em termos de morfologia, a RH6 é caracterizada pelo predomínio de relevo suave e pouco acidentado, com a maioria da área apresentando altitudes inferiores a 200 metros e declives inferiores a 8%. As cotas mais altas e declives mais acentuados estão associados fundamentalmente às principais serras da região, como a Serra da Arrábida e a Serra de Grândola.

A seguir será apresentada a Figura 2, onde está ilustrado o mapa onde estão incluídos os aquíferos em estudo na região hidrográfica 6.

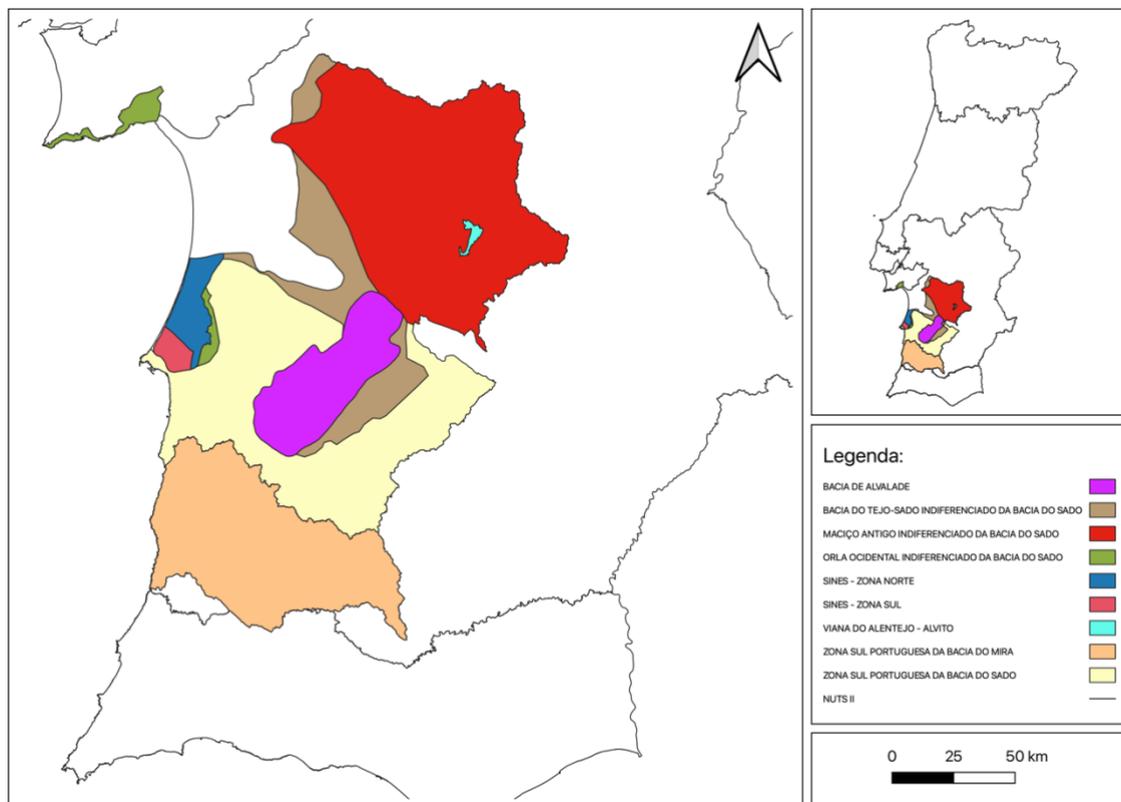


Figura 2 - Região Hidrográfica 6

3.3. Região Hidrográfica 7

Segundo o relatório elaborado pelo Instituto da Água (2012), a Região Hidrográfica 7 (RH7) abrange a bacia hidrográfica do rio Guadiana, localizada em território português, e as bacias das ribeiras da costa, incluindo águas subterrâneas e águas costeiras adjacentes, numa área total de 11.611 km².

O rio Guadiana nasce nas lagoas de Ruidera, em Espanha, a 1.700 metros de altitude, e percorre 810 km até desaguar no oceano Atlântico, próximo a Vila Real de Santo António. Em Portugal, o rio tem um desenvolvimento total de 260 km, com 110 km delimitando a fronteira. Uma característica peculiar deste rio é a sua rede hidrográfica muito densa, apresentando formas retilíneas ou complexas com vales encaixados.

A temperatura média anual ponderada na RH7 varia entre 9,1 °C, em janeiro, e 24,4 °C, em julho. Anualmente, a temperatura varia entre 10,3 °C e 22,4 °C, com uma média de 16,3 °C. A humidade relativa do ar varia de 59,2% a 88,5%, sendo mais baixa nos meses de julho e agosto e mais elevada nos meses de dezembro e janeiro. A velocidade média do vento varia anualmente entre 0,0 km/h e 13,8 km/h, com uma média de 8,2 km/h.

A precipitação mensal ao longo do ano é muito irregular, variando de quase nula em julho e agosto a 29% da precipitação média anual nos meses mais chuvosos de dezembro e janeiro. O semestre húmido (outubro a março) representa cerca de 76% da precipitação média anual, enquanto o semestre seco compreende os restantes 24%. A precipitação média anual varia de 436 mm em anos secos a 729,5 mm em anos húmidos.

A evapotranspiração potencial média ponderada varia entre 18,9 mm em janeiro e 147,2 mm em julho. Anualmente, a evapotranspiração potencial varia entre 758,1 mm e 956,3 mm, com uma média de 835,3 mm.

As unidades geológicas presentes na RH7 são o Maciço Hespérico ou Antigo, que inclui as zonas de Ossa Morena (ZOM), Sul-Portuguesa (ZSP) e Centro Ibérica (ZCI), e a Orla Mesocenozóica Meridional ou Algarvia. As principais formações geológicas aflorantes são de natureza metamórfica (70,6%) e ígnea (15,6%), com algumas rochas sedimentares detríticas e carbonatadas.

A morfologia da região é marcada pelo contraste entre relevo suave a ondulado, com 59% da RH7 apresentando declives inferiores a 8%, e declives mais acentuados associados à tectónica e erosão seletiva (19% com declives superiores a 16%). As cotas mais altas estão associadas às principais serras da região.

Em seguida será apresentada a Figura 3, onde estará exposto o mapa onde estão incluídos os aquíferos em estudo na região hidrográfica 7.

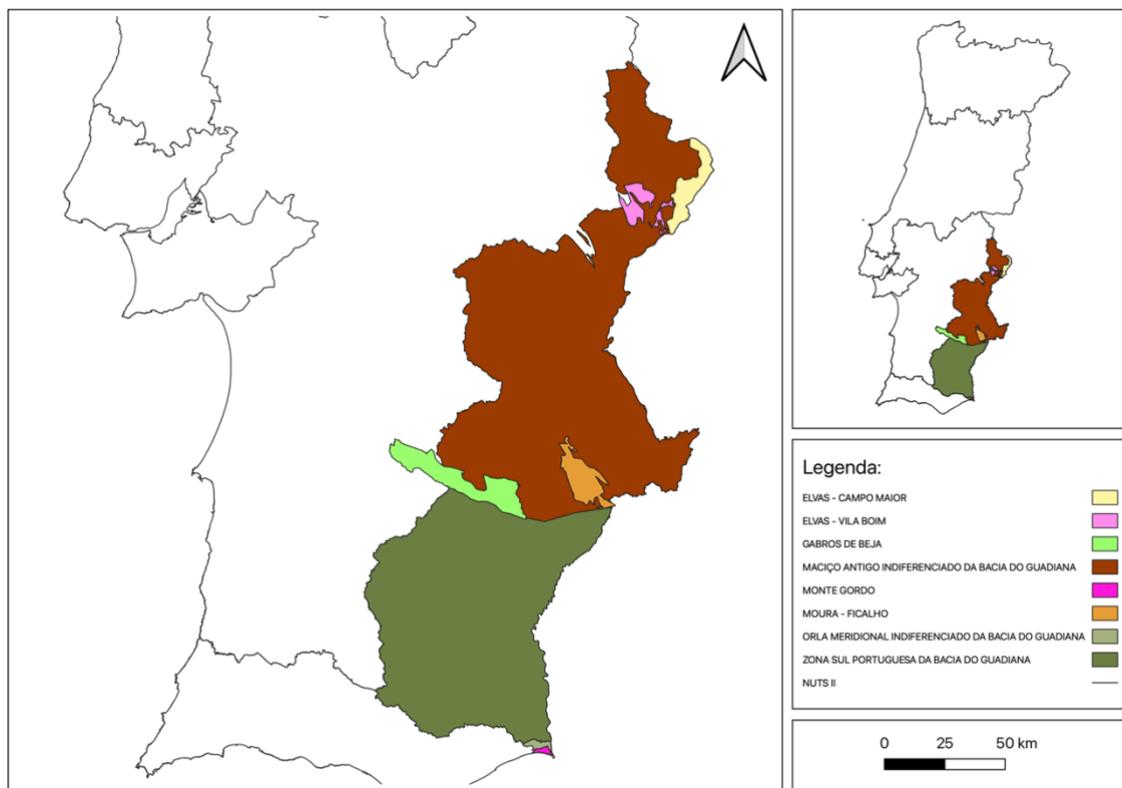


Figura 3 - Região Hidrográfica 7

3.4. Pormenorização da localização área em estudo

Com o intuito de alcançar uma compreensão mais aprofundada da região sob investigação, procederemos à apresentação dos dezanove aquíferos que se encontram contidos na área de estudo e que serão submetidos a análise subsequente. Os dados serão devidamente organizados em formato tabular (Tab. 1), de forma a facilitar a sua compreensão.

Tabela 1 - Aquíferos presentes na área em estudo

Nome do Aquífero	Área Total (Km ²)	Região Hidrográfica
Bacia do Tejo-Sado/Margem Esquerda	6875,54124925	Ptrh5a
Estremoz – Cano	202,11136338	Ptrh5a
Maciço antigo indiferenciado da Bacia do Sado	2711,25214834	Ptrh6
Zona Sul portuguesa da Bacia do Sado	2112,94037422	Ptrh6
Zona sul portuguesa da Bacia do Mira	1727,38658604	Ptrh6
Bacia do Tejo – Sado indiferenciada da Bacia do Sado	754,85851977	Ptrh6
Bacia de Alvalade	701,5323500999999	Ptrh6
Sines – Zona Norte	183,31530091000002	Ptrh6
Orla Ocidental indiferenciada da Bacia do Sado	126,43595546	Ptrh6
Sines – Zona Sul	66,92690345	Ptrh6
Viana do Alentejo – Alvito	18,42068488	Ptrh6
Maciço Antigo indiferenciado da Bacia do Guadiana	6268,05419588	Ptrh7
Zona Sul portuguesa da Bacia do Guadiana	4583,23078594	Ptrh7
Gabros de Beja	347,41447085	Ptrh7
Moura – Ficalho	185,84355535	Ptrh7
Elvas – Campo Maior	176,12928603	Ptrh7
Elvas – Vila Boim	113,23085303	Ptrh7
Orla Meridional indiferenciada da Bacia do Guadiana	22,533126380000002	Ptrh7
Monte Gordo	9,61624683	Ptrh7

Dentro destes aquíferos existe uma rede de piezómetros, onde são medidos diversos parâmetros, entre os quais os que nos interessam. É ainda importante destacar que alguns desses pontos de amostragem estão atualmente inativos, no entanto, os dados previamente obtidos continuam a ser de grande importância para a investigação.

A imagem da figura 4 ilustra a distribuição dos diferentes pontos ao longo do território considerado.

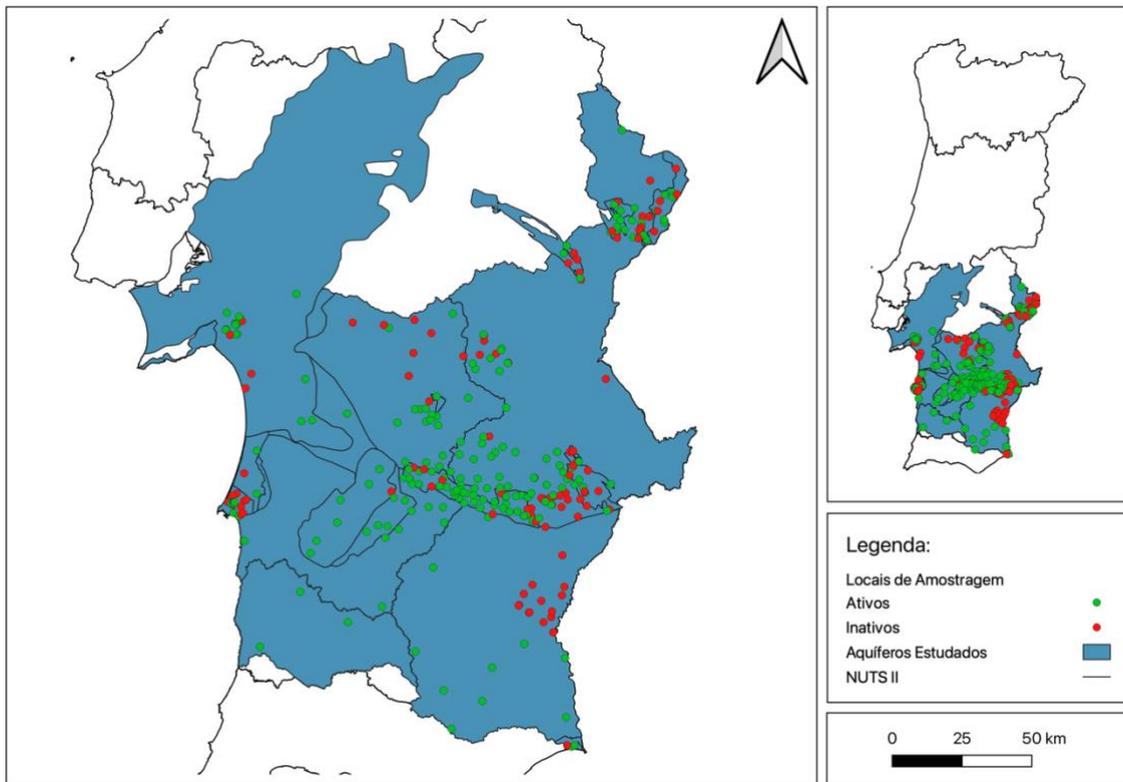


Figura 4 – Pontos de Amostragem existentes no território considerado

4. Evolução do uso do solo no Alentejo

De maneira geral, o termo “alteração de uso do solo” refere-se às mudanças na superfície terrestre causadas pela atividade humana, envolvendo a modificação, transformação ou substituição do uso do solo, bem como a relação do ser humano com a terra por meio do seu uso e fruição. Atualmente, essas alterações são um processo complexo resultante da interação de vários fatores, tais como demográficos, económicos, tecnológicos, institucionais e culturais, que desempenham um papel fundamental como forças motrizes por trás das mudanças observadas na superfície terrestre (Arvela, 2013).

O Alentejo apresenta características diferenciadas dos restantes territórios nacionais, como um clima quente e seco e solos pobres em nutrientes. O uso do solo e da água nesta região foi moldado ao longo dos séculos através da intervenção humana, resultando em impactes significativos no meio ambiente e nas atividades económicas. A atividade agrícola tem sido a principal responsável pela alteração da paisagem do Alentejo, sendo esta uma região predominantemente rural (Azoia, 2021).

A história da agricultura pode ser traçada desde a prática ancestral de nomadismo pastoril e protocultura até a agricultura itinerante com queima e pousio florestal. Entretanto, a agricultura moderna teve origem na Revolução Agrícola que ocorreu nos últimos dois séculos, e é marcada por técnicas e práticas científicas e tecnológicas avançadas (Cavaco, 2005).

As primeiras intervenções humanas na paisagem podem ser rastreadas até às primeiras queimadas realizadas pelo homem em áreas predominantemente florestais. No território em questão, a vegetação era principalmente *Quercetum perenifólio*, que se adaptou à forma de chaparral para resistir aos efeitos do fogo e do pastoreio. A preservação dos embriões dos primeiros montados foi promovida pela utilização da bolota da azinheira e do sobreiro, que se tornaram um traço característico da paisagem mediterrânica portuguesa. No entanto, as atividades antrópicas, em especial as atividades agrícolas, aceleraram as mudanças na paisagem. A chegada de novas culturas e técnicas agrícolas, trazidas por novos povos, ocupou nichos agrícolas já existentes e acentuou ainda mais as transformações na paisagem. As mudanças mais significativas ocorreram após a Revolução Industrial, no século XIX (Azoia, 2021).

No final do século XIX, o Alentejo experienciou um desenvolvimento na agricultura comercial, em contraste com a agricultura de subsistência que predominava em grande parte de Portugal na época. Isso foi viabilizado pela introdução de maquinaria no setor agrícola, que substituiu vários métodos tradicionais, como bois e pessoas, por tratores e ceifeiras. Isso resultou num aumento da área cultivada, facilitado pelo abandono de propriedades que foram unificadas e distribuídas, transformando baldios em herdades (Caldas, 1994). Os proprietários procuraram comprar o máximo de parcelas para as suas herdades e queimar a vegetação existente para plantar searas de trigo, protegidas pelas leis de Elvino de Brito, que estabeleciam um regime protecionista à produção nacional de trigo. Essa lei gerou um aumento populacional, graças ao conseqüente aumento de oportunidades de trabalho, resultando no incremento da produção de trigo e levando à substituição da charneca por campos de trigo e áreas de montado (Azoia, 2021).

No entanto, o incremento na área de cultivo de cereais na região do Alentejo, originado pela Lei da Fome, não foi suficiente para utilizar as áreas mais baixas e próximas dos rios, que continuaram a ser destinadas ao regadio. A proporção entre culturas de sequeiro e de regadio tornou possível distinguir as paisagens como de sequeiro ou de regadio. Na década de 1930, a agricultura e a paisagem do Alentejo sofreram uma transformação significativa com a Campanha do Trigo, que fortaleceu o desbravamento da charneca e a expansão desmedida das culturas de cereais, em particular do trigo em regime extensivo, e o aumento significativo dos regadios de arroz, tomate e melão. Para compensar os longos períodos de pousio, muitos campos foram convertidos em explorações florestais com árvores dispersas, associadas à criação de gado ovino e suíno (Mattoso, 1994).

A modernização da agricultura alentejana e a melhoria das condições de vida nas cidades promoveram o êxodo rural e a deserção das terras agrícolas, o que levou ao despovoamento do mundo rural e aumentou o risco de incêndios, devido ao surgimento de vegetação espontânea. A introdução de plantações de eucalipto, que não exigiam grandes cuidados dos proprietários, permitiu que estes migrassem para as cidades em busca de melhores condições de vida. O aumento e melhoria dos acessos às cidades, a mecanização agrícola e a expansão do uso agrícola do solo resultaram em desflorestação, despovoamento e abandono das terras agrícolas (Veiga et al., 2007).

Todos estes fatores contribuíram para a configuração da paisagem agrícola típica do Alentejo, especialmente nas sub-regiões do Alentejo Central e Baixo Alentejo. Atualmente, esta paisagem é caracterizada por culturas extensivas, incluindo monoculturas de cereais em sequeiro, montado e algumas áreas de olival nas periferias dos aglomerados populacionais. A partir da década de 1960, o olival foi remodelado, adotando um padrão alinhado semelhante ao da vinha. As forças políticas, sociais e económicas que buscam mudanças no tipo de cultivo têm defendido a criação e modificação de novos empreendimentos, estruturas e técnicas, que originaram e continuarão a originar transformações ao nível da paisagem. Embora a agricultura junto a massas de água doce, como o rio Sado, já fosse praticada, houve a necessidade de ampliar a agricultura de regadio. Para atender a essa necessidade, vários projetos hidroagrícolas foram desenvolvidos em todo o Alentejo, modelando a paisagem, sendo a barragem do Alqueva um dos que mais se destaca (Azoia, 2021).

Em seguida, apresentam-se várias imagens referentes à evolução do uso do solo durante vários anos, nomeadamente, 1995, 2007, 2010, 2015 e 2018, bem como tabelas que confirmam a informação fornecida.

4.1. Ocupação do Solo em 1995

Com base nas informações fornecidas pelo mapa representado na figura 5, que descreve a ocupação do solo em 1995, é possível inferir que a maior parte da região em estudo era ocupada por espaços agrícolas, com exceção de algumas áreas da zona litoral e uma parte da zona norte, onde predominavam espaços florestados, sendo esta última a classe dominante. Além disso, é importante notar que a região sul/sudoeste da imagem era principalmente coberta por matos. Embora em menor extensão em comparação com as classes mencionadas anteriormente, também foram identificadas superfícies agroflorestais e espaços destinados à pastagem distribuídos ao longo de toda a área de estudo.

Através da análise da figura em questão (Fig. 5), é ainda possível verificar a quase ausência de espaços urbanizados, assim como de zonas húmidas, que eram encontrados(as) em quantidade bastante reduzida e, principalmente, confinados(as) à zona de Setúbal. Por fim, pode-se mencionar a presença de massas de água em dimensões e número limitados, sendo esta uma particularidade que caracteriza a região alentejana.

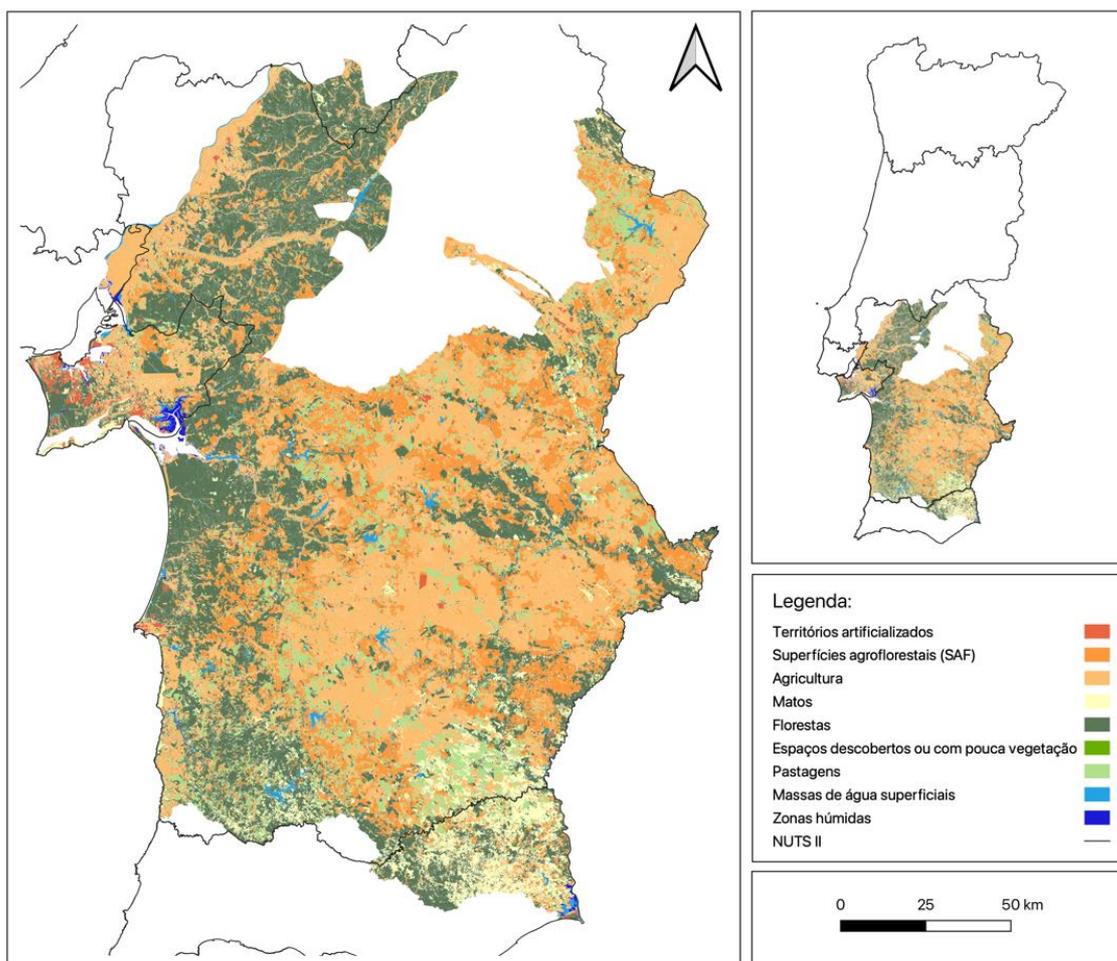


Figura 5 - Ocupação do Solo em 1995

Em seguida, apresenta-se uma tabela (Tab. 2) com informações mais detalhadas acerca da área ocupada por cada uma das classes do solo no ano de 1995.

Tabela 2 - Área ocupada pelas diferentes classes de ocupação do solo em 1995

Classes de Ocupação do Solo	Área Total (Ha)
Territórios artificializados	104467,1212
Superfícies agroflorestais (SAF)	571400,8806
Agricultura	822767,0926
Matos	150833,8253
Florestas	908379,2839
Espaços descobertos ou com pouca vegetação	3596,402434
Pastagens	313651,402
Massas de Água Superficiais	41033,655233
Zonas Húmidas	8555,71871

4.2. Ocupação do Solo em 2007

Através da análise da figura 6, que representa a ocupação do solo em 2007, é possível inferir que a evolução ocorrida no período entre 1995 e 2007 não alterou as classes de solo dominantes, mantendo-se a agricultura e a área de florestas como classes predominantes. Entretanto, observamos algumas mudanças, especialmente nas massas de água, onde já se evidencia a presença da albufeira da barragem do Alqueva, aumentando assim enormemente a área ocupada por massas de água superficiais. Embora com menor relevância, também é possível observar um aumento da área destinada às pastagens e, inversamente, uma diminuição da presença de matos na região sul/sudoeste da imagem, sendo substituídos, predominantemente, por áreas florestadas.

As restantes categorias não apresentam mudanças significativas, evidenciando uma evolução quase, ou até mesmo, nula.

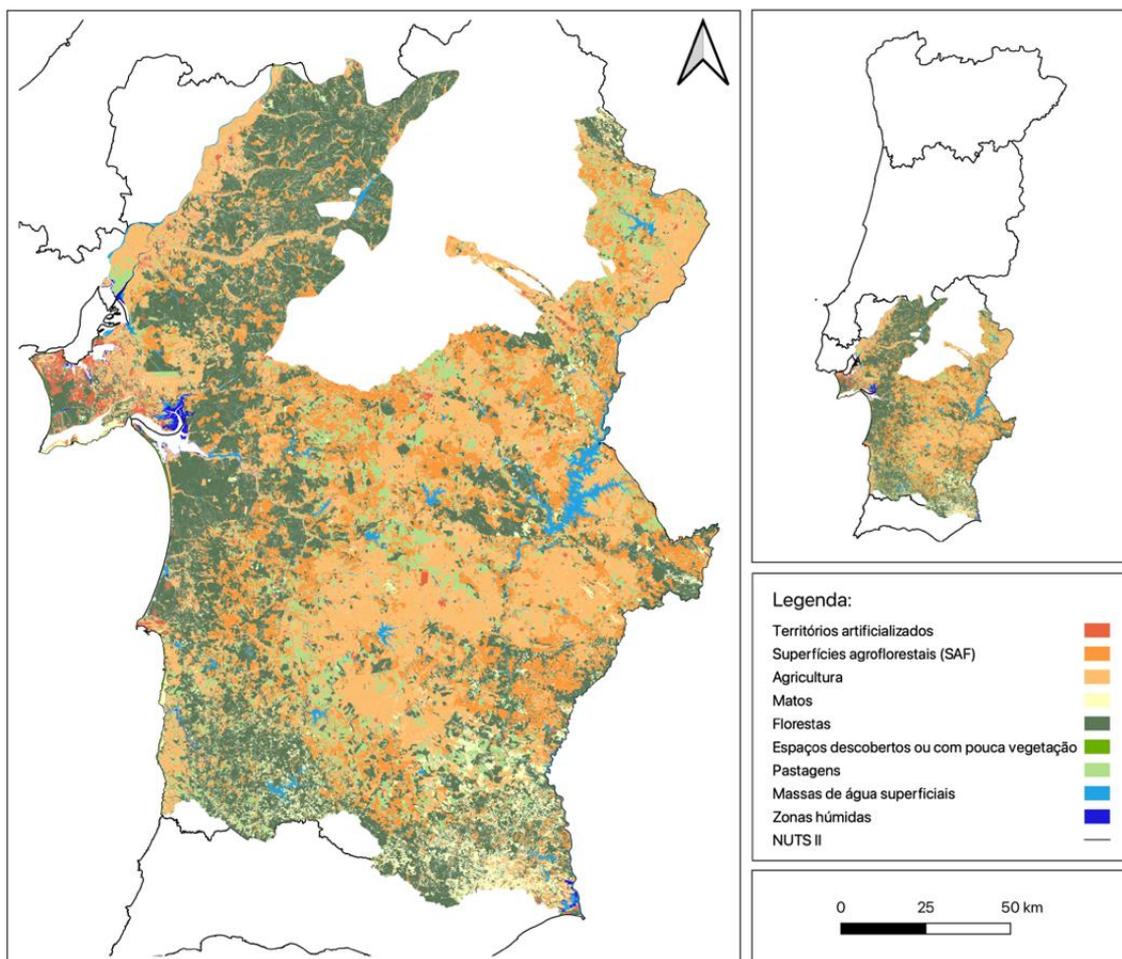


Figura 6 - Ocupação do Solo em 2007

Em seguida, apresenta-se a tabela 3 com informações mais detalhadas acerca da área ocupada por cada uma das classes do solo no ano de 2007.

Tabela 3 - Área ocupada pelas diferentes classes de ocupação do solo em 2007

Classes de Ocupação do Solo	Área Total
Territórios artificializados	81724,55308
Superfícies agroflorestais (SAF)	543611,4871
Agricultura	737364,3944
Matos	125289,9006
Florestas	989239,158
Espaços descobertos ou com pouca vegetação	3398,93703
Pastagens	324888,6049
Massas de Água Superficiais	62952,85534
Zonas Húmidas	8741,156692

4.3. Ocupação do Solo em 2010

Através da análise da figura 7, que retrata a ocupação do solo em 2010, é possível inferir que a evolução ocorrida no período entre 2007 e 2010 teve, novamente, um impacto proeminente no aumento da área ocupada pelas massas de água superficiais, resultando na substituição de várias parcelas anteriormente cobertas por outras classes do solo. Para além disso, podemos ainda observar o aumento da área ocupada por territórios artificializados de forma expressiva.

As demais categorias não exibem mudanças significativas, evidenciando uma evolução quase nula ou mesmo inexistente.

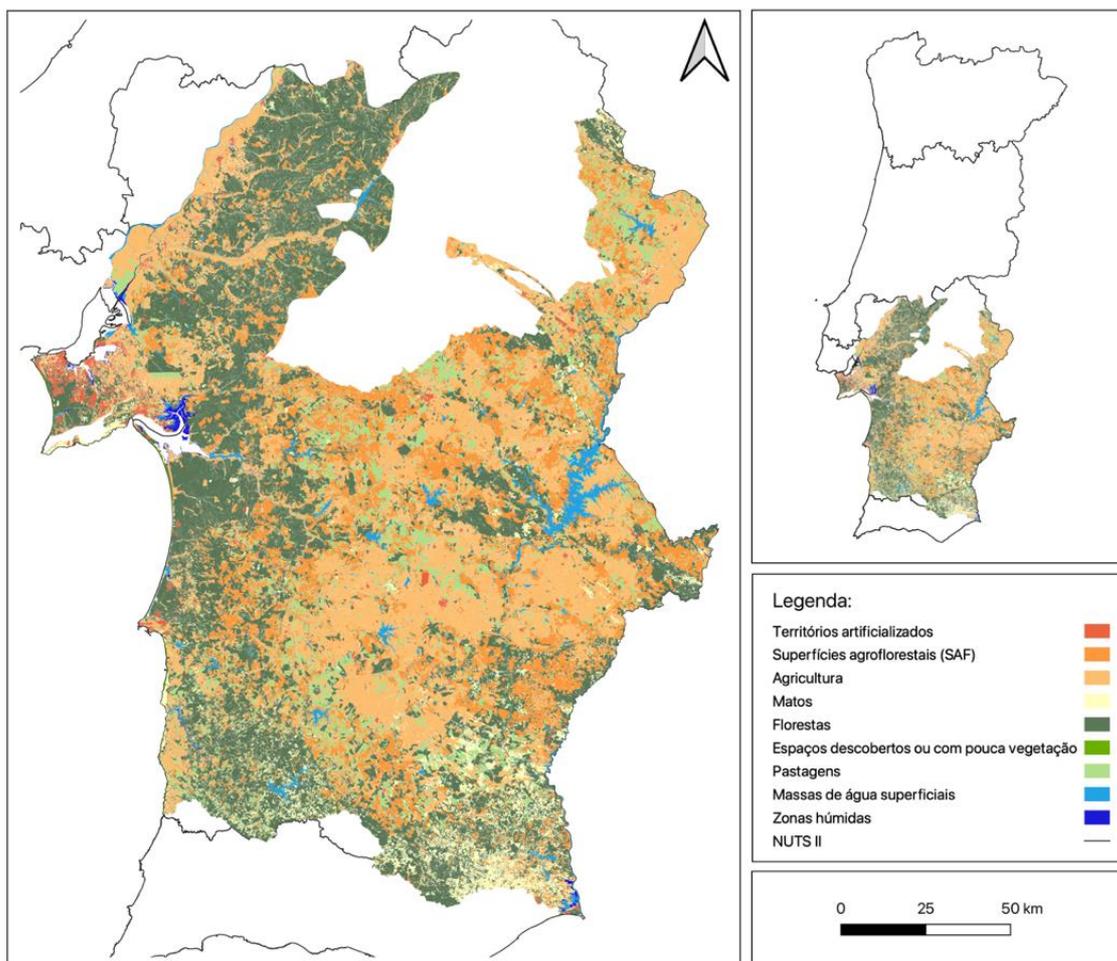


Figura 7 - Ocupação do Solo em 2010

Em seguida, mostra-se a tabela 4 com informações mais detalhadas acerca da área ocupada por cada uma das classes do solo no ano de 2010.

Tabela 4 - Área ocupada pelas diferentes classes de ocupação do solo em 2010

Classes de Ocupação do Solo	Área Total
Territórios artificializados	86508,283
Superfícies agroflorestais (SAF)	541457,2176
Agricultura	742112,3122
Matos	125019,8203
Florestas	990490,1388
Espaços descobertos ou com pouca vegetação	3404,62369
Pastagens	318416,455
Massas de Água Superficiais	66102,56879
Zonas Húmidas	8738,158918

4.4. Ocupação do Solo em 2015

Por meio da análise da figura 8, que representa a ocupação do solo em 2015, podemos inferir que a evolução ocorrida no período entre 2010 e 2015 foi especialmente notável devido à contínua progressão do aumento da área ocupada por territórios artificializados, em detrimento das outras classes de solo, especialmente pastagens e matos.

As demais categorias não apresentam mudanças significativas, evidenciando uma evolução quase nula ou mesmo inexistente.

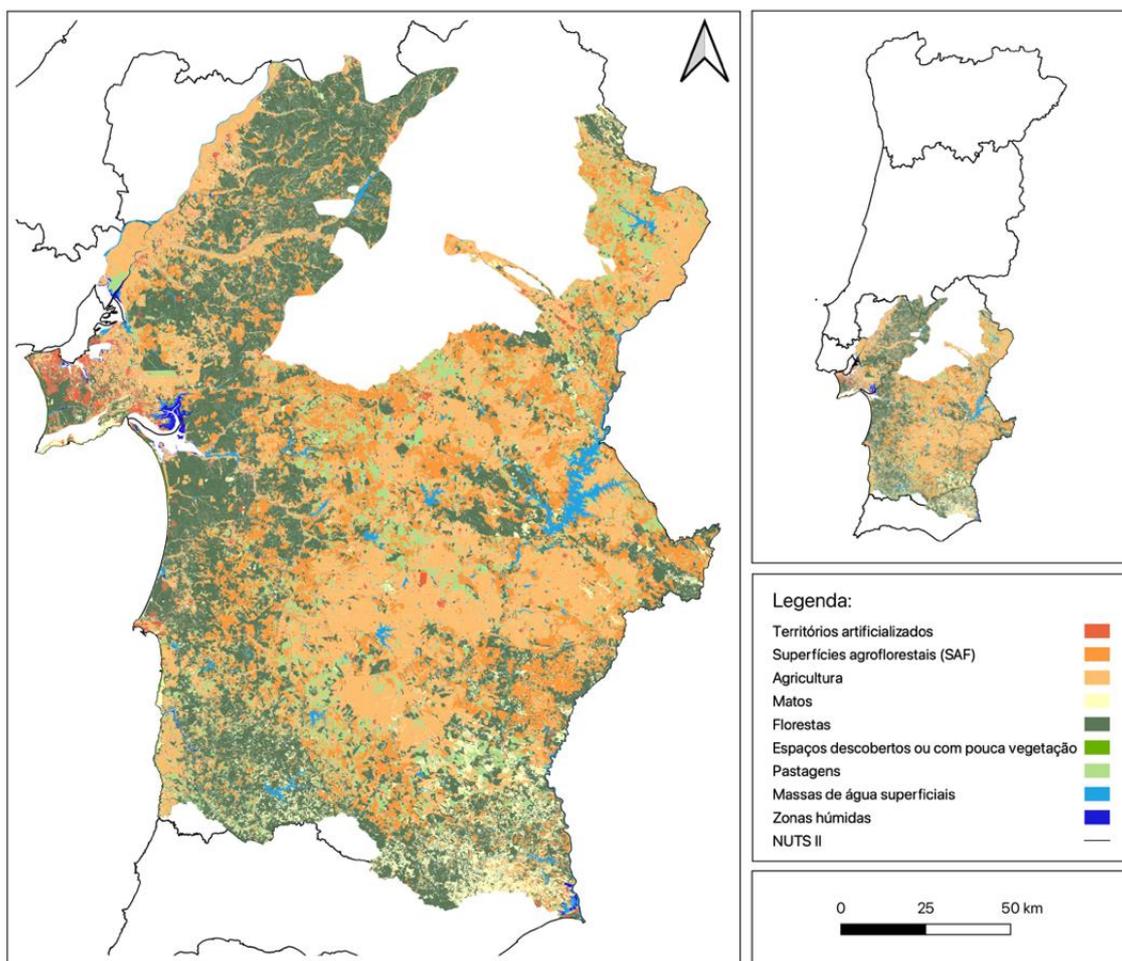


Figura 8 - Ocupação do Solo em 2015

Em seguida, apresenta-se a tabela 5 com informações mais detalhadas acerca da área ocupada por cada uma das classes do solo no ano de 2015.

Tabela 5 - Área ocupada pelas diferentes classes de ocupação do solo em 2015

Classes de Ocupação do Solo	Área Total
Territórios artificializados	104442,0607
Superfícies agroflorestais (SAF)	536820,204
Agricultura	747795,4379
Matos	121963,5932
Florestas	1000821,272
Espaços descobertos ou com pouca vegetação	3407,347008
Pastagens	306671,1056
Massas de Água Superficiais	66885,83454
Zonas Húmidas	8768,564317

4.5. Ocupação do Solo em 2018

Com base na análise da figura 9, que ilustra a ocupação do solo em 2018, podemos concluir que a evolução ocorrida no período entre 2015 e 2018 foi caracterizada por uma evolução quase nula ou mesmo inexistente em todas as categorias.

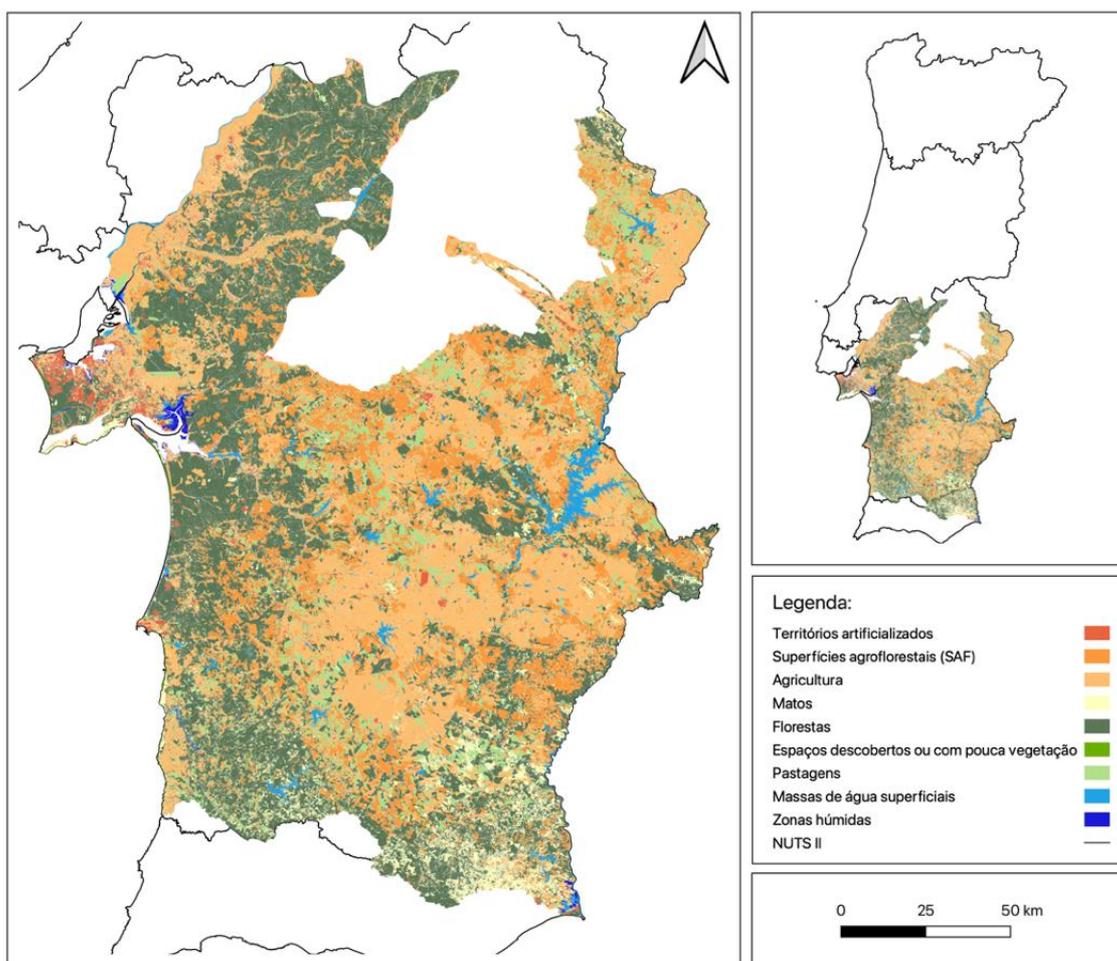


Figura 9 - Ocupação do Solo em 2018

Em seguida, mostra-se a tabela 6 com informações mais detalhadas acerca da área ocupada por cada uma das classes do solo no ano de 2018.

Tabela 6 - Área ocupada pelas diferentes classes de ocupação do solo em 2018

Classes de Ocupação do Solo	Área Total
Territórios artificializados	104650,8834
Superfícies agroflorestais (SAF)	535824,7293
Agricultura	756780,2402
Matos	120604,3986
Florestas	1001163,17
Espaços descobertos ou com pouca vegetação	3404,227007
Pastagens	299551,2892
Massas de Água Superficiais	67230,05447
Zonas Húmidas	8775,594366

Em suma, e tendo em conta as evidências apresentadas, é possível afirmar que uma das notáveis mudanças observáveis ao longo do período de anos considerado é a construção da barragem do Alqueva, cuja albufeira pode ser identificada a partir da figura # correspondente à ocupação do solo em 2007. De forma mais específica, podemos afirmar que no período considerado (1995 até 2018) registou-se um aumento da área utilizada para florestas e massas de água superficiais. Pelo contrário, observou-se uma diminuição da área empregue em matos, pastagens, superfícies agroflorestais e espaços destinados a fins agrícolas. Por fim, podemos referir que houve uma evolução praticamente nula ao nível de espaços descobertos ou com pouca vegetação, territórios artificializados e zonas húmidas.

Em termos gerais, pode-se mencionar que ocorreu uma reorganização em grande parte do território considerado, influenciada em grande parte pelas novas atividades exploratórias, juntamente com o surgimento de novas fontes de água, como foi o caso da barragem do Alqueva.

5. A Barragem do Alqueva e o seu papel na evolução da Ocupação e Uso do Solo

Nas informações prestadas no seu relatório intitulado de *Consequências da intensificação do regadio na Paisagem do Alentejo*, Azoia (2021) afirma que as frequentes estiagens que ocorreram na segunda metade do século XX tiveram um impacto significativo no Alentejo interior. A partir dos anos 1960, a ausência de chuvas na primavera estendeu-se até a estação seca, resultando numa degradação biofísica tão grave que a desertificação se tornou uma ocorrência comum na região. A escassez generalizada de água no Alentejo tem sido uma forte limitação para a preservação adequada das pastagens no montado e para a criação de animais. As culturas de primavera tornaram-se pouco lucrativas sem rega, e o uso de água para esse fim é um dos princípios básicos do projeto moderno de transformação da agricultura. A rega é crucial para aumentar a produtividade do solo e dos fatores de produção relacionados com a modernização das explorações agrícolas, bem como para aumentar a eficiência dos fertilizantes químicos.

O Plano de Rega do Alentejo de 1957 foi elaborado como parte de uma estratégia mais ampla para modernizar a agricultura e promover o desenvolvimento rural na região. A construção da barragem do Alqueva foi vista como um meio de responder a várias questões políticas, económicas e sociais. O objetivo principal do plano era transformar o modelo agrícola do Alentejo, que antes se baseava em culturas extensivas, num modelo mais rentável que combinasse sistemas de rega e sequeiro. O plano também visava reverter o processo de abandono da região, que havia reduzido a produtividade, bem como criar empregos permanentes e mão de obra para os sistemas de rega. Outro objetivo importante do plano era reduzir a dependência de água em relação a Espanha, que limitava a disponibilidade de água dos rios internacionais. A produção de energia hidrelétrica também era uma meta significativa para fornecer energia às regiões adjacentes e garantir a sustentabilidade financeira da região (Veiga et al., 2007).

Em 1975, o Conselho de Ministros aprovou a construção do Empreendimento de Fins Múltiplos de Alqueva, que foi iniciada no ano seguinte. Para realizar uma avaliação global do empreendimento, a Comissão de Apreciação do Aproveitamento do Alqueva foi criada em 1990. No dia 1 de setembro desse mesmo ano, a Comissão Instaladora do Empreendimento do Alqueva foi fundada, sendo o estudo de impacto ambiental incorporado no projeto em 1994. Em 1995, a Comissão Instaladora do Empreendimento do Alqueva foi substituída pela Empresa

de Desenvolvimento e Infraestruturas do Alqueva (EDIA), uma sociedade anónima de propriedade exclusiva do Estado e pertencente ao setor empresarial, que ficou responsável por conceber, construir, gerir e explorar as infraestruturas que compõem o Empreendimento de Fins Múltiplos do Alqueva (EFMA) (EDIA, 2011).

A 8 de março de 2002, iniciou-se o processo de encher a albufeira do Alqueva, após o encerramento das comportas. Nesse mesmo ano, o primeiro bloco de rega do Sistema de Alqueva no perímetro de rega de Odivelas começou a operar. A albufeira de Alqueva, com uma área de 25.000 ha e capacidade total de armazenamento de aproximadamente 4.150 milhões de m³, possui capacidade útil de cerca de 3.150 milhões de m³, reservando o restante para garantir a autossuficiência durante quatro anos consecutivos de seca. O Alqueva está conectado a outras barragens, garantindo a disponibilidade de água em uma área de cerca de 10.000 km², dividida em quatro sub-regiões do Alentejo (Central, Litoral, Alto e Baixo Alentejo), abrangendo um total de 20 municípios. A Empresa de Desenvolvimento e Infraestruturas do Alqueva (EDIA), uma sociedade anónima de capitais exclusivamente públicos pertencente ao setor empresarial do Estado, é responsável pela gestão e exploração das infraestruturas de Alqueva (Azoia, 2021).

De forma geral, pode-se inferir que a construção da estrutura em análise teve um impacto positivo no desenvolvimento das culturas de regadio na região em questão (Meneses, 2017). Esse impulso promoveu mudanças significativas na paisagem, uma vez que possibilitou uma utilização mais eficiente dos recursos hídricos disponíveis na área. De forma mais específica, numa região marcada pela aridez e vastidão, onde predominavam práticas agrícolas dependentes da pluviosidade e a tipologia silvo-pastoril do Montado, elementos identitários da região, passaram a coexistir com vastas áreas destinadas à produção intensiva de leguminosas, vinhas e olivais regados (Arvela, 2013).

Na figura 10 mostra-se uma imagem referente à localização da barragem do Alqueva no território nacional.

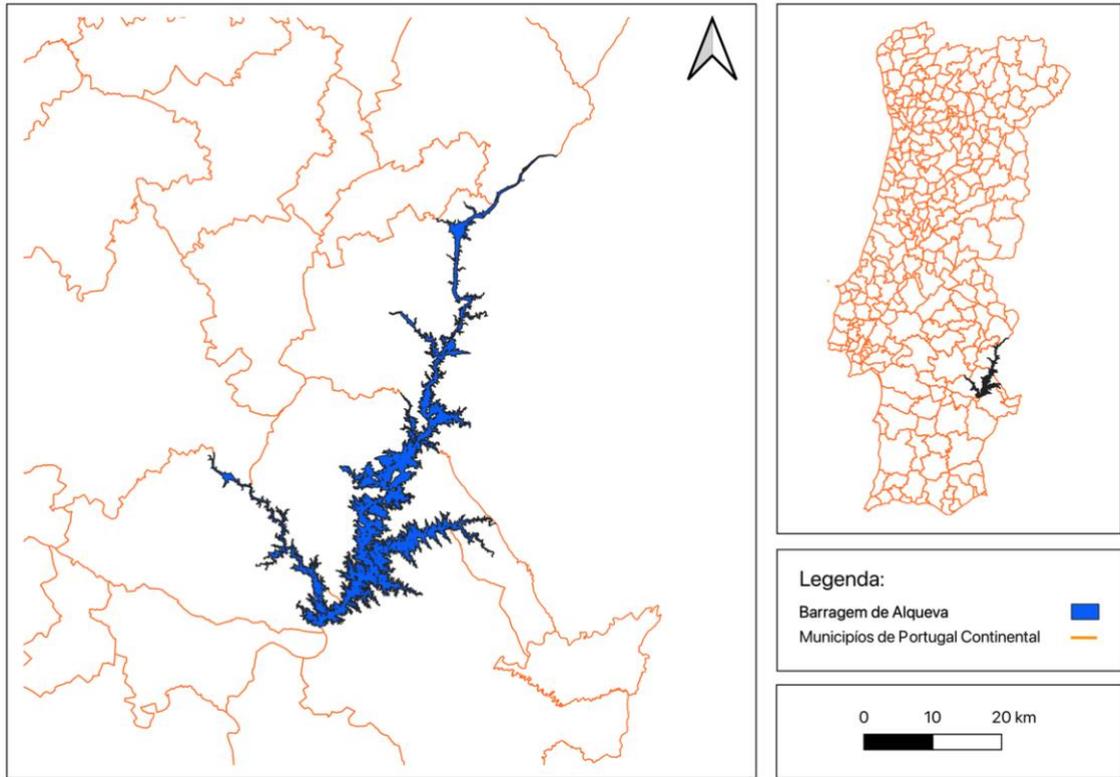


Figura 10 - Localização da albufeira da barragem do Alqueva no território nacional

6. Os Contaminantes das Águas Subterrâneas

Os contaminantes investigados neste estudo foram selecionados com base na sua relevância como alguns principais poluentes das águas subterrâneas. A seguir, será tecida uma descrição mais detalhada sobre cada um dos contaminantes em questão e as suas respectivas características distintivas.

6.1. Nitratos

O nitrato é um composto químico formado através de processos químicos e microbiológicos que ocorrem na atmosfera, solo, plantas e água. É o constituinte inorgânico mais prevalente nas águas subterrâneas e um dos mais problemáticos, devido à sua alta mobilidade e persistência em condições anaeróbicas. A sua presença em concentrações elevadas pode causar impactos ambientais significativos, como eutrofização de corpos de água superficiais ou até a morte de organismos aquáticos. A fórmula química do nitrato é NO_3^- , na qual o íon de azoto está ligado a três átomos de oxigênio com carga negativa (Conselho Estadual de Recursos Hídricos: Câmara Técnica de Águas Subterrâneas, 2019).

Segundo um estudo elaborado pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos: Câmara Técnica de Águas Subterrâneas (2019), em condições anaeróbicas, o nitrato (NO_3^-) pode sofrer a conversão por meio de atividade microbiológica em outros compostos nitrogenados, como nitrito (NO_2^-), monóxido de azoto (NO) e óxido nitroso (N_2O), até atingir o azoto molecular (N_2), num processo conhecido como desnitrificação. O Azoto (N) é considerado como o componente principal da atmosfera, representando aproximadamente 78% do seu volume. Na natureza, o azoto ocorre em vários estados de oxidação, variando desde -3 (NH_3), que corresponde à sua forma mais reduzida, até +5 (NO_3^-), que consiste na sua forma mais oxidada. As formas mais comumente encontradas em águas subterrâneas incluem nitrato (NO_3^-), amônio (NH_4^+), óxido nitroso (N_2O) e azoto molecular (N_2). O nitrito (NO_2^-) e o monóxido de azoto (NO) são formas intermediárias no processo de oxidação e são pouco estáveis, resultando em baixas concentrações na água.

Os solos, oceanos, lagos e a atmosfera são as principais fontes naturais de azoto no planeta. Este é constantemente transportado entre os ecossistemas através do vento, da água e de agentes microbiológicos. A presença de nitrato nas águas subterrâneas pode ter origem

natural e antropogénica, estando esta primeira associada a certas formações geológicas, como rochas sedimentares que são ricas em matéria orgânica, incluindo tilitos, folhelhos e argilitos. Nesse caso, águas subterrâneas ricas em oxigénio, em contacto com essas rochas que contêm azoto e na presença de atividade microbiológica, desencadeiam uma série de reações que resultam na liberação inicial de iões amónio e posteriormente na formação de nitrato. Esse cenário tem sido descrito em diversas publicações científicas internacionais. As fontes antropogénicas deste contaminante ocorrem em áreas rurais e urbanas e podem ser divididas em dois grupos principais: fontes não pontuais (difusas) e fontes pontuais (Conselho Estadual de Recursos Hídricos: Câmara Técnica de Águas Subterrâneas, 2019).

A agricultura é a principal fonte de nitrato nas águas subterrâneas em todo o mundo, devido ao intenso uso de fertilizantes nitrogenados, tanto orgânicos quanto inorgânicos. O crescimento populacional nas últimas décadas, em todos os continentes, resultou numa maior procura por alimentos, impulsionando a produção agrícola global. No entanto, a aplicação excessiva e o manuseamento inadequado de fertilizantes são responsáveis pelas elevadas concentrações de nitrato em corpos de água superficiais e subterrâneos em diversos países, tanto desenvolvidos como em desenvolvimento. Esse problema ocorre devido à capacidade desse contaminante em se movimentar facilmente através do solo e atingir os recursos hídricos. Nas áreas urbanas, as principais fontes responsáveis pelas concentrações de nitrato acima dos padrões de potabilidade estão associadas à inadequada disposição de resíduos sólidos, como lixeiras e aterros sanitários mal construídos e/ou situados em locais impróprios. Além disso, os sistemas de saneamento desempenham um papel significativo, onde é possível destacar as fossas sépticas e negras, bem como os escoamentos nas redes de esgoto (Conselho Estadual de Recursos Hídricos: Câmara Técnica de Águas Subterrâneas, 2019).

A deteção da contaminação por nitratos não pode ser realizada através do uso dos sentidos humanos, como odor, sabor ou cheiro. Portanto, a identificação da presença desse composto só pode ser feita por meio de uma análise química. Com o objetivo de investigar e avaliar o risco de contaminação dos aquíferos por nitratos, é crucial considerar os locais que estão contaminados, bem como suas respectivas fontes. Além disso, é de suma importância monitorizar a evolução temporal dos aquíferos afetados (Conselho Estadual de Recursos Hídricos: Câmara Técnica de Águas Subterrâneas, 2019).

A ingestão de água com concentrações de nitrato acima dos padrões de potabilidade pode resultar em doenças como metemoglobinemia (ou síndrome do bebê azul), certos tipos de cancro (por exemplo, linfoma, cancro do estômago, entre outros) e disfunções no sistema reprodutivo, tanto em seres humanos como em animais (Almasri & Kaluarachchi, 2007; WHO, 2011). Os efeitos adversos do nitrato na saúde humana foram inicialmente descritos na literatura científica por Comly (1945), que observou casos de cianose em bebês no estado de Iowa, nos Estados Unidos. Desde então, vários estudos têm sido conduzidos para uma melhor compreensão dos efeitos na saúde de crianças e adultos decorrentes do consumo de água contaminada com nitratos (Bukowski et al., 2001; Croen et al., 2001).

A metemoglobinemia, também conhecida como síndrome do bebê azul, é uma condição que afeta principalmente lactentes e resulta na acumulação de metemoglobina no sangue, causando problemas na respiração, cianose (mucosas azuladas), dispneia (alteração na frequência respiratória), falta de ar, desmaios e, em casos mais graves, óbito. A hemoglobina é uma proteína presente no sangue, que é responsável pelo transporte de oxigênio para as células. Quando os nitratos são ingeridos e reduzidos no organismo, o nitrito que se forma liga-se à hemoglobina, resultando na formação de metemoglobina, que é incapaz de transportar adequadamente o oxigênio, comprometendo assim o suprimento para órgãos vitais, como o cérebro. Bebês com menos de seis meses de idade são especialmente suscetíveis à metemoglobinemia devido à maior capacidade de conversão de nitrato em nitrito (WHO, 2011). É importante realçar que o pH intestinal mais elevado em lactentes aumenta o poder oxidante devido ao crescimento de bactérias gram-negativas, que convertem nitrato em nitrito.

Outros possíveis efeitos decorrentes do consumo de água contaminada por nitratos estão relacionados com o surgimento de certos tipos de cancro, como cancro do estômago e linfoma de não Hodgkin. As reações entre nitrito, nitrato e aminas e amidas presentes no corpo humano podem levar à formação de nitrosaminas e nitrosamidas, substâncias que são conhecidas pelo seu potencial cancerígeno. Ward et al. (2005) afirmaram que os efeitos adversos à saúde são resultado de uma interação complexa entre a quantidade de nitrato consumida, a ingestão simultânea dos subprodutos da conversão do nitrato e as condições clínicas do indivíduo. Além disso, tais efeitos podem ser mitigados por inibidores da conversão do nitrato em nitrito, como as vitaminas C e E.

A ingestão de altas concentrações de nitrato pode resultar em intoxicação crônica em animais, levando a uma baixa produtividade, redução no ganho de peso, diminuição da eficiência reprodutiva, deficiência de vitamina A e a ocorrência de abortos (FAO, 1996; WHO, 2011). Além disso, pesquisas adicionais relacionaram o consumo de nitrato com o aumento do risco de infecções respiratórias, hipertensão, malformações congênitas, parto prematuro e abortos espontâneos em seres humanos. No entanto, apesar dos numerosos estudos realizados nessa área, a maioria dos resultados obtidos são inconclusivos (Bukowski et al., 2001; Manassaram et al., 2006).

6.2. Fosfatos

O fósforo (P) é um elemento químico essencial, fundamental para a sobrevivência de todos os organismos vivos. A sua estrutura química consiste em uma molécula que contém um átomo de fósforo circundado por quatro átomos de oxigênio, resultando em uma carga negativa de três. A forma predominante de fósforo utilizada pelos seres vivos é o fosfato (PO_4^{3-}), que desempenha papéis críticos na síntese e estruturação do DNA, na produção de energia celular através da molécula de ATP e na formação das membranas celulares e paredes celulares vegetais. Além da sua importância biológica, o fósforo é amplamente empregue em fertilizantes comerciais (EPA, 2023).

De maneira mais precisa, os fosfatos são compostos químicos que contêm fósforo, um nutriente essencial utilizado por plantas e animais para o seu desenvolvimento. No entanto, é importante ressaltar que o excesso de fosfato pode resultar num fenômeno de poluição aquática chamado eutrofização (Stones, 2017).

Os fosfatos são introduzidos nos corpos de água através de diversas fontes, como resíduos humanos e animais, rochas com altas concentrações de fósforo, águas residuais, efluentes industriais e escoamento de fertilizantes. Esses fosfatos podem-se tornar prejudiciais quando ocorre um excesso de nutrientes que estimula o crescimento excessivo de plantas aquáticas, aumentando assim a taxa de eutrofização natural. Este fenômeno é frequentemente denominado de eutrofização cultural ou eutrofização acelerada (EPA, 2023).

A precipitação pluviométrica pode resultar no arraste variável de quantidades de fosfato dos solos agrícolas para corpos de água adjacentes. O fosfato, por sua vez, estimula o

crescimento do plâncton e das plantas aquáticas, fornecendo alimento para os peixes. Isso pode levar a um aumento na população de peixes e melhorar a qualidade geral da água. Entretanto, se uma quantidade excessiva de fosfato entrar no corpo de água, ocorrerá um crescimento descontrolado de algas e plantas aquáticas, obstruindo o fluxo da água e consumindo grandes quantidades de oxigênio dissolvido. Essa condição é conhecida como eutrofização ou superfertilização das águas receptoras. O rápido crescimento da vegetação aquática provoca a sua morte, e à medida que as plantas se decompõem na água, consomem o oxigênio dissolvido. Esse processo, por sua vez, resulta na morte da vida aquática, devido à diminuição dos níveis de oxigênio dissolvido (KnowYourH2O, n.d.).

Conforme mencionado anteriormente, com o acréscimo de nutrientes adicionais na água, ocorre um aumento no florescimento de plantas aquáticas, resultando num crescimento excessivo de algas que obstrui a penetração da luz solar nas camadas mais profundas da água. Esse fenômeno leva à morte das plantas aquáticas devido à falta de luz. Em seguida, bactérias iniciam o processo de decomposição dessas plantas em decomposição, consumindo o oxigênio dissolvido disponível na água. A diminuição dos níveis de oxigênio dissolvido é prejudicial para a sobrevivência de peixes e outras formas de vida aquática (Stones, 2017).

Em quantidades adequadas, o fósforo pode ser utilizado pela vegetação e pelos microrganismos presentes no solo para o crescimento normal. No entanto, em quantidades excessivas, o fósforo pode desencadear problemas de qualidade da água, como a eutrofização e o crescimento prejudicial de algas. Certos recursos hídricos, como áreas húmidas, naturalmente atuam como sumidouros para o fósforo presente em sedimentos ou dissolvido na água. No entanto, devido à ocorrência geralmente limitada de fósforo no ambiente natural, mesmo pequenos aumentos podem ter impactos negativos na qualidade da água e nas condições biológicas (KnowYourH2O, n.d.).

O fosfato manifesta-se de forma inerente nas águas subterrâneas devido à sua ligação com processos naturais intrínsecos, como a dissolução de rochas e a decomposição de componentes orgânicos. No entanto, também está sujeito a influências antrópicas, incluindo a introdução de resíduos de esgoto, a aplicação de produtos fertilizantes, detergentes e pesticidas. A legislação atualmente em vigor nos Países Baixos determina que a presença de fosfatos nas águas subterrâneas não resulta em impactos até que a sua concentração alcance ou ultrapasse o limiar de 0,05 mg-P/L. No entanto, se esse valor for excedido, podem ocorrer

alterações no equilíbrio químico intrínseco do ambiente (Filho, 2018). Essa condição cria um potencial para perturbações nos organismos hidrobiológicos e nas dinâmicas subterrâneas, dando origem a alterações indesejadas. Além disso, em relação à saúde humana, pode causar complicações de natureza renal e gastroenterológica (Foppa et al., 2004).

6.3. Cloretos

Os cloretos correspondem a compostos químicos que contêm o anião cloreto (Cl⁻). São formados por um átomo de cloro que ganhou um elétron, adquirindo uma carga negativa e são amplamente encontrados na natureza, estando presentes em diversas substâncias e compostos. Alguns exemplos comuns de cloretos incluem o cloreto de sódio (sal de cozinha), de cálcio e o de potássio. A maioria desses compostos está presente nos oceanos, sendo que a concentração elevada de cloretos na água acelera a corrosão de materiais metálicos em sistemas de abastecimento, dependendo das características da água, como a alcalinidade, temperatura, pH, entre outros. O ião cloreto é a forma mais significativa de cloro presente em águas naturais e residuais (APDA, 2012).

Uma proporção considerável do cloro liberado durante a meteorização das rochas é altamente solúvel em água e em água potável, o sabor produzido pelo cloreto varia de acordo com a sua concentração e a composição química da água. Águas que contêm 250 mg por litro apresentam um sabor salgado detetável, se o catião predominante que equilibra a solução for o sódio (Na⁺). No caso de predominarem os catiões de cálcio ou magnésio, o sabor salgado pode ser perceptível apenas quando a concentração de cloreto estiver acima de 1000 ppm (APDA, 2012).

Os resíduos humanos e animais possuem teores elevados de cloreto devido à presença comum de cloreto de sódio nas dietas, que é eliminado inalterado pelo sistema digestivo. Em estações de tratamento de água, a presença de concentrações anormais de cloreto e matéria nitrogenada pode indicar esse tipo de poluição. A concentração de cloreto em esgotos domésticos varia entre 30 e 100 mg/L, sendo que água com uma concentração muito alta de cloreto pode causar danos em superfícies metálicas, estruturas de construção e várias espécies de plantas (UNESP, n.d.).

O cloreto é um dos elementos mais comuns em águas naturais, efluentes industriais e esgotos domésticos, e mesmo em concentrações mais elevadas, não são prejudiciais à saúde humana, mas conferem um sabor salgado à água. Pelo contrário, águas com alta concentração de cloreto são prejudiciais às canalizações e não são recomendadas para uso na agricultura (Matias, n.d.).

Os cloretos são compostos químicos presentes nos efluentes provenientes de várias fontes. Entre essas fontes, destacam-se as descargas de águas residuais urbanas e industriais, a intrusão salina e a dissolução do sal-gema no solo. Esses processos desempenham um papel importante na introdução de cloretos nos efluentes, resultando num aumento da concentração desses compostos. De maneira mais precisa, as águas residuais provenientes de áreas urbanas e industriais, ao serem liberadas, transportam consigo compostos de cloreto derivados de atividades humanas e processos industriais. A intrusão salina ocorre quando águas salgadas, como as provenientes dos oceanos, se infiltram em aquíferos e corpos de água doce, aumentando a concentração de cloretos nesses sistemas. Além disso, a dissolução do sal-gema presente no solo contribui para a liberação de cloretos na água, especialmente em regiões onde há depósitos de sal-gema. Essas diversas fontes de introdução de cloretos nos efluentes contribuem para a complexidade e variação da concentração desses compostos em diferentes sistemas aquáticos (Universidade Estadual Paulista, n.d.).

Na sua configuração iônica, o cloreto (Cl⁻) revela-se como um anião exuberantemente presente nas águas subterrâneas, devido à sua natureza altamente conservadora, caracterizada pela sua migração imune a interações com sedimentos, rochas ou solo. A matriz predominante de cloretos na crosta terrestre provém do mineral halite (NaCl), bem como da silvite (KCl) e cloreto de cálcio (CaCl₂). Ao penetrar os estratos até alcançar os aquíferos, os cloretos ostentam uma persistência de longa duração, podendo subsistir por décadas. A expressão de elevadas concentrações de cloretos nas águas subterrâneas suscita impactos na viabilidade potável do aquífero. Deste modo, foi estabelecido um valor máximo de 250 mg/L para cloretos, visando o consumo humano. A ingestão de águas que excedam estas prescrições normativas pode acarretar riscos para a saúde. Através de um conjunto de investigações, a sobreabundância de cloretos pode desencadear complicações de natureza neurológica, visto que estes aniões desempenham um papel essencial nas atividades dos receptores nervosos, uma vez que intervêm na entrada de Cl⁻ em determinados neurónios (Rosa, 2023).

6.4. Condutividade Elétrica

A condutividade é uma medida da capacidade de condução elétrica da água e está diretamente relacionada com a presença de íões na água, provenientes da dissolução de sais e materiais inorgânicos, como álcalis, cloretos, sulfuretos e compostos de carbonato. Quanto maior a quantidade de íões presentes, maior será a condutividade da água e pelo contrário, quanto menor a quantidade de íões, menor será a condutividade (Queen Mary University of London, n.d.).

A condutividade é comumente medida em microsiemens ou milisiemens por centímetro (uS/cm ou mS/cm), apesar de também pode ser expressa em micromhos ou milimhos por centímetro (umhos/cm ou mmhos/cm), embora essas unidades sejam menos frequentes. A unidade padrão para medições de água doce é o microsiemen por centímetro. Os relatórios que incidem sobre a condutividade da água do mar utilizam microsiemens, milisiemens e, ocasionalmente, apenas siemens/mho por centímetro, dependendo da publicação (Fondriest Environmental, Inc., 2014).

Uma condutividade elétrica significativamente elevada pode indicar a presença de poluição em um rio. A medida da condutividade elétrica não é capaz de identificar o tipo de poluente, mas pode auxiliar na identificação de problemas que possam afetar invertebrados e/ou peixes. É possível que a condutividade elétrica seja alta num rio, mesmo sem efeitos visíveis na transparência da água, sendo necessário utilizar um sensor apropriado para a sua medição (Queen Mary University of London, n.d.).

Qualquer atividade humana que introduza produtos químicos inorgânicos num rio irá alterar a condutividade elétrica. Por exemplo, a condutividade elétrica pode ser maior num rio localizado a jusante de uma estação de tratamento de esgoto, devido a produtos químicos como cloreto e fosfato presentes em produtos domésticos. O escoamento das estradas durante o inverno, contendo sal, pode apresentar uma condutividade elétrica muito elevada. Caso esse escoamento atinja os rios, dependendo da quantidade de água, poderá temporariamente aumentar a condutividade elétrica no rio (Queen Mary University of London, n.d.).

A condutividade elétrica emerge como uma variável de elevada significância na análise da qualidade hídrica, apresentando aplicações multifacetadas na identificação e avaliação de

potenciais contaminantes presentes nas águas subterrâneas. A condutividade elétrica nas águas subterrâneas traduz a habilidade intrínseca de um substrato (a água subterrânea, neste contexto) em transportar uma corrente elétrica. Esta métrica assume-se com frequência enquanto indicador preponderante da qualidade das águas subterrâneas, apresentando perspectivas cruciais sobre a presença de agentes poluentes, tais como sais, metais pesados ou substâncias orgânicas nocivas. A deteção de condutividade elétrica elevada em águas subterrâneas normalmente insinua a existência de níveis elevados de iões dissolvidos, um fenómeno passível de derivar de processos naturais como a dissolução mineral ou, alternativamente, de atividades antrópicas, nomeadamente aquelas relacionadas com a agricultura, a mineração ou a disposição inadequada de resíduos.

7. Evolução da contaminação das águas subterrâneas na área de estudo

Neste capítulo, será realizada uma avaliação da evolução dos diferentes contaminantes presentes nas águas subterrâneas dentro da área de estudo. Essa análise será apresentada por meio de gráficos, fornecendo informações visuais sobre as tendências e variações ao longo do tempo em cada um dos locais de amostragem onde se encontram presentes.

Infelizmente não existem dados suficientes para podemos realizar a classificação detalhada ao nível dos fosfatos e da condutividade elétrica, sendo por isso mesmo utilizados os seus dados apenas como informações complementares.

Além disso, a vasta quantidade de dados disponíveis resultou na necessidade de uma seleção criteriosa, com o objetivo de otimizar a sua análise. Mais especificamente, foram selecionados os pontos de amostragem que abrangiam um período de coleta de dados de 15 anos ou mais, na sua maioria ativos e que estavam geograficamente inseridos das áreas de rega associadas à barragem do Alqueva. Adicionalmente, com o propósito de viabilizar a comparação dos resultados, foram também incluídos dados provenientes de regiões fora desse contexto geográfico.

Através da análise do mapa ilustrado na figura 11, será perceptível a localização das zonas de irrigação provenientes da barragem de Alqueva na área em estudo.

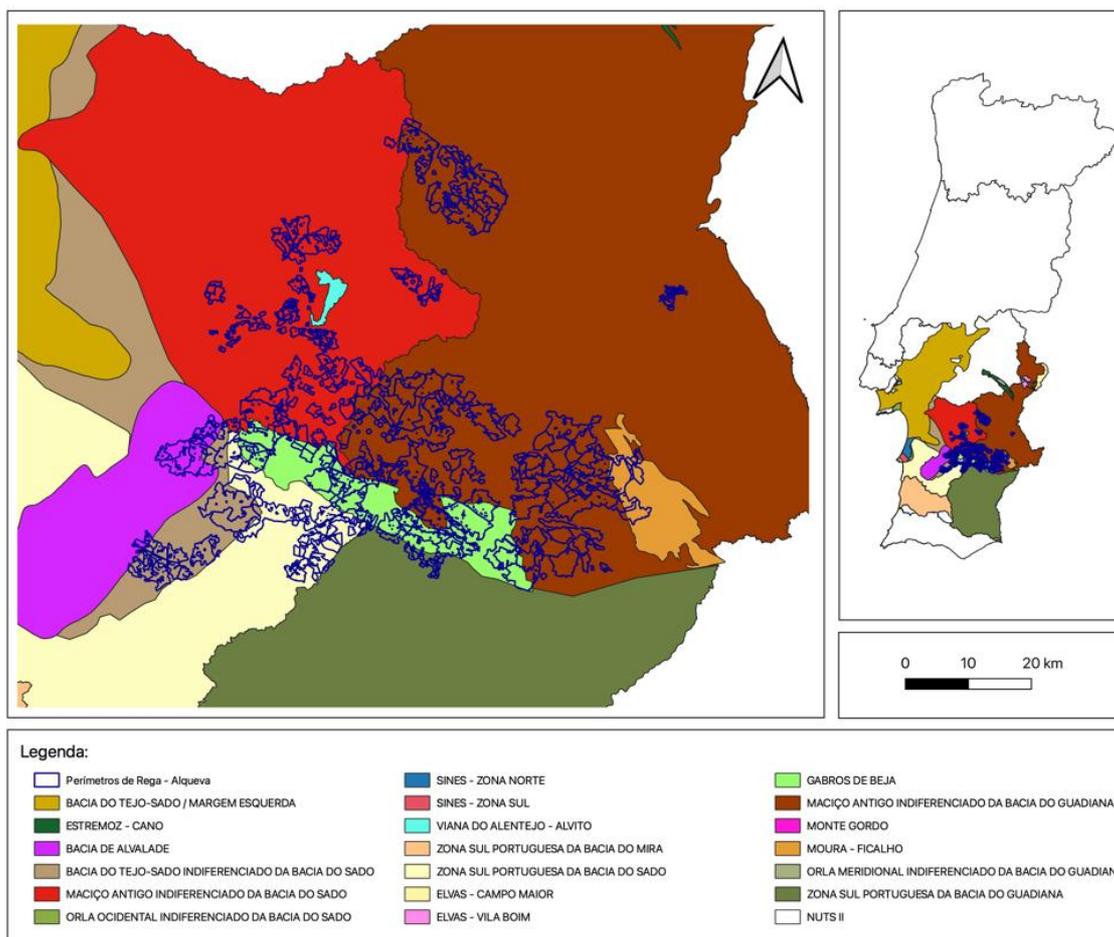


Figura 11 - Zonas de Irrigação provenientes da barragem do Alqueva

Como evidenciado na figura 11, as áreas de rega estão notavelmente concentradas na região onde esta pesquisa está a ser conduzida. Como mencionado anteriormente, estas áreas representam uma solução eficaz para o problema de escassez de água observado na região, o que pode, por conseguinte, proporcionar uma mudança significativa na indústria agrícola local. Entretanto, surge uma pertinente questão: "Será que esta mudança é verdadeiramente vantajosa ou estará potencialmente a causar danos de enormes proporções?".

Nos subcapítulos subsequentes, irá ser conduzida uma análise da dinâmica temporal das concentrações dos parâmetros considerados nas massas de água presentes na região de estudo, com o propósito de avaliar o impacto das atividades promovidas pela construção da barragem do Alqueva sobre essa evolução. É relevante ressaltar que, a fim de assegurar a máxima confiabilidade dos resultados, foram selecionados todos os locais passíveis de avaliação localizados dentro das áreas de rega. Consequentemente, 24 pontos de amostragem foram escolhidos para ambas as variáveis dentro das áreas de rega, seguidos por cinco locais de

amostragem fora dessas áreas, de forma a possibilitar a comparação pretendida. A maioria dos pontos de amostragem é comum para ambas as variáveis, com apenas duas exceções.

7.1. Evolução da contaminação das águas subterrâneas na área de estudo - Nitratos

Através do mapa da figura 12, que representa a localização dos pontos de amostragem selecionados para a medição da concentração dos níveis de nitratos na área em estudo, podemos inferir que os pontos de amostragem situados dentro da área de rega associada à barragem do Alqueva estão posicionados em proximidade considerável, predominantemente dentro do aquífero dos Gabros de Beja. Em contrapartida, os restantes pontos de amostragem estão dispersos pela região, embora, em sua maioria, estejam contidos na mesma bacia hidrográfica.

Essa disposição permitirá uma comparação altamente eficiente, uma vez que possibilitará a observação da variação na concentração de nitratos em vários pontos, permitindo-nos compreender a influência de fatores específicos dessa região na evolução da concentração de nitratos.

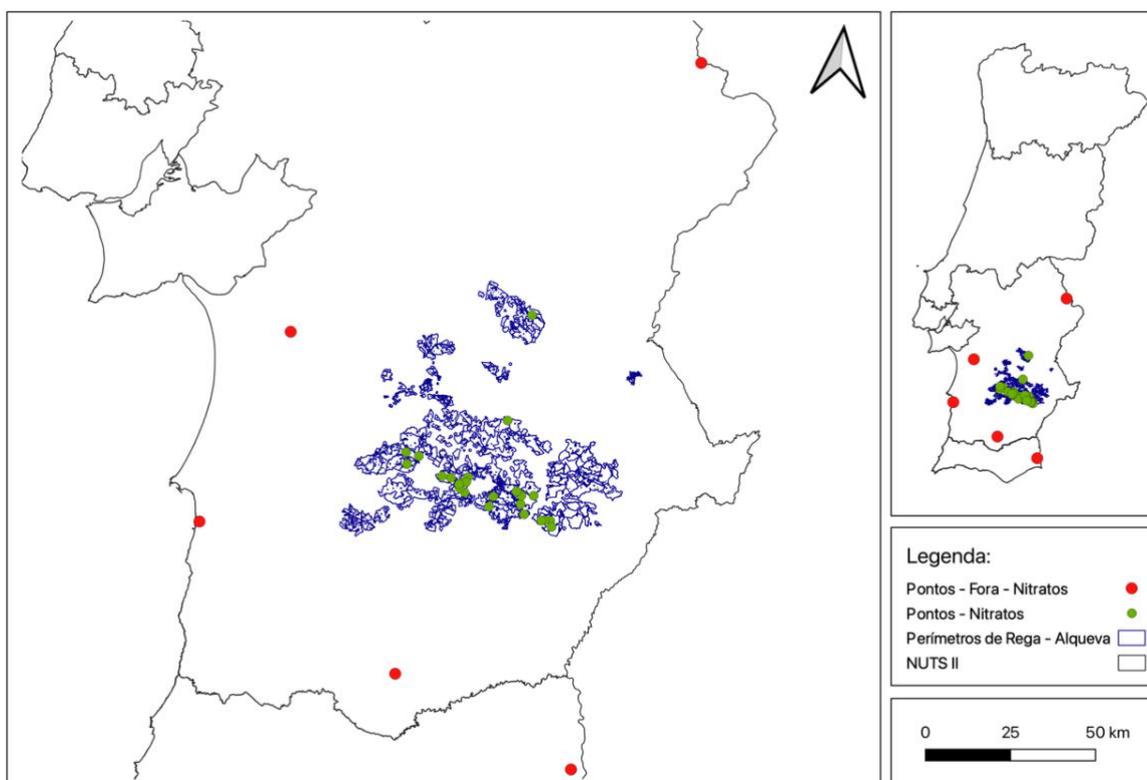


Figura 12 - Pontos de Amostragem selecionados para a medição da concentração de nitratos

A seguir, será exposta a informação contida na figura 12 por meio da apresentação de dados tabulares, com o objetivo de facilitar a compreensão. Importa salientar que uma das tabelas inclui os locais de amostragem de dados localizados nas áreas de rega da barragem do Alqueva, enquanto a outra abrange os locais de amostragem situados fora dessas áreas. Após a exposição de cada tabela, serão apresentados os respectivos gráficos, que representam a evolução da concentração de nitratos nos locais de interesse. Como mencionado anteriormente, esses gráficos abarcam um período de análise com duração mínima de 15 anos, sendo frequentemente ultrapassado significativamente esse limite.

7.1.1. Monitorização da concentração de nitratos em Pontos de Amostragem nas Áreas de Rega do Alqueva

A tabela 7 expõe os pontos de amostragem que se encontram localizados nas áreas de rega que surgiram como resultado da construção da barragem do Alqueva. Essa tabela viabiliza a condução de uma análise relativa à longevidade das observações realizadas em cada uma dessas localidades.

Tabela 7 – Pontos de Amostragem dentro das áreas de rega selecionados para a medição da concentração de nitratos (período de anos compreendido entre 1995 e 2022)

Ponto de Amostragem	Aquífero	Região Hidrográfica	Período de Anos
472/6	Maciço Antigo Indiferenciado	7	22
499/131	Maciço Antigo Indiferenciado	7	22
509/17	Gabros de Beja	7	22
509/198	Gabros de Beja	7	22
509/220	Gabros de Beja	7	20
520/14	Gabros de Beja	7	20
520/15	Gabros de Beja	7	20
521/38	Gabros de Beja	7	19
521/44	Gabros de Beja	7	19
521/147	Gabros de Beja	7	21
521/163	Gabros de Beja	7	20
521/221	Gabros de Beja	7	20
521/222	Gabros de Beja	7	20
521/264	Gabros de Beja	7	19
521/284	Gabros de Beja	7	20
522/117	Gabros de Beja	7	20
522/165	Gabros de Beja	7	20
522/169	Gabros de Beja	7	19
522/204	Gabros de Beja	7	22
532/11	Gabros de Beja	7	27
532/38	Gabros de Beja	7	22

532/98	Gabros de Beja	7	17
532/136	Gabros de Beja	7	21
532/153	Gabros de Beja	7	22

Tendo como base a análise dos levantamentos referentes ao ponto de amostragem 472/6, podemos averiguar que os valores médios de nitratos andam pelos 140 mg/l, valor muito elevado quando comparado com o valor limite máximo admitido pelo Dec-Lei Nº 236/98 de 1 de Agosto, que é de 50 mg/l. Através do gráfico seguinte (Fig. 13), observamos uma progressão relativamente dinâmica na sua fase inicial, seguida por uma fase relativamente estável a partir de 2010. É relevante destacar que esse desenvolvimento apresenta-se inicialmente mais negativo, entretanto, entre 2009 e 2010, atingiu o seu ponto máximo, resultando em uma trajetória praticamente estagnada ao longo dos 22 anos de análises.

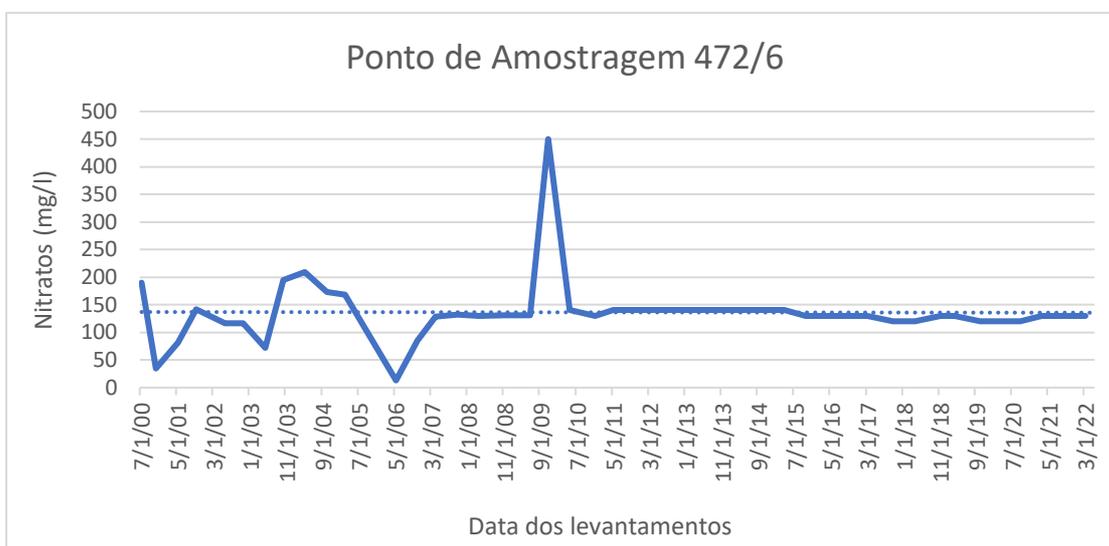


Figura 13 - Gráfico referente à evolução da concentração de nitratos no Ponto de Amostragem 472/6

Tendo como base a análise dos levantamentos referentes ao ponto de amostragem 499/131, podemos constatar que os valores médios de nitrato andam pelos 2 mg/l, valor considerado como fundo natural, pelo que este local não apresenta sinais de ter contaminação antropogénica. Podemos perceber que o gráfico que se segue (Fig. 14) indica uma tendência geral de evolução uniforme, embora apresente flutuações notáveis, tanto positivas quanto negativas, nos valores obtidos nas medições. Inicialmente, observou-se uma diminuição nos níveis de nitratos. No entanto, após algumas variações negativas, esses valores acabariam por estabilizar até aproximadamente 2011, em que houve um aumento significativo. Posteriormente, as observações retornaram aos níveis anteriores, mantendo-se assim nas restantes medições.

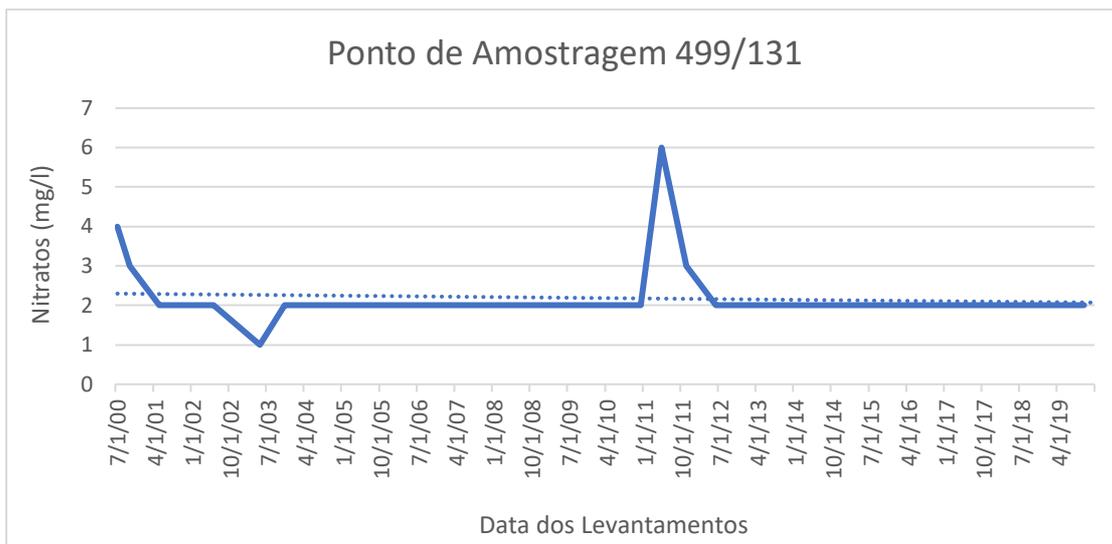


Figura 14 - Gráfico referente à evolução da concentração de nitratos no Ponto de Amostragem 499/131

Tendo como base a análise dos levantamentos referentes ao ponto de amostragem 509/17, podemos observar que os valores médios de nitratos decrescem, entre 2000 e 2022, de cerca de 50 para cerca de 25 mg/l, situando-se dentro do limite máximo admitido pelo Decreto-Lei Nº 236/98 de 1 de Agosto, que é de 50 mg/l. Através da observação da representação gráfica referente ao ponto de amostragem 509/17 (Fig. 15), é evidente a variação significativa dos resultados das medições ao longo do tempo, com uma oscilação que abarca tanto aumentos como diminuições. Contudo, uma análise do período considerado revela uma tendência geral de declínio nos valores em relação aos registos iniciais. Entre todos os levantamentos, destacam-se aqueles com os valores mais elevados, registados entre os anos de 2008 e 2009.

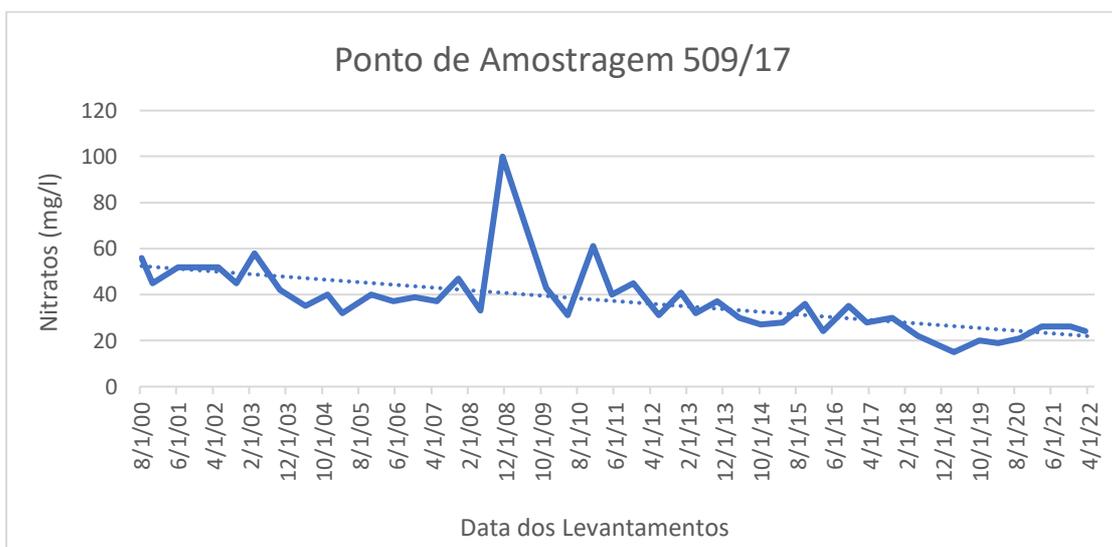


Figura 15 - Gráfico referente à evolução da concentração de nitratos no Ponto de Amostragem 509/17

Tendo como base a análise dos levantamentos referentes ao ponto de amostragem 509/198, podemos notar que os valores médios de nitratos andam pelos 55 mg/l, situando-se acima do limite máximo admitido pelo Decreto-Lei Nº 236/98 de 1 de Agosto, que é de 50 mg/l. Através do gráfico abaixo (Fig. 16) é possível de observar uma queda inicial nos valores do parâmetro em estudo, seguida por aumentos pontuais, especialmente entre 2007 e 2008, alcançando o ponto mais alto nesse período. Posteriormente, os valores permaneceram estáveis, com exceção do intervalo entre 2012 e o início de 2013, quando ocorreu um aumento considerável e de 2021, onde ocorreu um ligeiro decréscimo. Apesar disso, à parte das variações destacadas previamente, a evolução geral dos valores foi relativamente consistente, sem mudanças significativas nos registos observados.

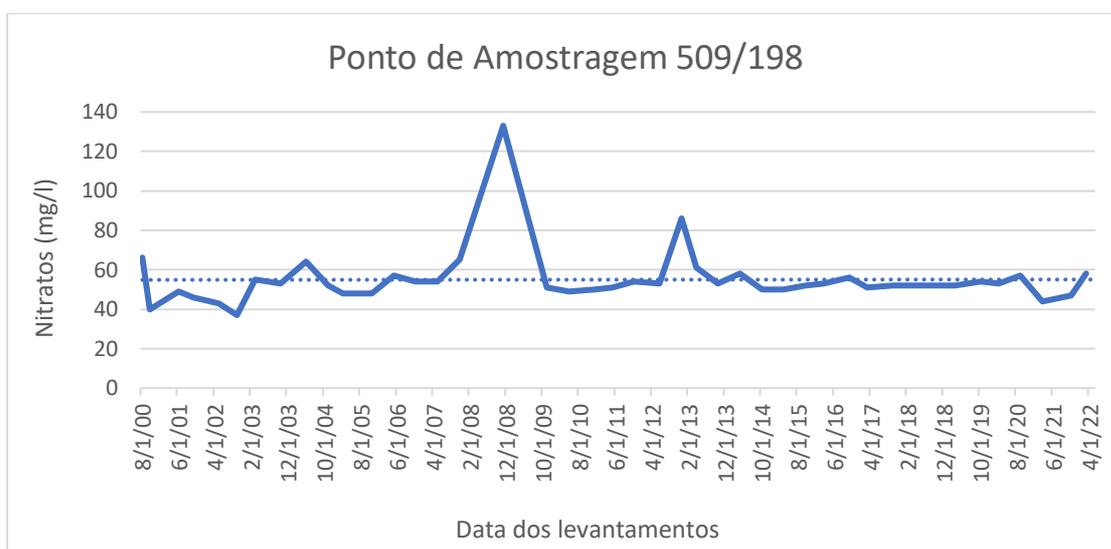


Figura 16 - Gráfico referente à evolução da concentração de nitratos no Ponto de Amostragem 509/198

Tendo como base a análise dos levantamentos referentes ao ponto de amostragem 509/220, podemos perceber que os valores médios de nitratos decrescem bastante entre 2002 e 2022, de cerca de 150 para cerca de 5 mg/l, situando-se assim dentro do limite máximo admitido pelo Decreto-Lei Nº 236/98 de 1 de Agosto, que é de 50 mg/l. Ao analisarmos o gráfico correspondente ao ponto de amostragem 509/220 (Fig. 17), é evidente uma tendência geral de declínio significativo nos níveis de nitrato na área em questão. Não obstante, é crucial salientar que essa diminuição não foi uniforme, havendo épocas em que é observável uma subida dos valores, onde podemos destacar o período compreendido entre o final de 2009 e o ano de 2010.

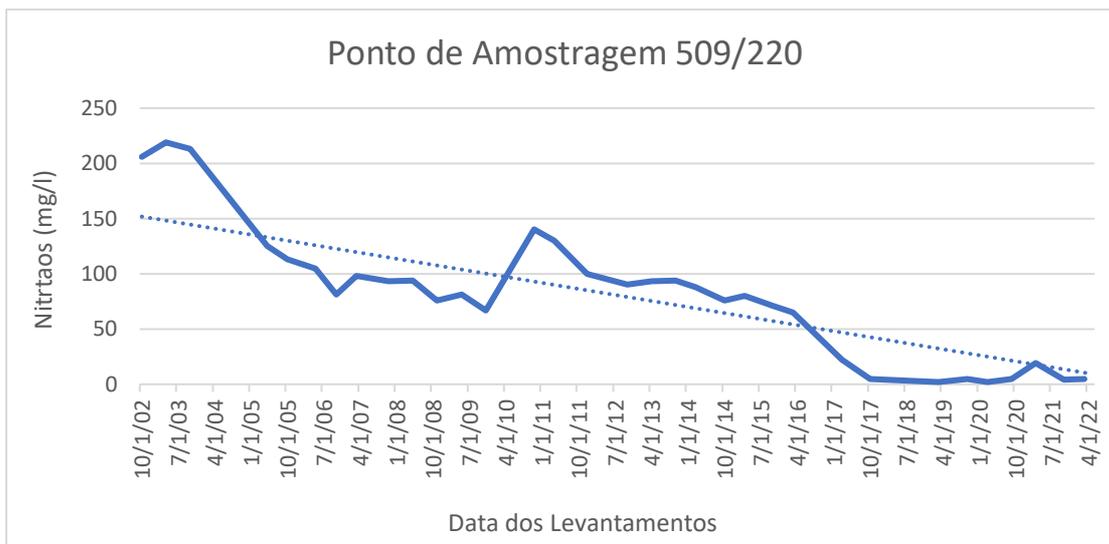


Figura 17 - Gráfico referente à evolução da concentração de nitratos no Ponto de Amostragem 509/220

Tendo como base a análise dos levantamentos referentes ao ponto de amostragem 520/14, é perceptível que os valores médios de nitratos estão entre os 40 e os 48 mg/l, situando-se dentro do limite máximo admitido pelo Decreto-Lei Nº 236/98 de 1 de Agosto, que é de 50 mg/l. Através do gráfico seguinte (Fig. 18) podemos perceber que ao longo do período observado, houve flutuações significativas, com aumentos e diminuições notáveis na concentração de nitratos. Mais especificamente, desde o início dos registos, houve um aumento consistente nos níveis de nitratos, alcançando o seu pico entre 2009 e 2010. Entretanto, esses níveis também apresentaram declínios, sendo estes mais acentuados entre 2014 e o início de 2017. De maneira geral, pode-se inferir um aumento na concentração de nitratos na área analisada, embora esse aumento não possa ser considerado altamente significativo.

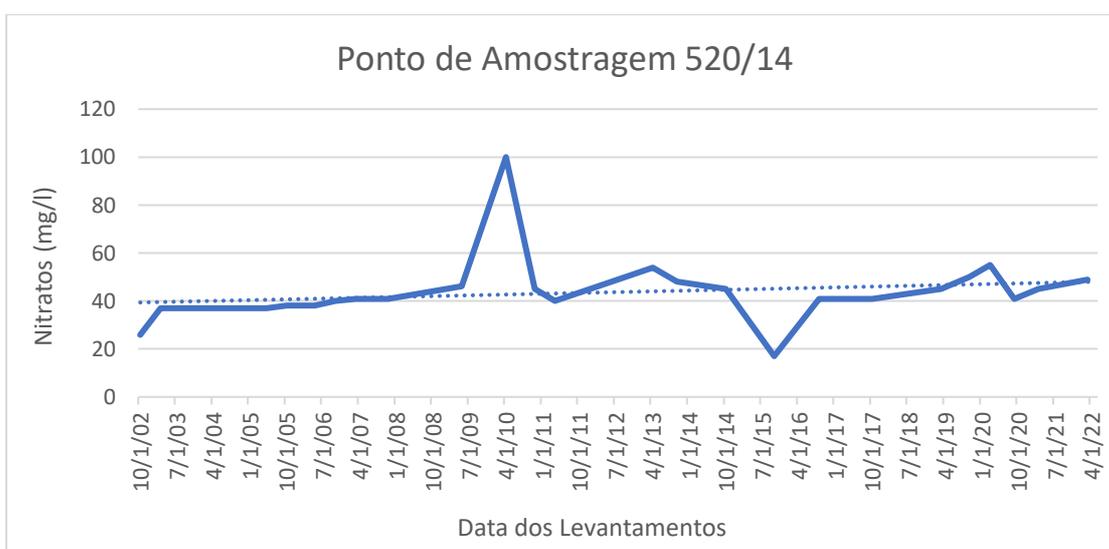


Figura 18 - Gráfico referente à evolução da concentração de nitratos no Ponto de Amostragem 520/14

Tendo como base a análise dos levantamentos referentes ao ponto de amostragem 520/15, podemos averiguar que os valores médios de nitratos situam-se entre os 65 e 70 mg/l, estando assim acima do limite máximo admitido pelo Decreto-Lei Nº 236/98 de 1 de Agosto, que é de 50 mg/l. Por meio do gráfico associado ao ponto de amostragem 520/15 (Fig. 19), podemos notar que a concentração de nitratos não se manteve constante, apresentando flutuações ao longo do tempo. Notavelmente, os períodos entre o final de 2002 e o início de 2003, bem como o final de 2020 e meados de 2021, destacam-se por exibir os picos máximos de concentração. Por outro lado, entre o final de 2014 e meados de 2015, foram registados os níveis mais baixos de nitratos. De maneira geral, há uma tendência de leve aumento na concentração de nitratos, embora essa variação não possa ser considerada altamente significativa.

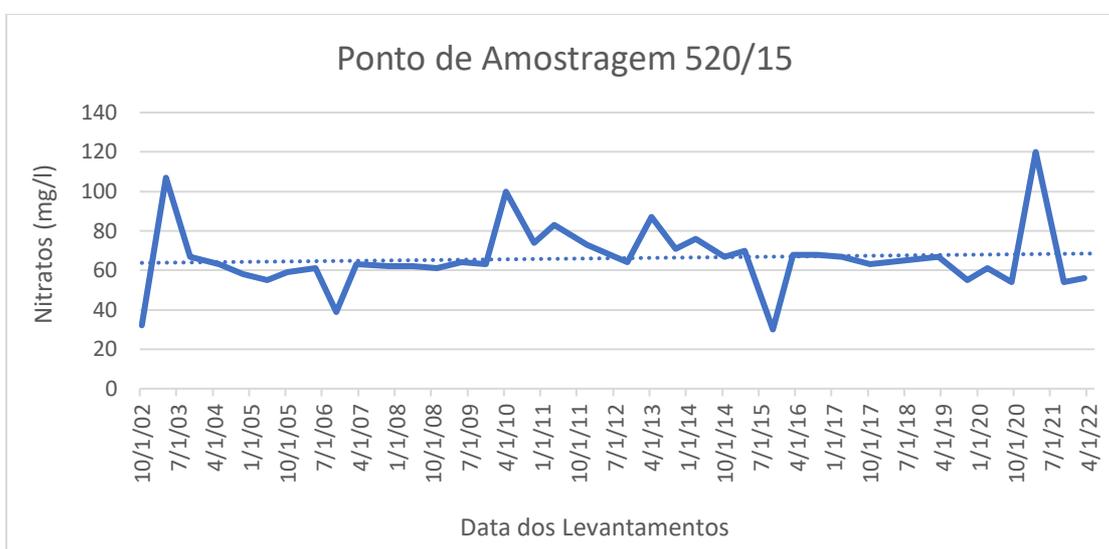


Figura 19 - Gráfico referente à evolução de nitratos no Ponto de Amostragem 520/15

Tendo como base a análise dos levantamentos referentes ao ponto de amostragem 521/38, podemos averiguar que os valores médios de nitratos decrescem entre 2002 e 2022, de cerca de 70 para cerca de 52 mg/l, situando-se um pouco acima do limite máximo admitido pelo Decreto-Lei Nº 236/98 de 1 de Agosto, que é de 50 mg/l. Ao analisar o gráfico correspondente aos levantamentos na área do ponto de amostragem 521/38 (Fig. 20), é perceptível que o padrão de crescimento não seguiu uma trajetória uniforme. Inicialmente, verificou-se uma queda significativa nos níveis de nitratos, atingindo mesmo o seu ponto mais baixo entre os finais de 2002 e o início de 2003. No entanto, ocorreu uma mudança drástica, que viria a resultar num aumento desses níveis, especialmente notável pelos valores alcançados em finais do ano de 2005. Posteriormente, iniciou-se um declínio, levando os níveis de nitratos de volta a valores

próximos dos iniciais. Em termos gerais, o crescimento foi negativo, sendo mais comuns os períodos de declínio na concentração de nitratos do que os períodos de aumento.

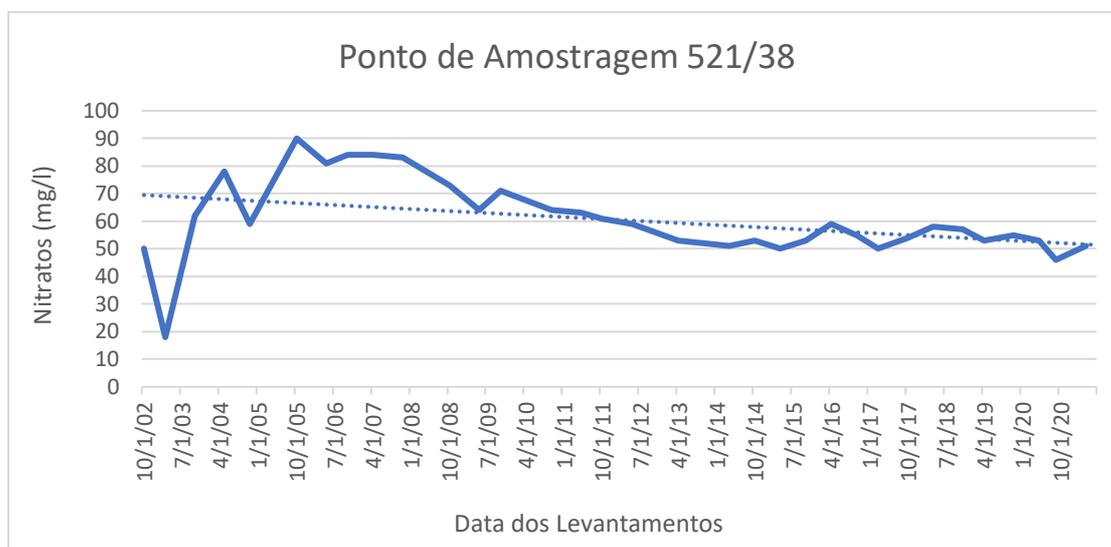


Figura 20 - Gráfico referente à evolução da concentração de nitratos no Ponto de Amostragem 521/38

Tendo como base a análise dos levantamentos referentes ao ponto de amostragem 521/44, podemos observar que os valores médios de nitratos andam pelos 78 mg/l, estando assim acima do limite máximo admitido pelo Decreto-Lei Nº 236/98 de 1 de Agosto, que é de 50 mg/l. Através do gráfico ilustrado na figura 21 podemos perceber que inicialmente, observa-se um padrão não linear de crescimento, caracterizado por flutuações alternadas na concentração. No entanto, ao longo do período analisado, há uma tendência global de declínio na concentração de nitratos em relação aos valores iniciais. Em termos de períodos significativos, destaca-se um aumento notável entre 2002 e o início de 2003, assim como o ano de 2004. Quanto à diminuição, o ano de 2008 se destaca como um período particularmente marcante.

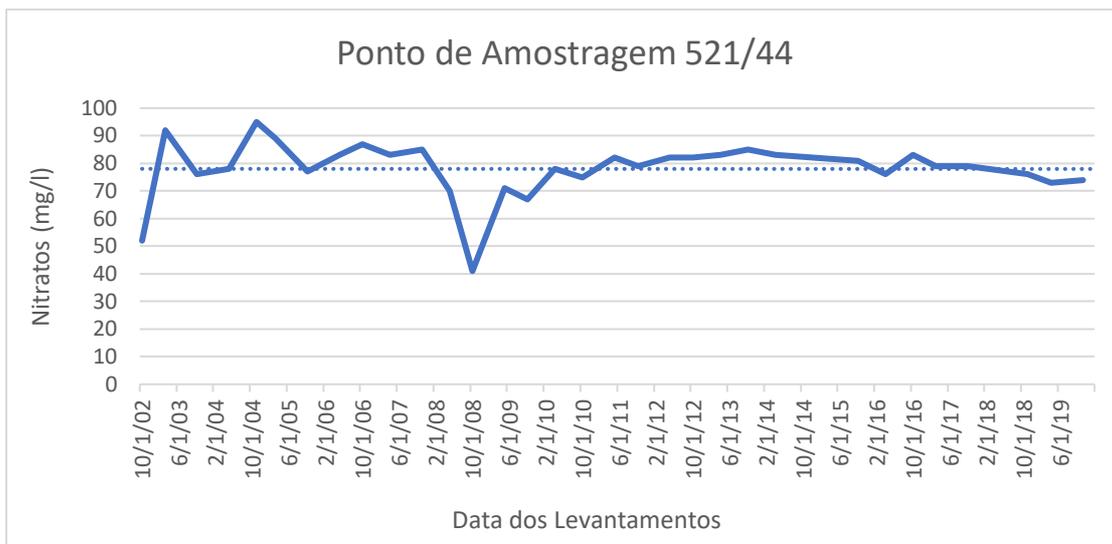


Figura 21 - Gráfico referente à evolução da concentração de nitratos no Ponto de Amostragem 521/44

Tendo como base a análise dos levantamentos referentes ao ponto de amostragem 521/147, podemos observar que os valores médios de nitratos sofrem um aumento, entre 2000 e 2022, passando de 48 para 52 mg/l, acabando assim por se situar acima do limite máximo admitido pelo Decreto-Lei Nº 236/98 de 1 de Agosto, que é de 50 mg/l. O gráfico seguinte (Fig. 22) demonstra uma irregularidade na variação dos níveis de nitratos ao longo do período analisado. Em termos de momentos distintos, destaca-se uma diminuição entre meados de 2001 e 2002. Quanto a aumentos, não há ocorrência de picos extremos em relação à média, porém, é perceptível um aumento significativo entre meados de 2000 e o início de 2001, assim como no final de 2014 e meados de 2015. De modo geral, há uma tendência predominantemente ascendente em comparação aos valores iniciais.

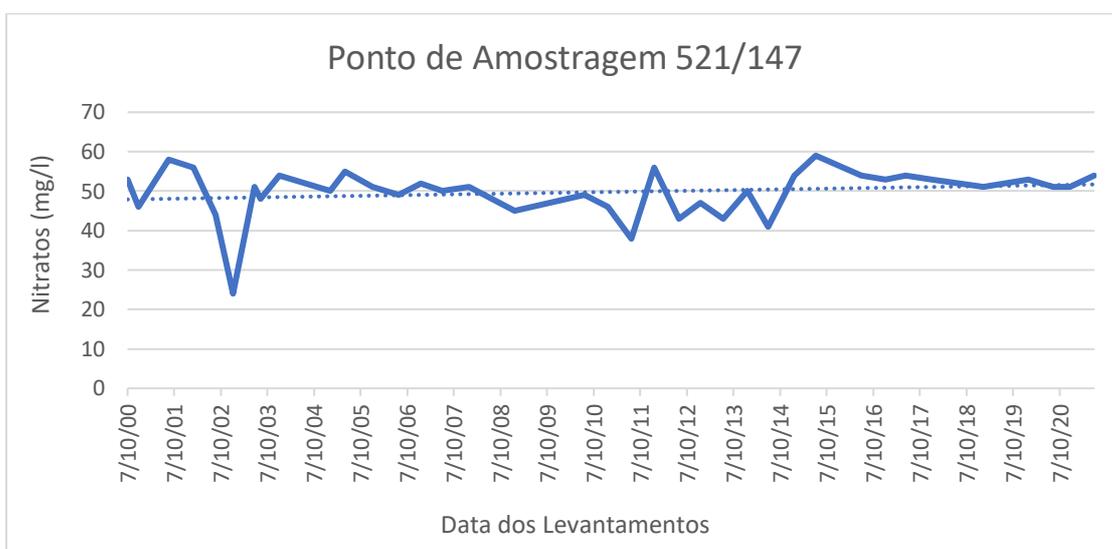


Figura 22 - Gráfico referente à evolução da concentração de nitratos no Ponto de Amostragem 521/147

Tendo como base a análise dos levantamentos referentes ao ponto de amostragem 521/163, podemos averiguar que os valores médios de nitratos decrescem entre 2002 e 2022, de cerca de 82 para cerca de 70 mg/l, situando-se, apesar disto, acima do limite máximo admitido pelo Decreto-Lei Nº 236/98 de 1 de Agosto, que é de 50 mg/l. A análise do gráfico (Fig. 23) permite notar a existência de um padrão de crescimento não uniforme ao longo do tempo. Observa-se uma divergência significativa entre os valores registados e os valores iniciais. A maioria dos períodos analisados demonstra uma tendência de diminuição em relação aos valores iniciais, com uma notável redução dos valores no final do ano de 2013. Destaca-se, a nível de aumento, o período compreendido entre o final de 2009 e 2011, sendo este último aquele onde os valores atingiram o seu pico máximo.

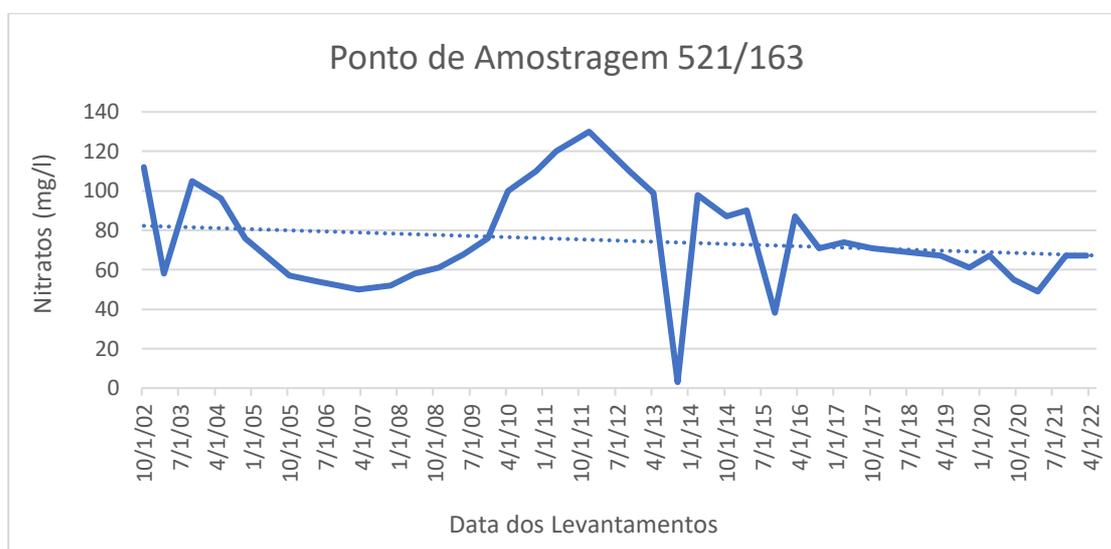


Figura 23 - Gráfico referente à evolução da concentração de nitratos do Ponto de Amostragem 521/163

Tendo como base a análise dos levantamentos referentes ao ponto de amostragem 521/221, podemos perceber que os valores médios de nitratos decrescem entre 2002 e 2022, de cerca de 82 para cerca de 75 mg/l, situando-se, apesar disto, acima do limite máximo admitido pelo Decreto-Lei Nº 236/98 de 1 de Agosto, que é de 50 mg/l. Através da observação do gráfico seguinte (Fig. 24) podemos notar que os valores exibem uma dinâmica de mudança constante, caracterizada por um crescimento não uniforme. De modo geral, a tendência de crescimento pode ser considerada como negativo, com a observação de mais períodos em que os valores decrescem do que aqueles em que aumentam. Uma observação interessante é que tanto o valor máximo como o mínimo, estão sequencialmente dispostos, ocorrendo o valor mínimo no final de 2002 e o máximo no início de 2003.

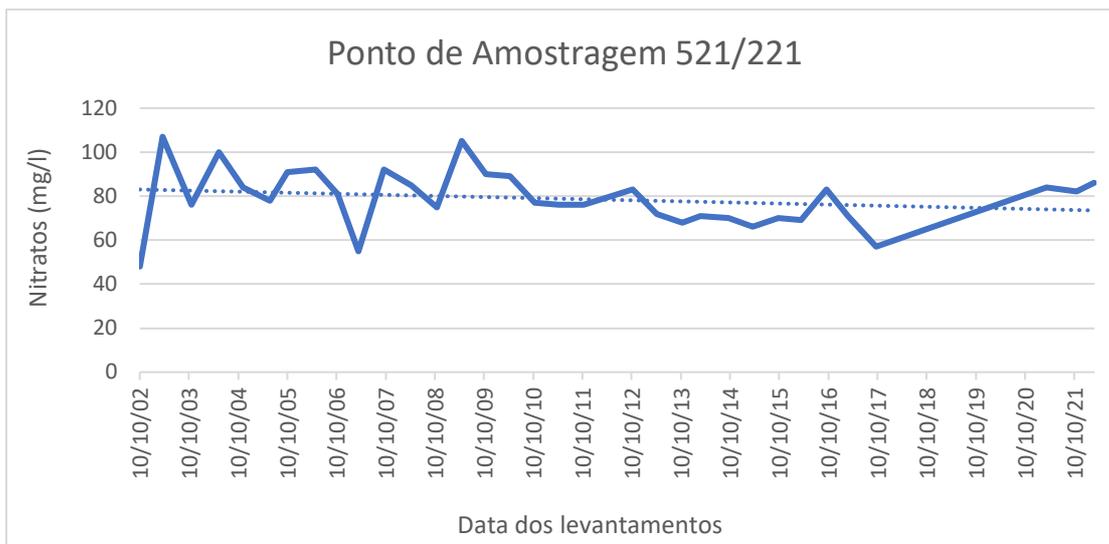


Figura 24 - Gráfico referente à evolução da concentração de nitratos no Ponto de Amostragem 521/221

Tendo como base a análise dos levantamentos referentes ao ponto de amostragem 521/222, podemos observar que os valores médios de nitratos sofrem um aumento, entre 2000 e 2021, passando de cerca de 50 para 105 mg/l, acabando assim por se situar acima do limite máximo admitido pelo Decreto-Lei Nº 236/98 de 1 de Agosto, que é de 50 mg/l. O gráfico exibido em seguida (Fig. 25) representa a variação da concentração de nitratos no ponto de amostragem 521/222 ao longo do período analisado, sendo notável um aumento uniforme na concentração quando comparada aos valores iniciais, visto que os valores mais baixos são observados no primeiro levantamento, em outubro de 2002. A partir desse ponto, os valores permanecem consistentemente superiores, embora não haja um crescimento contínuo, havendo períodos de diminuição que levam os valores a níveis ligeiramente superiores aos iniciais, como evidenciado no levantamento de outubro de 2007. Destaca-se, em termos de valores máximos, o período entre o final de 2019 e o final de 2021, com especial destaque para o final de 2020, quando é alcançado o pico máximo.

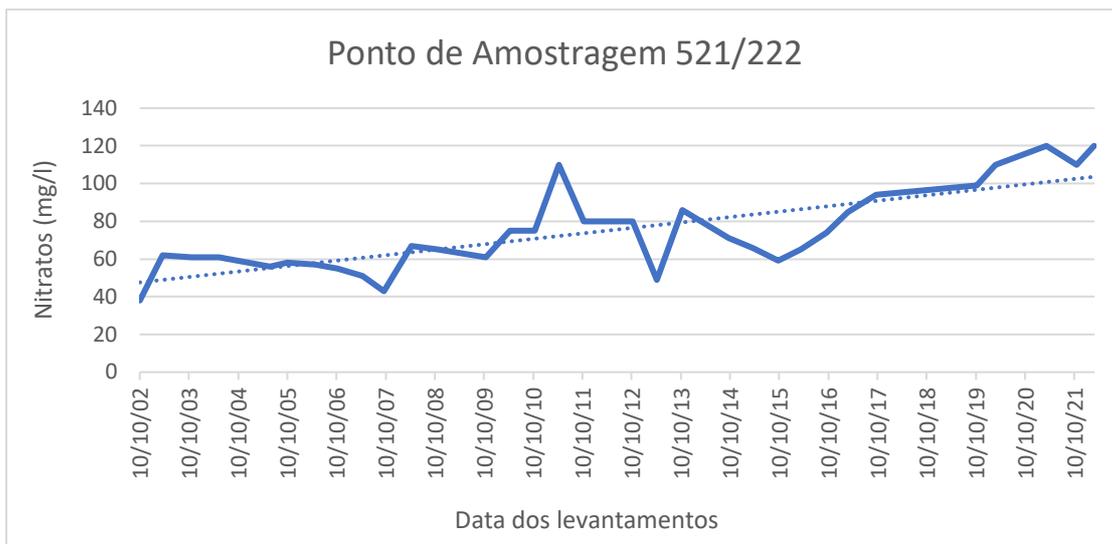


Figura 25 - Gráfico referente à evolução da concentração de nitratos no Ponto de Amostragem 521/222

Tendo como base a análise dos levantamentos referentes ao ponto de amostragem 521/264, podemos perceber que os valores médios de nitratos decrescem entre 2002 e 2021, de cerca de 160 para cerca de 80 mg/l, situando-se, apesar disto, acima do limite máximo admitido pelo Decreto-Lei Nº 236/98 de 1 de Agosto, que é de 50 mg/l. O gráfico referente ao ponto de amostragem 521/264 (Fig. 26) revela uma tendência de declínio em relação aos valores iniciais. Notavelmente, os valores iniciais estão entre os mais elevados registados ao longo das medições, destacando-se especialmente o valor máximo registado em abril de 2004. Subsequentemente, a maioria dos valores posteriores assemelham-se, em grande parte, ao inicial, porém muitas vezes apresentam-se em níveis mais baixos. De realçar que, o valor mínimo é alcançado durante o período entre finais de 2014 e meados de 2015, evidenciando uma queda significativa em relação aos valores iniciais.

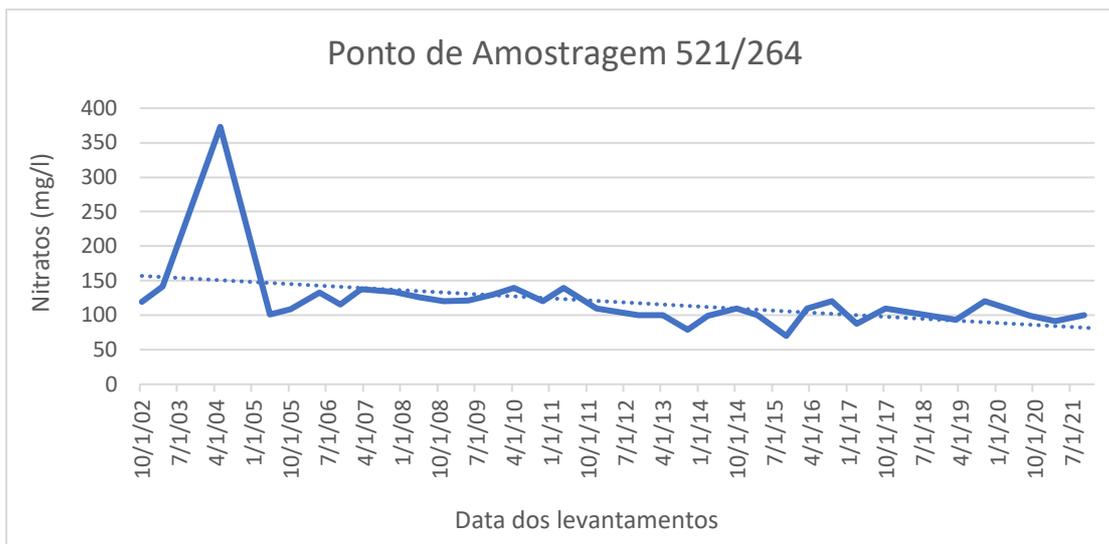


Figura 26 - Gráfico referente à evolução da concentração de nitratos no Ponto de Amostragem 521/264

Tendo como base a análise dos levantamentos referentes ao ponto de amostragem 521/284, podemos perceber que os valores médios de nitratos decrescem entre 2002 e 2021, de cerca de 70 para cerca de 35 mg/l, passando assim a situar-se dentro do limite máximo admitido pelo Decreto-Lei Nº 236/98 de 1 de Agosto, que é de 50 mg/l. O gráfico seguinte (Fig. 27) apresenta a evolução temporal do ponto de amostragem 521/284 em relação à concentração de nitratos e revela uma tendência regressiva no geral, embora não linear, devido a algumas oscilações nos valores, especialmente notáveis nos levantamentos mais recentes. De maneira mais específica, os valores mais altos são observados nas primeiras medições, atingindo o pico em 2003. A partir desse ano, inicia-se um declínio nos valores, alcançando o mínimo no final de 2015. É importante destacar a tendência observada a partir de 2016, na qual a concentração de nitratos demonstra um aumento progressivo após o período de declínio.

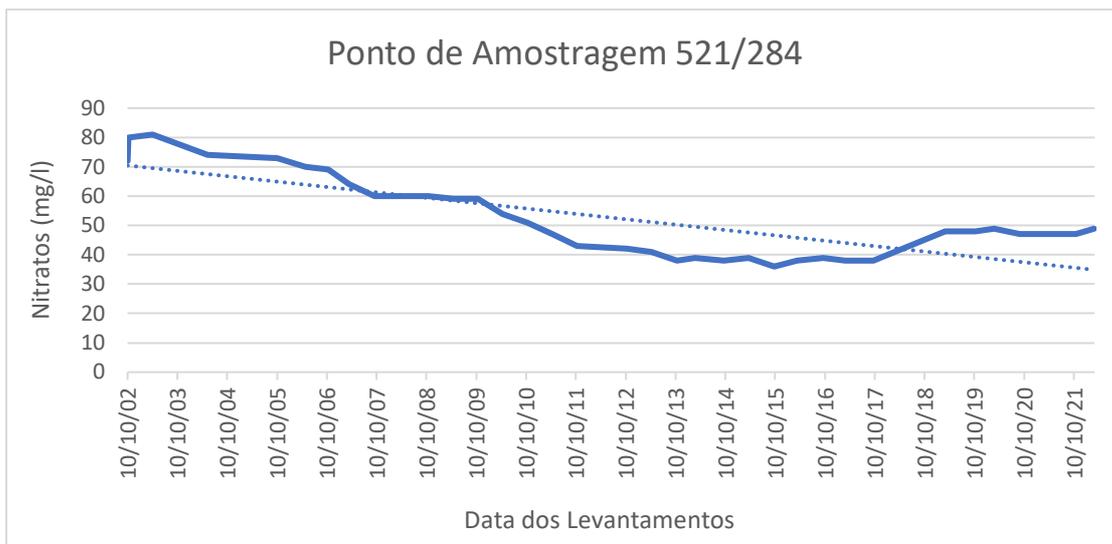


Figura 27 - Gráfico referente à evolução da concentração de nitratos no Ponto de Amostragem 521/284

Tendo como base a análise dos levantamentos referentes ao ponto de amostragem 521/222, podemos observar que os valores médios de nitratos sofrem um aumento, entre 2000 e 2021, passando de cerca de 79 para 90 mg/l, situando-se assim acima do limite máximo admitido pelo Decreto-Lei Nº 236/98 de 1 de Agosto, que é de 50 mg/l. O gráfico que representa a evolução dos nitratos na área do ponto de amostragem 522/117 (Fig. 28) revela, através da sua análise, uma relativa proximidade entre os valores, havendo, no entanto, algumas exceções. Destacam-se períodos distintos, tanto positivamente quanto negativamente. A nível de decréscimos na concentração de nitratos, destaca-se o intervalo entre o final de 2006 e o início de 2007. Por outro lado, em termos de aumentos, o período entre 2019 e 2021 emerge de forma crescente, alcançando o valor mais alto no início deste último ano. É notável que o gráfico apresenta uma tendência de aumento nas últimas medições, a partir do ano de 2010, evidenciando um desenvolvimento progressivo dos valores ao longo desse período.

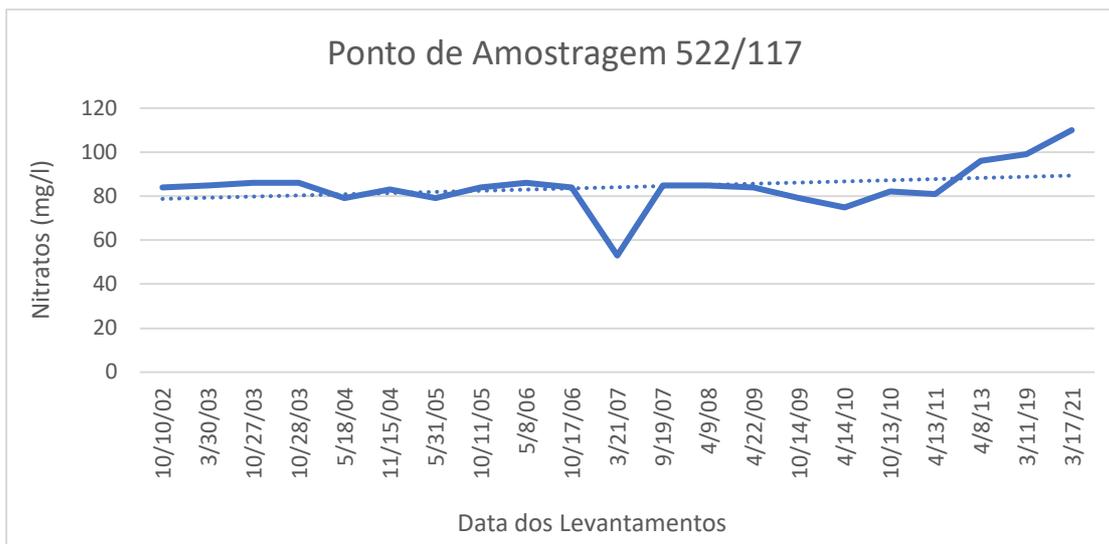


Figura 28 - Gráfico referente à evolução da concentração de nitratos no Ponto de Amostragem 522/117

Tendo como base a análise dos levantamentos referentes ao ponto de amostragem 522/165, podemos perceber que os valores médios de nitratos decrescem entre 2002 e 2021, de cerca de 100 para cerca de 35 mg/l, passando assim a situar-se dentro do limite máximo admitido pelo Decreto-Lei Nº 236/98 de 1 de Agosto, que é de 50 mg/l. O gráfico ilustrado na figura 29, que representa a evolução dos nitratos na área do ponto de amostragem 522/165 revela uma dinâmica de evolução inconstante ao longo das medições. Observam-se variações significativas entre valores mais elevados e mais reduzidos. Apesar dessa variabilidade, há uma tendência redutora nos valores mais recentes, com todas as medições a partir do final de 2013 exibindo valores inferiores aos iniciais. É interessante notar que o valor mais baixo não está localizado no período referido anteriormente, mas sim no início do ano de 2005. Por outro lado, o valor mais alto foi registado no início do ano de 2011, destacando-se como ponto máximo ao longo de todo o período analisado.

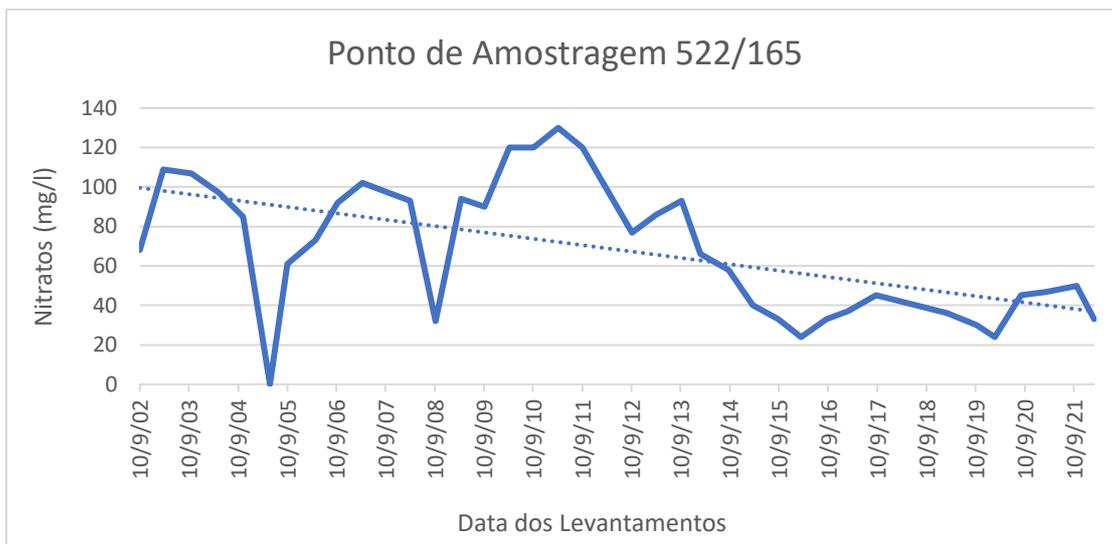


Figura 29 - Gráfico referente à evolução da concentração de nitratos no Ponto de Amostragem 522/165

Tendo como base a análise dos levantamentos referentes ao ponto de amostragem 522/169, podemos perceber que os valores médios de nitratos decrescem entre 2002 e 2021, de cerca de 150 para cerca de 120 mg/l, excedendo o limite máximo admitido pelo Decreto-Lei Nº 236/98 de 1 de Agosto, que é de 50 mg/l. Com o auxílio do gráfico associado ao ponto de amostragem 522/169 (Fig. 30), podemos notar que este apresenta um padrão de crescimento inconstante, caracterizado por oscilações frequentes, com os valores oscilando entre aumentos e quedas continuamente. O ponto de valor máximo foi atingido em 2008, enquanto o valor mínimo foi registado na primeira medição, em 2002. É notável que o período mais volátil em termos de valores ocorre entre 2008 e 2011, o que demonstra a existência de uma maior instabilidade nesse intervalo temporal.

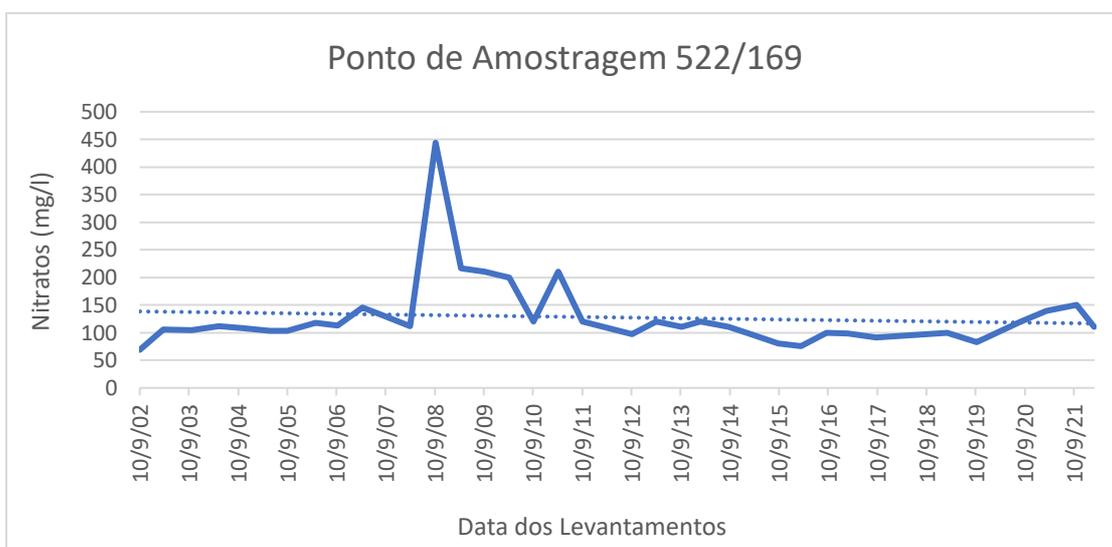


Figura 30 - Gráfico referente à evolução da concentração de nitratos no Ponto de Amostragem 522/169

Tendo como base a análise dos levantamentos referentes ao ponto de amostragem 522/204, podemos perceber que os valores médios de nitratos decrescem entre 2002 e 2021, de cerca de 145 para cerca de 60 mg/l. Apesar desta descida de valores, estes continuam a exceder o limite máximo admitido pelo Decreto-Lei Nº 236/98 de 1 de Agosto, que é de 50 mg/l. Através do gráfico seguinte (Fig. 31) podemos perceber que há uma inconsistência nos valores observados, que são caracterizados por flutuações significativas de aumento e diminuição ao longo do tempo. A partir de 2003, ocorreu um aumento considerável nos níveis de nitratos onde se verificaram valores superiores aos iniciais. No entanto, a partir de meados de 2008 até às medições mais recentes, existe uma tendência de diminuição nos níveis. Apesar disso, é notável que as medições mais recentes já apresentam valores mais próximos do inicial. Em termos de pontos de destaque no período analisado, é relevante mencionar o início de 2008, quando foram alcançados os valores mais altos, e o final de 2012, onde foram registados os valores mais baixos.

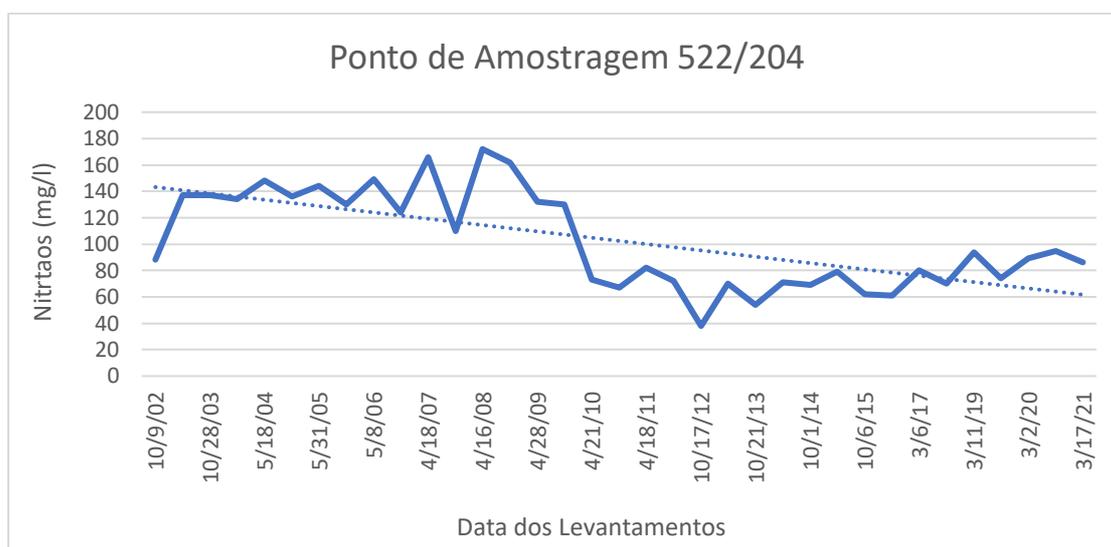


Figura 31 - Gráfico referente à evolução da concentração de nitratos no Ponto de Amostragem 522/204

Tendo como base a análise dos levantamentos referentes ao ponto de amostragem 532/11, podemos perceber que os valores médios de nitratos decrescem entre 2000 e 2017, de cerca de 75 para cerca de 68 mg/l, que é de 50 mg/l. Contudo, estes continuam a exceder o limite máximo admitido pelo Decreto-Lei Nº 236/98 de 1 de Agosto. Com base na figura 32, é notável que os resultados obtidos nos levantamentos são inconsistentes ao longo do período analisado, caracterizados por flutuações constantes nos níveis de nitratos, alternando entre aumentos e diminuições. Essas variações têm sido mais evidentes nos últimos anos, com mudanças cada vez mais abruptas e valores alcançados que são mais baixos em comparação com os valores iniciais. Em termos de momentos destacados, destaca-se o final de 2014, quando

foi registado o valor mais baixo, e meados de 2000, marcando a primeira observação e alcançando o valor mais alto durante o período analisado.

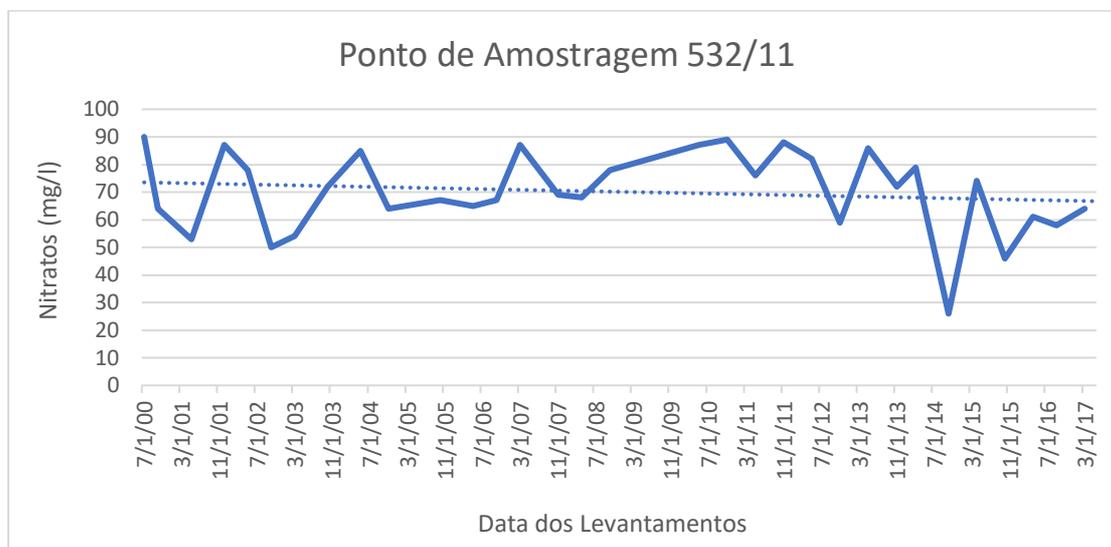


Figura 32 - Gráfico referente à evolução da concentração de nitratos no Ponto de Amostragem 532/11

Tendo como base a análise dos levantamentos referentes ao ponto de amostragem 532/38, podemos perceber que os valores médios de nitratos decrescem entre 2002 e 2022, de 80 para cerca de 30 mg/l, passando assim a situar-se dentro do limite máximo admitido pelo Decreto-Lei Nº 236/98 de 1 de Agosto, que é de 50 mg/l. Ao analisarmos a figura 33, que ilustra a variação dos níveis de nitratos na área associada ao ponto de amostragem 532/38, podemos perceber que existe uma maior concentração de nitratos nas medições iniciais, entre 2000 e meados de 2003, seguida por uma diminuição progressiva nos anos seguintes, onde podemos destacar o período compreendido entre meados de 2013 e o início de 2015, sendo este último o ponto onde foram obtidos os valores mais reduzidos. Relativamente ao pico máximo, este pode ser observado no início de 2000, naquela que foi a primeira medição registada.

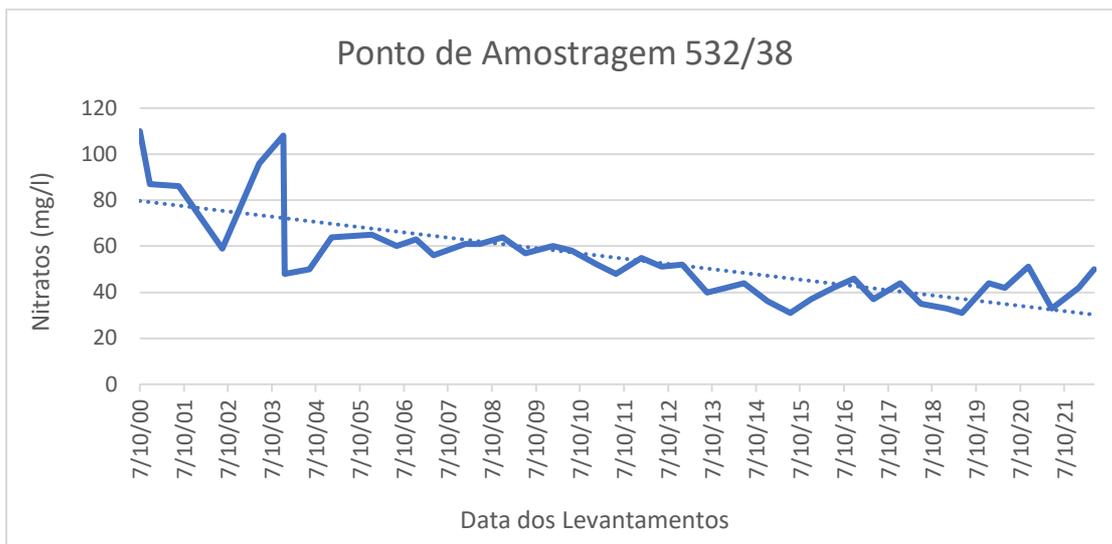


Figura 33 - Gráfico referente à evolução da concentração de nitratos no Ponto de Amostragem 532/38

Tendo como base a análise dos levantamentos referentes ao ponto de amostragem 532/98, podemos perceber que os valores médios de nitratos decrescem bastante entre 2002 e 2022, de cerca de 42 para cerca de 8 mg/l, situando-se assim dentro do limite máximo admitido pelo Decreto-Lei Nº 236/98 de 1 de Agosto, que é de 50 mg/l. O gráfico que se segue (Fig. 34) é relativo à concentração de nitratos no ponto de amostragem 532/98 e revela uma tendência geral de declínio relativamente constante. Destacam-se as medições iniciais com valores mais altos e o período entre 2014 e 2015 com os valores mais baixos. De forma mais específica, o ponto mais alto foi registado em 2003, enquanto o ponto mais baixo ocorreu no início de 2015.

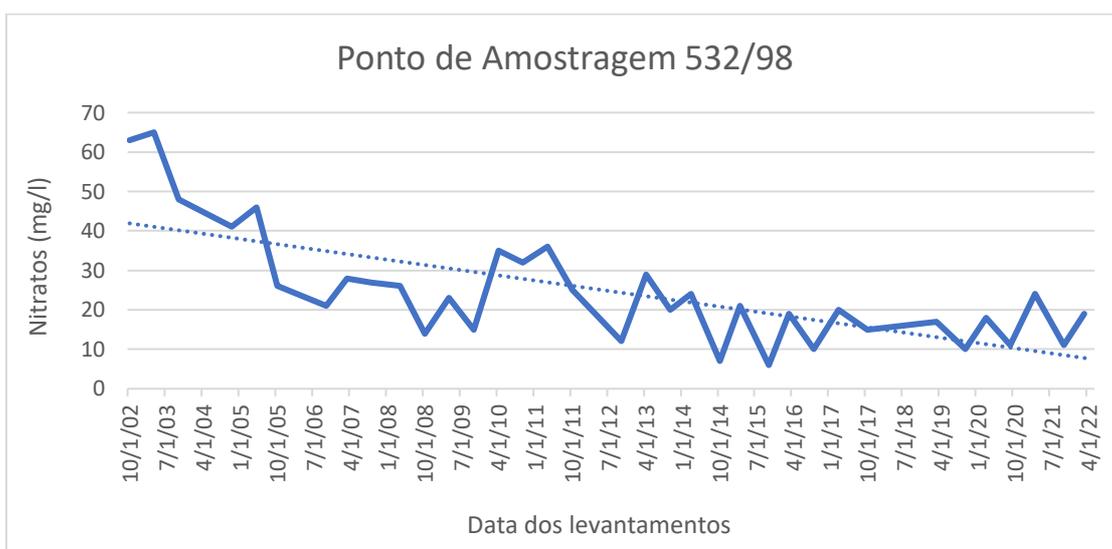


Figura 34 - Gráfico referente à evolução da concentração de nitratos no Ponto de Amostragem 532/98

Tendo como base a análise dos levantamentos referentes ao ponto de amostragem 532/136, podemos perceber que os valores médios de nitratos decrescem um pouco entre 1995 e 2021, de cerca de 46 para cerca de 42 mg/l, situando-se assim dentro do limite máximo admitido pelo Decreto-Lei Nº 236/98 de 1 de Agosto, que é de 50 mg/l. Através da observação do gráfico abaixo (Fig. 35), que representa a evolução da concentração de nitratos no ponto de amostragem 532/136, podemos perceber que a maioria das medições apresenta valores próximos, com exceção do período entre 2006 e 2013, que se destaca pelo aumento considerável nos níveis de nitratos. Em particular, o início de 2010, altura em que se registou o valor mais elevado. Para além deste período, também entre 1995 e 2001 se verificou uma alteração nos níveis de nitratos, havendo uma diminuição progressiva na sua concentração, alcançando o valor mínimo no início deste último ano.

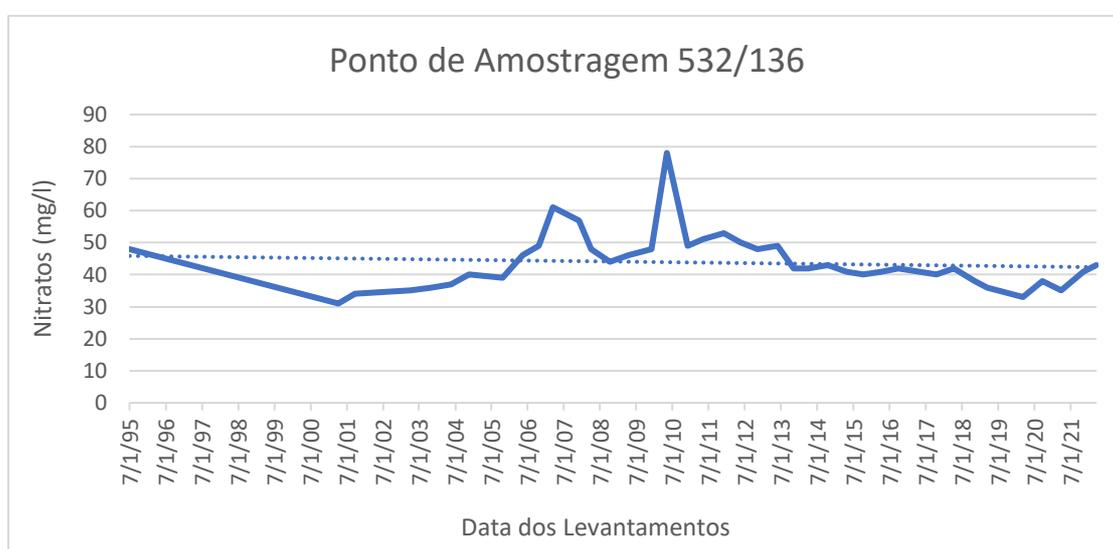


Figura 35 - Gráfico referente à evolução da concentração de nitratos no Ponto de Amostragem 532/136

Tendo como base a análise dos levantamentos referentes ao ponto de amostragem 522/153, podemos perceber que os valores médios de nitratos decrescem entre 2001 e 2021, de cerca de 62 para cerca de 53 mg/l. Apesar desta descida de valores, estes continuam a exceder o limite máximo admitido pelo Decreto-Lei Nº 236/98 de 1 de Agosto, que é de 50 mg/l. A análise detalhada da figura 36, que representa a flutuação da concentração de nitratos no ponto de amostragem 522/153, evidencia uma tendência predominante de declínio constante, ainda que em concentrações moderadas. Vale realçar especialmente as medições iniciais, as quais revelaram um aumento repentino (entre 2001 e 2003). Apesar desse aumento inicial, o pico máximo ocorreu apenas no final de 2005, enquanto a medição mais baixa remonta à primeira observação, realizada em 2001.

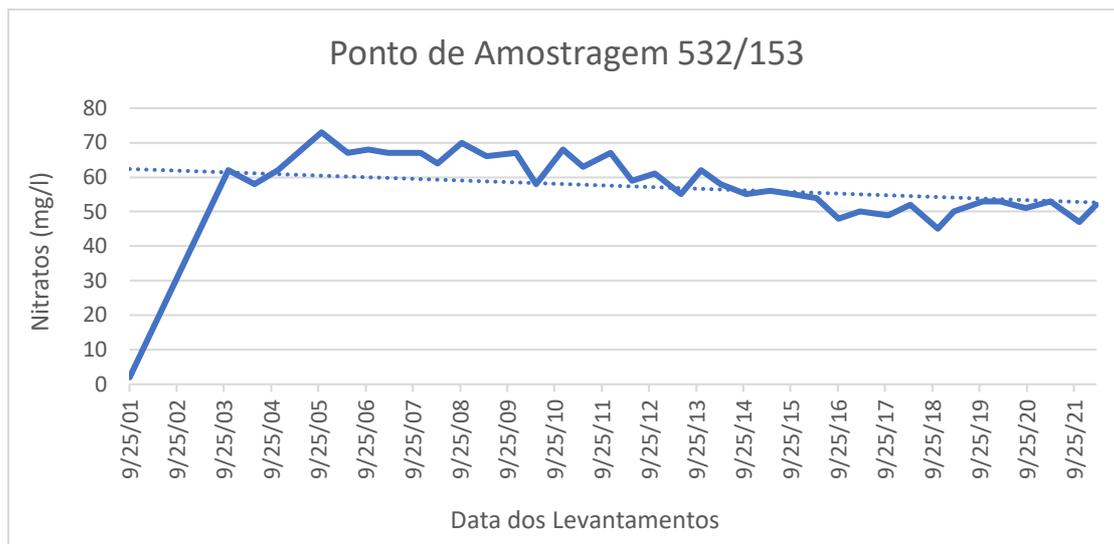


Figura 36 - Gráfico referente à evolução da concentração de nitratos no Ponto de Amostragem 532/153

7.1.2. Monitorização da concentração de nitratos em Pontos de Amostragem fora das Áreas de Rega do Alqueva

A tabela apresentada (Tab. 8) representa os pontos de amostragem situados fora das zonas de irrigação originadas pela construção da barragem do Alqueva, e permite uma análise da longevidade das observações efetuadas em cada um dos locais.

Tabela 8 – Pontos de Amostragem fora das áreas de rega selecionados para a medição da concentração de nitratos (período de anos compreendido entre 1995 e 2022)

Ponto de Amostragem	Aquífero	Região Hidrográfica	Período de Anos
372/44	Maciço Antigo Indiferenciado	7	22
476/14	Bacia do Tejo-Sado/Margem Esquerda	5ª	22
535/20	Maciço Antigo Indiferenciado	6	22
572/16	Maciço Antigo Indiferenciado	7	22
591/43	Maciço Antigo Indiferenciado	7	27

Tendo como base a análise dos levantamentos referentes ao ponto de amostragem 372/44, é perceptível que os valores médios de nitratos decrescem de cerca de 27 para cerca de 12 mg/l, situando-se dentro do limite máximo admitido pelo Decreto-Lei Nº 236/98 de 1 de Agosto, que é de 50 mg/l. Por meio do gráfico seguinte (Fig. 37), podemos notar que a

concentração de nitratos apresenta um padrão decrescente ao longo do tempo, exibindo uma clara tendência de redução a partir do ano de 2010, evidenciando assim a existência de dois períodos distintos durante o período de observação. Ao nível de períodos notáveis podemos referir o final de 2010, onde foi registado o ponto de maior concentração de nitratos, seguido por uma queda abrupta. Destaca-se ainda o início de 2021, momento em que se registou o valor mais baixo observado.

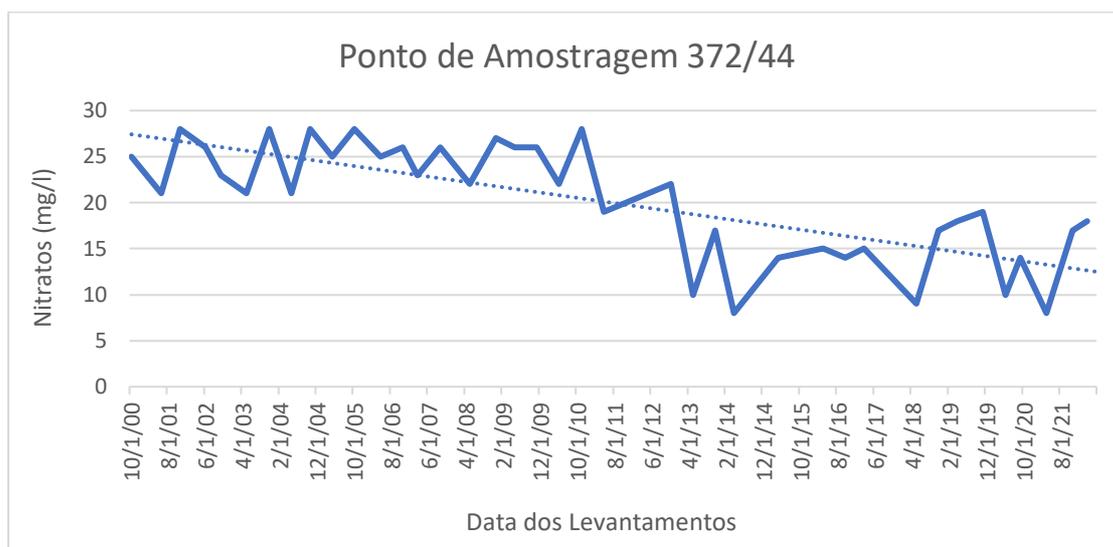


Figura 37 - Gráfico referente à evolução da concentração de nitratos no Ponto de Amostragem 372/44

Tendo como base a análise dos levantamentos referentes ao ponto de amostragem 476/14, é perceptível que os valores médios de nitratos aumentam de cerca de 12 para cerca de 28 mg/l, situando-se, apesar disso, dentro do limite máximo admitido pelo Decreto-Lei Nº 236/98 de 1 de Agosto, que é de 50 mg/l. Através da análise do gráfico correspondente ao ponto de amostragem 476/14 (Fig. 38) podemos destacar um aumento notável e consistente na concentração de nitratos, evidenciando uma clara tendência ascendente que se inicia em 2011, sugerindo assim a presença de dois segmentos distintos ao longo do período analisado. Em termos de momentos de destaque, podemos enumerar o final de 2008, onde foi registado o ponto de menor concentração de nitratos e o começo de 2021, onde foi medido o valor mais elevado, e que antecede o início do período de aumento na concentração desses compostos nitrogenados.

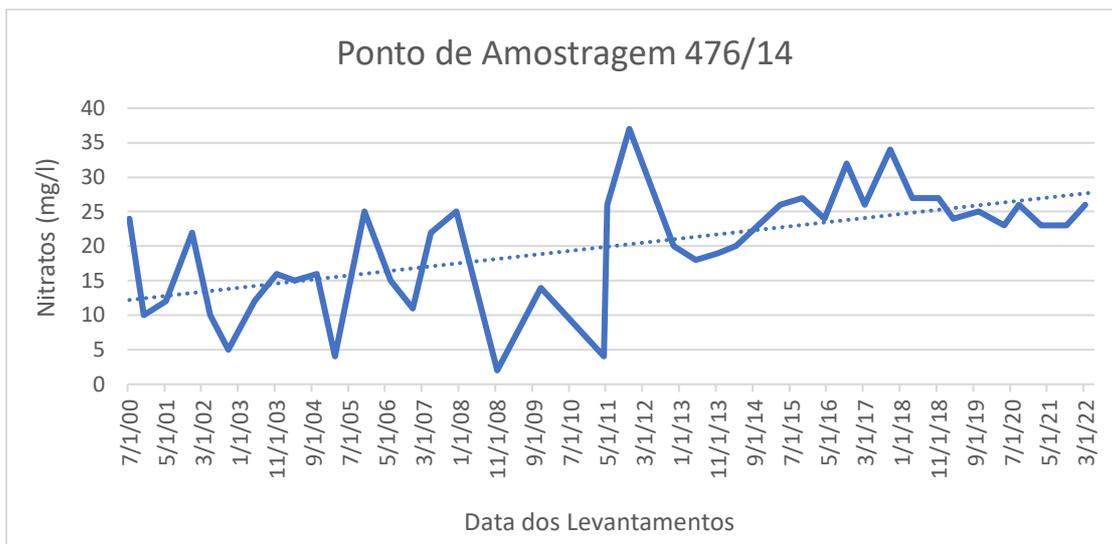


Figura 38 - Gráfico referente à evolução da concentração de nitratos no Ponto de Amostragem 476/14

Tendo como base a análise dos levantamentos referentes ao ponto de amostragem 535/20, podemos afirmar que os valores médios de nitratos se situam pelos 2 mg/l, valor considerado como fundo natural, pelo que este local não apresenta sinais de ter contaminação antropogénica. Por meio do referente ao ponto de amostragem 535/20 (Fig. 39), é observável um padrão de evolução praticamente uniforme, caracterizado pela predominância de resultados bastante similares na maioria das observações. Entretanto, existem períodos que se distinguem dessa tendência, acabando por se destacar, como é o caso do final do ano de 2004, quando foi medido um valor significativamente superior aos padrões anteriores, sendo correspondente ao valor mais elevado observado em todo o período analisado.

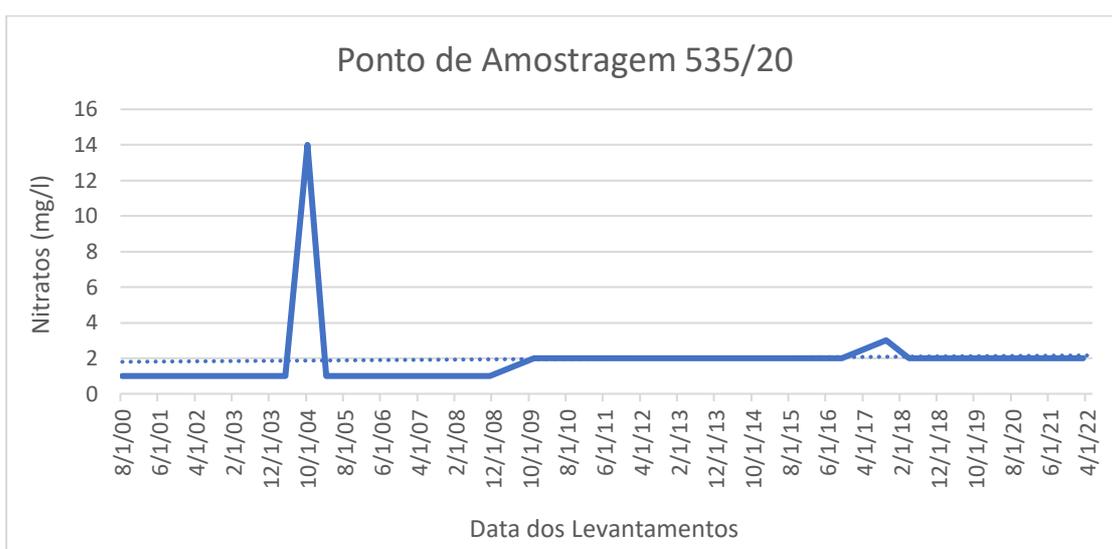


Figura 39 - Gráfico referente à evolução da concentração de nitratos no Ponto de Amostragem 535/20

Tendo como base a análise dos levantamentos referentes ao ponto de amostragem 572/16, podemos constatar que os valores médios de nitratos andam pelos 2 mg/l, valor considerado como fundo natural, pelo que este local não apresenta sinais de ter contaminação antropogénica. Através da observação do gráfico correspondente ao ponto de amostragem 572/16 (Fig. 40), é evidente que a concentração de nitratos na área em estudo demonstra uma distribuição maioritariamente consistente, com concentrações bastante próximas entre si ao longo do tempo. Em termos mais específicos, destaca-se um ponto de inflexão máximo no final de 2003, indicando uma discrepância significativa nos valores. Embora haja outros momentos ao longo do período analisado que exibam diferenças nos valores, estas não são tão proeminentes quanto aquele mencionado anteriormente. É importante realçar que, a partir do ano de 2011, todas as observações registam valores consideravelmente similares.

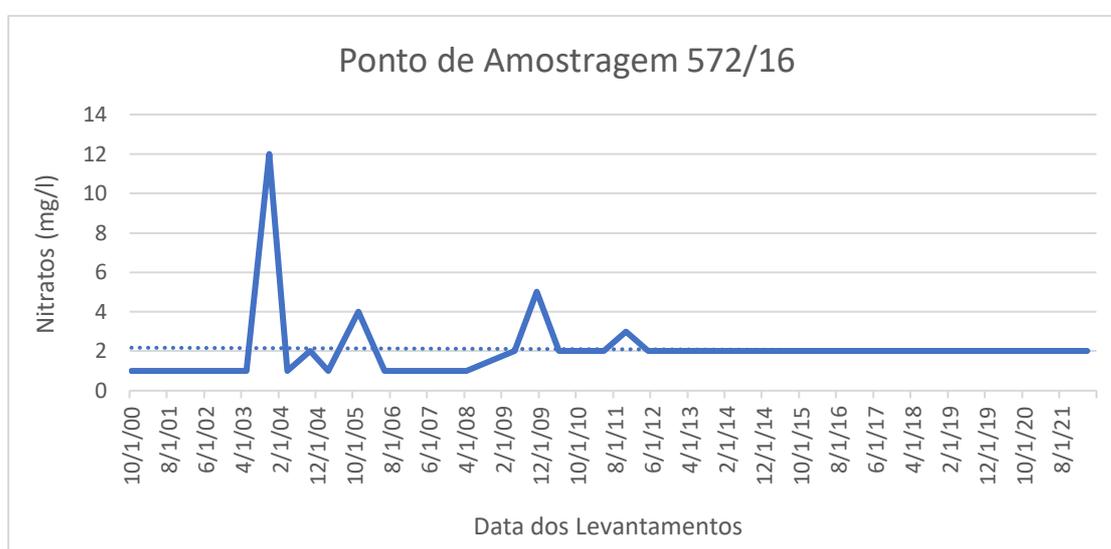


Figura 40 - Gráfico referente à evolução da concentração de nitratos no Ponto de Amostragem 572/16

Tendo como base a análise dos levantamentos referentes ao ponto de amostragem 591/43, é notável que os valores médios de nitratos decrescem de 7 para 5 mg/l, situando-se dentro do limite máximo admitido pelo Decreto-Lei Nº 236/98 de 1 de Agosto, que é de 50 mg/l. O gráfico apresentado (Fig. 41) exhibe um crescimento heterogéneo, sendo isto evidenciado pela inconstância ao nível do seu crescimento, sendo um exemplo disso o pico máximo, ocorrido no final de 2006, que é seguido por valores consideravelmente reduzidos nos anos subsequentes. Em termos gerais, observa-se um padrão decrescente ao nível do crescimento, onde a maioria dos valores medidos após 2006 é inferior aos registados nos anos anteriores.

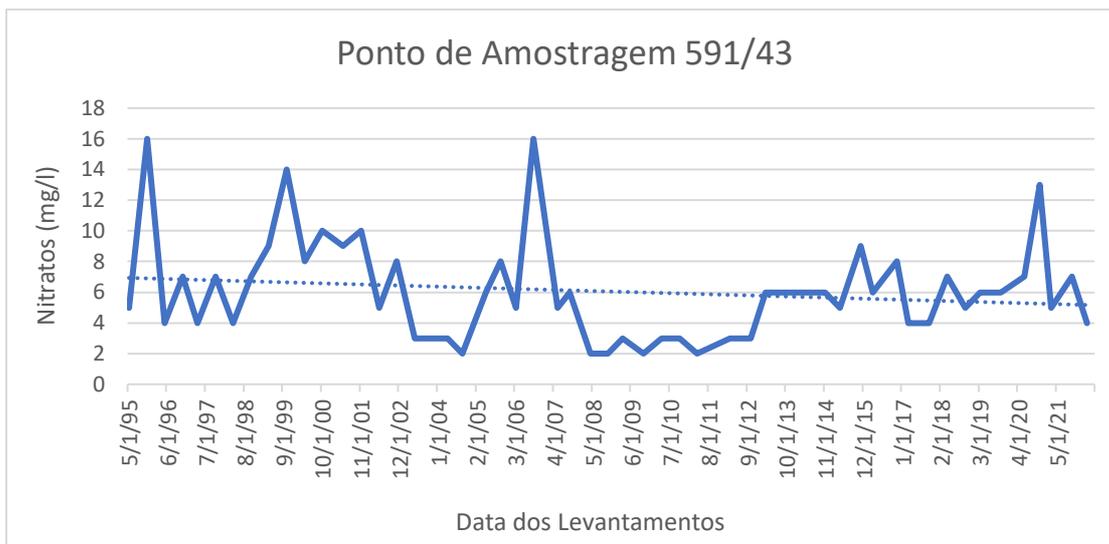


Figura 41 - Gráfico referente à evolução da concentração de nitratos no Ponto de Amostragem 591/43

7.1.3. Análise e Interpretação Comparativa de Resultados

Conforme anteriormente mencionado, existe um limite máximo aceitável de concentração de nitratos na água para garantir sua adequação ao consumo humano, fixado em 50 mg/l. Na região objeto de estudo, foi possível identificar uma significativa disparidade nos valores entre os pontos de amostragem localizados nas áreas de rega associadas ao projeto Alqueva e aqueles situados fora dessas áreas, delimitando os confines da pesquisa. A seguir, estará um mapa que ilustra de forma esclarecedora os resultados obtidos (Fig. 42), bem como duas tabelas: uma delineando a média dos valores registados em cada ponto de amostragem nas áreas de irrigação vinculadas ao Alqueva (Tab. 9) e a outra exibindo os valores correspondentes aos pontos localizados fora dessas áreas (Tab 10).

Com o propósito de facilitar a compreensão da informação fornecida pelo mapa ilustrado na figura 42, procedeu-se à classificação dos pontos de amostragem com base nos valores médios apresentados. Nesse contexto, foram atribuídas três categorias distintas aos pontos: uma classificação verde, simbolizando "condições excelentes", uma classificação amarela, indicando "condições boas", e uma classificação vermelha, anunciando "condições inadequadas" e tornando o local impróprio para consumo. Os limites específicos que delineiam cada uma dessas categorias estão explicitamente apresentados na legenda correspondente ao mapa em apreço.

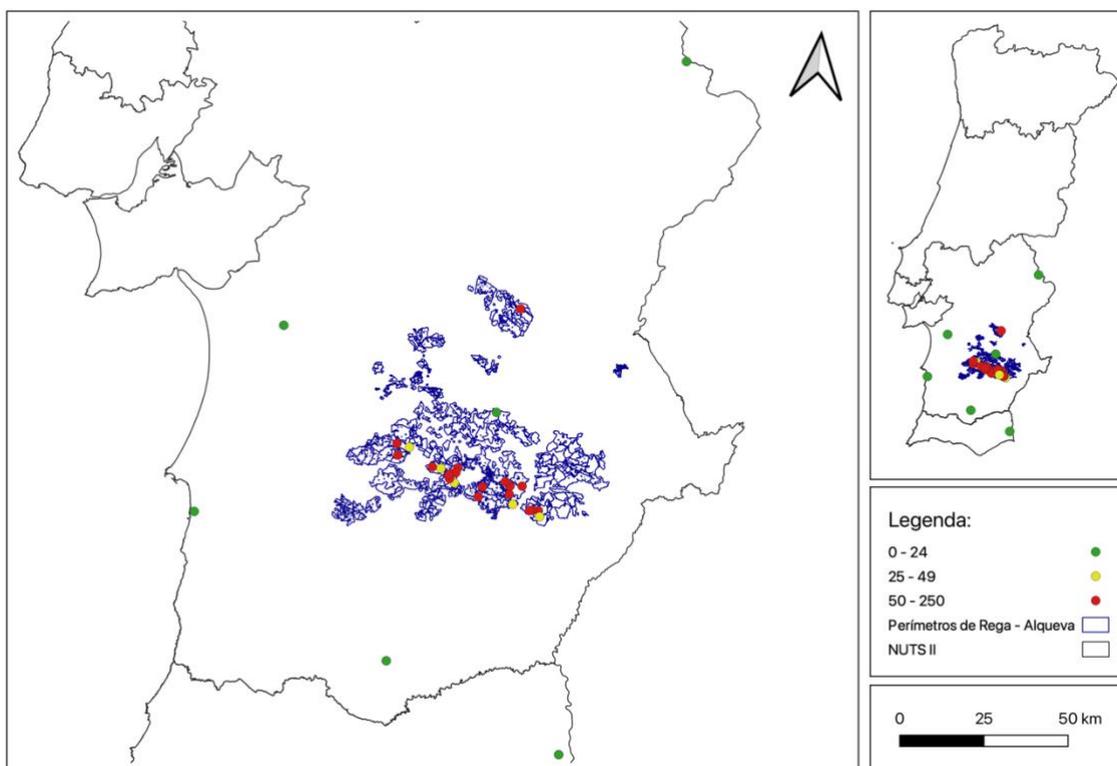


Figura 42 – Classificação dos Pontos de Amostragem tendo em conta os valores médios da concentração de nitratos

Ao examinarmos os dados apresentados no mapa exibido na figura 42, observamos que a maioria dos pontos de amostragem situados nas áreas de irrigação decorrentes da formação da barragem do Alqueva exibem condições inadequadas, tornando-os inapropriados para consumo. Entretanto, é possível identificar alguns pontos nas proximidades que contradizem essa tendência, incluindo um ponto com condições excelentes e quatro com condições consideradas boas.

Conforme previamente indicado, a atividade agrícola emerge como a principal fonte de nitrato nas reservas subterrâneas de água, resultante da intensa utilização de fertilizantes nitrogenados. A aplicação exacerbada desses compostos e a sua manipulação negligente emergem como determinantes para as altas concentrações de nitrato encontradas nos ecossistemas aquáticos, conforme evidenciado pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos, especificamente pela Câmara Técnica de Águas Subterrâneas, no ano de 2019. A proximidade geográfica da região adjacente ao Alqueva, caracterizada por ser uma área de atividade agrícola intensiva, onde diversos tipos de fertilizantes e pesticidas são empregues, muitas vezes de forma excessiva e inadequada, emerge como um fator primordial na explicação dos resultados observados. A disparidade nos níveis de concentração de nitrato entre os pontos amostrais

dentro e fora desta área reforça a hipótese de que as práticas agrícolas desempenham um papel preponderante na contaminação por nitrato dos recursos hídricos.

A seguir, serão apresentadas as tabelas que detalham de maneira precisa os valores médios obtidos, os quais fundamentaram a classificação representada no mapa.

Tabela 9 – Valores médios de concentração de nitratos dos Pontos de Amostragem dentro das áreas de rega

Pontos de Amostragem (Dentro)	Média (mg/l)
472/6	136
499/131	14
509/17	37
509/198	55
509/220	81
520/14	44
520/15	66
521/147	50
521/163	75
521/221	79
521/222	73
521/264	120
521/284	52
521/38	60
521/44	78
522/117	84
522/165	72
522/169	128
522/204	102
532/11	70
532/136	44
532/153	57
532/38	54
532/98	25

Tabela 10 - Valores médios de concentração de nitratos dos Pontos de Amostragem fora das áreas de rega

Pontos de Amostragem (Fora)	Média
372/44	20
535/20	2
572/16	2
591/43	6
476/14	20

Na tentativa de compreender a trajetória observada em cada ponto de amostragem, procedeu-se à elaboração de um mapa com o objetivo de analisar a sua evolução ao longo do período em que foram realizadas as medições correspondentes. O mapa em questão está apresentado na figura 43, onde estão identificadas três categorias: vermelho para os pontos de

amostragem que registaram aumento nos níveis de nitratos, amarelo para os pontos que mantiveram a concentração em níveis estáveis e verde para os pontos de amostragem que apresentaram redução na concentração de nitratos.

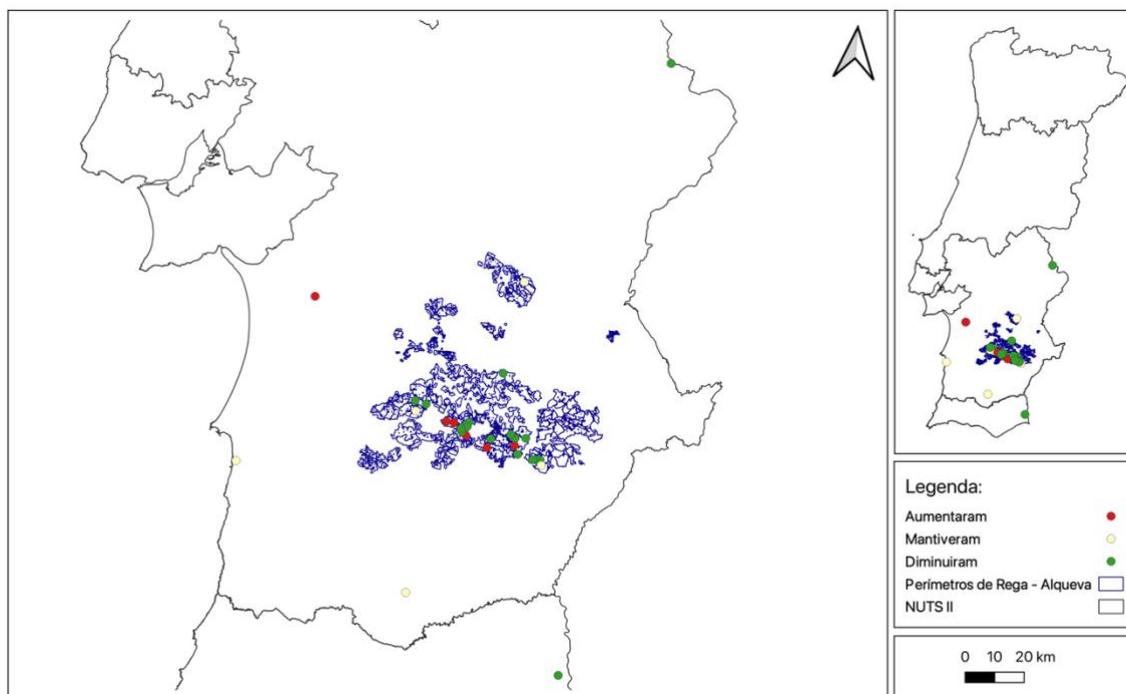


Figura 43 - Evolução da concentração de nitratos nos Pontos de Amostragem ao longo do período analisado

Através da análise da figura 42, é perceptível que a maioria substancial das áreas onde os pontos de amostragem estão localizados se encontra contaminada com nitratos, excedendo os limites estabelecidos pelo Decreto-Lei Nº 236/98 de 1 de agosto. Contudo, o mapa representado na figura 43 apresenta uma perspetiva ligeiramente distinta: dos 29 pontos examinados, apenas seis demonstram uma tendência de aumento na concentração de nitratos, ao passo que 18 exibem uma tendência decrescente. Além disso, cinco pontos mantiveram a sua concentração inalterada ao longo do período considerado. A partir desta análise, é possível inferir que, embora atualmente classificadas como inadequadas para consumo, muitas das áreas em estudo possuem capacidade para melhorar as suas condições e tornarem-se potencialmente consumíveis, desde que as tendências de regressão persistam.

7.2. Evolução da contaminação das águas subterrâneas na área de estudo - Cloretos

Mediante o mapa subsequente (Fig. 44), que delinea a georreferenciação dos pontos de amostragem selecionados para a avaliação da concentração de cloretos na área sob

escrutínio, é possível inferir que os pontos de amostragem, localizados dentro da zona de rega associada à barragem do Alqueva, encontram-se em proximidade considerável, primordialmente inseridos no aquífero de Gabros de Beja. Por contraste, os restantes pontos de amostragem estão dispersos na região, embora a maioria esteja situada na mesma bacia hidrográfica.

Essa organização propicia uma comparação de notável eficácia, uma vez que viabiliza a análise da variação na concentração de cloretos em diversos locais, facultando-nos uma compreensão mais profunda da influência de fatores específicos desta região na evolução da concentração de cloretos.

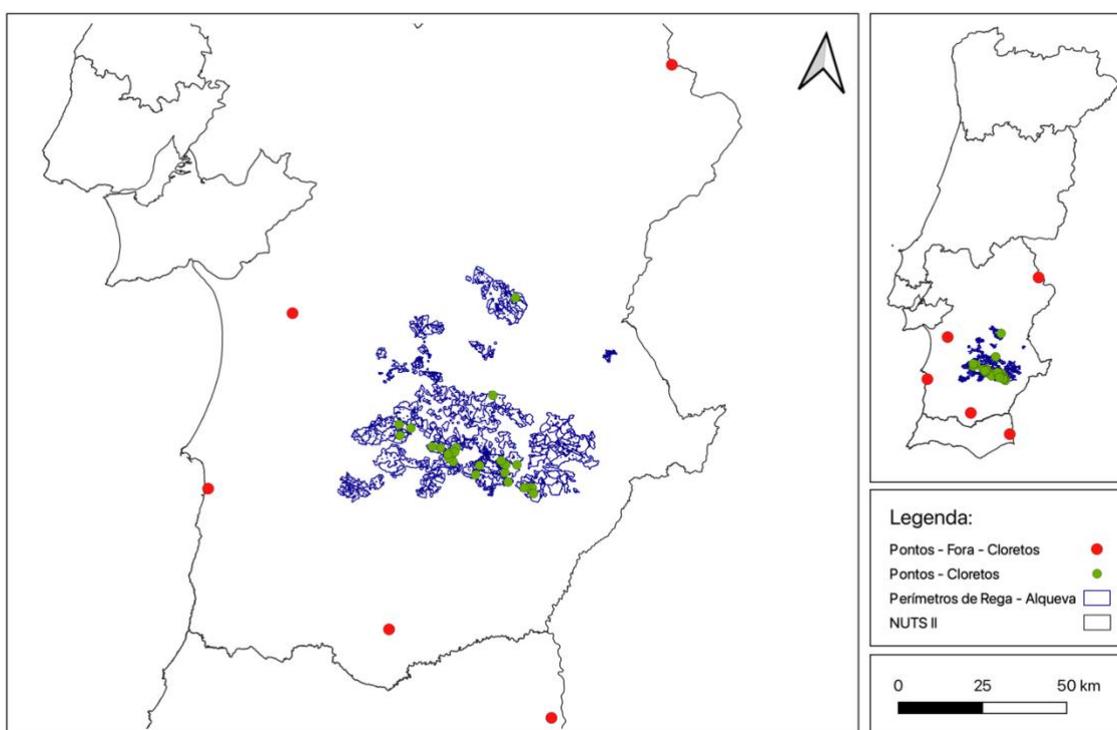


Figura 44 - Pontos de Amostragem selecionados para medição da concentração de cloretos

Os dados representados na figura 44 serão seguidamente apresentados em formato tabular com o intuito de proporcionar uma compreensão mais acessível. É pertinente enfatizar que uma das tabelas abrangerá os pontos de amostragem localizados nas áreas de rega do Alqueva, enquanto a outra se concentrará nos pontos de amostragem situados fora dessas áreas. Na sequência de cada uma, serão disponibilizados os respetivos gráficos que esquematizam a evolução da concentração de cloretos nos pontos de interesse. Como

previamente indicado, esses gráficos abarcam um período de análise com uma extensão mínima de 15 anos, com frequência excedendo substancialmente esse intervalo de tempo.

É relevante observar que, em conjunto com cada um dos gráficos, é fornecida uma linha de previsão. A análise das tendências representadas por essas linhas de previsão possibilita a aquisição de uma compreensão da evolução ocorrida durante o período de coleta de dados. Em outras palavras, permite-nos determinar se, ao longo desse intervalo temporal, a concentração de cloretos demonstrou uma trajetória ascendente ou descendente.

7.2.1. Monitorização da concentração de cloretos em Pontos de Amostragem nas Áreas de Rega do Alqueva

A tabela apresentada (Tab. 11) exhibe os pontos de amostragem inseridos nas zonas de rega resultantes da construção da barragem do Alqueva, possibilitando a execução de uma análise da longevidade das observações efetuadas em cada um desses sítios.

Tabela 11 - Pontos de Amostragem dentro das áreas de rega selecionados para a medição da concentração de cloretos (período de anos compreendido entre 1995 e 2022)

Ponto de Amostragem	Aquífero	Região Hidrográfica	Período de Anos
472/6	Maciço Antigo Indiferenciado	7	22
499/131	Maciço Antigo Indiferenciado	7	19
509/17	Gabros de Beja	7	22
509/198	Gabros de Beja	7	22
509/220	Gabros de Beja	7	20
520/14	Gabros de Beja	7	20
521/38	Gabros de Beja	7	19
521/44	Gabros de Beja	7	17
521/147	Gabros de Beja	7	21
521/163	Gabros de Beja	7	20
521/221	Gabros de Beja	7	20
521/222	Gabros de Beja	7	20
521/264	Gabros de Beja	7	19
521/284	Gabros de Beja	7	20
522/54	Gabros de Beja	7	15
522/117	Gabros de Beja	7	19
522/165	Gabros de Beja	7	20
522/169	Gabros de Beja	7	20
522/204	Gabros de Beja	7	19
532/11	Gabros de Beja	7	17
532/38	Gabros de Beja	7	22
532/98	Gabros de Beja	7	21

532/136	Gabros de Beja	7	27
532/153	Gabros de Beja	7	22

Tendo como base a análise dos levantamentos referentes ao ponto de amostragem 472/6, é notável que os valores médios de cloretos decrescem de 100 para 65 mg/l, situando-se dentro do limite máximo admitido pelo Decreto-Lei Nº 306/2007 de 27 de Agosto, que é de 250 mg/l. Com base no gráfico exposto na figura 45, podemos observar um notável declínio nos valores entre a primeira medição e as subsequentes, representando a primeira o pico máximo na concentração durante todo o período analisado. A nível de valores mais reduzidos, podemos realçar o menor nível de concentração, registado no final de 2011, que comprova assim a diminuição significativa dos valores. Apesar de nenhum valor se assemelhar ao do primeiro levantamento, houve algumas subidas dignas de referência, como é o caso, da sucedida no ano de 2017, onde foi registado o segundo valor mais elevado.

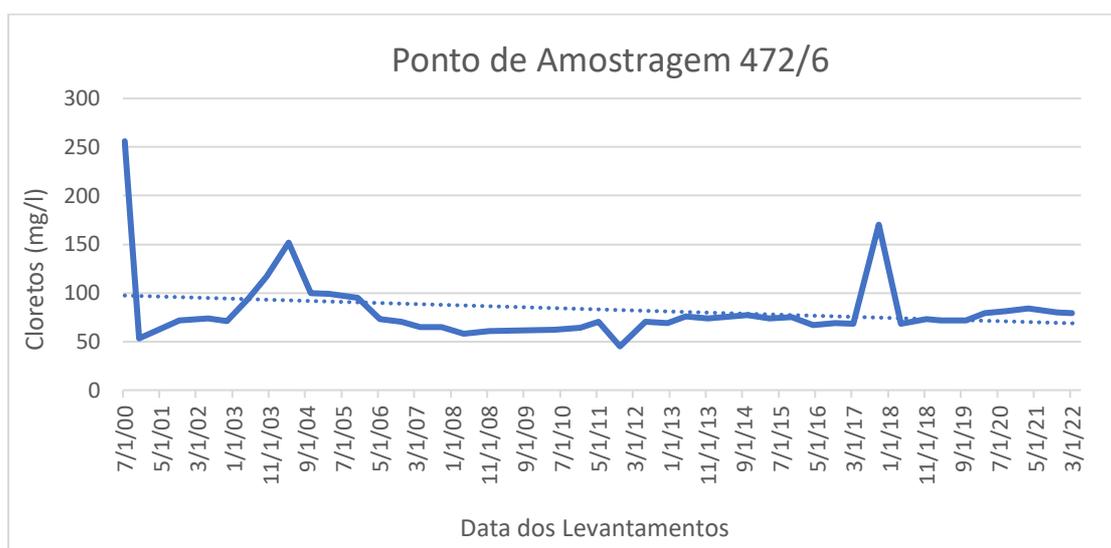


Figura 45 - Gráfico referente à concentração de cloretos no Ponto de Amostragem 472/6

Tendo como base a análise dos levantamentos referentes ao ponto de amostragem 499/131, é perceptível que os valores médios de cloretos decrescem de 130 para 100 mg/l, situando-se assim dentro do limite máximo admitido pelo Decreto-Lei Nº 306/2007 de 27 de Agosto, que é de 250 mg/l. Através da análise do gráfico que se segue (Fig. 46), é notável a existência de um padrão de crescimento não uniforme, caracterizado por múltiplas oscilações ao longo do período analisado. Uma observação notável é que a medição inicial revelou o valor mais elevado, após o qual nenhuma outra se aproximou desse patamar. Em contraste, o valor mais baixo foi registado em meados de 2008, após anos de valores consideravelmente mais

elevados. Globalmente, o gráfico apresenta uma tendência de crescimento negativo, com reduções enormes na concentração de cloretos, contra períodos de aumentos mínimos e insuficientes para contrabalançar a redução de valores.

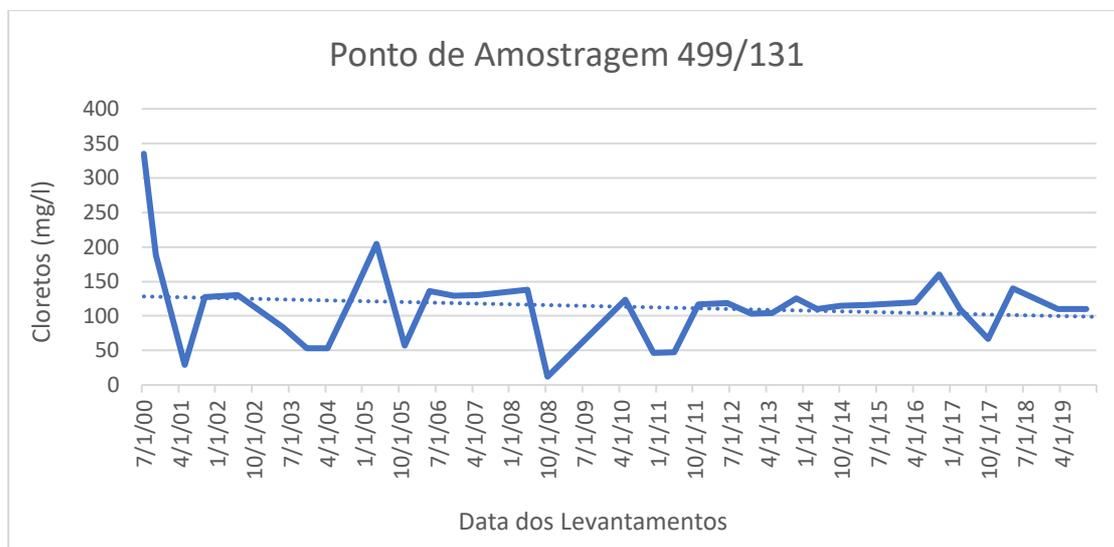


Figura 46 - Gráfico referente à concentração de cloretos no Ponto de Amostragem 499/131

Tendo como base a análise dos levantamentos referentes ao ponto de amostragem 509/17, é observável que os valores médios de cloretos aumentam de cerca de 40 para cerca de 50 mg/l, porém, continuam a situar-se dentro do limite máximo admitido pelo Decreto-Lei Nº 306/2007 de 27 de Agosto, que é de 250 mg/l. Com base no gráfico seguinte (Fig. 47), é evidente que a concentração de cloretos na região tende a manter uma relativa uniformidade, embora com algumas exceções pontuais. A medição inicial apresentava um nível de concentração de nitratos mais elevado, porém diminuiu e alcançou os valores que viriam a ser considerados como valores médios. A nível geral, observa-se uma tendência geral de aumento na concentração, devido a medições como a inicial e a realizada em 2008, que registou o valor mais elevado ao longo de todo o período analisado. Além disso, é notável que as medições mais recentes estão a exibir valores mais altos, sugerindo uma tendência ascendente na concentração de cloretos na área em questão.

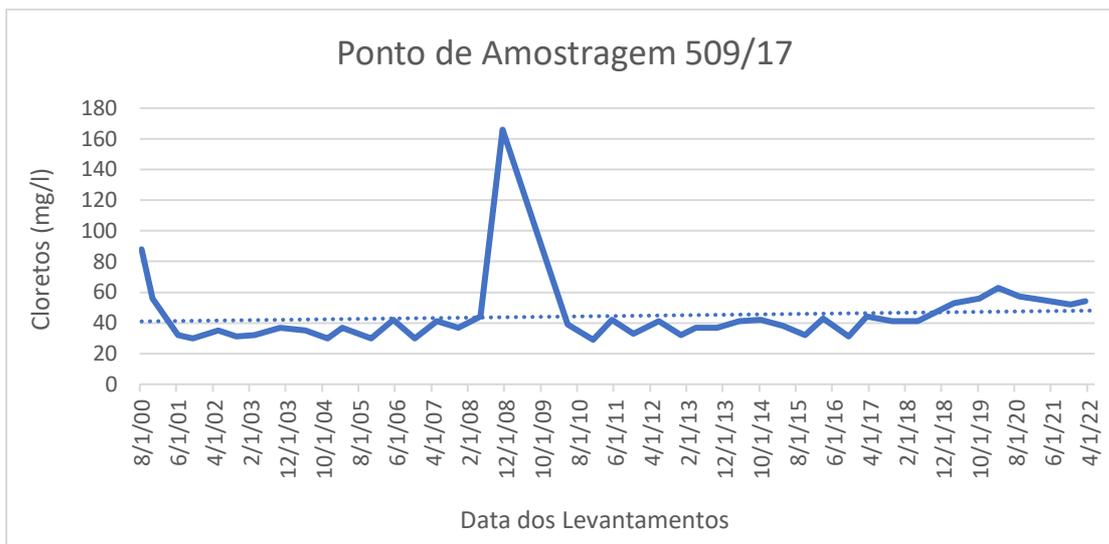


Figura 47 - Gráfico referente à concentração de cloretos no Ponto de Amostragem 509/17

Tendo como base a análise dos levantamentos referentes ao ponto de amostragem 509/198, é notável que os valores médios de cloretos diminuem de cerca de 58 para cerca de 25 mg/l, situando-se assim dentro do limite máximo admitido pelo Decreto-Lei Nº 306/2007 de 27 de Agosto, que é de 250 mg/l. O gráfico apresentado na figura 48 ilustra um padrão de redução, onde o valor máximo é observado na primeira medição, seguido por valores significativamente inferiores nas medições subsequentes. Esse declínio, embora inicialmente pronunciado, torna-se ainda mais evidente a partir de 2003, quando os valores diminuem ainda mais. De realçar que a maioria das medições posteriores a 2003 exibe valores relativamente consistentes, embora existam algumas exceções, especialmente devido a aumentos na concentração, como evidenciado na medição realizada no final de 2021.

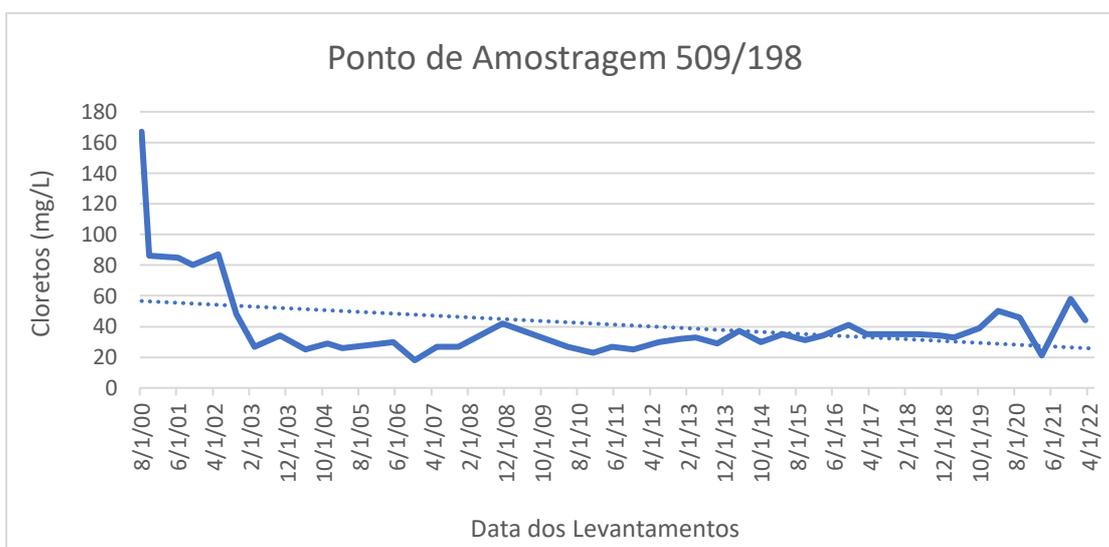


Figura 48 - Gráfico referente à concentração de cloretos no Ponto de Amostragem 509/198

Tendo como base a análise dos levantamentos referentes ao ponto de amostragem 509/220, é notável que os valores médios de cloretos diminuem de cerca de 250 para cerca de 80 mg/l, passando assim a situar-se dentro do limite máximo admitido pelo Decreto-Lei Nº 306/2007 de 27 de Agosto, que é de 250 mg/l. Através da observação do gráfico seguinte (Fig. 49), podemos concluir que houve um enorme declínio na concentração de cloretos na área em questão. Os valores mais elevados foram registados nas primeiras medições, especialmente em finais de 2003, onde se verificou o pico máximo. Embora esse declínio na concentração fosse perceptível, tornou-se ainda mais evidente a partir de 2011, marcando o início de uma queda mais uniforme ao longo do tempo. O valor mais baixo foi alcançado na última medição, realizada no início de 2022.

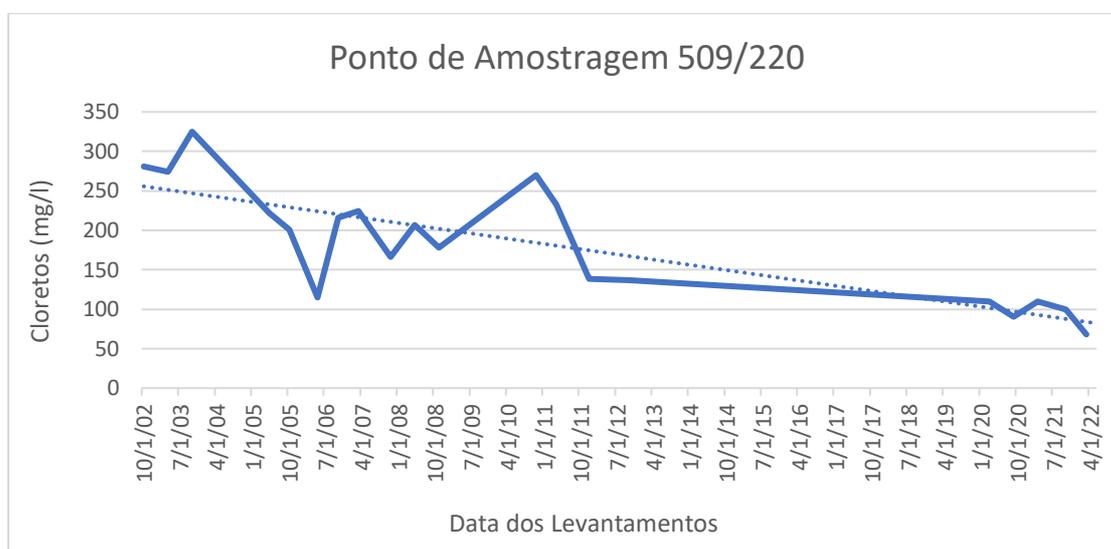


Figura 49 - Gráfico referente à concentração de cloretos no Ponto de Amostragem 509/220

Tendo como base a análise dos levantamentos referentes ao ponto de amostragem 520/14, é perceptível que os valores médios de cloretos aumentam de cerca de 25 para cerca de 69 mg/l, contudo, este aumento nada altera, visto que continuam a situar-se dentro do limite máximo admitido pelo Decreto-Lei Nº 306/2007 de 27 de Agosto, que é de 250 mg/l. O gráfico abaixo (Fig. 50) revela uma tendência de crescimento na concentração de nitratos ao longo do período estudado, embora de forma irregular. Este aumento é comprovado pelo registo do valor mais alto em uma das medições mais recentes, mais especificamente, no início de 2021. No entanto, tal como foi referido, esse crescimento não foi contínuo, pois ao longo do período analisado, houve períodos de redução, destacando-se o valor registado no início de 2011, que representa o ponto mais baixo entre os níveis medidos.

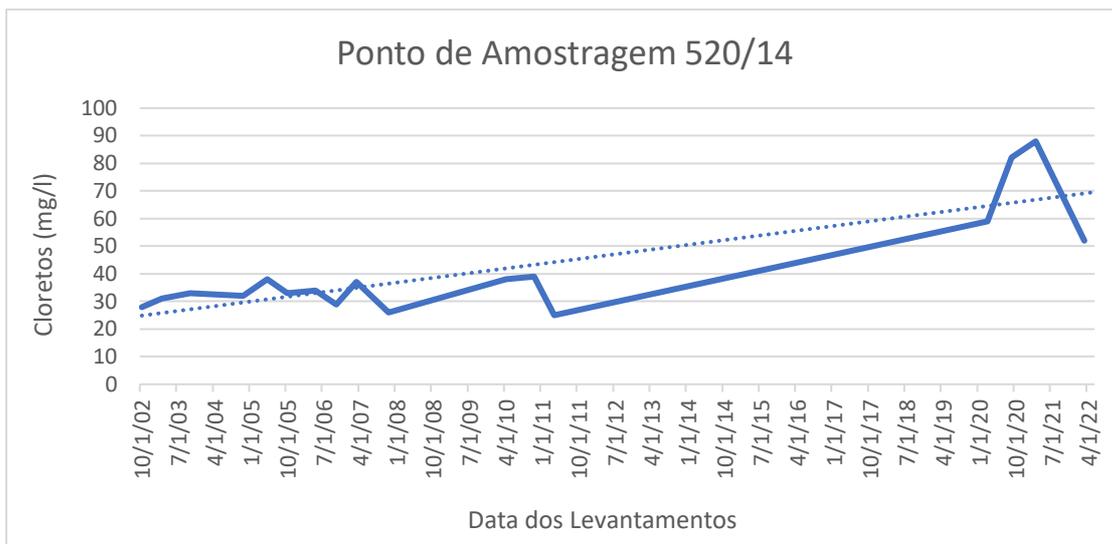


Figura 50 - Gráfico referente à concentração de cloretos no Ponto de Amostragem 520/14

Tendo como base a análise dos levantamentos referentes ao ponto de amostragem 521/38, é estimável que os valores médios de cloretos aumentam de cerca de 45 para cerca de 220 mg/l, sendo que, apesar disto, continuam a situar-se dentro do limite máximo admitido pelo Decreto-Lei Nº 306/2007 de 27 de Agosto, que é de 250 mg/l. Por meio dos dados presentes na figura 51, é possível de notar um aumento bastante acentuado na concentração de cloretos na área considerada. Inicialmente, a medição indicava um valor bastante baixo, o mínimo registado, enquanto medições mais recentes ultrapassaram os 200 mg/l. O ápice máximo foi atingido em uma das observações mais recentes, mais especificamente no final de 2020. No entanto, logo após esse pico, houve uma diminuição na concentração, retornando a valores semelhantes aos anteriores ao ponto máximo.

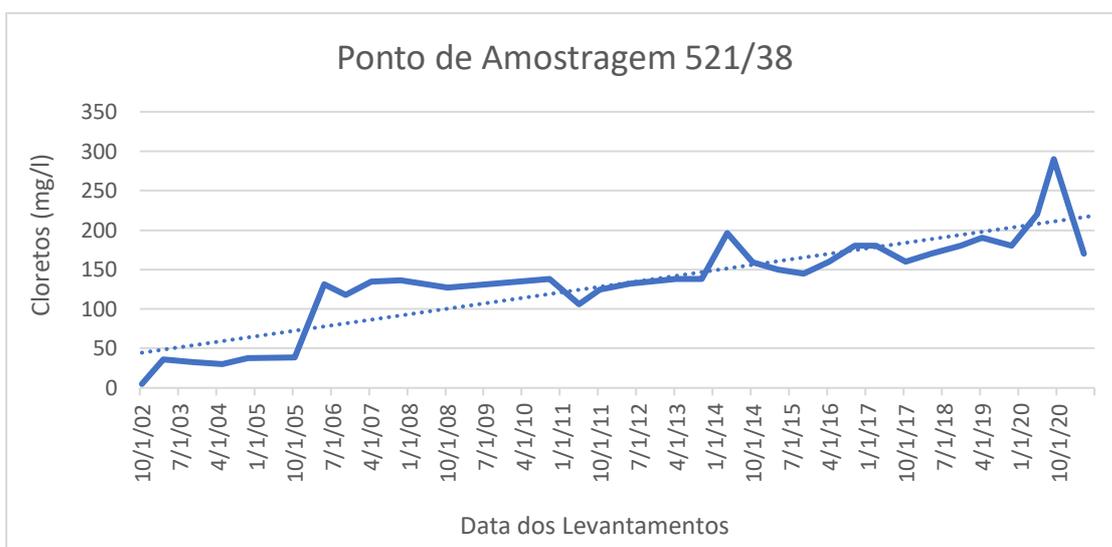


Figura 51 - Gráfico referente à concentração de cloretos no Ponto de Amostragem 520/15

Tendo como base a análise dos levantamentos referentes ao ponto de amostragem 521/44, é notável que os valores médios de cloretos aumentam de cerca de 18 para cerca de 85 mg/l, todavia, continuam dentro do limite máximo admitido pelo Decreto-Lei Nº 306/2007 de 27 de Agosto, que é de 250 mg/l. Através da análise do gráfico seguinte (Fig. 52), observa-se um crescimento não uniforme, porém progressivo, na quantidade de cloretos. Inicialmente, os valores eram semelhantes, mas essa dinâmica mudou por volta de meados de 2007, quando a concentração de nitratos se tornou mais volátil, oscilando entre aumentos e diminuições. No entanto, a tendência predominante era de aumento, evidenciada pelas medições mais recentes, que registaram os valores mais elevados, incluindo o pico máximo em 2017, um dos últimos anos medidos.

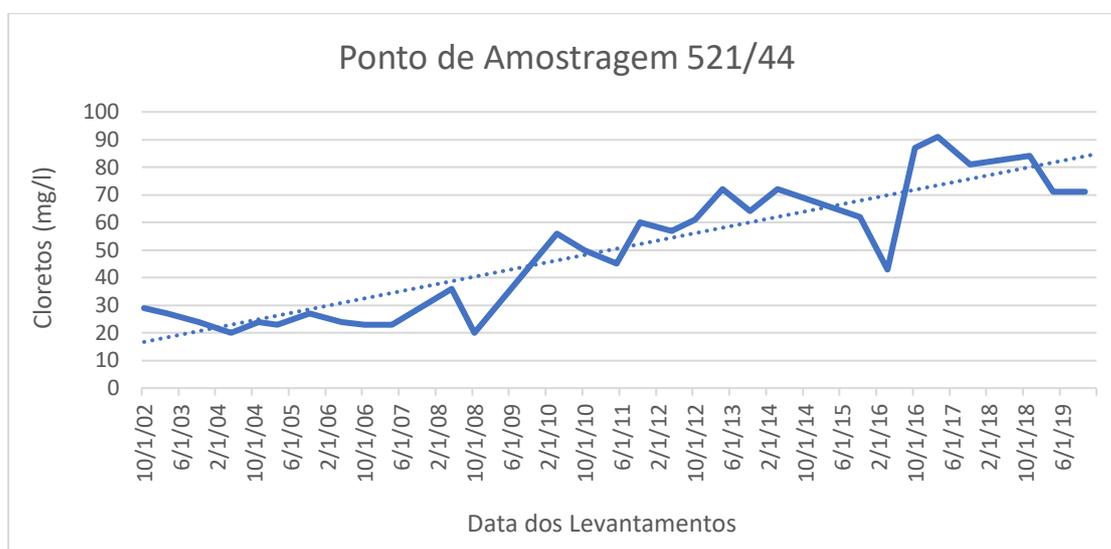


Figura 52 - Gráfico referente à concentração de cloretos no Ponto de Amostragem 521/44

Tendo como base a análise dos levantamentos referentes ao ponto de amostragem 521/147, é notável que os valores médios de cloretos diminuem de cerca de 48 para cerca de 38 mg/l, permanecendo dentro do limite máximo admitido pelo Decreto-Lei Nº 306/2007 de 27 de Agosto, que é de 250 mg/l. Através do gráfico ilustrado na figura 53, podemos notar uma redução considerável na concentração de cloretos entre a medição inicial, que marcou o pico máximo, e as subsequentes. A partir daí, a trajetória dos níveis de cloretos tornou-se instável, caracterizada por flutuações entre aumentos e diminuições, sem apresentar um padrão consistente de crescimento.

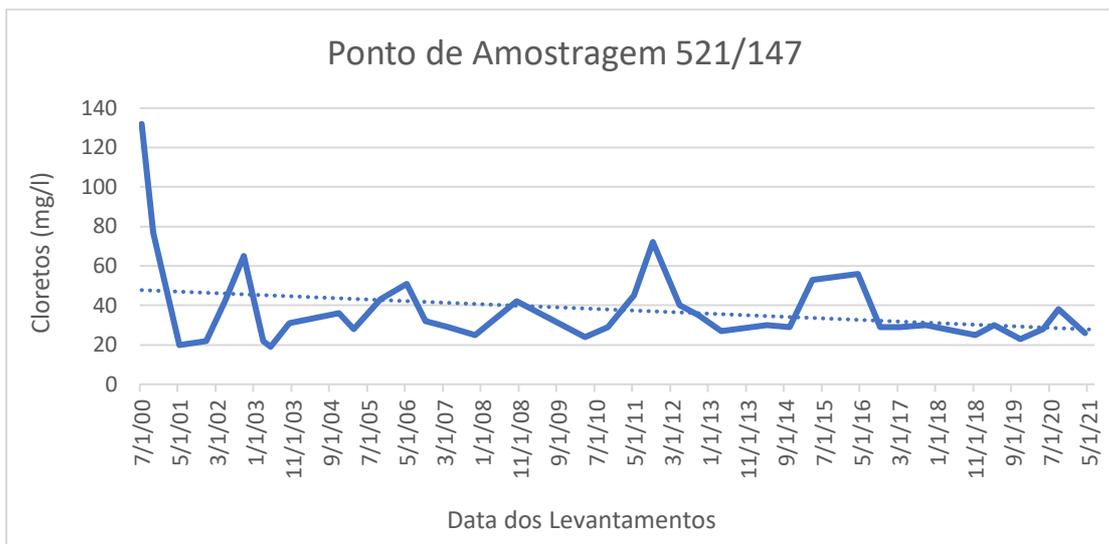


Figura 53 - Gráfico referente à concentração de cloretos no Ponto de Amostragem 521/147

Tendo como base a análise dos levantamentos referentes ao ponto de amostragem 521/163, é observável que os valores médios de cloretos aumentam de cerca de 35 para cerca de 98 mg/l, contudo, este aumento nada altera, visto que continuam a situar-se dentro do limite máximo admitido pelo Decreto-Lei Nº 306/2007 de 27 de Agosto, que é de 250 mg/l. Através do gráfico que se segue (Fig. 54) podemos perceber a existência de períodos distintos. O primeiro valor registado foi o mais baixo entre as medições, resultando imediatamente em uma elevação nos níveis de cloretos, os quais, até o final de 2012, demonstraram certa instabilidade, oscilando entre aumentos e reduções. A partir desse ponto, observou-se um aumento contínuo e uniforme, que perdurou até o início de 2020, registando o ponto mais alto entre todas as medições. Subsequentemente, os valores decresceram, contudo, nunca atingindo níveis semelhantes aos de 2012 ou anteriores. Em geral, é notável a existência de uma tendência de aumento na concentração de cloretos na área analisada.

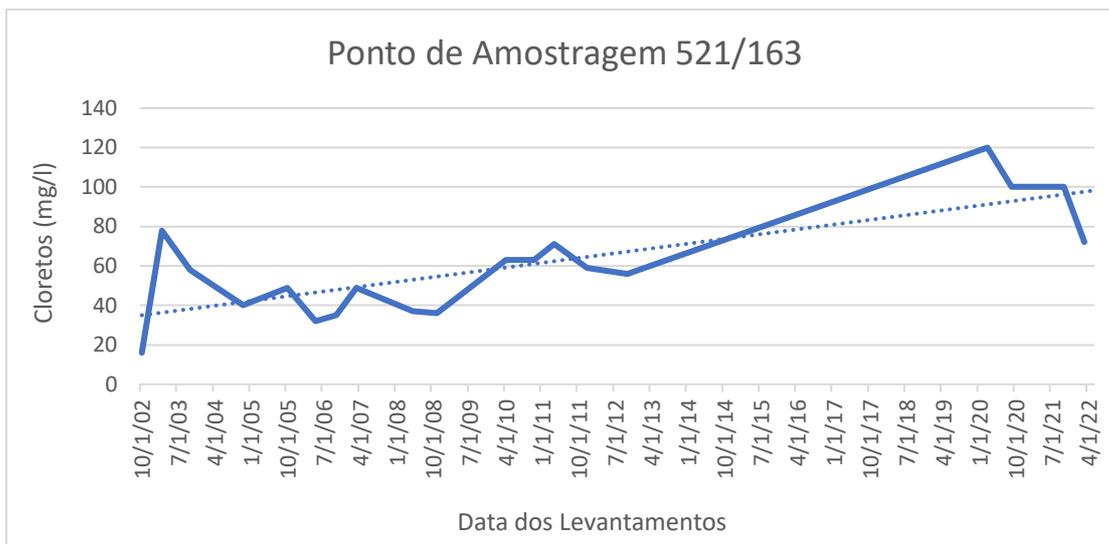


Figura 54 - Gráfico referente à concentração de cloretos no Ponto de Amostragem 521/163

Tendo como base a análise dos levantamentos referentes ao ponto de amostragem 521/221, é perceptível que os valores médios de cloretos decrescem de cerca de 60 para cerca de 35 mg/l, mantendo-se dentro do limite máximo admitido pelo Decreto-Lei Nº 306/2007 de 27 de Agosto, que é de 250 mg/l. Através da apreciação do gráfico seguinte (Fig. 55) podemos observar a existência de dois períodos contrastantes na concentração de cloretos, um caracterizado por instabilidade e outro por estabilidade. Inicialmente, verificava-se flutuações irregulares, sem seguir um padrão definido, e foi durante esse período que se registou o valor mais alto, mais especificamente, em abril de 2010. A partir do final de 2011, os níveis de cloretos começaram a baixar de forma consistente até ao início de 2021, registrando o valor mais reduzido no final deste período. No entanto, contrariando as expectativas, nos últimos anos tem-se observado um leve aumento nos valores, retornando a patamares semelhantes aos anteriores. A nível geral, a concentração de cloretos tem observado uma redução dos seus níveis.

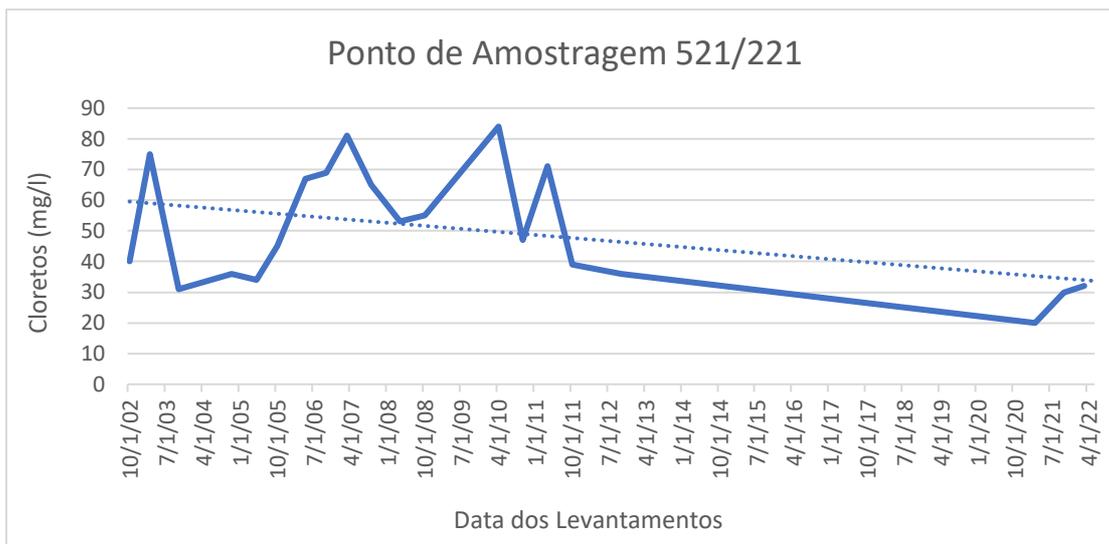


Figura 55 - Gráfico referente à concentração de cloretos no Ponto de Amostragem 521/221

Tendo como base a análise dos levantamentos referentes ao ponto de amostragem 521/222, é notável que os valores médios de cloretos aumentam de cerca de 15 para cerca de 95 mg/l, porém, continuam situados dentro do limite máximo admitido pelo Decreto-Lei Nº 306/2007 de 27 de Agosto, que é de 250 mg/l. O gráfico apresentado em seguida (Fig. 56), revela um aumento contínuo dos níveis de cloretos ao longo do período examinado, sendo isto complementado pelo facto de a medição que revelou o valor mais elevado ter sido registada no final de 2021, uma das últimas efetuadas. No entanto, embora se aproxime bastante desse padrão, não é possível de afirmar que o gráfico demonstre um desenvolvimento completamente uniforme, devido a algumas oscilações ao longo dos resultados obtidos.

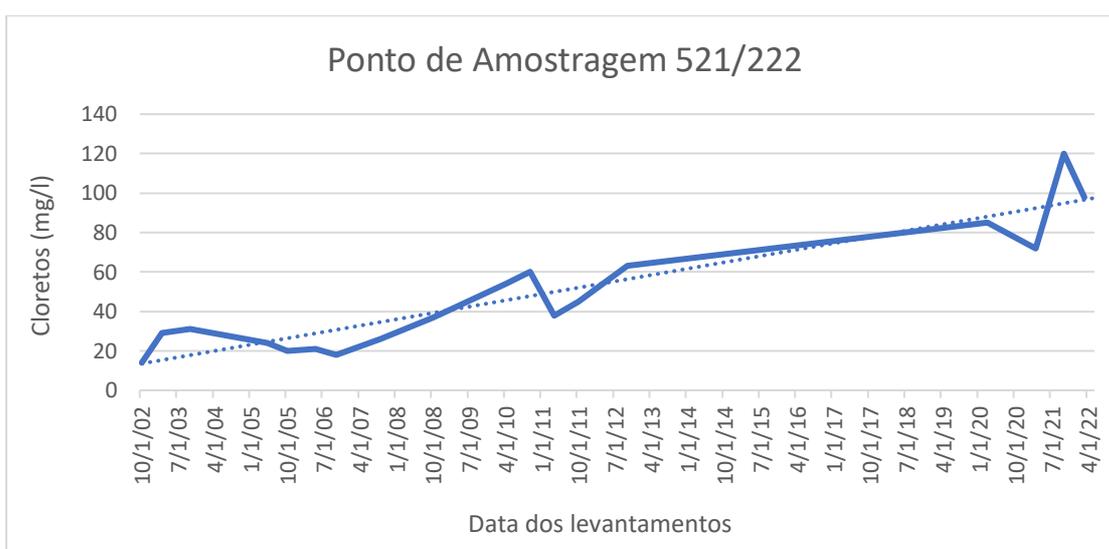


Figura 56 - Gráfico referente à concentração de cloretos no Ponto de Amostragem 521/222

Tendo como base a análise dos levantamentos referentes ao ponto de amostragem 521/264, é estimável que os valores médios de cloretos aumentam de cerca de 32 para cerca de 50 mg/l, contudo, continuam dentro do limite máximo admitido pelo Decreto-Lei Nº 306/2007 de 27 de Agosto, que é de 250 mg/l. Através do gráfico ilustrado na figura 57, é perceptível a existência de um período de maior variabilidade entre a medição inicial em 2002 e o final de 2011, no qual os valores oscilaram, porém, sem grandes discrepâncias. A partir de 2012, foi evidente um aumento constante, no entanto, em outubro de 2020, houve uma mudança drástica com uma queda acentuada nos valores, atingindo o mínimo, seguida pela medição que alcançou o máximo, indicando um período de grande instabilidade. A nível geral, é possível de afirmar que ao longo do período examinado existiu um aumento contínuo na concentração de cloretos.

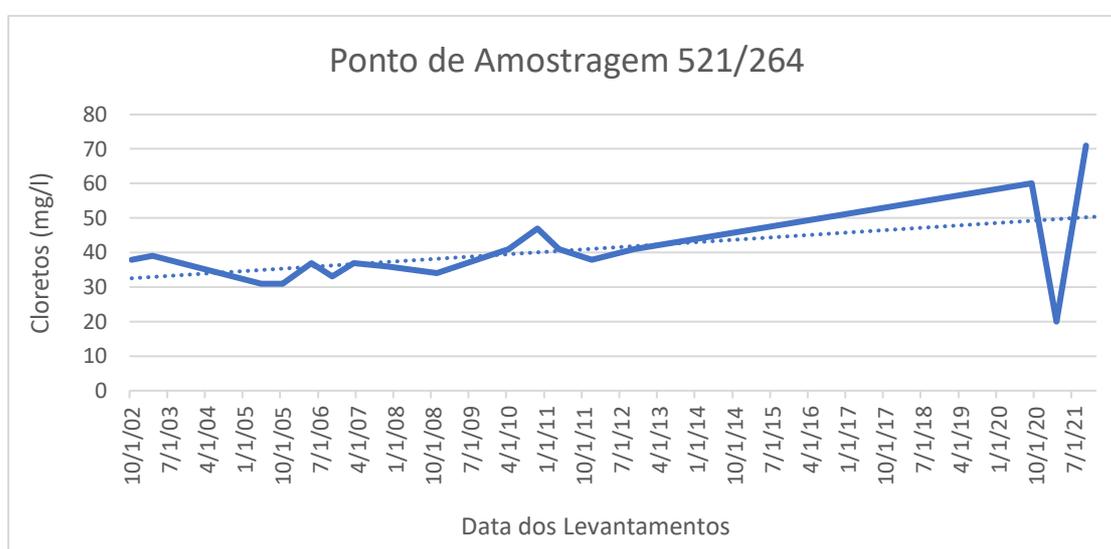


Figura 57 - Gráfico referente à concentração de cloretos no Ponto de Amostragem 521/264

Tendo como base a análise dos levantamentos referentes ao ponto de amostragem 521/284, é perceptível que os valores médios de cloretos aumentam de cerca de 16 para cerca de 30 mg/l, situando-se dentro do limite máximo admitido pelo Decreto-Lei Nº 306/2007 de 27 de Agosto, que é de 250 mg/l. Ao analisar o gráfico que segue (Fig. 58), é notável um aumento na concentração de cloretos na área em consideração. Inicialmente, houve uma oscilação nos valores, porém nada de significativo. No entanto, entre o final de 2012 e o início de 2019, foi observado um aumento constante, culminando na medição subsequente com um aumento muito mais expressivo, onde foi alcançado o pico máximo. Posteriormente, os valores diminuíram nas medições subsequentes, retornando a valores semelhantes aos anteriores.

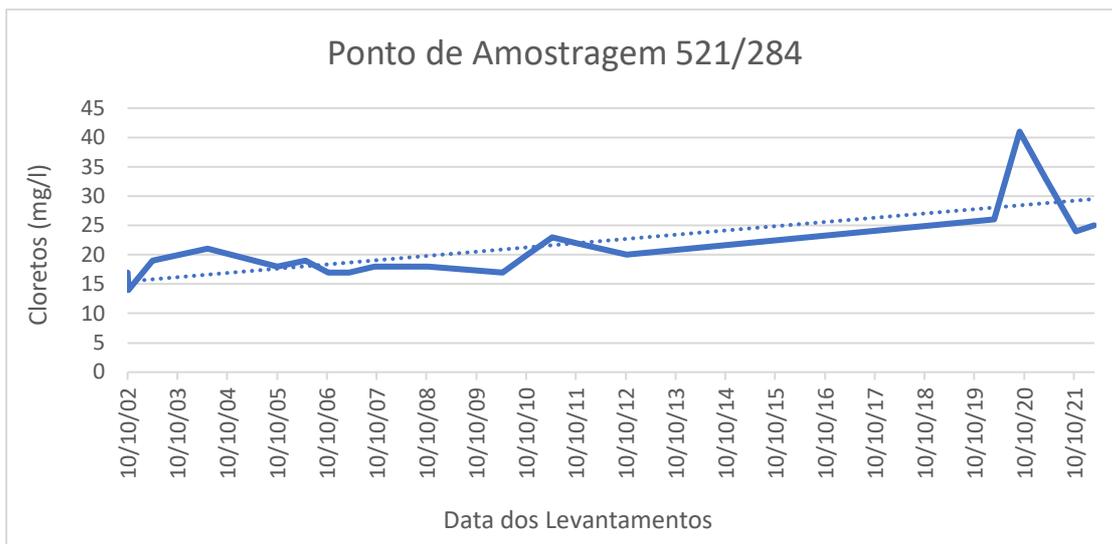


Figura 58 - Gráfico referente à concentração de cloretos no Ponto de Amostragem 521/284

Tendo como base a análise dos levantamentos referentes ao ponto de amostragem 522/54, é observável que os valores médios de cloretos decrescem de cerca de 88 para cerca de 15 mg/l, situando-se assim dentro do limite máximo admitido pelo Decreto-Lei Nº 306/2007 de 27 de Agosto, que é de 250 mg/l. A partir da do gráfico fornecido na figura 59, é possível de perceber que a concentração de cloretos na área exibiu um padrão de declínio consistente ao longo de, praticamente, todo o período analisado. Inicialmente, as observações apresentavam certa variabilidade, com flutuações entre aumentos e diminuições entre 2002 e 2003, sendo em julho deste último registado o ponto mais alto de concentração, e que viria a marcar o início de uma trajetória descendente dos valores. Esse declínio prosseguiu até atingir um ponto de estagnação em 2015, quando foi registada a concentração mínima.

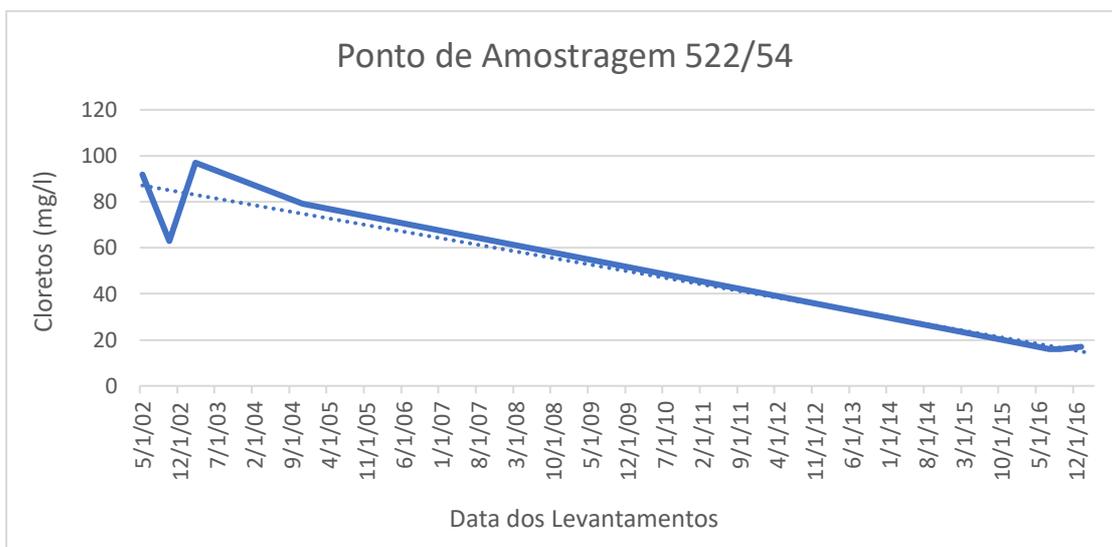


Figura 59 - Gráfico referente à concentração de cloretos no Ponto de Amostragem 522/54

Tendo como base a análise dos levantamentos referentes ao ponto de amostragem 522/117, é notável que os valores médios de cloretos aumentam de cerca de 27 para cerca de 73 mg/l, porém, continuam dentro do limite máximo admitido pelo Decreto-Lei Nº 306/2007 de 27 de Agosto, que é de 250 mg/l. Com base na representação gráfica abaixo (Fig. 60), é possível afirmar que houve um aumento significativo na concentração de cloretos na área do ponto de amostragem em questão ao longo do tempo. Após a primeira medição, caracterizada por ser aquela onde foi medido o valor mais baixo, observou-se um período de flutuações mais intensas que perdurou até o final de 2006. Nos anos subsequentes, as variações nos níveis de cloretos foram praticamente insignificantes, resultando apenas em uma leve diminuição na concentração. No entanto, a partir de 2011, os valores passaram a aumentar de forma contínua e uniforme, alcançando seu pico no final de 2020.

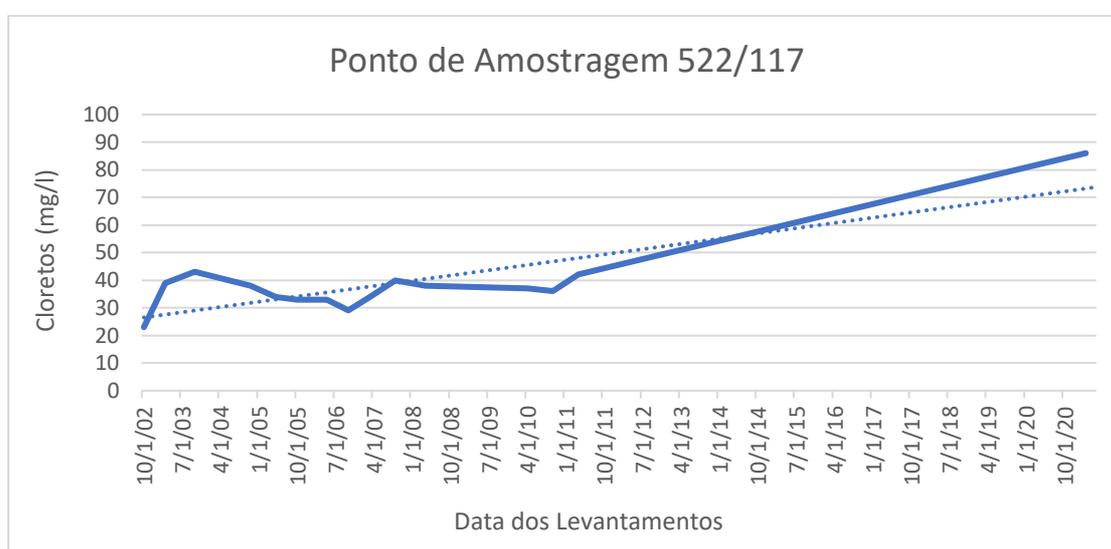


Figura 60 - Gráfico referente à concentração de cloretos no Ponto de Amostragem 522/117

Tendo como base a análise dos levantamentos referentes ao ponto de amostragem 522/165, é notável que os valores médios de cloretos aumentam de cerca de 28 para cerca de 90 mg/l, contudo, continuam a situar-se abaixo do limite máximo admitido pelo Decreto-Lei Nº 306/2007 de 27 de Agosto, que é de 250 mg/l. Através do gráfico seguinte (Fig. 61), que pode-se inferir um aumento consistente dos níveis de cloretos ao longo de todo o período examinado. A primeira observação registou o menor valor registado, com os anos seguintes a apresentarem uma tendência de elevação contínua. Embora os valores ao longo do intervalo não tenham seguido uma regularidade estrita, maioritariamente, mantiveram essa tendência ascendente, sendo isso evidenciado pelo pico mais alto, que foi obtido no final de 2021, altura em que se

verificou um período de instabilidade, seguida por um retorno aos valores anteriores a esse período tumultuado.

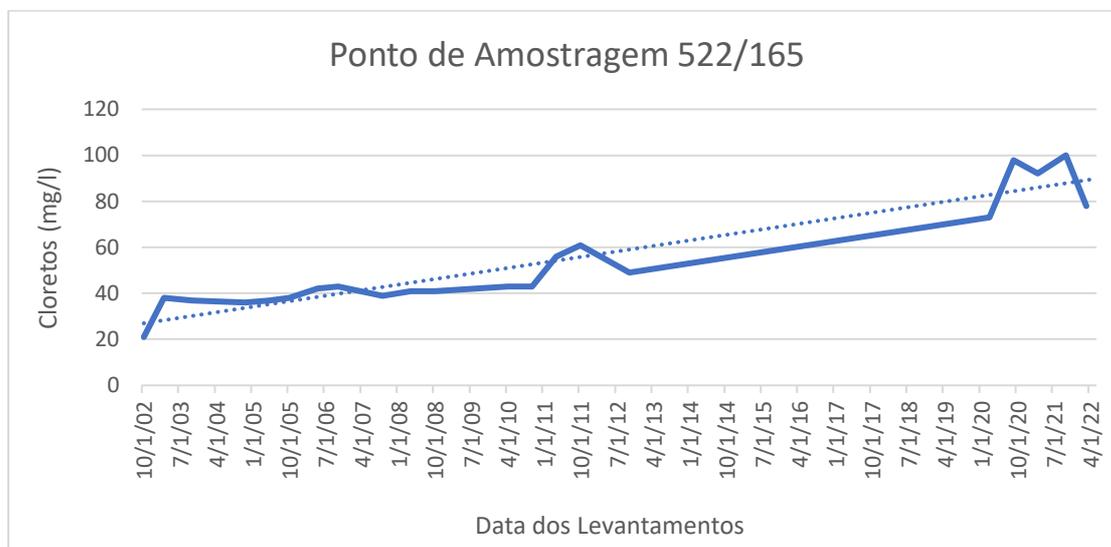


Figura 61 - Gráfico referente à concentração de cloretos no Ponto de Amostragem 522/165

Tendo como base a análise dos levantamentos referentes ao ponto de amostragem 522/169, é perceptível que os valores médios de cloretos aumentam de cerca de 45 para 150 mg/l, sendo que, apesar disso continuam dentro do limite máximo admitido pelo Decreto-Lei Nº 306/2007 de 27 de Agosto, que é de 250 mg/l. Através do gráfico ilustrado abaixo (Fig.62) podemos notar um padrão geral de aumento relativamente uniforme nos níveis de cloretos, apesar de existirem algumas exceções pontuais. A análise dos dados confirma que a primeira medição apresentou a menor concentração, reforçando assim a tendência ascendente. Notavelmente, entre 2008 e 2010, houve um período em que a concentração atingiu valores consideravelmente superiores a todos os outros registados, culminando no final de 2010 com o valor mais alto em todo o período. Posteriormente, no ano seguinte, houve uma diminuição desses valores, retornando aos patamares médios anteriores, seguido por um aumento relativamente uniforme até uma nova variação, embora menos expressiva do que a anterior.

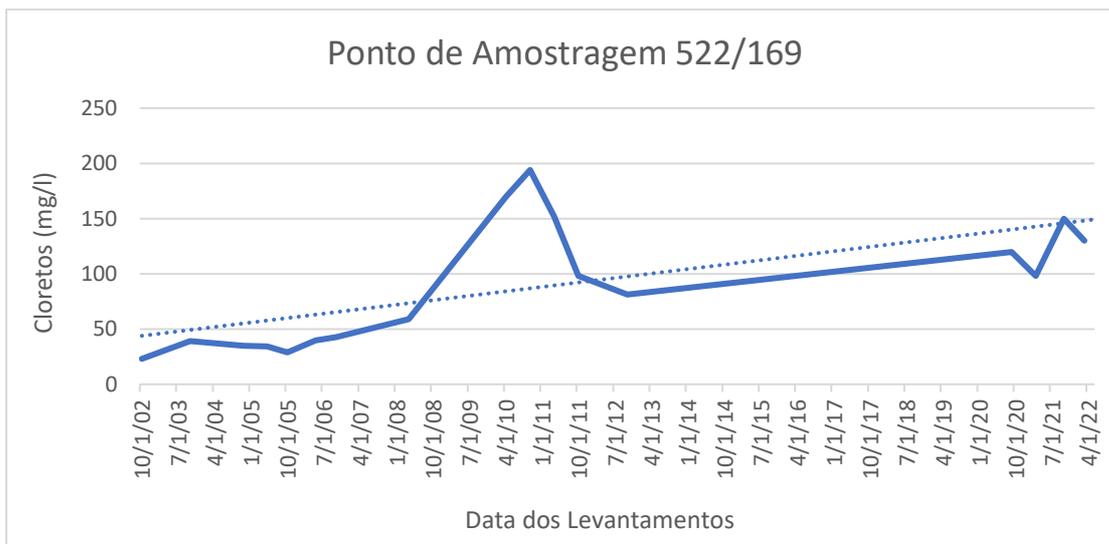


Figura 62 - Gráfico referente à concentração de cloretos no Ponto de Amostragem 522/169

Tendo como base a análise dos levantamentos referentes ao ponto de amostragem 522/204, é perceptível que os valores médios de cloretos aumentam de cerca de 45 para 150 mg/l, sendo que, apesar disso, continuam dentro do limite máximo admitido pelo Decreto-Lei Nº 306/2007 de 27 de Agosto, que é de 250 mg/l. Com base no gráfico subsequente (Fig. 63), podemos observar que grande parte dos valores não diferem muito, embora haja algumas exceções notáveis. Inicialmente, os dados dos levantamentos exibem certa instabilidade, oscilando entre aumentos e diminuições até 2006, quando se inicia uma considerável redução na concentração que perdura até 2010, onde é obtido o ponto mínimo durante todo o período analisado. Nos anos seguintes, essa tendência é revertida, com os valores aumentando praticamente de forma constante até 2020, culminando com o pico máximo na concentração de cloretos. No entanto, esse aumento foi transitório, pois imediatamente após esse ápice, registra-se uma diminuição nos níveis.

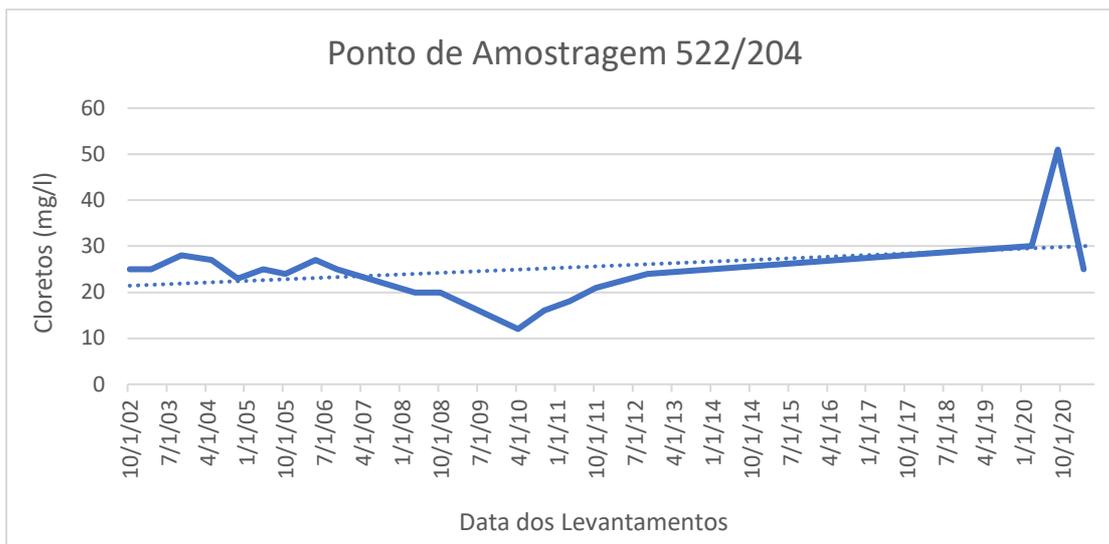


Figura 63 - Gráfico referente à concentração de cloretos no Ponto de Amostragem 522/204

Tendo como base a análise dos levantamentos referentes ao ponto de amostragem 532/11, é perceptível que os valores médios de cloretos aumentam de cerca de 68 para cerca de 88 mg/l, todavia, continuam situados dentro do limite máximo admitido pelo Decreto-Lei Nº 306/2007 de 27 de Agosto, que é de 250 mg/l. Através do gráfico seguinte (Fig. 64) podemos perceber que durante o intervalo entre 2000 e 2003, os níveis de cloretos atingiram os seus valores mínimos, sendo o ponto mais baixo registado no final de 2002. A partir daí, observou-se uma tendência ascendente gradual, que alcançou o ápice por volta de meados de 2004. Subsequentemente, as medições demonstraram uma tendência decrescente, embora algumas permanecessem acima das leituras anteriores. A partir de 2006, os valores exibiram flutuações irregulares, não aderindo a um padrão específico, mas mantendo-se em proximidade uns dos outros. Globalmente, há uma tendência geral de incremento nos níveis de cloretos, embora esse aumento não seja excessivamente pronunciado, devido às oscilações que se observam ao longo das observações.

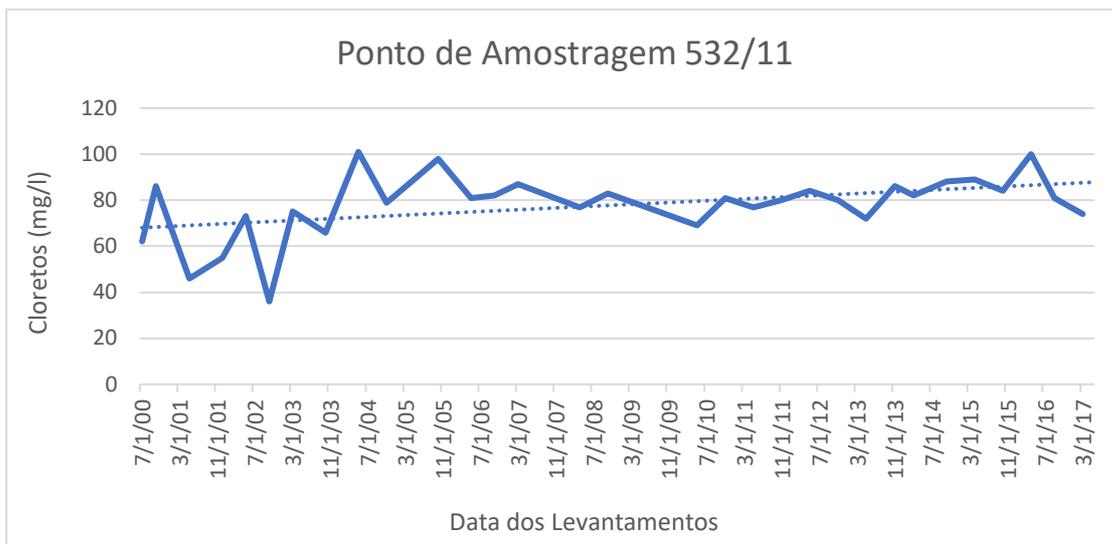


Figura 64 - Gráfico referente à concentração de cloretos no Ponto de Amostragem 532/11

Tendo como base a análise dos levantamentos referentes ao ponto de amostragem 532/38, é notável que os valores médios de cloretos aumentam de 10 para 70 mg/l, contudo, continuam a situar-se abaixo do limite máximo admitido pelo Decreto-Lei Nº 306/2007 de 27 de Agosto, que é de 250 mg/l. O gráfico exposto na figura 65, revela um padrão de aumento na concentração ao longo do tempo, porém esse crescimento não segue uma trajetória linear. Destacam-se eventos específicos, como o ponto mínimo registado em meados de 2001 e a última medição, que confirma o ápice na concentração de nitratos, corroborando a tendência de crescimento observada.

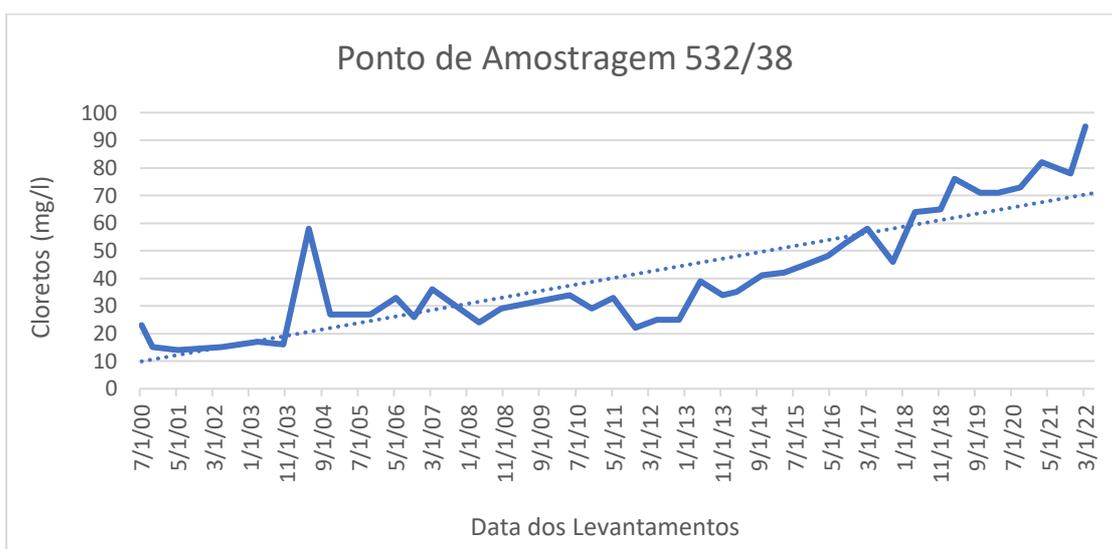


Figura 65 - Gráfico referente à concentração de cloretos no Ponto de Amostragem 532/38

Tendo como base a análise dos levantamentos referentes ao ponto de amostragem 532/98, é observável que os valores médios de cloretos aumentam de cerca de 18 para cerca de 25 mg/l, situando-se abaixo do limite máximo admitido pelo Decreto-Lei Nº 306/2007 de 27 de Agosto, que é de 250 mg/l. Por meio do gráfico presente na figura 66 percebe-se uma consistência geral nas medições, embora existam notáveis exceções, especialmente ao nível de aumentos na concentração. Destacam-se duas medições significativas: uma registada em meados de 2005, indicando o valor máximo, e outra em abril de 2010, representando o valor mínimo. Ao longo do período analisado, várias medições excederam significativamente a média, sendo esse fenómeno especialmente evidente nas medições mais recentes, particularmente entre 2020 e 2022, onde foram registados dois valores bastantes próximos ao pico máximo da concentração.

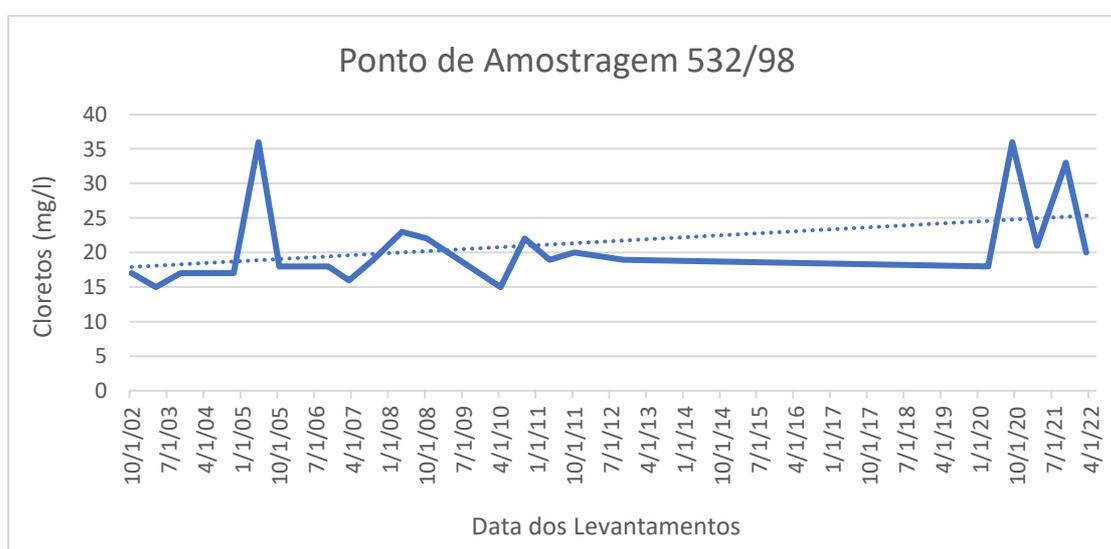


Figura 66 - Gráfico referente à concentração de cloretos no Ponto de Amostragem 532/98

Tendo como base a análise dos levantamentos referentes ao ponto de amostragem 532/136, é perceptível que os valores médios de cloretos aumentam de cerca de 20 para cerca de 40 mg/l, situando-se abaixo do limite máximo admitido pelo Decreto-Lei Nº 306/2007 de 27 de Agosto, que é de 250 mg/l. Através do gráfico subsequente (Fig. 67), nota-se a existência de uma tendência de aumento nos níveis de cloretos, embora esse desenvolvimento não se manifeste de maneira uniforme ao longo do tempo. Destacam-se algumas medições notáveis, como por exemplo, o valor mais elevado, registado no início de 2014. O facto de a primeira medição ter obtido o valor mais reduzido, comprova a tendência de aumento referida anteriormente.

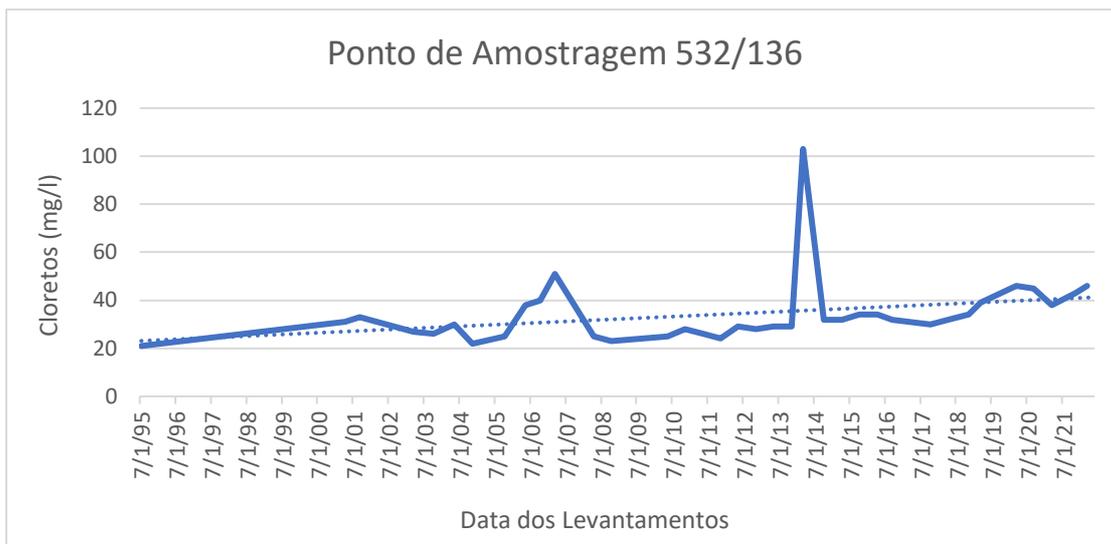


Figura 67 - Gráfico referente à concentração de cloretos no Ponto de Amostragem 532/136

Tendo como base a análise dos levantamentos referentes ao ponto de amostragem 532/153, é observável que os valores médios de cloretos aumentam de cerca de 48 para cerca de 72 mg/l, contudo, situam-se dentro do limite máximo admitido pelo Decreto-Lei Nº 306/2007 de 27 de Agosto, que é de 250 mg/l. Por meio do gráfico representado na figura 68, observa-se uma instabilidade nos valores medidos, indicando uma ausência de crescimento uniforme ao longo do tempo. Destacam-se dois períodos significativos: o início de 2010, marcado pelo valor mínimo registrado, e o final de 2019, correspondente ao pico máximo da concentração de nitratos. É importante salientar que, entre o início de 2010 e o término das medições, há uma propensão ascendente nos valores, embora essa ascensão não siga um padrão uniforme.

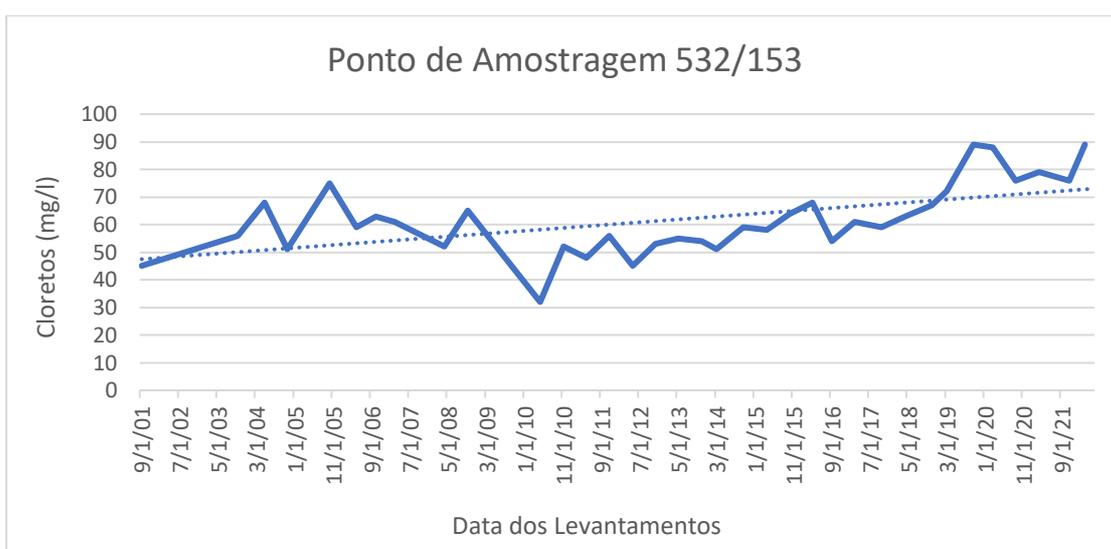


Figura 68 - Gráfico referente à concentração de cloretos no Ponto de Amostragem 532/153

7.2.2. Monitorização da concentração de cloretos em Pontos de Amostragem fora das Áreas de Rega do Alqueva

A tabela 12 apresenta os diversos pontos de amostragem que se encontram posicionados em áreas situadas fora das zonas de irrigação, motivadas pela construção da barragem do Alqueva, possibilitando, assim, a realização de uma análise longitudinal das observações efetuadas em cada um dos locais.

Tabela 12 - Pontos de Amostragem fora das áreas de rega selecionados para a medição da concentração de cloretos (período de anos compreendido entre 1995 e 2022)

Ponto de Amostragem	Aquífero	Região Hidrográfica	Período de Anos
372/44	Maciço Antigo Indiferenciado	7	22
476/14	Bacia do Tejo-Sado/Margem Esquerda	5A	22
535/20	Maciço Antigo Indiferenciado	6	22
572/16	Maciço Antigo Indiferenciado	7	22
591/43	Maciço Antigo Indiferenciado	7	27

Tendo como base a análise dos levantamentos referentes ao ponto de amostragem 372/44, é notável que os valores médios de cloretos decrescem de cerca de 21 para 19 mg/l, situando-se dentro do limite máximo admitido pelo Decreto-Lei Nº 306/2007 de 27 de Agosto, que é de 250 mg/l. Através do gráfico seguinte (Fig. 69) observa-se uma consistência predominante nos valores, com uma notável exceção durante o período entre 2009 e meados de 2010, quando houve um aumento exponencial na concentração de cloretos em comparação com os restantes registos. Globalmente, a tendência é de decréscimo, embora não muito acentuado, contudo, não se verifica isso nas medições mais recentes, que apresentam uma propensão de aumento.

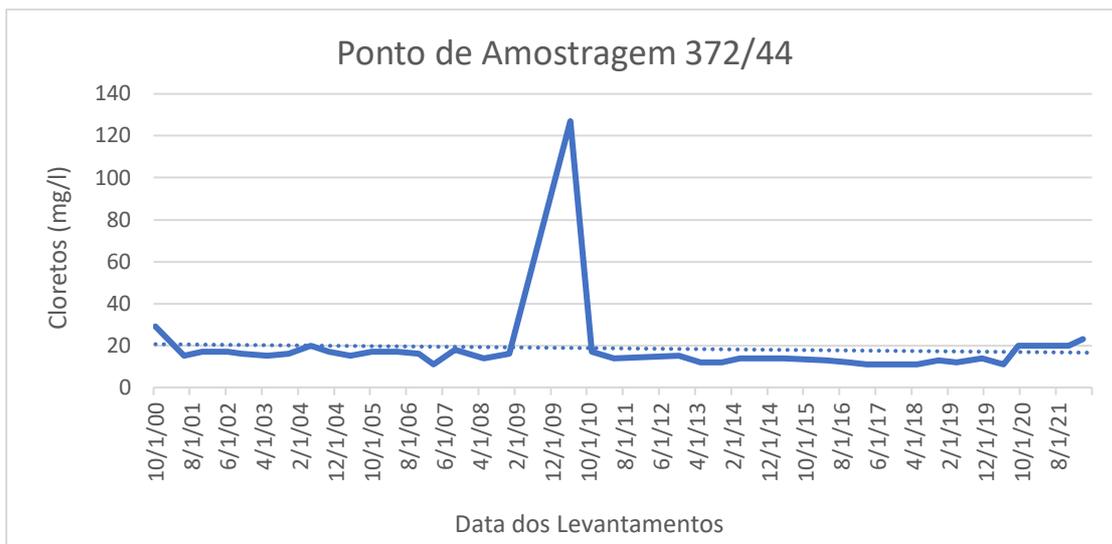


Figura 69 - Gráfico referente à concentração de cloretos no Ponto de Amostragem 372/44

Tendo como base a análise dos levantamentos referentes ao ponto de amostragem 476/14, é notável que os valores médios de cloretos aumentam de cerca de 60 para 70 mg/l, contudo, continuam a situar-se dentro do limite máximo admitido pelo Decreto-Lei Nº 306/2007 de 27 de Agosto, que é de 250 mg/l. No gráfico seguinte (Fig. 70), os valores exibem uma notável disparidade ao longo do período considerado, especialmente entre o final de 2007 e 2008, marcado por um crescimento acentuado que culmina no pico máximo de concentração de nitratos. Inicialmente, verificou-se uma diminuição nos valores, todavia, seguidamente observa-se um crescimento contínuo, porém não uniforme, resultando em um ligeiro incremento na concentração de cloretos no período total analisado.

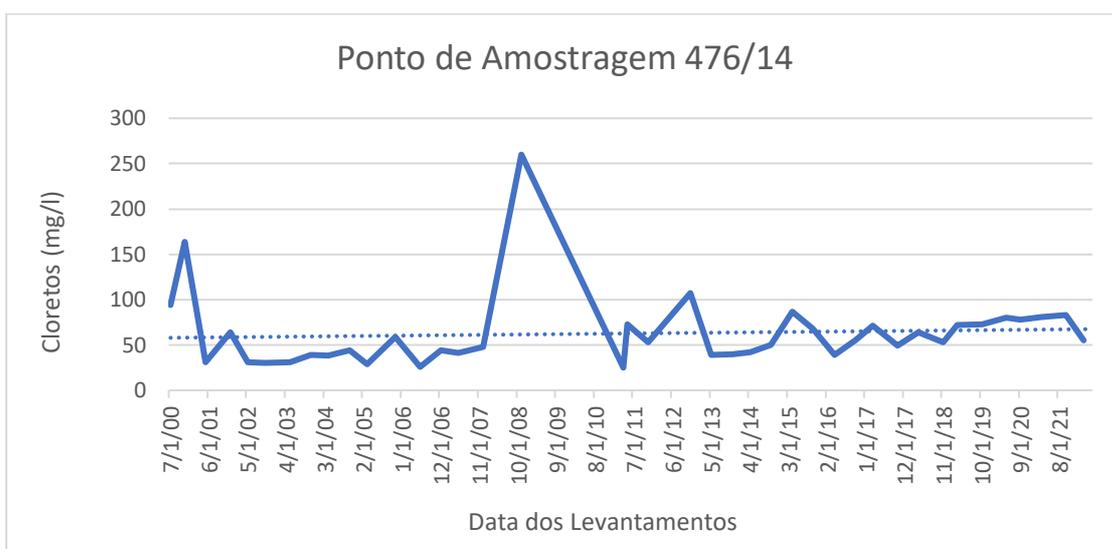


Figura 70 - Gráfico referente à concentração de cloretos no Ponto de Amostragem 476/14

Tendo como base a análise dos levantamentos referentes ao ponto de amostragem 535/20, é notável que os valores médios de cloretos decrescem de cerca de 138 para 118 mg/l, situando-se dentro do limite máximo admitido pelo Decreto-Lei Nº 306/2007 de 27 de Agosto, que é de 250 mg/l. Ao nível da representação gráfica (Fig. 71), podemos perceber uma tendência geral de declínio, com o valor mais elevado registado na medição inicial, em 2000. Embora existam medições pontuais que apresentem aumentos, nunca ultrapassam o valor inicial, sendo um exemplo disso os registos de 2008. Esta observação de uma tendência decrescente é corroborada pela redução dos níveis de cloretos nos anos subsequentes. No entanto, é crucial salientar que essa diminuição não foi homogênea.

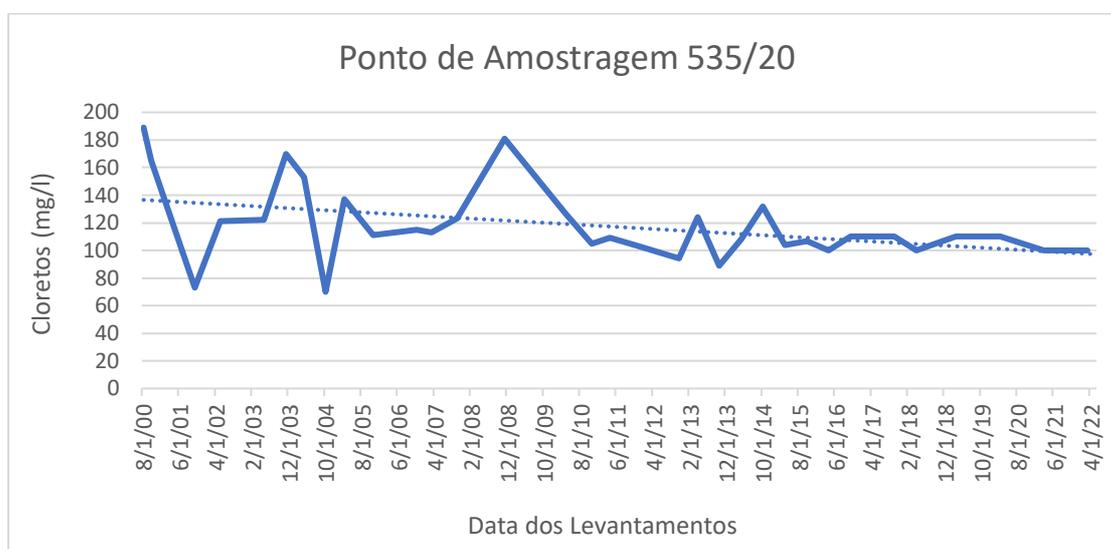


Figura 71 - Gráfico referente à concentração de cloretos no Ponto de Amostragem 535/20

Tendo como base a análise dos levantamentos referentes ao ponto de amostragem 572/16, é perceptível que os valores médios de cloretos aumentam de cerca de 65 para 78 mg/l, contudo, continuam a situar-se dentro do limite máximo admitido pelo Decreto-Lei Nº 306/2007 de 27 de Agosto, que é de 250 mg/l. O gráfico que se segue (Fig. 72), revela um crescimento irregular, sendo que, apesar de apresentar uma tendência geral de aumento ao longo das medições, esse crescimento não é consistente. É importante destacar o valor mais elevado, registado em meados de 2004, que se destaca bastante por ser consideravelmente mais elevado do que os valores observados anteriormente e os subsequentemente. Em contraste, o valor mais baixo foi observado no início de 2008.

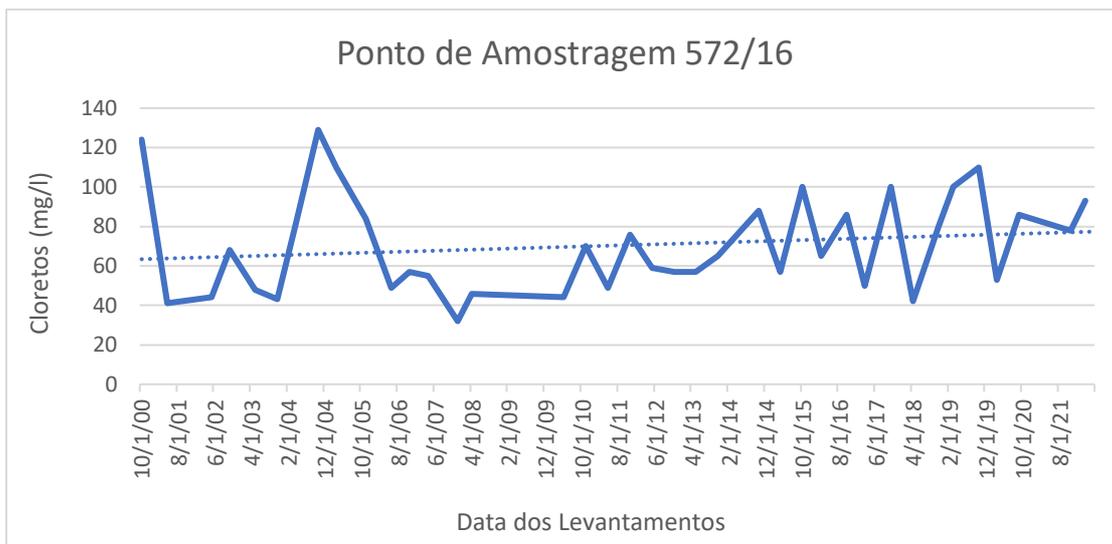


Figura 72 - Gráfico referente à concentração de cloretos no Ponto de Amostragem 572/16

Tendo como base a análise dos levantamentos referentes ao ponto de amostragem 591/43, é perceptível que os valores médios de cloretos decrescem de cerca de 35 para 20 mg/l, situando-se dentro do limite máximo admitido pelo Decreto-Lei Nº 306/2007 de 27 de Agosto, que é de 250 mg/l. O gráfico abaixo (Fig. 73) apresenta uma tendência decadente dos valores comparativamente aos observados inicialmente. Mais especificamente, a partir de 2001, foi observado um declínio contínuo até às medições mais recentes, destacando-se o valor mais baixo registado em maio de 2011. Em contrapartida, o valor mais alto foi medido no período inicial, mais especificamente, no final de 1999.

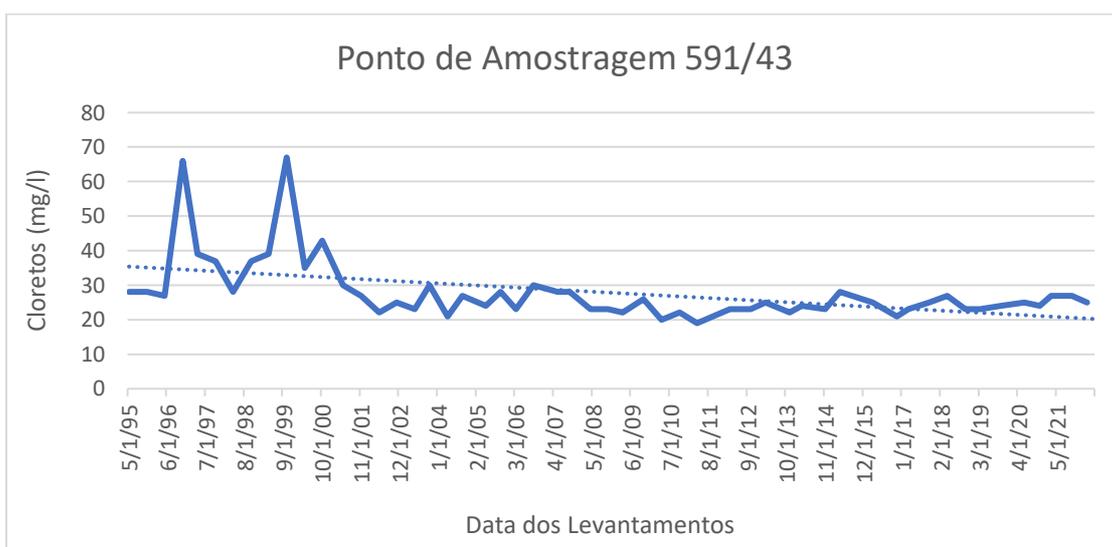


Figura 73 - Gráfico referente à concentração de cloretos no Ponto de Amostragem 591/43

7.2.3. Análise e Interpretação Comparativa de Resultados

Conforme anteriormente elucidado, estabelece-se um valor máximo admissível para a concentração de íons de cloreto na água, com o propósito de assegurar sua adequação ao consumo humano, fixado em 250 mg/l. Na região alvo de investigação, foi possível discernir uma marcante disparidade nos níveis entre os pontos de coleta de amostras posicionados nas áreas de irrigação correlacionadas à barragem de Alqueva e aqueles localizados extramuros dessas zonas, circunscrevendo, assim, os limites da pesquisa em questão. Subsequentemente, estará presente um mapa que demonstra os resultados obtidos (Fig. 74) e serão apresentadas duas tabelas: uma delineando a média dos valores registados em cada ponto de coleta nas áreas de irrigação associadas ao Alqueva (Tab. 13) e a outra expondo os valores pertinentes aos pontos localizados fora dessas áreas (Tab. 14).

Com o intuito de facilitar a compreensão dos dados cartografados na figura 74, procedeu-se à categorização dos pontos de amostragem com base nos valores médios correspondentes. Nesse contexto, os pontos foram classificados em três categorias distintas: uma atribuída à cor verde, simbolizando "condições excelentes", uma à cor amarela, representando "boas condições", e outra à cor vermelha, indicando "condições inadequadas" e tornando o local impróprio ao consumo. Os parâmetros específicos que delimitam cada uma dessas categorias são explicitamente apresentados na legenda associada ao referido mapa.

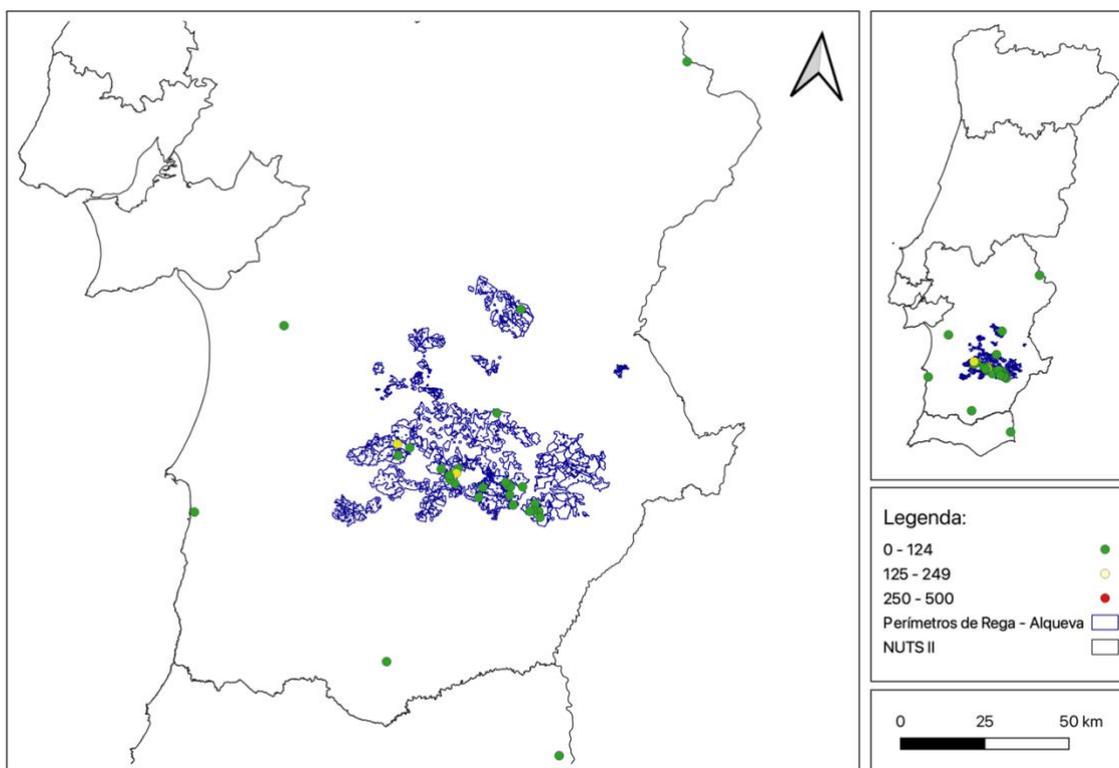


Figura 74 - Classificação dos Pontos de Amostragem tendo em conta os valores médios da concentração de cloretos

Por meio da análise da representação cartográfica da concentração média de cloretos ao longo do período considerado em cada ponto de amostragem (Fig. 74), é possível inferir que, em termos de cloretos, todos os aquíferos exibem condições favoráveis, não ultrapassando os níveis classificados como excessivos e prejudiciais à saúde. Sob este critério isolado, a água seria considerada apta para consumo. Os dois pontos de amostragem com valores ligeiramente superiores também são considerados consumíveis, classificando-se como "boas condições" e apresentando apenas uma discreta elevação em relação aos restantes. É relevante destacar que nenhuma das áreas investigadas, tanto dentro quanto fora das zonas de rega, exhibe valores considerados como prejudiciais à saúde.

Os cloretos representam uma classe diversificada de compostos químicos com origens multifacetadas, e a presença de elevadas concentrações dessas substâncias impõe restrições ao uso de águas para fins agrícolas (Matias, n. d.). A análise dos dados revela que os níveis de cloretos em toda a área investigada estão abaixo dos limites estabelecidos como críticos. Esta observação sugere que a proporção reduzida de cloretos pode ser interpretada como um indicativo da qualidade satisfatória da água, conferindo-lhe uma adequação superior para consumo humano e para fins de rega, conforme destacado por McDaris et al. (2022).

Em seguida, estarão expostas as tabelas onde são apresentados de forma exata os valores médios obtidos que deram lugar à classificação representada no mapa ilustrado anteriormente.

Tabela 13 - Valores médios de concentração de cloretos dos Pontos de Amostragem dentro das áreas de rega

Pontos de Amostragem (Dentro)	Média
472/6	83
499/131	114
509/17	44
509/198	41
509/220	183
520/14	41
521/147	38
521/163	62
521/221	51
521/222	48
521/264	39
521/284	21
521/38	135
521/44	49
522/117	39
522/165	53
522/169	88
522/204	25
522/54	50
532/11	78
532/136	34
532/153	62
532/38	42
532/98	76

Tabela 14 - Valores médios de concentração de cloretos dos Pontos de Amostragem fora das áreas de rega

Pontos de Amostragem (Fora)	Média
372/44	19
535/20	117
572/16	70
591/43	28
476/14	63

Na tentativa de compreender a trajetória observada em cada ponto de amostragem, procedeu-se à elaboração de um mapa com o objetivo de analisar a sua evolução ao longo do período em que foram realizadas as medições correspondentes. O mapa em questão está apresentado na figura 75, onde estão identificadas três categorias: vermelho para os pontos de amostragem que registraram aumento nos níveis de cloretos, amarelo para os pontos que mantiveram a concentração em níveis estáveis e verde para os pontos de amostragem que apresentaram redução na concentração de cloretos.

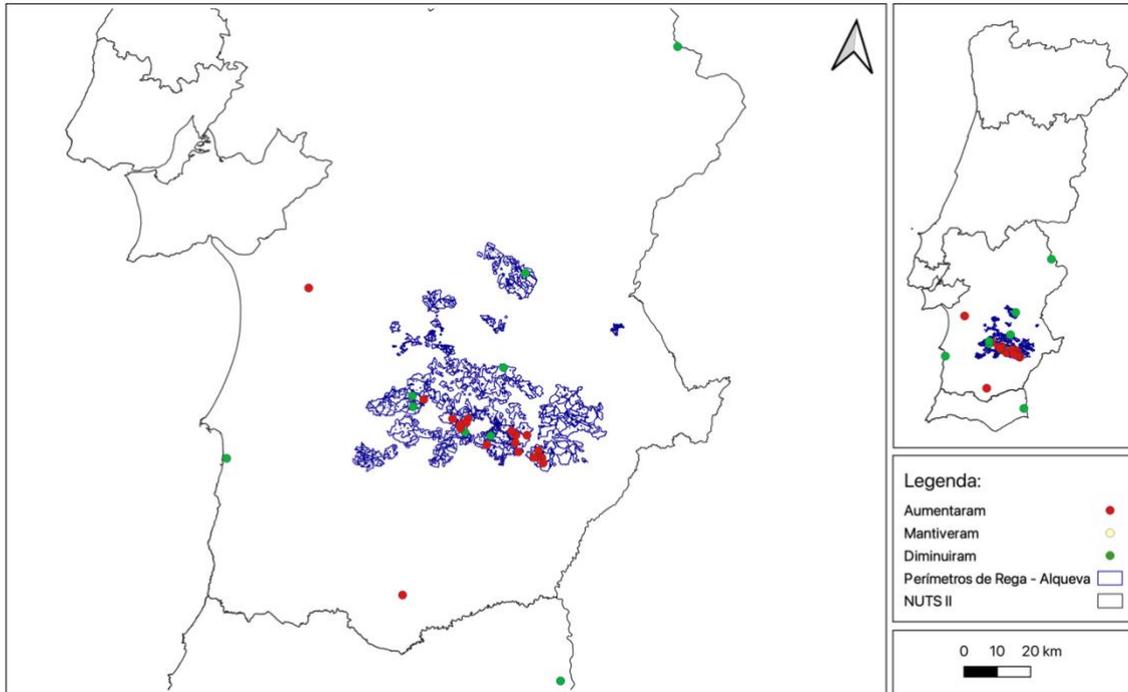


Figura 75 - Evolução da concentração de cloretos nos Pontos de Amostragem ao longo do período analisado

Mediante a análise da figura 74, é observável que todas as áreas onde os pontos de amostragem estão localizados apresentam resultados positivos, situando-se todos abaixo do limite máximo estabelecido pelo Decreto-Lei Nº 306/2007 de 27 de agosto. Contudo, através da observação da figura 75, é notável que a maioria desses pontos demonstra uma tendência ascendente na concentração. Mais precisamente, dos 29 pontos medidos, 20 estão a evidenciar uma tendência de aumento, enquanto apenas nove estão a reduzir os seus níveis de concentração. É relevante salientar que nenhum ponto manteve os seus níveis ao longo do período considerado. Estes resultados refletem uma preocupação substancial, pois há uma possibilidade significativa de que as concentrações continuem a aumentar e eventualmente ultrapassem o limite estabelecido, resultando na contaminação do aquífero e na sua inadequação para consumo humano.

8. Considerações Finais

Com base nas informações apresentadas acerca da avaliação da evolução qualitativa das águas subterrâneas na região do Alentejo, é possível concluir que a contaminação por nitratos representa um desafio significativo para a qualidade dos recursos hídricos nessa área. A análise detalhada da dinâmica temporal das concentrações desse parâmetro nas massas de água revelou uma diminuição em algumas das áreas onde se situam os pontos de amostragem, contudo, estes ainda têm um longo caminho a percorrer para que se situem dentro dos limites estabelecidos pela legislação. A disponibilização de novos recursos hídricos com baixos níveis de nitratos pode explicar a recente diminuição nos indicadores de contaminação, sendo importante ter em mente que essa redução não significa necessariamente uma melhoria sustentável na qualidade da água e pode simplesmente estar a encobrir a contaminação subjacente, que provavelmente continuará a aumentar de forma esporádica no futuro. Portanto, é crucial considerar essa nuance ao avaliar os dados e tomar decisões sobre a gestão dos recursos hídricos, sendo necessária uma abordagem mais abrangente e de longo prazo para identificar e abordar as causas subjacentes da contaminação por nitratos de forma eficaz. Em sentido contrário a esta descida, temos os níveis de cloretos que se encontram exatamente como pretendidos, visto que nenhuma das áreas analisadas apresenta contaminação resultante dos mesmos. Apesar disso, o aumento que se verificou na concentração de cloretos ao longo do período analisado ilustra que este cenário também não pode vir a ser posto de parte, uma vez que há a possibilidade de num futuro relativamente próximo estes compostos excedam os limites estabelecidos.

O efeito do empreendimento do Alqueva sobre as águas subterrâneas da região abrangidas pelo regadio a partir do mesmo parece estar a levar a uma diminuição da contaminação por nitrato e a um aumento da concentração de cloreto em toda a área de rega. A substituição de um regadio com base em águas subterrâneas por rega com água de uma albufeira, que não contém praticamente nitratos na sua origem, parece ter contribuído, com algumas exceções, para a diminuição do nível de nitratos na zona. Em relação aos cloretos, haverá provavelmente uma alteração no uso de fertilizantes que justificará este aumento dos mesmos nas águas subterrâneas.

A evolução observada nos cloretos e nos nitratos pode ser resultado do uso de determinados tipos de fertilizantes, uma vez que alguns destes são constituídos por um

composto denominado de ureia, que possui a característica de ter a capacidade de aumentar os níveis de cloretos nos aquíferos. A ureia é uma fonte de nitrogénio que, ao ser aplicada como fertilizante, pode levar à formação de amoníaco e cloretos, contribuindo para o aumento dos cloretos nos aquíferos (Júnior, 2019). Assim, através do uso de fertilizantes dotados de ureia, poderá ser possível estagnar ou diminuir o aparecimento de nitratos e, simultaneamente, aumentar a concentração de cloretos.

Apesar de não ter sido possível realizar uma análise detalhada dos valores de fosfatos e da condutividade elétrica devido à falta de medições na grande maioria dos anos considerados, uma breve investigação realizada nos valores disponíveis desta última indicou que os valores estão todos abaixo dos limites estabelecidos pelo Decreto-Lei Nº 152/2017 de 7 de dezembro. Relativamente aos fosfatos, com base nos poucos valores obtidos nos pontos de amostragem, podemos inferir que não existe excesso de fosfatos nos aquíferos da área em estudo, estando os valores dentro dos limites estipulados pelo Decreto-Lei Nº 77/2006 de 30 de março. Com base nestas conclusões, podemos supor que nenhum destes parâmetros está a contaminar os aquíferos em análise.

Tendo em conta os dados apresentados, podemos concluir que o único parâmetro dos considerados que está a tornar alguns dos aquíferos na área em questão não consumíveis são os nitratos. A contaminação observada nesta área, predominantemente utilizada para fins agrícolas, sugere que esta contaminação é principalmente atribuível ao uso de determinados fertilizantes químicos, que são caracterizados pela sua capacidade de aumentar a concentração destes compostos.

Uma das primeiras medidas a serem implementadas no contexto da mitigação dos efeitos da lixiviação de nitratos para os aquíferos é a aplicação eficaz e sustentável de fertilizantes pelos agricultores, contribuindo assim para a preservação das águas subterrâneas. De forma mais específica, a aplicação cuidada de fertilizantes é crucial para prevenir a contaminação por nitratos nas águas subterrâneas, uma vez que práticas agrícolas sustentáveis promovem a saúde dos ecossistemas aquáticos e garantem água de qualidade para as gerações futuras.

De forma geral, podemos afirmar relação entre as atividades humanas, como a agricultura intensiva, e a qualidade das águas subterrâneas é evidente, visto que há uma enorme

diferença de valores nas áreas utilizadas para este tipo de atividades e aquelas que não são. A identificação das fontes de contaminação e a implementação de estratégias de monitorização contínua são essenciais para garantir a preservação desse recurso vital e a sustentabilidade ambiental da região. Diante desse cenário, é fundamental que sejam adotadas ações concretas para a redução da contaminação por nitratos, bem como para a prevenção de impactes negativos na qualidade das águas subterrâneas do Alentejo. A consciencialização, a cooperação entre os diversos setores envolvidos e a implementação de práticas sustentáveis são fundamentais para assegurar a proteção e a conservação desse recurso natural tão precioso para a região e para as comunidades locais.

Em suma, a dissertação aborda um tema de grande relevância ambiental, uma vez que as águas subterrâneas desempenham um papel fundamental na manutenção da sustentabilidade dos ecossistemas e no abastecimento de água potável para a população. No entanto, a metodologia utilizada pode não ser adequada para outros estudos devido à variabilidade geográfica, que pode variar significativamente de uma região para outra. Além disso, a falta de dados prejudicou profundamente a realização de uma avaliação precisa dos impactos do uso do solo sobre as águas subterrâneas, sendo esta uma limitação comum em estudos ambientais. Para superar essa limitação, poderá ser útil o uso de novas tecnologias, como sensores remotos, por exemplo, que podem ajudar a coletar, processar e analisar dados de forma mais abrangente e precisa, contribuindo para uma avaliação mais robusta dos impactos do uso do solo sobre as águas subterrâneas.

9. Referências Bibliográficas

Almasri, M., & Kaluarachchi, J. (2007). Modeling nitrate contamination of groundwater in agricultural watersheds. *Journal of Hydrology*, 343(3-4), 211-229.

Associação Portuguesa de Distribuição e Drenagem de Águas (APDA). (2012). Cloretos. Recuperado de: <https://www.apda.pt/site/upload/FT-QI-04-cloretos-21102012.pdf>

Arvela, A. (2013). Alterações da paisagem decorrentes da construção da barragem do Alqueva: Cenários para 2025, 2050 e 2100. (Dissertação de mestrado). Universidade do Algarve, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Faro.

Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (ABAS). (n.d.). Águas subterrâneas: O que são? ABAS. <https://www.abas.org/aguas-subterraneas-o-que-sao/>

Autoridade de Segurança Alimentar e Económica (ASAE). (n.d.). Legislação sobre nitratos. ASAE. <https://www.asae.gov.pt/seguranca-alimentar/riscos-quimicos/nitratos/legislacao.aspx>

Azoia, J. (2021). Consequências da intensificação do regadio na Paisagem do Alentejo (Relatório de Estágio). Universidade de Évora, Escola de Ciências e Tecnologia, Évora. Recuperado de: https://dspace.uevora.pt/rdpc/bitstream/10174/29093/1/Mestrado-Arquitetura_Paisagista-Joao_Miguel_Queiroz_do_Nascimento_Azoia.pdf

Batista, D. L. S. (2009). Paisagem, cidade e património: O sistema urbano Olhão-Faro-Loulé – Propostas para uma estratégia de intervenções integradas de requalificação urbana e valorização ambiental (Dissertação de doutoramento). Universidade de Évora, Évora, Portugal.

Bukowski, J., Somers, G., & Bryanton, J. (2001). Agricultural contamination of groundwater as a possible risk factor for growth restriction or prematurity. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 43(4), 377-383.

Caldas, E. C. (1994). Evolução da paisagem agrária. In DGOTDU, *Paisagem*. Lisboa: DGOTDU.

Cancela d'Abreu, A., Correia, T., & Oliveira, R. (2004). Contributos para a identificação e caracterização da paisagem em Portugal continental (Vol. I). Lisboa: DGOTDU. (26-42).

Cavaco, C. (2005). As paisagens rurais: Do 'determinismo natural' ao 'determinismo político'? *Finisterra*, 40(79), 73-101.

Chambel, A. (2012). Água subterrânea e Agricultura. In *Hidrologia Agrícola* (1ª ed., Capítulo 6). Recuperado de: http://rdpc.uevora.pt/bitstream/10174/7849/1/2012_EVORA.pdf

Chambel, A. (2018). Águas Subterrâneas: a importância de um recurso escondido. Recuperado de: http://dspace.uevora.pt/rdpc/bitstream/10174/25019/1/Chambel_Estremoz_Texto_1.pdf?fbclid=IwAR251tHbqoUj8IATjcQ8zvV-hfYqZIHfZWY_70OZPPaLI1V2CNqblEp40

Comly, H. H. (1945). Cyanosis in infants caused by nitrates in well water. *Journal of the American Medical Association*, 129(2), 112-116.

Conselho Estadual de Recursos Hídricos: Câmara Técnica de Águas Subterrâneas. (2019). Boletim IGeo: Nitrato. Recuperado de: https://smastr16.blob.core.windows.net/igeo/2020/01/boletim_ig_nitrato.pdf

Croen, L. A., Todoroff, K., & Shaw, G. M. (2001). Maternal exposure to nitrate from drinking water and diet and risk for neural tube defects. *American Journal of Epidemiology*, 153(4), 325-331.

Diário da República. (1998). Decreto-Lei nº 236/1998, de 1 de agosto. 236/1998-430457. <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/236-1998-430457>

Diário da República. (2006). Decreto-Lei n.º 77/2006, de 27 de março. 77/2006-672144. <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/77-2006-672144>

Diário da República. (2007). Decreto-Lei nº 306/2007, de 27 de agosto. 306/2007-640931 <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/306-2007-640931>

Diário da República. (2017). Decreto-Lei n.º 152/2017, de 7 de dezembro. 152/2017-114315242. <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/152-2017-114315242>

Duque, J., Jan, L. (2000). Estudo dos recursos hídricos subterrâneos do Alentejo - ERHSA. Congresso da Água ano 2000. Recuperado de: <https://www.aprh.pt/congressoagua2000/COMUNIC/74.pdf>

Empresa de Desenvolvimento e Infraestruturas do Alqueva (EDIA). (2011). Relatório de Sustentabilidade de 2009-2011. Empresa de Desenvolvimento e Infraestruturas do Alqueva, SA. Recuperado de: <https://www.edia.pt/pt/quem-somos/edia/relatorio-de-sustentabilidade/>

Environmental Protection Agency (EPA). (2023). Indicators: Phosphorus. U.S. Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/national-aquatic-resource-surveys/indicators-phosphorus>

European Aquaculture Society (EAS). (n.d.). Alentejo. EAS. <https://www.euroaaa.eu/site/alentejo>

FAO. (1996). Toxicological evaluation of certain food additives and contaminants. Roma: WHO. (WHO Food Additives Series, 35).

Ferreira, D. B. (2001). Evolução da paisagem de montado no Alentejo interior ao longo do século XX: dinâmica e incidências ambientais. *Finisterra*, 36(72). <https://doi.org/10.18055/Finis1633>

Filho, V. J. (2018). Qualidade das águas subterrâneas rasas do aquífero Barreiras: Estudo de caso em Benevides, PA (Dissertação de mestrado). Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Belém, Brasil.

Florestas.pt. (n.d.). O que são águas subterrâneas? Recuperado de: <https://florestas.pt/saiba-mais/o-que-sao-aguas-subterraneas/>

Freeze, R. A., Cherry, J. A. (2017). Água subterrânea. Recuperado de: <https://limaens.paginas.ufsc.br/files/2020/09/livro-agua-subterranea-completo.pdf>

Fondriest Environmental, Inc. (2014). Conductivity, Salinity, TDS. Fondriest Environmental. <https://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/water-quality/conductivity-salinity-tds/#cite>

Foppa, C., Kuroshima, K. N., Medeiros, R. P., Borges, S. F., Barreiros, M. A. B., Araújo, S. A., Scherer, P. F., Lacava, L., Bonilha, L. E.. (2004). Avaliação da qualidade da água subterrânea e mobilização social: Em busca da gestão participativa do uso da água (Praia de Taquaras, Balneário Camboriú/SC). Apresentado no XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Recuperado de: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/download/23348/15440/84553>

Groho. (n.d.). A importância da condutividade elétrica. Groho. <https://www.groho.pt/post/a-importancia-da-condutividade-eletrica>

Hirata, R., Suhogusoff, A., Marcellini, S. S., Villar, P. C., & Marcellini, L. (2019). Água subterrânea e sua importância. Recuperado de: https://igc.usp.br/igc_downloads/Hirata%20et%20al%202019%20Agua%20subterranea%20e%20sua%20importancia.pdf?fbclid=IwAR07gBzTZduuErihYolxVhLaOPGHWUOaUp-9dM6Mg0yMtwVAmPgashjrQvo

Instituto da Água, I. P. (2016). *Plano de Gestão de Região Hidrográfica do 2º Ciclo 2016-2021: Parte II*. Recuperado de: https://apambiente.pt/sites/default/files/Agua/DRH/ParticipacaoPublica/PGRH/2016-2021/3_Fase/PGRH_2_RH5A_Parte2.pdf

Instituto da Água, I. P. (2012). *Plano de Gestão de Região Hidrográfica do 1º Ciclo 2010-2015: Relatório Técnico*. Agência Portuguesa do Ambiente. Recuperado de: https://www.apambiente.pt/sites/default/files/SNIAMB_Agua/DRH/PlaneamentoOrdenamento/PGRH/2010-2015/PTRH6/PGRH_1_RH6_RelatorioTecnico_CE_T1A.pdf

Instituto da Água, I. P. (2012). *Plano de Gestão de Região Hidrográfica do 1º Ciclo 2010-2015: Relatório Técnico*. Agência Portuguesa do Ambiente. Recuperado de: https://apambiente.pt/sites/default/files/SNIAMB_Agua/DRH/PlaneamentoOrdenamento/PGRH/2010-2015/PTRH7/PGRH_1_RH7_RelatorioTecnico_CE_T1A.pdf

Junior, R. F. V., Varandas, S. G. P., Fernandes, L. F. S., & Pacheco, F. A. L. (2014). Groundwater quality in rural watersheds with environmental land use conflicts. *Science of The Total Environment*, 493, 812-827. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.06.068>

Júnior, J. (2019). Efeito de fertilizantes de liberação gradual de nutrientes na dinâmica do nitrogênio no solo e na produção da cultura do milho (Zea mays) [Dissertação de mestrado]. Escola Superior Agrária de Bragança, Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Klein, C., & Agne, S. A. A. (2012). Fósforo: De nutriente à poluente! *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, 8(8), 1713-1721. <https://doi.org/10.5902/223611706430>

KnowYourH2O. (n.d.). Phosphates in the environment. KnowYourH2O. <https://www.knowyourh2o.com/outdoor-4/phosphates-in-the-environment>

Kolpin, D. W. (1997). Agricultural chemicals in groundwater of the Midwestern United States: Relations to land use. *Journal of Environmental Quality*, 26(4), 1025-1037. <https://doi.org/10.2134/jeq1997.00472425002600040014x>

Magalhães, A. (2021). Qualidade e Tratamento de Águas para Consumo Humano (Relatório de Estágio). Universidade do Porto, Faculdade de Ciências, Porto. Recuperado de: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/139171/2/525425.pdf>

Manassaram, D. M., Backer, L. C., & Moll, D. M. (2006). A review of nitrates in drinking water: maternal exposure and adverse reproductive and developmental outcomes. *Environmental Health Perspectives*, 114(3), 320-327.

Matias, W. G. (n.d.). Cloretos. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Recuperado de: <https://limaens.paginas.ufsc.br/files/2019/01/Cloretos.pdf>

Mattoso, J. (1994). História de Portugal (Edição nº 2410). Lisboa: Círculo de Leitores.

McDaris, J. R., Feinberg, J. M., Runkel, A. C., Levine, J., Kasahara, S., & Alexander Jr., E. C. (2022). Documentation and Prediction of Increasing Groundwater Chloride in the Twin Cities, Minnesota. *Groundwater*, 60(6), 837-850. <https://doi.org/10.1111/gwat.13227>

Menezes, J., Bertossi, A., Santos, A., & Neves, M. (2014). Correlação entre uso da terra e qualidade da água subterrânea. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 19(02). Recuperado de: <https://www.scielo.br/j/esa/a/8R3nHVjLnTxXTGt4pf9ZJfR/?lang=pt>

Meneses, B. M., Pereira, S., Reis, E., Reis, R., & Vale, M. J. (2017). Identificação das forças motrizes das alterações do uso e ocupação do solo em Portugal. Em B. M. Meneses, S. Pereira, E. Reis, R. Reis, & M. J. Vale (Eds.), *As dimensões e a responsabilidade social da Geografia: Atas do XI Congresso da Geografia Portuguesa*. Porto, Portugal.

Penha, A., Chambel, A., Murteira, M., & Morais, M. (2016). Influence of different land uses on groundwater quality in southern Portugal. *Environmental Earth Sciences*, 75(7). <https://doi.org/10.1007/s12665-015-5038-7>

Pereira, M. (2021). Implementação e Validação da análise de Cloretos por Potenciometria Indireta (Dissertação de Mestrado). Universidade NOVA de Lisboa, Departamento de Química, Lisboa.

Rosa, L. (2023). Avaliação da composição, qualidade e concentração de cloretos nas águas dos sistemas aquíferos costeiro e Guarani no município de Terra de Areia (RS) (Tese de Bacharelato). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Porto Alegre.

Sanches, R. (2007). Empreendimento de fins múltiplos de Alqueva (10-79). Beja: EDIA.

Shahidian, S., Guimarães, R. C., Rodrigues, C. M., Chambel, A., Alexandre, C. A., Santos, F. L., Basch, G., Andrade, J. A., & Coelho, R. (2012). *Hidrologia Agrícola* (1ª ed.). Recuperado de: https://dspace.uevora.pt/rdpc/bitstream/10174/22180/1/Livro_Hidrologia_Agricola.pdf

Silva, J. J. F., Migliorini, R. B. (2014). Caracterização das águas subterrâneas do aquífero Furnas na região sul do estado de Mato Grosso. *Geociências*, 33(2), 261-277.

Sousa, C. J. da S. de, Borges, W. R., & Pinheiro, K. S. F. (2022). Caracterização hidroquímica das águas subterrâneas do sistema aquífero Barreiras-Itapecuru na Ilha do Maranhão, no litoral norte do Brasil. *Geociências*, 41(2), 437-450.

Stones, B. (2017). Why monitor phosphate levels in water? EM Solutions. <https://www.em-solutions.co.uk/insights/why-monitor-phosphate-levels-in-water/>

Universidade Estadual Paulista (UNESP). (n.d.). Análise da qualidade da água de alguns poços artesianos no município de Botucatu. Recuperado de: <https://ib.rc.unesp.br/Home/Departamentos47/BioquimicaeMicrobiologia/ana.pdf>

Queen Mary University of London. (n.d.). Electrical conductivity leaflet. Recuperado de: <https://www.qmul.ac.uk/chesswatch/media/chesswatch/Electrical-conductivity-leaflet.pdf>

Veiga, B., Duarte, L., Vasconcelos, L. (2007). A Barragem do Alqueva para quem? Por uma contextualização pluridimensional do desenvolvimento no Alentejo – Portugal.

Ward, M. H., deKok, T., Levallois, P., Brender, J., Gulis, G., Nolan, B., VanDerslice, J. (2005). Workgroup report: Drinking-water nitrate and health - Recent findings and research needs. *Environmental Health Perspectives*, 113(11), 1607-1614.

World Health Organization (WHO). (2011). Guidelines for drinking-water quality (4ª ed.). Genebra: WHO.