

**Caracterização das águas de Trás-os-Montes.
Estudo comparativo dos resultados da Terra Fria e
da Terra Quente**

Mónica Sofia de Ponte Brás

*Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de Bragança para obtenção do
Grau de Mestre em Tecnologia Ambiental*

Orientado por:

**Professora Doutora Maria da Conceição Vaz Angélico
Professora Doutora Maria Cristina Guiomar Antunes**

**Bragança
2013**



**Caracterização das águas de Trás-os-Montes.
Estudo comparativo dos resultados da Terra Fria e
da Terra Quente**

Mónica Sofia de Ponte Brás

*Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de Bragança para obtenção do
Grau de Mestre em Tecnologia Ambiental*

Orientado por:

**Professora Doutora Maria da Conceição Vaz Angélico
Professora Doutora Maria Cristina Guiomar Antunes**

Bragança

2013

Agradecimentos

A presente dissertação não teria sido possível sem a colaboração, incentivo e amizade de várias pessoas, a quem desejo expressar o meu reconhecimento:

À Professora Doutora Maria Conceição Vaz Angélico, por ter aceitado a tarefa de orientar este trabalho, transmitido conhecimentos imprescindíveis e pela amizade demonstrada.

À Professora Doutora Maria Cristina Guiomar Antunes por ter aceitado ser Coorientadora deste trabalho.

À D. Olinda Diegues, técnica do Laboratório de Análises Químicas, pela disponibilidade cedida e o apoio prestado para a realização deste trabalho e pela amizade demonstrada.

Ao Sr. Eng. David Cabral agradeço a forma amigável como sempre me apoiou e incentivou.

Aos colegas de mestrado, por todo o apoio e amizade demonstrada, em especial ao Eng. Filipe Rodrigues, pela ajuda imprescindível ao longo de dois anos e pela sua amizade.

Aos meus pais, por terem estado sempre presentes nos momentos mais difíceis.

Ao Fernando pelo apoio incondicional.

Resumo

A água é um dos recursos naturais mais abundante no planeta e é essencial à vida, pelo que é fundamental a sua gestão e controlo de qualidade. A sua utilização depende das substâncias presentes na água, pelo que é necessário quantificá-las. A sua composição resulta de reações químicas ou de interações água-ar-rocha, sendo a sua composição química, segundo Likens (2010), atribuída a três fatores: físicos; geológicos e biológicos. Este estudo teve como objetivo a caracterização físico-química da água, em acordo com o D.L. 306/2007, que flui através das vertentes da Terra Quente e da Terra Fria com o propósito de diferenciar a água destas duas regiões.

Após uma análise aos resultados observa-se que as amostras da Terra Fria têm concentrações mais elevadas na maioria dos parâmetros analisados. Avaliou-se a variância entre a Terra Quente e a Terra Fria e verificou-se que existem diferenças significativas em alguns parâmetros, por exemplo, a alcalinidade com o valor-p = 0,014 e a dureza, valor-p = 0,032 (valor-p inferior a 0,05 indica que não existem diferenças significativas entre a Terra Quente e a Terra Fria). Existem ainda, diferenças no cálcio, magnésio, fosfatos e nitratos, muito devido à diferença da natureza dos solos e da temperatura verificados nas regiões estudadas.

Analisando os resultados obtidos é possível concluir que existem diferenças significativas entre alguns parâmetros estudados e também que a qualidade da água analisada, em média, é considerada boa.

Palavras-chave: água; caracterização; qualidade; Terra Fria; Terra Quente.

Abstract

Water is one of the most abundant resources on the planet and is essential to life, so it is essential its management and quality control. Its use depends on the substances present in the water, and it is necessary to quantify them. Its composition is the result of chemical reactions or interactions of air-water-rock, and its chemical composition, according to Likens (2010), is attributed to three factors: physical, geological and biological. This study aimed to physicochemical characterization of water, according to DL 306/2007, which flows through the strands of the Terra Quente and Terra Fria in order to differentiate water from these two regions.

After analyzing the results it was observed that the samples of the Terra Fria have higher concentrations in most of the analyzed parameters. Evaluating the variance between the Terra Quente and the Terra Fria found that there are significant differences in some parameters, for instance, the alkalinity p-value = 0.014 and hardness, p-value = 0.032 (p-value less than 0.05 indicates that there are no significant differences between Terra Quente and Terra Fria). There are also differences in calcium, magnesium, phosphates and nitrates, due to the very different nature of the soil and the temperature recorded in the regions studied.

Analyzing the results, we conclude that there are significant differences between some parameters studied and also that the water quality, in average, is considered good.

Índice

Agradecimentos	ii
Resumo	iv
Abstract	v
Índice de Tabelas	vii
Índice De Figuras	vii
Abreviaturas	ix
Unidades	x
1. Introdução	1
2. Objectivo	5
3. Água para consumo humano	7
Ciclo Hidrológico da Água	7
Qualidade da água	9
Parâmetros de qualidade	11
4. Terra Quente e Terra Fria	25
5. Legislação – água para consumo humano	29
6. Metodologia	31
Descrição do local de amostragem	32
Parâmetros determinados	34
7. Resultados	45
8. Discussão dos Resultados	62
9. Conclusão	64
10. Bibliografia	65

Índice de Tabelas

TABELA 1: LOCAIS AMOSTRADOS.....	33
TABELA 2: VALORES DE PH PRESENTES NA LEGISLAÇÃO EM VIGOR.....	35
TABELA 3: ANÁLISE DESCRITIVA (MÉDIA, DESVIO-PADRÃO, MÁXIMO E MÍNIMO) E ANOVA.....	46
TABELA 4: ANÁLISE DESCRITIVA (MÉDIA, DESVIO-PADRÃO, MÁXIMO E MÍNIMO) E ANOVA (CONT.).....	47
TABELA 5: ANÁLISE DESCRITIVA (MÉDIA, DESVIO-PADRÃO, MÁXIMO E MÍNIMO) E ANOVA (CONT.).....	47
TABELA 6: DISTRIBUIÇÃO NORMAL, HOMOGENEIDADE E ANOVA PARA O PH E A SÍLICA.....	48
TABELA 7: ANÁLISE DAS VARIÂNCIAS: TESTE PARAMÉTRICO – RAZÃO F, PARA O PH. ERRO! MARCADOR NÃO DEFINIDO.	
TABELA 8: ANÁLISE DAS VARIÂNCIAS: TESTE PARAMÉTRICO – RAZÃO F, PARA A SÍLICA. ... ERRO! MARCADOR NÃO DEFINIDO.	
TABELA 9: PARÂMETROS PARA OS QUAIS AS AMOSTRAS DE ÁGUA DA TERRA QUENTE E DA TERRA FRIA NÃO APRESENTAM DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS.....	49
TABELA 10: PARÂMETROS PARA OS QUAIS AS AMOSTRAS DE ÁGUA DA TERRA QUENTE E DA TERRA FRIA APRESENTAM DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS.....	50
TABELA 11: ANÁLISE DESCRITIVA À TEMPERATURA DA ÁGUA.	51
TABELA 12: TESTE ESTATÍSTICO, ANOVA.....	52
TABELA 13: CLASSIFICAÇÃO DO ESTADO QUÍMICO DAS AMOSTRAS.....	59

Índice De Figuras

FIGURA 1 - DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA NA TERRA (DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, 2013).....	1
FIGURA 2- CICLO HIDROLÓGICO DA ÁGUA (ADAPTADO DE JORNAL DE SAÚDE AMBIENTAL, 2013).	8
FIGURA 3: CONCEITO DE BOM ESTADO DA ÁGUA - DECISÃO N.º 2455/2001/CE.....	10
FIGURA 4: LOCALIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO – DISTRITO DE BRAGANÇA.	25
FIGURA 5: O REGIME CLIMÁTICO DA REGIÃO DE TRÁS-OS-MONTES E ALTO DOURO (CCDRN, 2006).	26
FIGURA 6: DETERMINAÇÃO, <i>IN SITU</i> , DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA E TEMPERATURA DA ÁGUA.	31
FIGURA 7: DETERMINAÇÃO DO IÃO FOSFATO.	40
FIGURA 8: AMOSTRAS DE ÁGUA PARA A DETERMINAÇÃO DOS NITRITOS.	43
FIGURA 9: TESTE KRUSKAL-WALLIS PARA A CONDUTIVIDADE ELÉTRICA.	50
FIGURA 10: ANÁLISE DE VARIÂNCIAS - TESTE KRUSKAL-WALLIS, PARA A ALCALINIDADE.	50
FIGURA 11: ANÁLISE À VARIÂNCIA, TEMPERATURA DA ÁGUA.	52
FIGURA 12: GRÁFICO REPRESENTATIVO DOS VALORES DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA.	52
FIGURA 13: GRÁFICO REPRESENTATIVO DOS VALORES DO PH.....	53
FIGURA 14: GRÁFICO REPRESENTATIVO DOS VALORES DO CÁLCIO E MAGNÉSIO.....	53
FIGURA 15: GRÁFICO REPRESENTATIVO DOS VALORES DA DUREZA TOTAL.....	54
FIGURA 16: GRÁFICO REPRESENTATIVO DOS VALORES DO OD E CBO ₅	54

FIGURA 17: GRÁFICO REPRESENTATIVO DOS VALORES DA OXIDABILIDADE.	55
FIGURA 18: GRÁFICO REPRESENTATIVO DOS VALORES DO IÃO CLORETO.	55
FIGURA 19: GRÁFICO REPRESENTATIVO DOS VALORES DO IÃO SULFATO.	56
FIGURA 20: GRÁFICO REPRESENTATIVO DOS VALORES DO IÃO NITRATO.	56
FIGURA 21: GRÁFICO REPRESENTATIVO DOS VALORES DO IÃO NITRITO.	56
FIGURA 22: GRÁFICO REPRESENTATIVO DOS VALORES DO SÓDIO.	57
FIGURA 23: GRÁFICO REPRESENTATIVO DOS VALORES DO FERRO.	57
FIGURA 24: GRÁFICO REPRESENTATIVO DOS VALORES DO MANGANÊS.	57
FIGURA 25: GRÁFICO REPRESENTATIVO DOS VALORES DO BORO.	58
FIGURA 26: GRÁFICO REPRESENTATIVO DOS VALORES DO COBRE.	58

Abreviaturas

B – Boro

CBO – Carência Bioquímica de Oxigênio

Ca – Cálcio

Cl⁻ – Cloreto

Cu – Cobre

D.L. – Decreto-Lei

DQA – Diretiva Quadro da Água

C.E. – Condutividade Elétrica

EPA – US Environmental Protection Agency

Fe – Ferro

K – Potássio

Mg – Magnésio

Mn – Manganês

Na – Sódio

n.d. – Não detetado

NO₂ – Nitritos

NO₃ – Nitratos

OD – Oxigênio Dissolvido

OMS – Organização Mundial de Saúde

p – Valor de probabilidade obtido nos testes estatísticos

Pb – Chumbo

PO₄ – Fosfatos

Si – Sílica

SO₄ – Sulfatos

VMA – Valor Máximo Admissível

VMR – Valor Máximo Recomendado

VP – Valor Paramétrico

Zn – Zinco

Unidades

°C – Graus Celcius.

mg/L – Miligramas por litro.

µg/L – Microgramas por litro.

1. INTRODUÇÃO

A água é uma componente fundamental à vida, é um dos recursos naturais mais abundante no planeta e é essencial a uma grande variedade de atividades económicas. Sempre teve um papel vital na existência do Homem. O seu uso para beber, cozinhar, na agricultura, transportes, indústria e recreação mostra, instantaneamente, a extensão da sua importância sendo uma parte integrante da nossa vida. É, no entanto, um recurso limitado, como somos recorrentemente lembrados pelos trágicos efeitos da seca em certas partes do mundo (Quevauvillier,2002).

A determinação dos valores de água no planeta Terra através das estimativas dos diferentes fluxos e reservatórios do ciclo hidrológico tem sido estimada por vários autores. Segundo Rosa *et al.* (2012) esses estudos apontam que os valores da distribuição mostram que 97,5% de toda a água existente na Terra é água salgada, formando os oceanos e mares, e somente 2,5% são de água doce e destes apenas 0,27% está disponível para atender a procura do consumo humano.



Figura 1 - Distribuição de água na Terra (Desenvolvimento Sustentável, 2013).

O problema da água, do seu uso e da gestão dos recursos hídricos disponíveis, não é apenas um problema quantitativo é também um problema qualitativo. De acordo com Mendes e Oliveira (2004) a água, como composto com características físico-químicas próprias que afetam e determinam o seu uso, não se encontra no estado puro na natureza, ou seja, não aparece como composto incolor, inodoro e insípido que poderia ser.

Não importa o propósito para o qual a água é requerida, tem sido reconhecida que a sua adequação para esse propósito pode ser afetado por outras substancias dissolvidas e/ou

suspensas na água (Hunt e Wilson, 1986). Daí a necessidade de associar, à sua quantificação, a indicação da sua qualidade, sendo esta definida como aquilo que a caracteriza, ou melhor, a sua adaptabilidade ao uso para determinados fins, bem especificados.

A química da água em sistemas aquáticos naturais varia no espaço e no tempo. Esta variabilidade é expressa na forma de tendências e padrões, e pela compreensão do porquê, é possível obter perspectivas sobre os mecanismos que controlam a química da água (Likens, 2010), sendo a composição da água, segundo Edzwald (2011), extremamente afetada por reações químicas como, ácido-base (e.g. carbono inorgânico, alcalinidade, cloração), complexação, solubilidade e oxidação-redução.

A composição química da maioria da água superficial e subterrânea é resultado de interações água-rocha-ar: a evaporação de solutos concentrados, resultando na cristalização de minerais como a calcite e o gesso; a combinação da evaporação e a precipitação mineral que podem levar a concentrações elevadas de sódio, cloro, e/ou sulfatos; os gases no solo que geralmente têm dióxido de carbono devido à respiração das raízes das plantas e à decomposição da matéria orgânica, pelo que a percolação da água através de solos ricos em matéria orgânica pode baixar o pH, levando à dissolução de minerais solúveis em ácido (Dunne, 2012).

Substâncias químicas antropogénicas e/ou naturais entram em contacto com a água nas suas fases de vapor ou líquida e, devido ao potencial de dissolução destas substâncias, a água perde a sua pureza e com o tempo pode tornar-se contaminada. Estas substâncias dissolvidas podem ser inorgânicas e orgânicas, incluindo animais em decomposição e matéria vegetal, sedimentos, sais, algas, bactérias e vírus (Evangelou, 1998). Esta contaminação é, em grande parte, resultado de atividades humanas, apesar que alguns fenómenos naturais como tornados, furacões ou chuvas torrenciais podem resultar na deterioração da qualidade da água. Estes eventos naturais podem levar a uma erosão excessiva e deslizamentos de terra, geralmente aumentando o teor de material suspenso nos rios e nos lagos afetados (Bartram e Ballance, 1996).

Segundo Likens (2010) a variação na química de lagos e rios pode ser atribuída a três fatores: (1) processos e propriedades físicas, incluindo morfologia, clima e tempo, (2) definição geológica e, (3) fatores biológicos, incluindo a abundância e a composição da biota dentro da massa de água e da sua bacia hidrográfica. Estes fatores podem ser

influenciados pelas atividades humanas. A influência que estes exercem sobre a química da água pode ser observada através de análises de alguns parâmetros estudados em três categorias importantes: os gases dissolvidos na água, principais iões e nutrientes.

Com o rápido desenvolvimento da ciência e da tecnologia, e com os novos processos industriais e os novos produtos sintéticos que estão em constante desenvolvimento, mais poluentes são produzidos e despejados para o ambiente. De acordo com Patnaik (2010) o número desses poluentes e as suas concentrações no ambiente estão em contínuo crescimento. Portanto, a análise de poluentes químicos, nas matrizes ambientais, entrou em uma nova fase na última década. Os teores determinados nas amostras são comparados aos padrões conhecidos, os quais são especificados em decretos-lei, e resoluções legais.

As várias diretivas europeias fornecem um quadro para o controlo de substâncias aquáticas, e da qualidade das águas superficiais, subterrâneas, recreativas e de consumo. Tais medidas regulamentares são próximas das “clássicas” medições analíticas (que envolvem a colheita de amostras e análise laboratorial) (Quevavillier, 2002). Para que essas determinações sejam realizadas, há uma série de técnicas analíticas que são capazes de identificar os componentes presentes numa amostra e quantificar as suas concentrações com grande sensibilidade (Parron *et al.*, 2011).

2. OBJECTIVO

Como já referido anteriormente, em Trás-os-Montes existem duas regiões distintas pelo seu clima, a Terra Quente e a Terra Fria. A maior parte desta zona é abrangida pelo Distrito de Bragança.

A qualidade da água é um indicador das características dos solos que a água, subterrânea ou superficial, transporta através dos taludes, como se se tratasse de uma impressão digital, e também consequência das condições atmosféricas ocorridas no local.

Tal como os produtos agrícolas têm diferenças significativas de uma região para a outra, também a água é suscetível de apresentar características distintas entre estas duas regiões.

Esta dissertação tem como objetivos a caracterização físico-química das águas de origem subterrânea e/ou superficial de Trás-os-Montes, particularmente no distrito de Bragança e o estudo da composição das águas da Terra Fria em comparação com a Terra Quente, tal é realizado por aplicação de parâmetros de análise físico-químicos, legislados, para a caracterização da água nos locais de estudo. É feita, também, a caracterização qualitativa das águas referidas.

3. ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO

A água de consumo humano de qualidade é definida pela Organização Mundial de Saúde (OMS) como a água que durante o seu consumo não representa nenhum risco significativo para a saúde (WHO, 2008). A água destinada ao consumo humano, na legislação nacional, tem a seguinte definição:

« a) Toda a água no seu estado original, ou após tratamento, destinada a ser bebida, a cozinhar, à preparação de alimentos ou a outros fins domésticos, independentemente da sua origem e de ser fornecida a partir de uma rede de distribuição, de um camião ou navio-cisterna, em garrafas ou outros recipientes, com ou sem fins comerciais;

b) Toda a água utilizada numa empresa da indústria alimentar para o fabrico, transformação, conservação ou comercialização de produtos ou substâncias destinados ao consumo humano, exceto quando a utilização dessa água não afeta a salubridade do género alimentício na sua forma acabada.» (artigo 2.º do D.L. n.º 306/2007)

O artigo 20.º da secção III do D.L. n.º 236/98 considera como águas de abastecimento para consumo humano todas as águas utilizadas para esse fim no seu estado original ou após tratamento, qualquer que seja a sua origem, abrangendo:

a) A água para consumo humano;

b) A água utilizada nas indústrias alimentares para fins de fabrico, de tratamento ou de conservação de produtos ou de substâncias destinadas a serem consumidas pelo homem, e que seja suscetível de afetar a salubridade do produto alimentar final;

c) A água utilizada para a produção de gelo;

d) A água acondicionada em embalagens, recipientes ou autotanques que, em circunstâncias excecionais, poderá ser posta à disposição do consumidor para consumo humano, direto;

e) A água embalada disponibilizada em circuitos comerciais.

Ciclo Hidrológico da Água

O ciclo natural da água ou ciclo hidrológico é o meio com o qual a água nas suas três formas – sólida, líquida e gasosa – circula através da biosfera. A água perdida pela superfície da Terra para a atmosfera, seja por evaporação da superfície de lagos, rios e

oceanos ou através da transpiração de plantas, forma nuvens que condensam para depositar humidade na terra e no mar. A água que se acumula na terra flui para o oceano em correntes e rios ou infiltra-se na Terra, juntando-se às águas subterrâneas (Vigil, 2003; Spellman e Drinan, 2012).

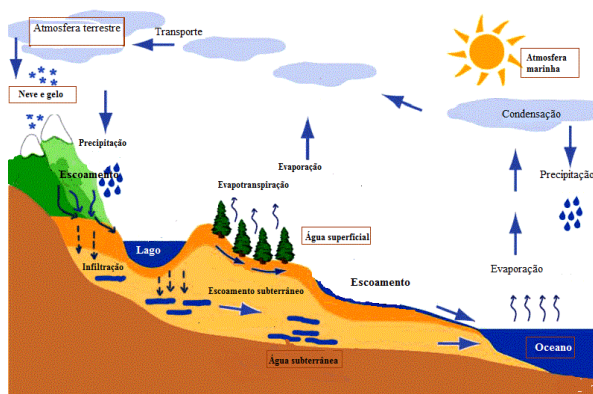


Figura 2- Ciclo Hidrológico da água (adaptado de Jornal de Saúde Ambiental, 2013).

Ao cair através da atmosfera, a chuva capta partículas de pó, sementes de plantas, bactérias, gases dissolvidos, a radiação ionizante e substâncias químicas como enxofre, azoto, oxigénio, dióxido de carbono e amónia (Nemerow *et al.*, 2009). A água absorve rapidamente as substâncias referidas geralmente tornando a água imprópria para consumo sem qualquer forma de tratamento (Gray, 2008). Na natureza não se encontra no seu estado puro, devido às suas características físico-químicas, encontrando-se, em solução e/ou suspensão, espécies orgânicas e inorgânicas, como Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ ou Cl^- , e gases dissolvidos como o azoto, o oxigénio ou o dióxido de carbono que afetam a qualidade da água e consequentemente o funcionamento dos organismos.

A água é apenas parcialmente responsável pelo ciclo dos elementos dentro do ciclo biogeoquímico através de duas principais funções: (a) como reagente em transformações químicas da matéria e (b) como meio de transporte de compostos sólidos e dissolvidos para os diferentes corpos recetores (Ibanez *et al.* 2007). Antes da atividade humana na Terra, a química da água era influenciada pela dissolução de minerais do solo, rochas, biossíntese e pela biodegradação da matéria orgânica. Em alguns casos a água natural pode conter concentrações elevadas de oligoelementos (e.g. arsénico, cobre, fluor, chumbo, zinco) que são conhecidos, de acordo com Sullivan *et al.* (2005), por serem prejudiciais à saúde

humana. As categorias mais importantes de substâncias que podem ser consideradas como indesejáveis em excesso são (a) Cor – devido à presença de matéria orgânica dissolvida de solos turfosos, ou de sais minerais de ferro e manganês; (b) Matéria suspensa - minerais finos e matéria vegetal em suspensão; (c) Turbidez – é uma medida da claridade ou transparência da água; (d) Patogénicos – podem ser vírus, bactérias, protozoários ou outros organismos que podem afetar a saúde do consumidor; (e) Dureza – dureza excessiva ou extremamente baixa é igualmente indesejável; (f) Gosto e odor – gostos e odores desagradáveis são devidos a uma variedade de razões como a contaminação por águas residuais, concentração excessiva de certos produtos químicos, falta de oxigénio na água ou presença de certas algas; (g) Químicos – existem uma grande variedade de produtos tóxicos e nocivos que podem ocorrer em recursos hídricos.

Durante os processos que ocorrem durante o ciclo hidrológico a quantidade e a qualidade da água sofre alterações devido às características físicas (área, topografia, cobertura vegetal, clima, solo), químicas (esgotos industriais e domésticos, fertilizantes, pesticidas e alteração das rochas) e biológicas (Rosa *et al.*, 2012)

A geologia de uma área determina, em grande parte, a característica mineral das suas águas. Por exemplo, águas em zonas com depósitos calcários contêm minerais calcários, tais como, cálcio e magnésio. Estes minerais dissolvem-se e juntam-se à água quando esta atravessa através das formações rochosas e solos que contêm o calcário. A água também recolhe pequenas concentrações de metais como o cobre, chumbo e zinco quando flui através de solos e rochas que contêm estes elementos. Dado que todos os minerais dissolvem-se em alguma extensão na água, é possível, segundo Vigil (2003), determinar o conteúdo de minerais na água em uma determinada área, estudando que espécies de minerais são encontradas nas rochas e solos desse local.

Qualidade da água

Os Estados Membros da Comunidade Europeia têm a obrigação de classificar o estado das massas de água de superfície, sendo que o estado de uma massa de água de superfície é definido em função do pior dos dois Estados, Ecológico ou Químico. Para alcançar o objetivo do Bom Estado a Diretiva requer que as massas de água de superfície atinjam pelo menos o Bom Estado Ecológico e o Bom Estado Químico, sendo a prevenção

da degradação do Estado das massas de água, outro dos objetivos primordiais (Portal da Água, 2013).

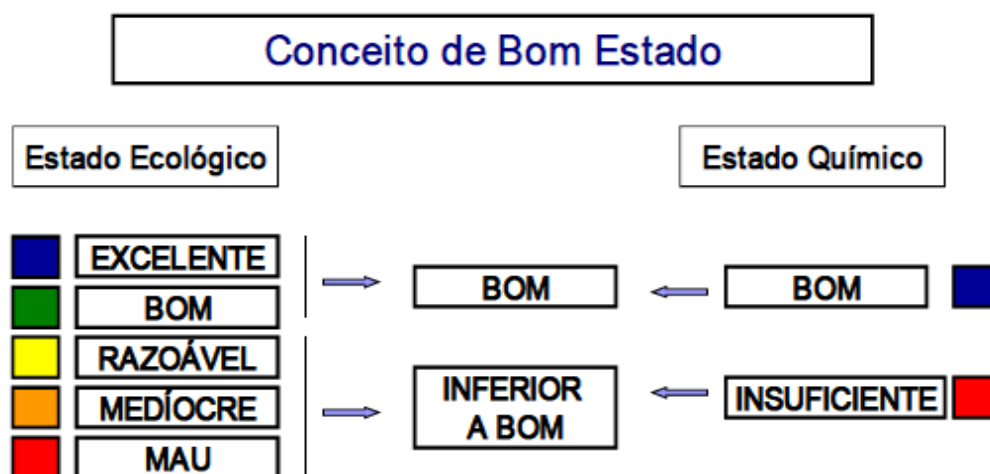


Figura 3: Conceito de Bom Estado da Água - Decisão n.º 2455/2001/CE.

A Diretiva Quadro da Água (DQA) - Diretiva 2000/60/CE - é o principal instrumento da Política da União Europeia relativa à água, estabelecendo um quadro de ação comunitária para a proteção das águas de superfície interiores, das águas de transição, das águas costeiras e das águas subterrâneas. Foi transposta para o direito nacional através da Lei n.º 58/2005, de 29 de Dezembro revogada pelo D.L. n.º 130/2012, de 22 de Junho. Esta lei, denominada por Lei da Água, promove a utilização sustentável da água, visa impedir a contaminação desta e a diminuição da poluição aquática. Tem também como objetivo a avaliação do Estado Ecológico e Químico de uma massa de água.

O Estado Químico relaciona a presença de substâncias químicas no ambiente aquático que, em condições naturais não estejam presentes ou estariam presentes em concentrações reduzidas, e que são suscetíveis de causar danos significativos para ou por intermédio do ambiente aquático, para a saúde humana e para a flora e fauna, pelas suas características de persistência, toxicidade e bioacumulação (D.L.n.º 58/2005).

Os elementos químicos e físico-químicos são fundamentais para a classificação do estado/potencial ecológico para a categoria de massas de água (rios e lagos). De acordo com o Anexo V da DQA, são consideradas as seguintes componentes: condições térmicas, condições de oxigenação, salinidade, estado de acidificação, condições relativas a nutrientes e Poluentes específicos.

Uma massa de água apresentará um bom estado químico se as concentrações das referidas substâncias químicas ou outras substâncias perigosas, com normas de qualidade definidas a nível comunitário, não excederem os limites estabelecidos.

Parâmetros de qualidade

A água contém diversos componentes, os quais resultam do ambiente que a envolve ou por introdução ou por atividades humanas.

Quando substâncias ou impurezas estão presentes numa água conferem-lhe determinadas características que é essencial conhecer para que se possam seleccionar o tratamento a que é necessário submetê-la para abastecimento público, ou para avaliação dos níveis de poluição de massas de águas naturais.

Os componentes que alteram o grau de pureza da água podem ser definidos pelas suas características físicas, químicas e biológicas, conhecidos como parâmetros de qualidade da água.

Os parâmetros físico-químicos geralmente analisados para avaliar a qualidade da água são:

Acidez

A acidez de uma água é a capacidade quantitativa da sua reação com uma base forte até a um determinado pH. É a medição de determinadas propriedades da água e pode ser interpretado em termos específicos das substâncias apenas quando a composição química da amostra é conhecida (Ritter, 2010)

Segundo Rainwater e Thatcher (1968) as propriedades acídicas são atribuídas à presença de ácidos minerais, gases dissolvidos descombinados, ácidos orgânicos e sais de ácidos fortes e bases fracas. Sais hidrolisáveis de ferro e alumínio de origem industrial e de minas são fontes comuns da acidez. O valor medido pode variar consideravelmente com o ponto final do pH usado na determinação (Clesceri *et al.*, 1999).

De um ponto de vista sanitário ou de saúde pública, a acidez tem pouca importância, visto que não são reconhecidos efeitos prejudiciais. No entanto, o excesso de acidez pode ser prejudicial a estruturas de betão.

Alcalinidade

A alcalinidade é a medição da capacidade da água de neutralizar ácidos. É função do conteúdo de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos na água. Assim, de acordo com Koch (2010) águas altamente alcalinas têm uma grande capacidade de tamponamento, ou seja, a água pode manter o pH estável com a adição de ácido. A níveis de alcalinidade baixos, mesmo uma pequena quantidade de ácido pode diminuir drasticamente o pH.

Em águas que não são muito poluídas, a alcalinidade é mais comum do que a acidez. É geralmente um bom indicador da presença de carbono inorgânico dissolvido (iões carbonato e bicarbonato).

A alcalinidade em águas é benéfica dado que minimiza as alterações de pH, reduz a toxicidade de vários metais formando complexos com estes e providencia nutrientes carbonatados às plantas aquáticas que deles necessitem (Weiner, 2000).

Condutividade elétrica

A condutividade elétrica de uma água mede a capacidade desta transportar a corrente elétrica e depende da presença e concentração total de iões, da mobilidade e da carga de electrões e da temperatura a que a água se encontra (Gopal, 2004).

A condutividade elétrica de uma água (γ) é a condutância de uma coluna de água entre dois elétrodos de metal com área de superfície de 1 cm^2 separados um do outro por 1 cm. É o inverso da resistividade elétrica (ρ): $\gamma = 1/\rho = 1/R \cdot L/S$ onde,

γ : condutividade em $\Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ ou $\text{S} \cdot \text{m}^{-1}$;

ρ : resistividade ($\Omega \cdot \text{m}$);

R: resistência (Ω);

L: Distância entre elétrodos (m);

S: Área do eléctrodo (m^2) (Rodier *et al.*, 2009).

Em águas que contêm quantidades de compostos inorgânicos como as águas para consumo, águas subterrâneas (maioritariamente) e águas residuais, a condutividade elétrica é usada como uma medida aproximada da concentração de eletrólitos minerais (Tolgyessy, 1993) o que permite avaliar, de uma forma rápida e global, o seu grau de mineralização. Este facto resulta da relação existente entre o teor em sais minerais dissolvidos na água e a

resistência que ela oferece à passagem da corrente elétrica. A origem desses minerais é diversa. Segundo Mendes e Oliveira (2004) parte pode resultar de processos de lixiviação dos solos, tais como os aniões carbonatos, bicarbonatos, sulfatos, cloretos, nitratos ou os cátions como o cálcio, magnésio, sódio, potássio entre outros metais, outra parte pode provir de efluentes e resíduos agrícolas e/ou industriais, que contaminam essas águas. Alguns compostos orgânicos não conduzem a eletricidade muito bem, e fornecem uma baixa condutividade em água (Clark *et al.*, 2011). No caso de águas superficiais, pode ainda verificar-se a contaminação por sais, veiculados por via atmosférica.

pH

Por influenciar diversos equilíbrios químicos que ocorrem naturalmente, o pH é um parâmetro importante em muitos estudos no campo ambiental. É uma medida da acidez ou basicidade relativa de uma amostra. É igual ao logaritmo negativo da concentração do ião hidrogénio em moles por litro: $-\log[H^+]$ (mol/L).

O pH de uma fonte de água influencia a composição química da água, incluindo a concentração relativa de espécies alcalinas (e.g., carbonatos e bicarbonatos) e de nutrientes. Também influencia a precipitação e mecanismos de dissolução, as reações relacionadas com as especiações dos metais (e.g., ferro férrico vs. ferro ferroso), e as reações que resultam na formação de complexos metálicos e orgânicos (Harter e Rollins, 2008). A influência do pH sobre os ecossistemas aquáticos naturais dá-se diretamente devido a seus efeitos sobre a fisiologia das diversas espécies. Também o efeito indireto é muito importante, podendo determinadas condições de pH contribuir para a precipitação de elementos químicos tóxicos como metais pesados; outras condições podem exercer efeitos sobre a solubilidade de nutrientes.

A maioria da água encontrada em rios e em lagos geralmente tem um pH entre 4 a 9. As restrições de faixas de pH são estabelecidas para as diversas classes de águas naturais, de acordo com a legislação em vigor (Decreto-Lei 306/2007). O valor de pH é também um resultado importante para a composição dos chamados “índices de qualidade de águas”. Os critérios de qualidade fixam o pH entre 6 e 9.

Temperatura

A temperatura da água varia com as estações do ano, elevação, localização geográfica e condições climáticas e é influenciada pelo fluxo da água, vegetação (a temperatura aumenta quando é retirada vegetação), entrada de água subterrânea e efluentes de atividades industriais (Ali, 2010).

A temperatura da água representa uma das mais importantes características físicas. De acordo com Zheng-Gang (2008) é um fator crucial no estudo da hidrodinâmica e da qualidade da água devido a diversas razões como (a) A solubilidade do oxigénio dissolvido é largamente determinado pela temperatura da água. Geralmente, quanto mais quente a água, menos o oxigénio dissolvido (OD); (b) Processos bioquímicos e fisiológicos governados pela temperatura. O aumento da temperatura pode aumentar as taxas metabólicas e reprodutivas através da cadeia alimentar; (c) Processos, como a oxigenação, volatilização e a absorção de compostos químicos orgânicos, são afetados pela temperatura. O aumento desta pode conduzir a um aumento de compostos tóxicos que são, usualmente, os mais bioativos; (d) Muitas espécies aquáticas podem tolerar apenas um intervalo limitado de temperatura, e uma alteração acentuada pode ter efeitos profundos na composição das espécies.

É o maior determinante da atividade química e biológica na água. Pode influenciar o crescimento de algas, a população de peixes e a satisfação geral derivado de atividades aquáticas (Smith e Desvousges, 1996).

CBO

A carência bioquímica do oxigénio (CBO) é um teste empírico que mede a quantidade de oxigénio dissolvido requerido para a oxidação de compostos orgânicos na água (Patnaik, 2004). É, também, definida como a quantidade de oxigénio exigido por bactérias durante a ação de estabilização da matéria orgânica sob condições aeróbicas. O oxigénio consumido no processo de decomposição retira dos outros organismos aquáticos o oxigénio necessário para viver (Udeh, 2004).

Fontes naturais de CBO em águas superficiais incluem material orgânico da decomposição de plantas e de resíduos de animais. Fontes humanas envolvem fezes, urina,

detergentes, gorduras e óleos (Penn *et al.*, 2004). O CBO é de grande importância na avaliação de águas superficiais poluídas.

Oxigénio dissolvido

Os sistemas aquosos tanto produzem como consomem oxigénio. Recebem oxigénio da atmosfera e em resultado da fotossíntese de plantas. A água corrente, por causa da agitação, dissolve mais oxigénio que a água parada, como as retidas nos reservatórios de barragens (Spellman e Drinan, 2012).

Concentrações adequadas de oxigénio dissolvido são necessárias para a vida dos peixes e outros organismos aquáticos e para a prevenção de maus odores. Os níveis de OD são considerados a mais importante medida da qualidade da água e indicadores da capacidade de uma massa de água suportar vida aquática (Udeh, 2004). O teor de OD na água é influenciado pela fonte, temperatura média da água, tratamento e processos químicos ou biológicos efetuados no sistema de distribuição. A Organização Mundial de Saúde (WHO, 2008) enuncia que o esgotamento de oxigénio na água pode estimular a redução microbiana do nitrato a nitrito e sulfato a sulfito. Também pode causar um aumento da concentração de ferro ferroso (Fe^{2+}) em solução, com a consequente descoloração na torneira quando a água é libertada.

De acordo com DeZuane (1997) durante os meses de Verão a taxa de oxidação biológica aumenta consideravelmente, enquanto a concentração de oxigénio dissolvido está no mínimo devido ao aumento da temperatura.

Dureza total

Um dos fatores que estabelece a qualidade da água é o seu grau de dureza. Esta é devida principalmente ao cálcio e ao magnésio e secundariamente aos carbonatos e bicarbonatos (Nemerow *et al.*, 2009). Segundo Hiscock (2005), a dureza da água é a medição tradicional da capacidade da água de reagir com o sabão e descreve a aptidão de ligação da água com o sabão para formar espuma.

A dureza da água varia de local para local e reflete a natureza geológica da área em que a água esteve em contacto. No geral, as águas superficiais são mais macias do que as

subterrâneas (Gray, 2008). Do ponto de vista de DeZuane (1997), a classificação de uma água de acordo com o grau de dureza pode ser:

- i) 0 - 0,50 mg/L = Macia
- ii) 50 – 150 mg/L = Moderadamente dura
- iii) 150 – 300 mg/L = Dura
- iv) > 300 mg/L = Muito dura

A dureza divide-se em dureza temporária e dureza permanente. A primeira é gerada pela presença de carbonatos e bicarbonatos e pode ser eliminada por ebulição da água. A segunda é devida a cloretos, nitratos e sulfatos, os quais não são suscetíveis à ebulição. À soma da dureza temporária e permanente dá-se o nome de “Dureza Total” da água.

Dependendo da alcalinidade, pH e outros fatores, a dureza de concentrações superiores a 200 mg /L pode causar a acumulação de sedimentos e redução do fluxo de água nas tubagens. Além de ser desagradável para lavagem de roupa e outros efeitos devido à coagulação de sabão, a dureza excessiva contribui para a deterioração de tecidos (Nemerow *et al.*, 2009).

Cálcio

É encontrado na maioria das águas e a sua concentração depende do tipo de rocha, através da qual a água passa. Está presente, geralmente, como carbonato de cálcio ou bicarbonato de cálcio, especialmente em solos associados com o calcário ou cal, e como sulfato de cálcio.

O cálcio é uma parte essencial da dieta humana, mas o seu valor nutricional através da água é mínimo quando comparado com a ingestão de comida (Twory *et al.*, 2000). É o responsável, junto com o magnésio, pelas águas duras e criação de depósitos em canalizações domésticas e em caldeiras industriais.

Magnésio

O magnésio (Mg) está entre os elementos mais abundantes na crosta terrestre e é um constituinte comum nas águas naturais.

Minerais ferromagnesianos (minerais ricos em ferro (Fe) e magnésio) em rochas magmáticas e carbonato de magnésio em rochas carbonatadas são duas das fontes mais importantes de magnésio em águas (Symons, 2010).

Em águas naturais usualmente ocorre em quantidades mais pequenas do que o cálcio (Ca). No entanto, em casos excepcionais pode haver mais Mg do que Ca, como, por exemplo, nas águas marinhas e em algumas águas minerais (Tolgyessy, 1993).

O magnésio contribui para a dureza total da água. Segundo Symons (2010) grandes concentrações de magnésio são objetáveis no abastecimento de água potável, dado que podem exercer um efeito purgante e diurético e aumentar o consumo de detergente ou sabão na água usada para lavar, tomar banho ou lavar roupa.

Potássio

Apesar de ser um nutriente essencial, o ser humano encontra dificuldades em lidar com concentrações excessivas de potássio, o que resulta em *stress* nos rins ou mesmo uma possível falha renal (Gray, 2008).

O potássio (K) é comumente associado com minerais aluminossilicatos tais como os feldspatos. Os compostos de potássio são usados em vidro, fertilizantes, fermento, entre outros e ocorre em águas subterrâneas como resultado de dissolução mineral, de decomposição de plantas e de resíduos agrícolas (Clesceri *et al.*, 1999).

O efeito do K na água potável é insignificante ou para alcançar os requisitos mínimos ou causar qualquer problema de saúde (DeZuane, 1997).

Sódio

O sódio é um constituinte natural da água. A maioria das massas de água contém teores de sódio (Na) inferiores a 20 mg/L, apesar de, em alguns países, apresentar teores superiores a 250 mg Na/L (WHO, 2003b). A sua concentração na crosta terrestre e em algumas rochas pode ser elevada, em especial os sais de sódio, em rochas como micas, plagioclases ou piroxenas (Mendes e Oliveira, 2004).

Os compostos de sódio são usados em varias aplicações, incluindo soda caustica, sal, fertilizantes e químicos para tratamento de água (Clesceri *et al.*, 1999).

É considerado prejudicial para a saúde em grandes concentrações, principalmente para pessoas que sofrem de doenças cardíacas, renais e circulatórias (DeZuane, 1997).

Sílica

A sílica pode ser encontrada na água em várias formas, causadas pela degradação de rochas que contêm sílica como o quartzo e arenito. Segundo Twort *et al.* (2000), a água pode conter entre 1 mg/L de sílica no caso de águas pantanosas e macias e até 40 mg/L em algumas águas duras, no entanto, quantidades muito mais elevadas podem ser encontradas em águas de zonas vulcânicas ou geotérmicas.

A sílica pode existir nas águas sob dois estados diferentes: solúvel e coloidal. A sílica e os silicatos não são muito solúveis em água, sendo os ortosilicatos, bases conjugadas do ácido silícico, as espécies silicatadas mais solúveis em água (Rodier *et al.*, 2009).

Não existem provas de que a sílica em água potável constitua um perigo para a saúde e não foram definidas normas. No entanto é um material problemático em inúmeros processos industriais devido à acumulação em depósitos e em canalizações (Twort *et al.*, 2000).

Cloretos

O cloreto é um dos principais componentes iónicos presentes em amostras de águas de diferentes origens (Nollet, 2007). São compostos derivados do cloro e permanecem solúveis em água, inalterados pelos processos biológicos, portanto reduzíveis por diluição.

O cloreto não participa de maneira significativa nos processos geoquímicos e biológicos que ocorrem nos meios naturais, pelo que, pode ser considerado um elemento conservativo de grande utilidade para caracterizar a origem de uma massa de água e o seu percurso e calcular o fator de concentração (ou diluição) de uma massa de água resultante de uma evaporação ou de uma precipitação (Heller e Padua, 2006). DeZuane (1997) diz que a concentração de cloretos em níveis mais elevados do que as águas adjacentes é um indicador de poluição. O ião cloreto em concentrações elevadas, como parte dos sólidos

totais dissolvidos na água, pode ser detetado pelo sabor salgado (Symons, 2001) e pode aumentar a corrosão das instalações do sistema de distribuição (Eisenreich, 1972).

Fosfatos

O fósforo (P) ocorre em águas naturais quase exclusivamente como fosfatos. Estes são classificados, geralmente, como ortofosfatos.

Estas formas de fosfato surgem de uma variedade de fontes, por exemplo quando a água é usada para lavagem de roupa. Os ortofosfatos aplicados em terrenos agrícolas ou hortas, como fertilizantes são transportados até águas superficiais, quando ocorre escoamento de água em tempestades e, em menor escala, com o derretimento de neve (Clesceri *et al.*, 1999).

Concentrações elevadas de compostos fosfatados podem produzir problemas secundários em massas de água onde o crescimento de algas é normalmente limitado pelo fósforo. Em tais situações a presença adicional destes compostos pode estimular o crescimento de algas e aumentar os processos de eutrofização (Bartram e Ballance, 1996).

A eutrofização favorece a proliferação de plantas aquáticas que modificam a massa de água, comprometendo algumas formas da sua utilização como a recreação, fornecimento, etc. O aumento da presença de algas microscópicas próximo da superfície da água impede a penetração da luz solar na água e, por conseguinte, a fotossíntese nas camadas mais profundas, causando a morte de algas que estão abaixo da superfície. A elevada concentração de algas mortas favorece o aumento de bactérias decompositoras, que consomem grandes quantidades de oxigénio. Com o défice de oxigénio na água, a decomposição da matéria orgânica que era aeróbica passa a anaeróbica aumentando a produção de gases tóxicos, como o ácido sulfúrico (Souza-Lima *et al.*, 2012).

Sulfatos

O sulfato é um anião de ocorrência natural. É um sal ou éster do ácido sulfúrico, derivado do enxofre. É encontrado, quase universalmente, em águas naturais, em concentrações desde poucas décimas de miligramas/Litro até vários milhares de miligramas/ litro. De acordo com o Safe Drinking Water Committe (1988), ocorre

frequentemente em chuvas, particularmente de massas de ar que encontraram áreas metropolitanas, por vezes com concentrações superiores a 10 mg SO₄²⁻/L.

Pode estar presente em águas potáveis e ocorrer em muitas águas naturais como resultado da lixiviação de rochas calcárias (Salvato *et al.*, 2003). Uma das mais importantes fontes terrestres dos sulfatos é o evaporito (rochas de origem sedimentar constituídas por mais de cinquenta por cento de sais depositados por evaporação (Infopédia, 2013), do qual podem ser lixiviados, para além dos sulfatos, iões como o magnésio, o sódio e especialmente o cálcio. Sulfatos metálicos, tais como piritas de ferro, ocorrem tanto em rochas ígneas e sedimentares. Os sulfatos podem originar da oxidação do enxofre pelo oxigénio durante intempéries e alguns são formados durante a decomposição oxidativa da matéria orgânica (Safe Drinking Water Committee, 1988).

Concentrações elevadas têm três efeitos: (a) forma depósitos em caldeira e permutadores de calor; (b) causa efeitos de gosto; e (c) causa efeitos laxativos em humanos (Udeh, 2004). O teor de sulfatos não deve exceder 250 mg/L. As orientações da organização mundial de saúde é de 400 mg/L.

Boro

O boro (B) é um elemento não-metal, de ocorrência natural encontrado em rochas, solos e água (EPA, 2008). O boro elementar não existe na natureza, mas segundo Frey *et al.* (2004) encontra-se combinado com oxigénio na forma de boratos inorgânicos ou ácido bórico.

O teor de boro nas águas subterrâneas e superficiais é geralmente pequeno, no entanto pode aumentar significativamente como resultado de descargas de águas residuais (Bartram, 1996). A ocorrência natural de boro presente em águas subterrâneas é um resultado primário da lixiviação de rochas e solos contendo boro e borosilicatos (WHO, 2003).

Apesar de o boro ser um elemento essencial para o crescimento das plantas, em excesso pode ser prejudicial para determinadas plantas. As águas de consumo raramente contêm mais do que 1 mg B/L e geralmente concentrações inferiores a 0,1 mg B/L são consideradas inócuas para o consumo humano (Clesceri *et al.*, 1999).

A ingestão de concentrações geralmente encontradas em águas naturais não têm efeitos adversos nos humanos, no entanto a ingestão de grandes concentrações de boro, pode afetar o sistema nervoso central (Bartram, 1996).

Cobre

O cobre é raramente encontrado nas águas naturais e quando existe é, geralmente, derivado de águas industriais. Pode ser encontrado em vários minerais, o mais importante dos quais são aqueles que contêm os compostos de sulfureto (por exemplo, calcopirita) mas também os compostos com óxidos e carbonatos (Clesceri, 1999). O cobre é amplamente utilizado em aparelhos eletrônicos, cablagem, várias ligas, pigmentos, utensílios de cozinha, canalizações, e na indústria química. Twort *et al.* (2000) reputa que a procedência mais comum de cobre na água potável é a corrosão do sistema de canalizações domésticas que possuem cobre ou ligas metálicas contendo este metal.

Raramente causa problemas de saúde, apesar de que alguns agregados familiares podem ter problemas com o sabor, especialmente se são particularmente sensíveis (Gray, 2008). É um elemento essencial à vida, enquanto ativador de sistemas enzimáticos, ligados sobretudo à cadeia respiratória. Contribui para a regeneração da hemoglobina do sangue, pelo que a sua ausência pode causar anemias (Mendes e Oliveira, 2004).

Ferro

O ferro é um elemento abundante na crosta terrestre e geralmente, está presente em águas naturais não sendo indesejável se a concentração for inferior a 0,3 mg/L.

O ferro é encontrado em dois estados de oxidação Fe^{+2} e Fe^{+3} . Conforme assinala Bartram e Ballance (1996) um aumento no potencial de oxidação-redução da água converte ferro ferroso (+2) em ferro férrico (+3) e permite que este se hidrolise e precipite em óxido férrico hidratado. O precipitado é altamente insolúvel. Consequentemente, o ferro férrico é encontrado em solução apenas a pH inferiores a 3. O ferro presente em águas superficiais é, geralmente, o ferro férrico (Fe^{3+}), por reacção com o ar, mas a forma Fe^{2+} pode ser encontrada em condições anaeróbias que podem ocorrer em algumas águas subterrâneas (Twort *et al.*, 2000). Num ambiente reduzido, como as águas subterrâneas, o ferro ferroso

(+2) é relativamente solúvel, principalmente quando na presença de águas ligeiramente ácidas. Em águas naturais, a presença de ferro é devida quase exclusivamente à corrosão de canalizações. A lixiviação de sais de ferro e resíduos de produtos ferrosos industriais podem ser fontes de ferro poluidoras (DeZuane, 1997).

Os elementos ferro e manganês, por apresentarem comportamento químico semelhante, podem ter seus efeitos na qualidade da água abordados conjuntamente. Muito embora estes elementos não apresentem inconvenientes à saúde humana nas concentrações normalmente encontradas nas águas naturais, segundo o Ministério da Saúde (2006) podem provocar problemas de ordem estética (manchas em roupas ou em equipamentos sanitários) ou prejudicar determinados usos industriais da água.

Manganês

O manganês é amplamente encontrado em rochas e em minérios e, como o ferro, transforma-se, nas águas subterrâneas, na sua forma solúvel, devido às condições dos solos e das rochas (Gray, 2008). É muitas vezes encontrado em águas superficiais em concentrações na ordem de décimas de mg/L, podendo ocorrer, no entanto, níveis excessivos de 1 mg/L, em condições anaeróbicas (Rump, 1999).

O manganês causa problemas de lavandaria e de manchas, problemas similares ao ferro exceto que as manchas e depósitos são mais escuros e mais persistentes. Os problemas são acentuados porque o manganês raramente ocorre sozinho, geralmente coexiste com o ferro, especialmente em águas (Ritter, 2010).

Nitratos

Os compostos azotados de grande interesse para a qualidade da água, são os que estão disponíveis biologicamente como nutrientes para plantas ou exibem toxicidade para os humanos ou para a vida aquática. O azoto na atmosfera é a fonte primária de todas as espécies azotadas mas não está disponível, diretamente, para as plantas, pelo que tem de ser previamente convertido nos outros compostos (Weiner, 2000). Fontes significativas de nitratos são os fertilizantes químicos provenientes da agricultura e drenagens de explorações de gado, mas também de águas residuais, doméstica e industriais (Gray, 2008).

O nitrato, a forma mais oxidada dos compostos de azoto, é um constituinte comum de águas subterrâneas e superficiais (Bartram e Ballance, 1996). Em águas superficiais, é um nutriente consumido por plantas e como tal, estimula o crescimento destas, especialmente algas, o que pode causar problemas de qualidade da água, principalmente no que diz respeito ao crescimento excessivo das algas, conduzindo à eutrofização da massa de água.

Grandes concentrações de nitratos são prejudiciais para os seres humanos, particularmente para crianças. A baixa acidez nos intestinos das crianças permite o aumento do teor em nitratos, reduzidos por bactérias, que são convertidos em nitritos sendo estes absorvidos na corrente sanguínea, causando deficiências de oxigénio (Gaur, 2008).

Nitritos

Os nitritos não ocorrem, tipicamente, em águas naturais em níveis significantes. Podem causar problemas sérios e por vezes a morte, principalmente em crianças com idades inferiores a 6 meses (Udeh, 2004). O nitrito tem grande afinidade com a hemoglobina do sangue e substitui o oxigénio no sangue. A deficiência de sangue causa sufocação e a coloração da pele das crianças torna-se azul, pelo que esta doença tem o termo de doença do bebé azul (Gaur, 2008).

A formação de nitritos na água é potenciada por dois mecanismos, ou químicos ou microbiológicos. A formação química pode ser por oxidação da amónia ou por redução de nitratos (Hill, 1996).

Oxidabilidade

A matéria orgânica é encontrada em todos os tipos de sistemas aquáticos.

Um dos parâmetros químicos associados a compostos orgânicos mensuráveis na água é a oxidabilidade que consiste na quantidade de matéria orgânica quimicamente oxidável, tais como proteínas, gorduras, açúcares, entre outros. De acordo com Santos (2011) uma água que apresenta baixa oxidabilidade indica que manifesta um baixo teor de matéria orgânica dissolvida, apresentando-se esta potável, para consumo humano.

A sua origem é derivada de várias fontes, principalmente de atividades antropogénicas, tais como, presença de resíduos agrícolas, urbanos e industriais e também de fontes naturais como resíduos de plantas e animais (Nollet, 2007). Podemos encontrar substâncias orgânicas em concentrações variadas nas águas, em função da natureza e origem dessas águas (Mendes e Oliveira, 2004).

Zinco

O zinco é um elemento essencial e tem um papel fisiológico importante para os seres humanos. Apesar de ser um elemento necessário em quantidades vestigiais, é um composto extremamente tóxico em concentrações elevadas, ou afetar a vida aquática quando presente em determinadas concentrações (Helmer e Hesperhol, 1997).

Os sais de zinco são altamente solúveis na água pelo que está presente em correntes de água e em rios, concentrado em sedimentos, mas em concentrações muito baixas em água potável (Safe Drinking Water Committee, 1988).

4. TERRA QUENTE E TERRA FRIA

Terra Fria e Terra Quente são designações comuns em Trás-os-Montes que indicam de modo direto os contrastes climáticos da região, constituindo o seu traço caracterizador.

A Terra Quente Transmontana corresponde aos concelhos do Douro Superior e adjacentes, isto é: Torre de Moncorvo, Mirandela, Vila Flor, Alfandega da Fé e Freixo de Espada-à-Cinta, a norte do rio Douro (CCDRN, 2006).

A Terra Fria identifica-se com os concelhos de Bragança, Vinhais, Vimioso, Miranda do Douro, Carrazeda de Ansiães (Planalto de Carrazeda) e Mogadouro.



Figura 4: Localização do local de estudo – Distrito de Bragança.

Segundo Agroconsultores e Coba (1991) os limiares de temperatura média anual são definidos de acordo com as seguintes zonas:

- i) Terra Fria de Alta Montanha (A) $T < 9^{\circ} \text{C}$
- ii) Terra Fria de Montanha (M) $9^{\circ}\text{C} < T < 10^{\circ} \text{C}$
- iii) Terra Fria de Planalto (F) $10^{\circ}\text{C} < T < 12,5^{\circ} \text{C}$
- iv) Terra de Transição (T) $12,5^{\circ}\text{C} < T < 14^{\circ} \text{C}$
- v) Terra Quente (Q) $T > 14^{\circ}\text{C}$.

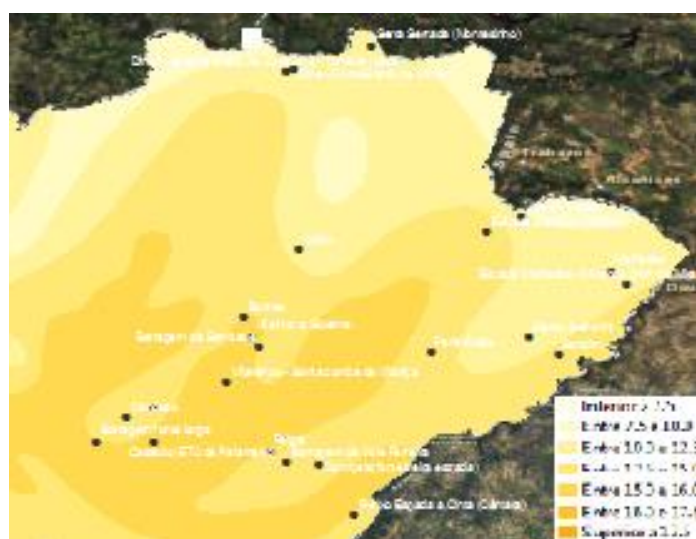


Figura 5: O regime climático do distrito de Bragança.

São os longos e frios Invernos, seguidos de Verões curtos e quentes, quase sem transição, que identificam a Terra Fria - os "nove meses de inverno e três de inferno" da expressão popular. A Terra Quente Transmontana é caracterizada por um clima com Verões muito quentes, secos e prolongados que determinam uma vegetação e uma agricultura tipicamente mediterrânica. A estação fria é também muito marcada, com um elevado número de geadas anuais, sendo as estações intermédias da Primavera e Outono relativamente curtas em termos climáticos (Rota da Terra Fria Transmontana, 2013).

Na região do nordeste transmontano predominam as formações granitoides e metassedimentares. São formadas por maciços eruptivos do tipo granitoide e por formações metamórficas, onde os xistos e os grauvaques – contêm quartzo (20 a 50%), os feldspatos sódicos e/ou potássicos, as micas, os litoclastos microquartzíticos, pelíticos e, muitas vezes vulcaníticos, são as rochas mais comuns (CCDRN, 2006).

As formações granitoides, na região, são de dois tipos (i) granitos alcalino de duas micas – região de Mirandela; (ii) biotíticos – parte de Miranda do Douro e (iii) granitos gnáissicos e gnaisses¹ – Bragança - Miranda do Douro (sector oriental do distrito de Bragança). No que diz respeito às formações sedimentares, ocorrem principalmente duas manchas de xistos², na região do Douro (Freixo de Espada-à-Cinta, Mogadouro e Miranda

¹ Granito-gnaisse: rochas ricas em feldspato potássio $[KAlSi_3O_8]$, plagioclásio $[(Na,Ca)(Al,Si)AlSi_2O_8]$, biotita $[K_2(Mg,Fe,Al)_6(Si,Al)_8O_{20}(OH)_4]$ e quartzo $[SiO_2]$

² Xisto: composto por muscovita $[K_2Al_4Si_6Al_2O_{20}(OH)_4]$ e biotita

do Douro) ocorre uma formação de xistos negros, cloríticos, de magnetite e de quartzo-arenitos, nos concelhos de Bragança, Vinhais e Macedo de Cavaleiros mais precisamente no Maciço de Morais, nota-se a dominância de xistos verdes, micaxistos, gnaisses, paragnaisses, rochas metabásicas³ (xistos anfibólicos e anfibolitos) e ultrabásicas (serpentinitos). Também, com carácter pontual, é de assinalar a presença de rochas carbonatadas, distribuídas pelos concelhos de Vimioso (Santo Adrião), Alfândega da Fé, Bragança e Macedo de Cavaleiros (CCDRN, 2006).

³ Rochas metabásicas, meta-ultrabásicas e anfibolíticas: com presença de Ni, Ba, Cd e Cu;

5. LEGISLAÇÃO – ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO

Os padrões da água potável na Europa são derivados da Diretiva 98/83/EC que revoga a Diretiva 80/778/CEE, que fixa as normas de qualidade a que devem satisfazer as águas para consumo humano.

Em Portugal, a qualidade da água para consumo humano é verificada com base no Decreto-Lei n.º 306/2007, de 27 de Agosto, deriva da revisão do Decreto-Lei n.º 243/2001 de 5 de Setembro, que transpôs, para o ordenamento jurídico interno, a Diretiva 98/83/CE do Conselho de 3 de Novembro, tendo por objetivo proteger a saúde humana dos efeitos nocivos resultantes da eventual contaminação dessa água e assegurar a disponibilização tendencialmente universal de água salubre, limpa e desejavelmente equilibrada na sua composição que para além dos aspetos de qualidade, estabelece ainda os princípios de repartição da responsabilidade pela gestão dos sistemas de abastecimento público.

O Decreto-Lei 306/2007 define ainda os métodos de controlo da qualidade da água, estabelecendo a localização dos pontos de amostragem, as frequências mínimas de amostragem (Anexo II do Decreto-Lei 306/2007), estabelecendo um controlo de rotina e um controlo de inspeção da qualidade da água.

O valor paramétrico (VP) veio substituir o Valor Máximo Admissível (VMA) e o Valor Máximo Recomendado (VMR) que constavam de anteriores documentos legislativos. O valor paramétrico é definido como o valor máximo ou mínimo fixado para cada um dos parâmetros a controlar (artigo 2.º Decreto-Lei n.º 306/2007). Os valores paramétricos são classificados como parâmetros obrigatórios ou indicadores. Dentro dos valores paramétricos obrigatórios, incluem-se os parâmetros químicos e os parâmetros microbiológicos, para os quais os valores das análises não podem ultrapassar os valores indicados no decreto de lei em vigor. No caso dos parâmetros indicadores, o valor paramétrico deve ser considerado apenas como um valor guia (Decreto-Lei n.º 306/2007).

Para uma amostra satisfazer os requisitos de qualidade, os valores da análise têm que ser iguais ou inferiores aos valores paramétricos fixados na legislação em vigor. Sempre que os resultados não sejam conformes, são comunicados pela entidade gestora às autoridades competentes para que se tomem medidas adequadas para reduzir ou eliminar os riscos de incumprimento dos valores paramétricos (artigo 10.º Decreto-Lei n.º 243/2001).

6. METODOLOGIA

Foram colhidas amostras em 24 pontos representativos das regiões em estudo, onde 12 são oriundas da Terra Quente e as restantes da Terra Fria. As amostras colhidas foram retiradas de massas de água superficiais como barragens e nascentes e subterrâneas (e.g. furos). A colheita ocorreu entre os meses de Março e Maio, em dias e horas distintos. O clima apresentado nessas deslocações foi diverso, isto é, verificaram-se temperaturas que variaram entre os 6 °C e os 21°C, houve períodos de aguaceiros e chuva forte e noutros locais clima mais ameno, com sol.

A colheita destas amostras foi feita de acordo com a Norma ISO 5667-3, tendo sido posteriormente preparadas de acordo com os princípios de armazenamento requeridos por determinados parâmetros (e.g. fixação do oxigénio para a determinação do oxigénio dissolvido). Na colheita das amostras de água, teve-se a precaução que estas fossem homogéneas, ou seja, representativas de todo o local amostrado.

Foram determinados parâmetros físico-químicos para a análise das características da água analisada e a sua qualidade, como a temperatura, pH, acidez e alcalinidade, dureza, oxigénio dissolvido, carência de oxigénio, compostos azotados, cloretos, macro e micro nutrientes e alguns elementos metálicos.



Figura 6: Determinação, *in situ*, da condutividade elétrica e temperatura da água.

Descrição do local de amostragem

O estudo foi realizado no distrito de Bragança, que está dividido em doze concelhos: Alfândega da Fé, Bragança, Carrazeda de Ansiães, Freixo de Espada à Cinta, Macedo de Cavaleiros, Miranda do Douro, Mirandela, Mogadouro, Torre de Moncorvo, Vila Flor, Vimioso e Vinhais.

O distrito de Bragança, situado no Nordeste Transmontano, é limitado a norte e a este por Espanha. É composto por duas regiões distintas: a norte, as regiões de maior altitude constituem a Terra Fria Transmontana, ou o Alto Trás-os-Montes, onde a paisagem é dominada pelos baixos declives do planalto trasmontano; a sul, fica a Terra Quente Trasmontana, de clima mais suave, marcada pelo vale do rio Douro e pelos vales dos seus afluentes. O Douro constitui a característica geográfica mais importante, visto que serve de limite ao distrito ao longo de toda a sua fronteira sul, e da maior parte da fronteira oriental, até à extremidade nordeste do território português.

Na tabela 1 estão representados os locais onde se colheram as amostras, em que concelho do distrito, bem como que tipo de amostra foi colhida: superficial ou subterrânea. Estas amostras de águas foram colhidas de águas não sujeitas a tratamentos químicos, visto ser de grande importância a continuidade das características originais das mesmas, para que a sua caracterização seja o mais rigorosa possível.

Como já referido, as amostras foram colhidas em locais distintos. A maioria das amostras superficiais provém de barragens que, com a exceção da barragem de Sambade e do Azibo, têm envolventes sem alterações antropogénicas significativas. As amostras de massas de água subterrâneas são na maioria poços abertos artificialmente, cuja proximidade com espaços urbanizados e com possíveis contaminações é frequente, em especial a amostra colhida em Candoso – Vila Flor.

Tabela 1: Locais amostrados.

Nº Amostra	Local	Concelho	Região	Coordenadas	Tipo de amostra	
					Superficial	Subterrânea
1	Bornes	Macedo de Cavaleiros	TF	N:41°27,471'; W:7°00,290'		✓
2	Vila Nova /Soeima	Alfândega da Fé	TQ	N:41°25.434'; W:6°59.643'		✓
3	Barragem de Sambade	Alfândega da Fé	TQ	N:41°24.130'; W:6°58.643'	✓	
4	Felgar	Torre de Moncorvo	TQ	N:41°12.609'; W:6°57.453'		✓
5	Barragem de Vale Ferreira	Torre de Moncorvo	TQ	N:41°18.969'; W: 6°92.874'	✓	
6	Freixo Espada-à-Cinta	Freixo Espada-à-Cinta	TQ	N:41°05.358'; W:6°48.531'		✓
7	Carviçais	Torre de Moncorvo	TQ	N:41°11.100'; W:6°52.058'		✓
8	Dine - Torneira	Vinhais	TF	N:41°54.806'; W:6°55.783'		✓
9	Dine - Bairro de Cima	Vinhais	TF	N:41°54.804'; W:6°55.771'	✓	
10	Dine	Vinhais	TF	N:41°54.804'; W:6°55.771'		✓
11	Carção	Vimioso	TF	N:41° 6.889'; W:6°34.185'		✓
12	Vale de Frades	Vimioso	TF	N:41°38.642'; W:6°29.632'	✓	
13	Malhadas	Miranda do Douro	TF	N:41°32.451'; W:6°19.668'		✓
14	Malhadas	Miranda do Douro	TF	N:41°31.765'; W:6°18.904'	✓	
15	Sendim	Miranda do Douro	TF	N:41°23.329'; W:6°25.512'		✓
16	Atenor (Sendim)	Miranda do Douro	TF	N:41°25.314'; W:6°28.837'		✓
17	Pena Roias	Mogadouro	TF	N:41°39.437'; W:6°66.054'	✓	
18	Azibo	Macedo de Cavaleiros	TQ	N:41°35.229'; W:6°54.419'	✓	
19	Serra Serrada (Montesinho)	Bragança	TF	N:41°57.900'; W:6°46.405'	✓	
20	Castedo (ETA de Palameiro)	Vila Flor	TQ	N:41°14.195'; W:7°10.689'	✓	
21	Candoso	Vila Flor	TQ	N:41°27.248'; W:7°22.466'		✓
22	Peneireiro	Vila Flor	TQ	N:41°17.957'; W:7°10.440'	✓	
23	Barragem fonte larga	Carrazeda de Ansiães	TQ	N:41°13.873'; W:7°16.787'	✓	
24	Vilarelhos - Santa comba de Vilarica	Alfândega da Fé	TQ	N:41°20.292'; W:7°02.588'	✓	

Parâmetros determinados

Acidez

Pode ser causada pela presença de CO₂, ácidos minerais e sais de ácidos fortes e bases fracas. A determinação da acidez é baseada na titulação da amostra de água com uma solução padronizada de uma base na presença de um indicador.

A titulação com alaranjado de metilo (pH=4,5) é definida como acidez livre, que determina ácidos relativamente fortes como os ácidos minerais. A titulação com fenolftaleína (pH=8,3) é considerada como acidez total, que inclui ácidos fracos, sais ácidos e a acidez devido à hidrólise (Sharma, 2006). Neste estudo foi determinada a acidez total pelo que as amostras foram tituladas com uma solução alcalina com a adição de fenolftaleína.

Alcalinidade

A alcalinidade de uma água é a medida da sua capacidade de neutralizar ácidos. É principalmente devida a sais de ácidos fracos, apesar de que as bases fortes ou fracas podem também contribuir para a sua alteração. É geralmente transmitida por bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos.

A sua determinação é feita volumetricamente por titulação com ácido sulfúrico (H₂SO₄) na presença de alaranjado de metilo (indicador) e é expressa em miliequivalentes por Litro (meq/L) – 0,2 meq/L o que corresponde a 10 mg/L de CaCO₃ (Mendes e Oliveira, 2004).

As normas existentes apenas referem o valor mínimo exigível no caso de águas submetidas a processos de eliminação da dureza ou desmineralizadas (25 mg/L CaCO₃)

Condutividade elétrica

Tipicamente medida *in situ*, é um importante, e no entanto simples, indicador de poluição, uma vez que a capacidade da água de conduzir eletricidade aumenta proporcionalmente com a concentração de iões dissolvidos. Pode ser medida diretamente

através da inserção de uma sonda. O Decreto-Lei 306/2007 fixa o valor paramétrico em $2500 \mu\text{S cm}^{-1}$ a 20°C , com a recomendação de que a água não deve ser agressiva.

pH

O pH é o logaritmo de base dez da atividade do ião hidrogénio ($-\log[\text{H}^+]$) e na água pura é considerado neutro ($\text{pH}=7$). Este valor altera-se na presença de ácidos e bases e através da hidrólise de certos sais. Sais de bases fortes e ácidos fracos aumentam o pH, enquanto sais de bases fracas e ácidos fortes diminuem-no.

O pH foi determinado no momento da toma. O princípio da medição eletrométrica é a determinação da atividade dos iões hidrogénios por medição potenciométrica usando um eléctrodo de vidro de hidrogénio e um eléctrodo de referência. Os valores do pH são afetados pela temperatura e pela salinidade.

Os valores paramétricos recomendados não se alteraram significativamente ao longo das propostas legislativas, nacionais ou europeias, como se pode ver na tabela 2.

Tabela 2: Valores de pH presentes na legislação em vigor.

Diretiva 98/83/CEE	D.L. 236/98	D.L. 306/2007	Valor indicativo OMS
$6,5 \leq \text{pH} \leq 9,5$	VMR 6,5 - 8,5 VMA 9,5	$6,5 \leq \text{pH} \leq 9$	$6,5 \leq \text{pH} \leq 9,5$

Temperatura

A leitura da temperatura foi feita no local no momento da amostragem. Esta determinação imediata é necessária porque a temperatura da água começa a modificar no instante em que a amostra é tomada. Foi utilizado um termómetro para a análise da temperatura, o qual foi deixado na água até a obtenção de uma leitura constante, sendo a temperatura expressa em graus Celcius ($^\circ\text{C}$).

Apesar do seu valor relativo, eram indicados nas legislações anteriores os valores deste parâmetro, a título indicativo (D.L. n.º 236/98 – VMR 12°C ; VMA 25°C). Na legislação em vigor, esses valores foram eliminados.

CBO₅ e Oxigénio Dissolvido (O.D.)

O Oxigénio Dissolvido é um parâmetro que indica a qualidade de uma água. É variável com a temperatura e com a pressão do gás na atmosfera.

O oxigénio permanece na água na sua forma dissolvida, dependendo da temperatura – com o aumento da temperatura, a solubilidade do OD na água diminui. Por exemplo, o OD máximo a 20 ° C é de 9,17 mg/L e a 25 ° C é a 8,38 mg/L (Gaur, 2008).

A Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO) define-se como a quantidade de oxigénio dissolvido, OD, habitualmente expresso em mg/L, que é consumido durante a oxidação biológica aeróbia da matéria orgânica, contida na amostra, após incubação a 20 ± 1 °C, em ambiente escuro num período de 5 dias (CBO₅).

As amostras foram colocadas em frascos de incubação (frascos de vidro escuro, para impedimento da penetração da luz), preenchidos totalmente. Os frascos foram fechados hermeticamente e colocados numa incubadora a 20 ± 1 °C, em ambiente escuro por um período de 5 dias, como já referido anteriormente. Ao fim de 5 dias, a concentração de oxigénio dissolvido na água foi determinada (o teor de O.D. foi medido previamente). Assim a quantidade de oxigénio consumido pelos microorganismos foi determinada pela diferença entre os dois valores de O.D. (Patnaik, 2004). O oxigénio dissolvido pode ser determinado quer por utilização de sonda (elétrodo) ou por titulação iodométrica (método volumétrico Winkler). O método utilizado neste estudo foi o método de Winkler que consiste na fixação do oxigénio por meio de vários reagentes que formam um composto ácido, causando a alteração da cor da solução. O ponto no qual a cor é alterada é o “ponto final” da titulação e é o equivalente ao teor de oxigénio dissolvido na amostra.

Dureza total

O método mais comum para determinação da dureza da água é o método titrimétrico com EDTA.

O di-sódio etileno di-amino tetraacético (Na₂EDTA) forma um complexo estável com os iões Ca²⁺ e Mg²⁺ e com outros catiões causadores de dureza e remove-os da solução. Com a adição do EDTA a amostra com o indicador negro-de-eriocromo T forma

complexos até a remoção de todos os iões da solução e a coloração da água altera-se de avermelhada para azul, indicando o ponto final (Gaur, 2008).

O Decreto-Lei nº 236/98 no que diz respeito à dureza da água fixou o valor máximo admissível como 500 mg CaCO₃/L, no entanto, o Decreto-Lei nº 306/2007, de 27 de agosto, respeitante à qualidade da água para consumo humano, não estabelece valores para a dureza total.

Cálcio

O cálcio é o catião predominante nas águas de consumo, retirado dos solos fundamentalmente sob a forma de bicarbonatos, mas também de sulfatos, cloretos e outros sais.

Os métodos utilizados na determinação do cálcio são a espectrofotometria de absorção atómica e a titulação com ácido etileno di-amino tetraacético (EDTA). O método analítico utilizado neste estudo foi o último (titulação com a EDTA).

O cálcio, como parâmetro para a qualidade da água para consumo, não apresenta um valor definido, no entanto é recomendado que o valor máximo seja de 100 mg Ca/L (D.L.306/2007, anexo I – parte III).

Magnésio

O magnésio (Mg) está entre os elementos mais abundantes na crosta terrestre e é um constituinte comum nas águas naturais. A temperaturas elevadas, o cálcio e o magnésio podem causar a formação de sedimentos nas paredes do equipamento técnico do sistema de distribuição (Tolgyessy, 1993).

O magnésio pode ser determinado via complexométrica, com EDTA ou por espectrofotometria de absorção atómica. A titulação direta do ião magnésio Mg²⁺ com EDTA é feita com a adição de negro-de-eriocromo T como indicador. A solução é ajustada ao pH 10 com uma mistura tampão de hidróxido de amónio e cloreto de amónio.

De acordo com Tolgyessy (1993) o conteúdo de magnésio nas águas superficiais e subterrâneas não é importante do ponto de vista da saúde humana, no entanto, águas que contenham Mg acima de 250 mg/L têm um sabor amargo.

A legislação vigente eliminou o magnésio dos parâmetros determinados (D.L. 306/2007), no entanto no Decreto-lei nº 236/98 apresenta um VMR de 30 mg/L e um VMA de 50 mg/L.

Potássio e sódio

O sódio e o potássio são constituintes naturais de águas, sendo o sódio mais prevalente que o potássio. Do ponto de vista da saúde, o sódio e o potássio são relativamente menosprezáveis na água (Tolgyessy, 1993).

O potássio existe naturalmente, nas águas, em concentrações mais ou menos constantes, no entanto variáveis, com os contextos geológicos circundantes. Podem ocorrer contaminações, em resultado de descargas de indústrias, fábricas de fertilizantes, etc. (Mendes e Oliveira, 2004). Os sais de sódio (e.g. cloreto de sódio, NaCl) são encontrados em quase todos os alimentos e água potável (WHO, 2011).

O potássio e o sódio podem ser analisados pelo método da fotometria de chama ou por espectrofotometria de absorção atômica, tendo sido utilizados neste estudo o primeiro método.

No Decreto-Lei nº 236/98, para o potássio (K) o VMR é de 10 mg/L e o VMA admite um valor de 12 mg/L. Para o sódio (Na) é de 20 e 150 mg/L respetivamente. A legislação atual não contempla o potássio como indicador de qualidade e o sódio tem como valor paramétrico 200 mg/L.

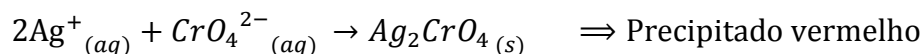
Cloretos

O anião cloreto (Cl⁻) pode ser determinado por vários métodos – gravimetria, colorimetria, potenciometria e volumetria – sendo os métodos volumétricos, como o método de Mohr e Volhard extensivamente utilizados em análises de cloretos.

O método de Mohr é a determinação direta do íon Cl⁻ e o método de Volhard a determinação indireta (Ohlweiler, 1968 e Jeffery et al., 1992).

Nesta análise foi utilizado o método de Mohr que baseia-se em titular o cloreto com o nitrato de prata (argentometria) usando uma solução de cromato de potássio como indicador. Um precipitado forma-se no ponto final da titulação, com uma coloração avermelhada.

A equação que representa esta reação é:



A legislação em vigor (Diretiva nº 98/83/CE e Decreto-Lei nº 306/2007) apresenta como valor paramétrico de 250 mg/L. O Decreto- Lei nº 236/98 fixa o valor de 25 mg/L como o limite a partir do qual se podem averiguar efeitos prejudiciais.

Sílica

A sílica é um elemento muito abundante na crosta terrestre. Nas águas apresenta concentrações variadas que podem atingir dezenas de miligramas por litro, principalmente em zonas graníticas (Mendes e Oliveira, 2004).

A determinação da sílica em águas pode ser feita por meio de métodos gravimétricos ou colorimétricos. As amostras foram tomadas em frascos de polietileno, e qualquer material utilizado na análise da sílica foi isento desta, dado que, águas com pH inferior a 8 podem dissolver a sílica contida no material de vidro.

O método utilizado na determinação da sílica foi o colorimétrico por reação com o molibdato de amónio. A reação do molibdato com a sílica apresenta uma coloração amarela, cuja intensidade é proporcional ao teor de Si presente na amostra (Clesceri *et al.*, 1999). A concentração de Si é obtida pela curva de calibração, a um comprimento de onda de 410 nm. Não é fixado qualquer valor na legislação nacional ou europeia para este parâmetro.

Sulfatos (SO₄²⁻) e Fosfatos (PO₄²⁻)

O sulfato é um constituinte natural da água e essencial à vida. A concentração de sulfatos em águas naturais é muito variável, por razões geológicas e antropogénicas como, por exemplo, a adição de fertilizantes que contêm enxofre, (Mendes e Oliveira, 2004). Segundo Edzwald (2011) grandes concentrações de sulfato em águas potáveis podem causar diarreia, ou efeitos laxativos em adultos, em concentrações superiores a 1000 mg/L.

A determinação do teor em sulfato é feita turbidimetricamente, com base na precipitação deste anião sob a forma de BaSO₄ num meio que conduza à formação duma

suspensão coloidal, como a do glicerol. O teor em sulfatos na amostra é obtido a partir da reta de calibração obtida com os padrões, a um comprimento de onda de 800 nm (Pillai, 2009).

Compostos fosfatados estão presentes em fertilizantes e em muitos detergentes. Consequentemente podem ser transportados tanto para as águas subterrâneas como para as superficiais através dos sistemas de saneamento, resíduos industriais ou escoamento superficial quando há existência de tempestades (Bartram e Ballance, 1996).

Concentrações elevadas de fosforo, como fosfato, junto com os nitratos e carbono orgânico são muitas vezes associados com o crescimento excessivo de plantas aquáticas sendo os fertilizantes e alguns detergentes são a maior fonte de fosfatos (Salvato *et al.*, 2003).

A forma mais importante do fósforo são os ortofosfatos que são determinados pelo método fotométrico. Os ortofosfatos reagem com o molibdato na presença de ácido sulfúrico. Por redução com ácido ascórbico, a cor amarela do ácido fosfomolibdico (obtido com a reação com o molibdato) altera-se, desenvolvendo-se uma coloração azul sendo possível uma determinação colorimétrica (Tolgyessy, 1993).



Figura 7: Determinação do ião fosfato.

A curva de calibração dá o teor em fósforo, expresso em mg/L.

De acordo com a legislação portuguesa, o teor em sulfatos, em relação à qualidade da água para consumo humano, apresenta um valor paramétrico, indicativo, de 250 mg/L.

O teor em fosfatos, segundo Mendes e Oliveira (2004) pode ser expresso em mg/L, em P, em PO₄, ou em P₂O₅, verificando-se as seguintes equivalências: 1 mg/L PO₄³⁻ corresponde a 0,747 mg/L P₂O₅ e a 0,326 mg/L P.

Os valores paramétricos do fósforo foram eliminados da legislação atual relativa à qualidade da água para consumo.

Boro

O boro ocorre em águas naturais, geralmente a concentrações muito baixas. Estas concentrações não são prejudiciais para a saúde humana mas podem danificar algumas plantas, nomeadamente frutos cítricos, feijões, quando presente na água de irrigação.

O método de referência para a determinação do boro é o da espectrofotometria de absorção atômica a um comprimento de onda de 414 nm, particularmente o método da azometina-H (C₁₇H₁₂NNaO₈S₂). A concentração de boro é determinada a partir da curva de calibração.

A legislação referente ao teor de boro na água para consumo humano (D.L. 306/2007, anexo I, parte II) fixa o valor paramétrico em 1,0 mg B /L.

Cobre

O nível de ação da EPA para o cobre (Cu) é de 1,3 mg/L. Os valores indicativos da organização mundial de saúde são de 1,0 mg/L tendo como meta, um valor inferior a 0,2 mg/L. Concentrações desta magnitude não estão presentes em águas naturais mas podem ocorrer devido à corrosão de tubagens de cobre ou latão (Salvato *et al.*, 2003).

Os métodos mais usados na sua determinação são a espectrofotometria de absorção molecular e a espectrofotometria de absorção atômica, tendo sido utilizado este último método para a análise deste parâmetro.

O Decreto-Lei n° 306/2007 (Anexo I, parte II) indica como valor paramétrico (indicativo para águas de consumo humano), 2,0 mg/L de Cu (para amostras obtidas na torneira).

Ferro e Manganês

O ferro e o manganês estão, geralmente, presentes nas águas naturais, em concentrações baixas. Estes enriquecem a água quando esta entra em contacto com solos, minerais e rochas (Tolgyessy, 1993).

Existem dois métodos de referência para a determinação do ferro: a espectrofotometria de absorção atómica e o método colorimétrico recorrendo-se à fenantrolina. O valor paramétrico do ferro, como parâmetro indicador da qualidade da água, na legislação vigente é fixado em 200 µg/L (D.L. 306/2007, anexo I, parte II e Diretiva nº 98/83/CE).

No que refere ao manganês, podem-se aplicar dois métodos para a sua determinação, o método da espectrofotometria de absorção molecular e espectrofotometria de absorção atómica com atomização eletrotérmica (Rodier *et al.*,2009). Para a determinação deste parâmetro foi utilizado o método da espectrofotometria de absorção atómica.

Os teores admissíveis de manganês (Mn) no Decreto-Lei 306/2007 são de 50 µg/L e têm sobretudo a ver com o sabor desagradável e turbidez causados pelo excesso de manganês.

Nitratos e Nitritos

O ião nitrato é encontrado em muitas águas naturais em concentrações variadas, que muitas vezes indicam o efeito de fertilizantes que contêm azoto, dado que o nitrato é pouco absorvido no solo e chega facilmente às águas subterrâneas.

O teor de nitratos presentes numa amostra de água pode ser expresso em miligramas de nitrato por litro (mg NO³/L). O método de referência para a determinação do nitrato é o colorimétrico na presença do salicilato de sódio.

Na Diretiva 98/83/CE, o nitrato é incluído na parte B com os parâmetros químicos com valor máximo de 50 mg NO³/L. Isto está em linha com a concentração recomendada, orientação especificada pela Organização Mundial de Saúde (WHO, 2008), para proteção contra a metemoglobina em crianças.

Os nitritos são produto da oxidação da amónia ou da redução dos nitratos. O seu consumo pode resultar em doenças do foro circulatório que podem ser fatais para crianças com idades inferiores a 6 meses.

Os nitritos são determinados por espectrofotometria de absorção molecular ou por meio de métodos colorimétricos, como o utilizado neste estudo, o método do reagente de Zambelli. Neste caso o ácido sulfalínico em meio clorídrico e em presença do ião amónio e de fenol, forma com os iões NO₂⁻, um complexo colorido de amarelo, cuja intensidade é proporcional à concentração em nitritos.



Figura 8: Amostras de água para a determinação dos nitritos.

A legislação atual fixa o valor paramétrico em 0,5 mg/L sendo este limitado em valor relativo, $\frac{[\text{nitratos}]}{50} + \frac{[\text{nitritos}]}{3} \leq 1$ (Decreto-Lei n° 306/2007, anexo I, parte II).

Oxidabilidade

A presença de matérias oxidáveis em águas potáveis não representa, necessariamente, um risco em termos sanitários (Mendes e Oliveira, 2004).

De acordo com Santos (2011) a origem da matéria orgânica presente na água pode estar relacionada com o metabolismo dos organismos vivos, incluindo plantas, animais e microrganismos, lixiviação e outras matrizes ambientais, ou pela acumulação de substâncias orgânicas originadas por atividades antropogénicas.

A oxidabilidade pelo permanganato de potássio (KMnO₄) permite avaliar a presença de matéria orgânica presente numa água. A quantidade de KMnO₄ reflete o teor de matéria orgânica na amostra de água. O valor paramétrico, indicativo de qualidade da

água para a oxidabilidade na legislação comunitária e nacional é de 5 mg/L (Directiva 98/83/CE e Decreto-Lei nº 306/2007).

Zinco

Os teores de Zinco (Zn) na água são normalmente baixos e os riscos de problemas de saúde são reduzidos. Quando está presente em concentrações excessivas, pode provocar sabor desagradável na água e turvação (Mendes e Oliveira, 2004).

O método de referência para a deteção de zinco em águas é o da espectrofotometria de absorção atómica.

O valor limite de zinco foi eliminado da legislação em vigor.

7. RESULTADOS

Os dados obtidos foram analisados estatisticamente utilizando o programa SPSS (Statistical Package for Social Sciences, versão 20.0).

Foi feita uma análise descritiva para cada um dos parâmetros, para a caracterização das amostras recolhidas, nomeadamente a média, o desvio-padrão (a dispersão dos valores em torno da média) e os valores máximo e mínimo da amostra. Posteriormente foi estimada a distribuição amostral, isto é, foi testado se as observações da amostra se ajustam a uma determinada distribuição teórica (Maroco, 2003), neste caso se as amostras têm uma distribuição normal ou de Gauss. Dado que a distribuição *t*-Student é aproximada à distribuição normal foi realizado o teste *t* de student para a avaliação da distribuição da amostra. Para uma confirmação mais robusta dos resultados obtidos com este teste foi realizado o teste Shapiro-Wilk (S-W) dado que o número de amostras é pequeno ($n < 30$). Além da normalidade da distribuição foi avaliada a homogeneidade das variâncias – variação apresentada pelas populações das quais as amostras foram tomadas. Esta verificação é feita com recurso ao teste de Levene, usado para avaliar se as variâncias de uma variável são iguais.

Para determinar se a amostra tinha ou não distribuição normal ou homogeneidade de variâncias, foram formulados testes de hipóteses que visavam refutar uma determinada hipótese referente ao valor do parâmetro e referente à alternativa caso se rejeite a 1ª hipótese (Maroco, 2003). A 1ª hipótese é designada como hipótese nula, H_0 ; a segunda hipótese, a alternativa representa-se por H_1 . Para rejeitar H_0 é necessário que exista uma evidência significativa, sendo esta o nível de significância, representado por α . O valor geralmente usado para decidir se o nível de significância é realmente representativo da população é 0,05 (probabilidade de 5%). A rejeição da hipótese nula é obtida com o menor valor de α , denominado por probabilidade de significância (valor-p). Se este valor for baixo H_0 é rejeitada, ou seja, se $\text{valor-p} < 0,05$, H_0 não é aceite.

A comparação dos parâmetros populacionais (média, variância, etc.) foi feita através de testes paramétricos, que exigem que a distribuição da amostra seja normal e que se verifique homogeneidade das variâncias, e não paramétricos, nos quais não é necessário que se verifiquem esses pressupostos.

A comparação de médias foi feita a partir de uma análise de variância (ANOVA – Analysis of Variance), isto quando se verificou a normalidade de distribuição e homogeneidade das variâncias. Quando numa ANOVA é rejeitada a hipótese nula, podemos concluir que existe pelo menos uma média populacional com diferenças significativas em relação às restantes.

Se não se verificam os pressupostos de uma ANOVA, são realizados testes não paramétricos, sendo o mais robusto o teste de Kruskal-Wallis.

Nas tabelas de 3 a 5 é apresentada a análise descritiva dos resultados obtidos após a análise das amostras colhidas nas regiões da Terra Quente e da Terra Fria aos parâmetros já referidos anteriormente: alcalinidade, acidez, condutividade eléctrica, pH, cálcio, carência bioquímica de oxigénio, cloretos, dureza total, magnésio, oxigénio dissolvido, potássio, sílica, sódio, sulfatos, boro, cobre, ferro, fosfatos, manganês, nitratos, nitritos, oxidabilidade e zinco. Nestas tabelas são expressos os valores da média, \bar{X} , do desvio padrão, s , máximos e mínimos e também os valores obtidos com a análise de variância (ANOVA).

Tabela 3: Análise descritiva (média, desvio-padrão, máximo e mínimo) e ANOVA

Parâmetro	Alcalinidade mg/L	Acidez mg/L	EC μS/cm	pH	Ca mg/L	CBO ₅ mg/L	Cl ⁻ mg/L	Dureza mg/L	
Distribuição (p)	<0,001	<0,001	<0,001	0,564	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	
Homogeneidade das variâncias (p)	0,146	0,417	0,032	0,833	0,006	0,264	0,029	0,031	
Terra Fria	\bar{X}	1,22	18,33	127,78	6,16	8,55	0,66	17,19	58,9
	s (p)	0,63	17,87	126,43	0,98	7,49	0,7	21,86	43,19
	Max.	2,6	53	466	7,5	24,05	2,78	81,3	154,4
	Min.	0,35	4	6,6	4,4	0,8	0,25	5,33	12
Terra Quente	\bar{X}	0,76	13,04	75,09	6,72	3,19	1,09	10,38	29,75
	s (p)	0,35	15,2	34,28	1,05	2,22	0,84	4,37	14,55
	Max.	1,8	53	148,3	8,3	7,21	2,86	19,53	62
	Min.	0,5	3	26,4	4,9	1,2	0,33	4,26	15
ANOVA	P	0,014	0,248	0,326	0,186	0,052	0,040	0,686	0,032

Tabela 4: Análise descritiva (média, desvio-padrão, máximo e mínimo) e ANOVA (continuação)

Parâmetro	Mg mg/L	O.D. mg/L	K mg/L	Si mg/L	Na mg/L	SO ₄ mg/L	B mg/L	Cu µg/L	
Distribuição (p)	<0,001	0,031	<0,001	0,126	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	
Homogeneidade das variâncias (p)	0,033	0,194	0,035	0,921	0,015	0,027	0,906	0,164	
Terra Fria	\bar{X}	4,8	3,53	3,03	13,79	10,20	0,01	0,02	2,26
	s (p)	3,14	0,63	5,01	6,16	9,44	0,012	0,03	2,5
	Max.	10,94	5,08	17,01	20,39	33,63	0,034	0,09	8,3
	Min.	0,972	2,81	0,06	2,39	1,23	n.d.*	n.d.	0,45
Terra Quente	\bar{X}	2,61	3,99	1,91	7,54	7,74	0,004	0,01	4,08
	s (p)	1,04	0,92	1,34	8,25	3,40	0,006	0,03	6,46
	Max.	5,1	5,76	5,23	30,9	14,69	0,0201	0,01	23,6
	Min.	1,46	2,8	0,04	0,31	3,56	n.d.	n.d.	0,6
ANOVA	p	0,034	0,236	0,448	0,047	0,773	0,091	0,745	0,194

Tabela 5: Análise descritiva (média, desvio-padrão, máximo e mínimo) e ANOVA (continuação)

Parâmetro	Fe mg/L	PO ₄ mg/L	Mn µg/L	NO ₃ mg/L	NO ₂ mg/L	Oxidabilidade mg/L	Zn µg/L	
Distribuição (p)	<0,001	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	
Homogeneidade das variâncias (p)	0,183	0,063	0,757	0,001	0,051	0,277	<0,001	
Terra Fria	\bar{X}	0,05	0,028	11,08	3,26	0,01	0,7	12,86
	s (p)	0,09	0,01	11,9	3,69	0,02	1,19	4,87
	Max.	0,32	0,034	44,4	10,4	0,02	3,17	24,4
	Min.	n.d.	0,005	2,5	n.d.	n.d.	n.d.	6,9
Terra Quente	\bar{X}	0,11	0,02	9,1	0,68	0,08	1,79	73,68
	s (p)	0,28	0,13	11,47	1,01	0,23	1,49	27,08
	Max.	1	0,04	43,3	2,64	0,79	4,6	269,9
	Min.	n.d.	n.d.	0,94	n.d.	n.d.	n.d.	7,2
ANOVA	p	0,706	0,033	0,525	0,029	0,105	0,072	0,184

*n.d. – Não determinado.

Verifica-se que, em geral, as amostras obtidas nos locais pertencentes à Terra fria apresentam valores de concentração média mais elevados que os obtidos na Terra Quente,

observando-se o mesmo para os valores máximos de cada parâmetro, particularmente a condutividade elétrica e dureza total.

Globalmente observou-se heterogeneidade nos resultados obtidos a partir da análise descritiva. Com recurso ao teste Shapiro-Wilk avaliou-se a distribuição das amostras para cada um dos parâmetros analisados.

Os parâmetros em que se obteve uma distribuição normal foram o pH e a sílica, com valores de p superiores a 0,05 (valor-p =0,564 e 0,126 respectivamente). Nos restantes parâmetros analisados isso não se verifica, tendo-se obtido um valor-p inferior a 0,05.

A homogeneidade de variância foi verificada para os parâmetros: alcalinidade, acidez, pH, CBO₅, oxigénio dissolvido, sílica, boro, cobre, ferro, fosfatos, manganês, nitritos e oxidabilidade, apresentando estes parâmetros um valor-p superior a 0,05.

Como se pretendeu verificar se existem diferenças significativas entre as águas da Terra Quente e da Terra Fria, foi feita uma análise de variância (ANOVA) para cada um dos parâmetros, isto é, uma análise comparando os fatores Terra Quente-Terra Fria. Para esta análise foram propostas duas hipóteses:

- i) **H₀ – Não existem diferenças entre as águas da Terra Quente e da Terra Fria;**
- ii) **H₁ – Existem diferenças entre as águas da Terra Quente e da Terra Fria.**

Estas hipóteses foram testadas para cada um dos parâmetros referidos anteriormente.

Aos parâmetros onde se verificam a distribuição normal e a homogeneidade de variância, isto é, o valor-p é superior a 0,05 em ambos os casos, foram aplicados testes paramétricos para a análise de variância (ANOVA). Estes parâmetros foram o pH e a sílica, cujos resultados obtidos a partir da análise de variâncias estão representados na tabela 6:

Tabela 6: Distribuição normal, homogeneidade e ANOVA para o pH e a sílica.

Parâmetro	Distribuição das amostras (p)	Homogeneidade de variância (p)	ANOVA
pH	0,564	0,833	0,186
Sílica	0,126	0,921	0,047

Verificou-se que os dados de pH para as duas regiões, não mostram diferenças significativas pois a ANOVA mostra um valor-p de 0,186 (superior a 0,05) pelo que a hipótese nula é aceite. A sílica apresentou um valor-p igual a 0,047 (inferior a 0,05), apesar

de ser muito próximo deste valor, pelo que podemos supor que as amostras de água colhidas na Terra Fria apresentam diferenças significativas das amostras colhidas na Terra Quente.

Nos casos dos parâmetros aos quais não se verificaram os pressupostos da ANOVA, ou seja, não se verificou a distribuição normal das amostras e a homogeneidade das variâncias, foram aplicados testes não paramétricos para a análise de variâncias. Estes testes foram aplicados à alcalinidade, acidez, condutividade elétrica, cálcio, CBO_5 , cloretos, dureza total, magnésio, oxigénio dissolvido, potássio, sódio, sulfatos, boro, cobre, ferro, fosfatos, manganês, nitratos, nitritos, oxidabilidade e zinco.

O teste não paramétrico que foi usado para avaliar se havia diferenças significativas entre as amostras da Terra Fria e da Terra Quente foi o teste de Kruskal-Wallis.

Após a análise das variâncias verificou-se que a hipótese nula – não existem diferenças entre as águas da Terra Quente e da Terra Fria – é aceite na maioria dos parâmetros analisados.

Nestes casos, o valor-p é superior a 0,05, pelo que é possível concluir que não existem diferenças significativas entre as amostras de água colhidas da Terra Quente e as da Terra Fria para os parâmetros analisados. Estes são apresentados na tabela 9.

Esta inexistência de diferenças estatísticas entre estes parâmetros era já esperada, visto existir grande variabilidade entre as amostras, sendo a condutividade elétrica o caso onde esta variabilidade é mais notável (desvio padrão = 127,78 $\mu\text{S/cm}$).

Tabela 7: Parâmetros para os quais as amostras de água da Terra Quente e da Terra Fria não apresentam diferenças significativas.

Parâmetro	Valor-p	Parâmetro	Valor-p
Acidez	0,248	Boro	0,745
Condutividade eléctrica	0,326	Cobre	0,194
pH	0,186	Ferro	0,706
Cloretos	0,686	Manganês	0,525
Oxigénio dissolvido	0,236	Nitritos	0,105
Potássio	0,448	Oxidabilidade	0,072
Sódio	0,773	Zinco	0,184
Sulfatos	0,091		

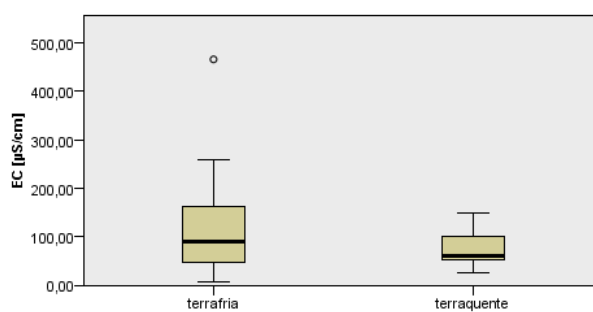


Figura 9: Teste Kruskal-Wallis para a condutividade elétrica.

Ao analisar o *boxplot* correspondente à condutividade elétrica (figura 9) verifica-se que não é possível observar diferenças entre as medianas das amostras de água da Terra Quente e da Terra Fria. Isto verifica-se também nos outros parâmetros analisados, onde não se verificam diferenças entre as amostras de água.

Para os parâmetros alcalinidade, cálcio, carência bioquímica do oxigénio, dureza total, magnésio, sílica, fosfatos e nitratos, obteve-se valores de p inferiores a 0,05 (Tabela 10), o que implica que podemos assumir que existem diferenças significativas entre as amostras da Terra Quente e da Terra Fria.

Tabela 8: Parâmetros para os quais as amostras de água da Terra Quente e da Terra Fria apresentam diferenças significativas.

Parâmetro	Valor-p	Parâmetro	Valor-p
Alcalinidade	0,014	Magnésio	0,034
Cálcio	0,052	Sílica	0,047
CBO5	0,040	Fosfatos	0,033
Dureza total	0,032	Nitratos	0,029

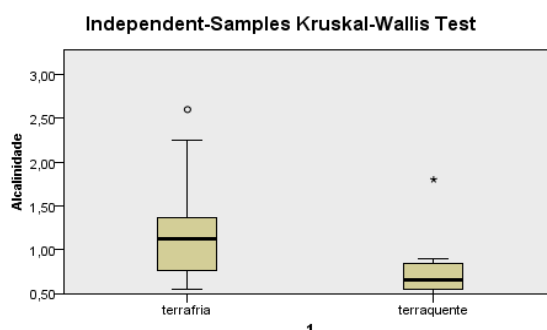


Figura 10: Análise de variâncias - teste Kruskal-Wallis, para a alcalinidade.

Na Terra Fria observa-se que a alcalinidade apresenta valores medianos superiores aos da Terra Quente, como se verifica no *boxplot* (figura 10), provavelmente devido à presença de rochas carbonatadas comuns em locais como Bragança e Vimioso. A alcalinidade é o parâmetro que apresenta maior diferença entre as amostras de água em estudo. Os outros parâmetros apresentam *boxplots* semelhantes ao da alcalinidade. O cálcio apresenta um valor-p muito aproximado de 0,05, apesar de ligeiramente superior, pelo que se pode admitir a existência de diferenças, apesar de não serem muito significativas. Verifica-se, no entanto, que a presença deste parâmetro é superior na Terra Fria do que na Terra Quente, tal como os restantes com excepção dos fosfatos e do CBO_5 .

A temperatura é o parâmetro mais importante na diferenciação das águas da Terra Quente das águas da Terra Fria. Foi feita uma análise descritiva para verificar os pressupostos da análise de variâncias como aos restantes parâmetros. Esta indica que os dados têm uma distribuição normal e apresentam homogeneidade de variâncias. Assim, a análise das variâncias foi feita com recurso à ANOVA.

Tabela 9: Análise descritiva à Temperatura da água.

	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Distribuição (p)	Homogeneidade (p)
Terra Fria	12,73	2,09	9,00	16,20	0,502	0,259
Terra Quente	16,22	3,08	11,60	21,20		

De acordo com a ANOVA, a hipótese nula é rejeitada (valor-p < 0,05) pelo que existem diferenças significativas entre a Terra Quente e a Terra Fria, no que respeita à temperatura da água. Esta distinção é visível no *boxplot* (figura 11) onde as medianas apresentam diferenças expressivas. Verifica-se que a temperatura da água é muito superior na Terra Quente, como esperado (valor máximo = 21,20 °C).

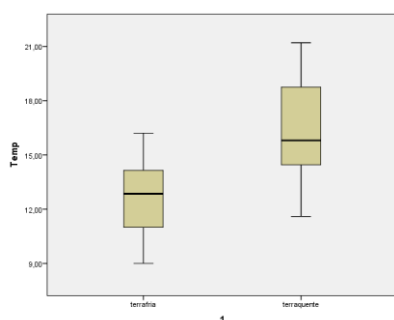


Tabela 10: Teste Estatístico, ANOVA.

	Temperatura
Chi-Quadrado	7,370
GL	1
Valor-p	,007

Figura 11: Análise à Variância, temperatura da água.

Qualidade química da água.

A qualidade química da água é avaliada pelo estado químico necessário para alcançar os objetivos ambientais para as águas, em que as concentrações dos poluentes não ultrapassam as normas de qualidade ambiental.

Os parâmetros químicos analisados e estudados neste trabalho basearam-se na legislação em vigor, nomeadamente o Decreto-Lei nº 306/2007, de 27 de Agosto, o diploma legal que regulamenta a qualidade da água para consumo humano.

A sua avaliação é dada pelo pior resultado de entre os parâmetros analisados.

Nas figuras 12 e 13 apresentam-se os resultados obtidos para a condutividade elétrica e para o pH.

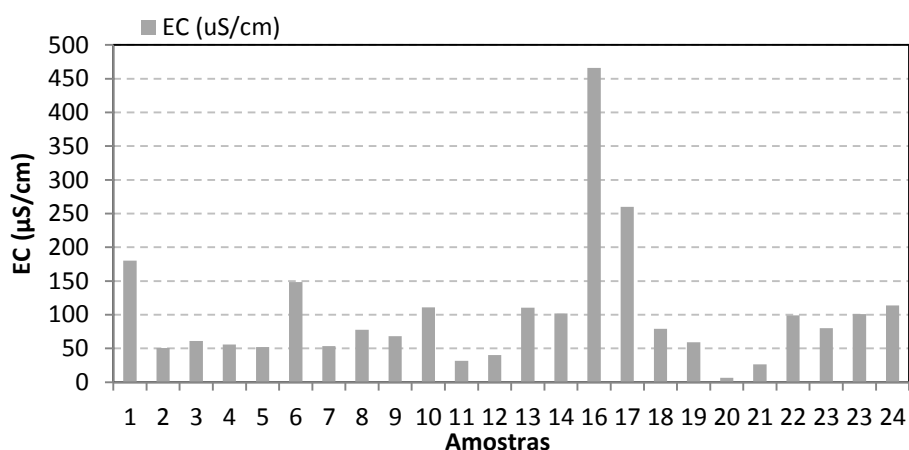


Figura 12: Gráfico representativo dos valores da condutividade elétrica.

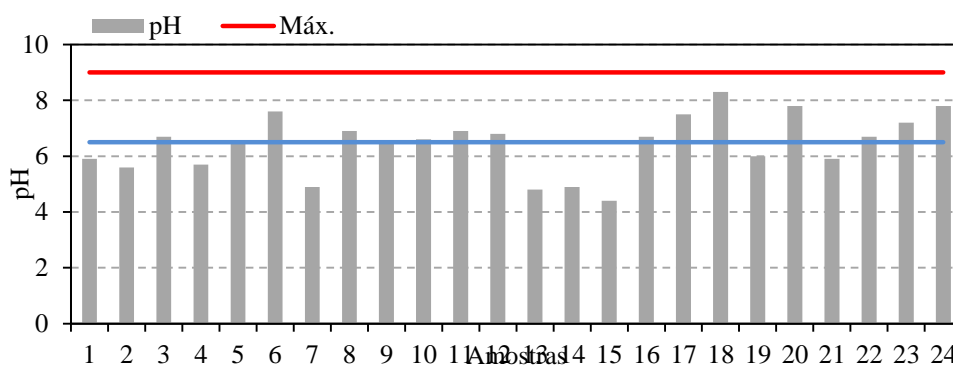


Figura 13: Gráfico representativo dos valores do pH

Observando os gráficos acima (figura 12 e 13), verifica-se que a condutividade elétrica encontra-se dentro dos limites do valor paramétrico ($2500\mu\text{S}/\text{cm}$) indicado na legislação atual (Decreto-Lei 306/2007). O pH, o entanto, apresenta valores que não se encontram dentro dos limites estabelecidos juridicamente. Os dados obtidos mostram que o pH oscila entre 4,4 a 7,5 na Terra Fria, onde as águas são relativamente mineralizadas, enquanto na Terra Quente o pH varia entre 4,9 a 8,3.

Os resultados obtidos das análises às amostras aos níveis de Ca, Mg e dureza total estão apresentados nas figuras 14 e 15.

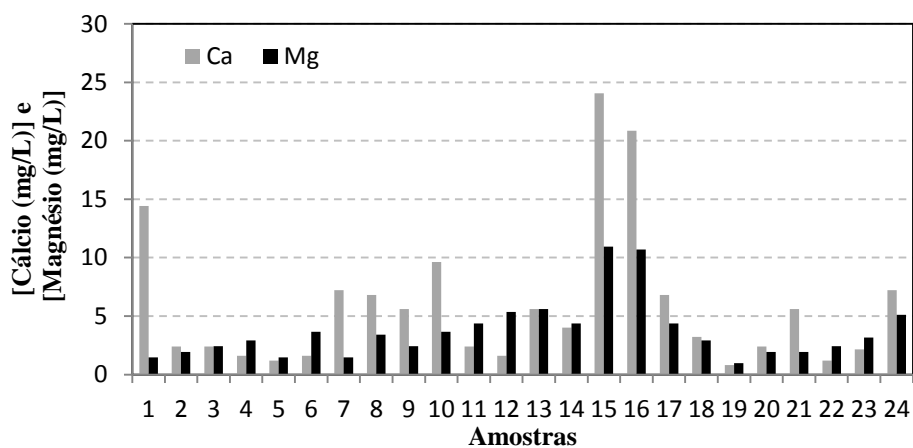


Figura 14: Gráfico representativo dos valores do Cálcio e Magnésio.

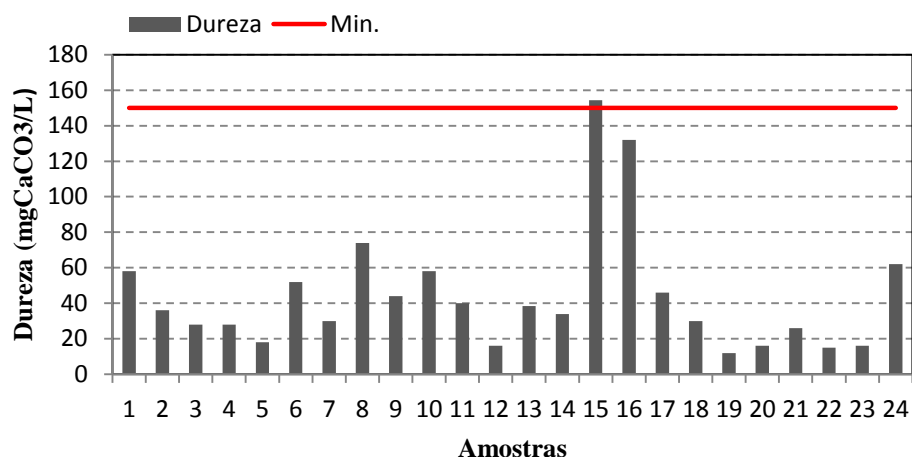


Figura 15: Gráfico representativo dos valores da Dureza total.

Verifica-se que o cálcio e o magnésio apresentam valores que não violam os valores paramétricos estabelecidos no D.L. 306/2007, encontrando-se dentro dos limites considerados legais. Para a dureza, no entanto, existem amostras que estão abaixo do valor determinado na legislação em vigor ($150 \text{ mg/L CaCO}_3 < \text{dureza total} < 500 \text{ mg/l CaCO}_3$), na realidade, apenas uma amostra encontra-se dentro desse limite (acima de 150 mg/L CaCO_3). Apesar disso, não é um facto considerado prejudicial à qualidade da água.

Na figura 16 estão apresentados os valores obtidos de oxigénio dissolvido e carência bioquímica de oxigénio.

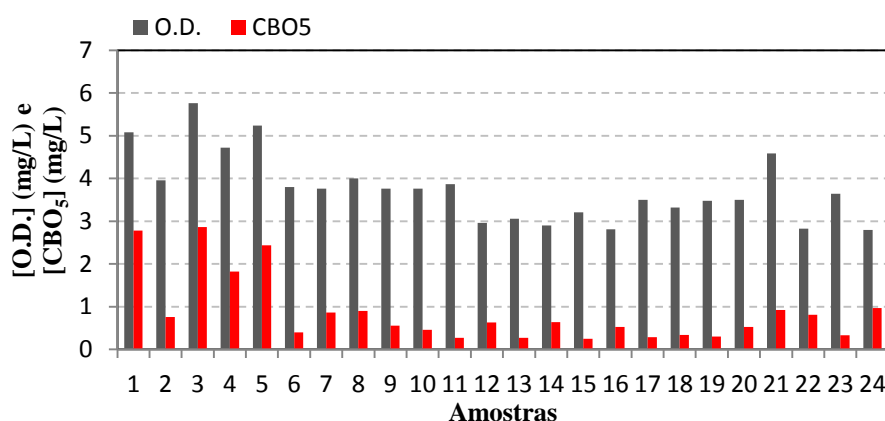


Figura 16: Gráfico representativo dos valores do OD e CBO5.

Verifica-se na figura 16 que o teor de oxigénio dissolvido nas amostras de água encontra-se dentro da normalidade. O oxigénio consumido nos cinco dias de incubação

encontra-se dentro dos limites, verificando-se, no entanto, algumas amostras onde o consumo foi elevado, podendo-se concluir que existiria a presença de organismos nessas amostras.

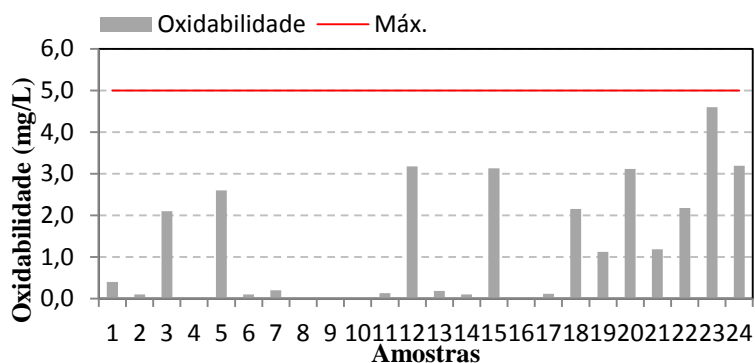


Figura 17: Gráfico representativo dos valores da oxidabilidade.

Na figura 18 estão representados os valores obtidos na análise das amostras de água para os cloretos.

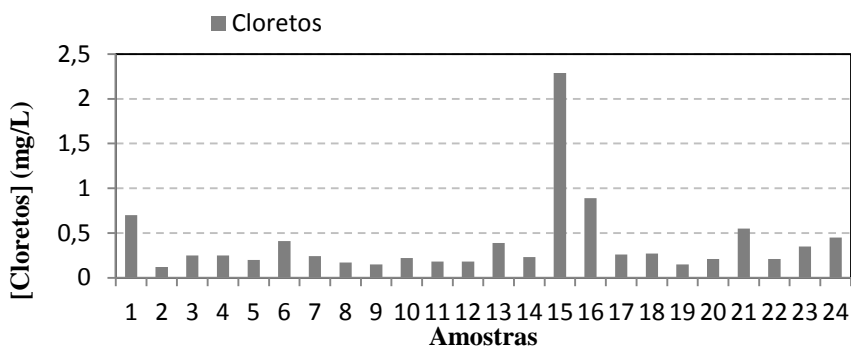


Figura 18: Gráfico representativo dos valores do ião cloreto.

Os valores da oxidabilidade (figura 17), ou seja, da presença de matéria orgânica, encontram-se abaixo do valor paramétrico definido pela legislação vigente (5 mg/L). O mesmo acontece para o ião cloreto (250 mg/L) como se pode analisar na figura 18. Podemos dizer que estas amostras não se encontram contaminadas, significativamente, por material orgânico.

No que respeita aos sulfatos, SO_4 , (figura 19) podemos afirmar que as concentrações deste anião são consideradas indiferentes, dado o valor paramétrico definido pela legislação em vigor – 250 mg/L (D.L. 306/2007). A presença deste ião pode ser

devida, principalmente à lixiviação das rochas sedimentares, encontradas na região, nomeadamente o xisto.

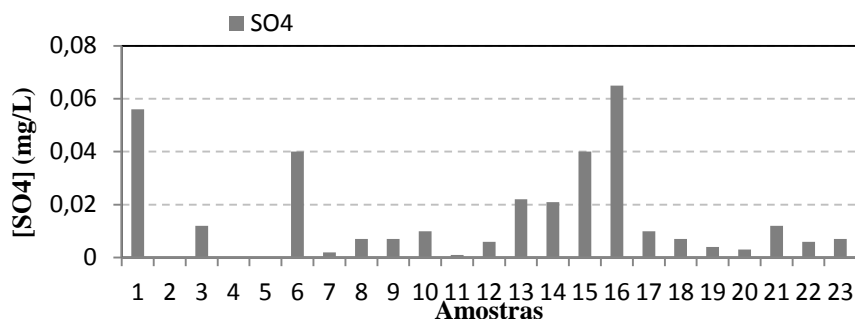


Figura 19: Gráfico representativo dos valores do íon sulfato.

Nas figuras 20 e 21 mostram-se os dados obtidos na análise dos nitratos (NO_2) e dos nitritos (NO_3):

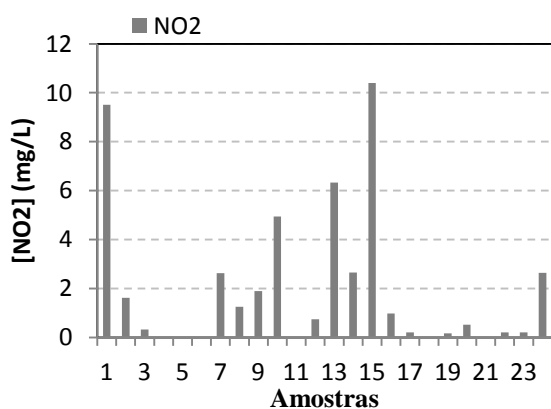


Figura 20: Gráfico representativo dos valores do íon nitrato

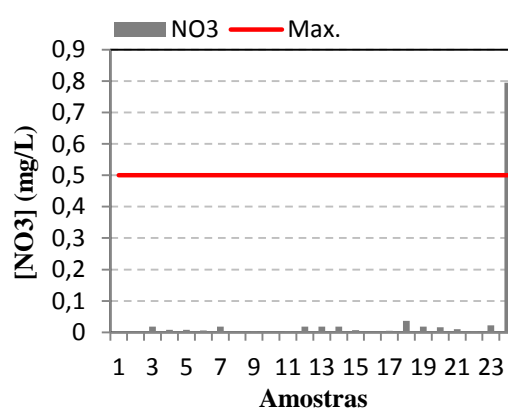


Figura 21: Gráfico representativo dos valores do íon nitrito

Ao analisar os resultados das amostras de água para a determinação de nitratos e nitritos (figuras 20 e 21 respectivamente) é possível concluir que o nitrato encontra-se dentro dos valores legais estabelecidos na legislação nacional e comunitária. No que considera ao nitrito, é possível observar que pelo menos uma das amostras analisadas está acima do valor paramétrico legislado. Podemos concluir que, para essa amostra, existe alguma contaminação, ou oxidação do nitrato para nitrito.

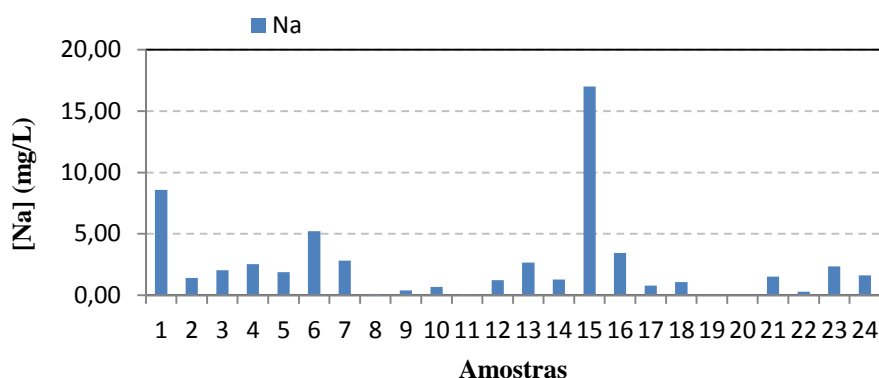


Figura 22: Gráfico representativo dos valores do sódio.

O sódio, um elemento essencial para a nutrição de plantas e organismos, cujo valor paramétrico é 200 mg/L encontra-se dentro dos limites legislados pelo D.L. n.º 306/2007, em todas as amostras de água analisadas (figura 22).

Nas figuras 23 e 24 estão representados os resultados obtidos para o ferro e manganês, respectivamente.

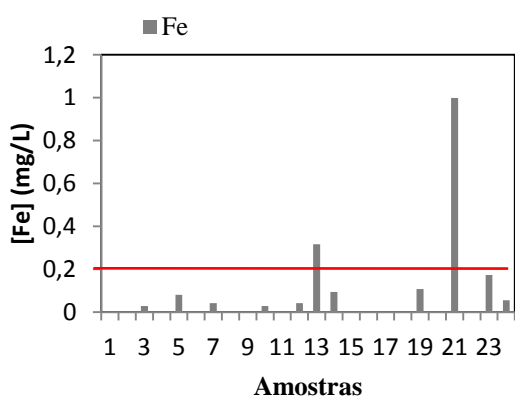


Figura 23: Gráfico representativo dos valores do Ferro.

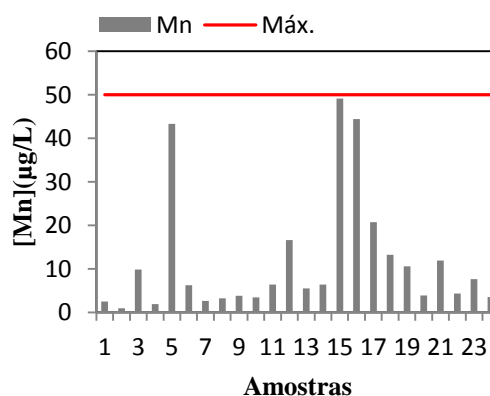


Figura 24: Gráfico representativo dos valores do Manganês.

Verifica-se que destes dois parâmetros, o ferro e o manganês, o ferro é o que provoca mais preocupação do ponto de vista ambiental e de saúde humana. Isto porque existe pelo menos uma amostra que ultrapassa excessivamente o limite legal (200µg/L). No que respeita ao manganês, os resultados obtidos não ultrapassam o valor paramétrico, no entanto, existe uma amostra cuja concentração é próxima do limite.

O boro e o cobre encontram-se dentro dos valores legais (1,0 mg/L e 2,0 mg/l, respetivamente), como se pode observar nas figuras 25 e 26, respetivamente.

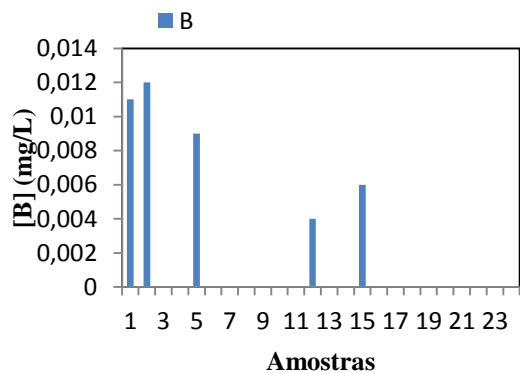


Figura 25: Gráfico representativo dos valores do boro

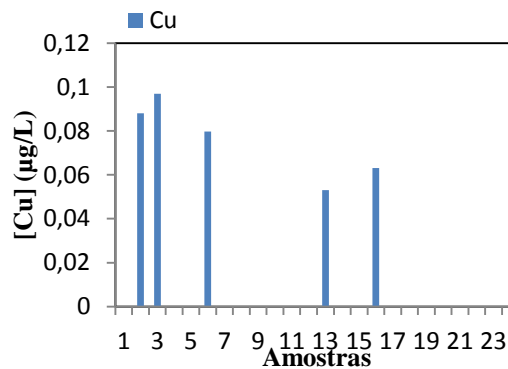


Figura 26: Gráfico representativo dos valores do cobre

Na tabela seguinte encontra-se a classificação do estado químico das amostras.

Tabela 11: Classificação do Estado Químico das amostras.

Local	Concelho	Estado Químico	Parâmetro
Bornes	Macedo de Cavaleiros	Bom	–
Vila Nova /Soeima	Alfândega da Fé	Bom	–
Barragem de Sambade	Alfândega da Fé	Bom	–
Felgar	Torre de Moncorvo	Bom	–
Barragem de Vale Ferreira	Torre de Moncorvo	Bom	–
Freixo Espada-à-Cinta	Freixo Espada-à-Cinta	Bom	–
Carviçais	Torre de Moncorvo	Mau	pH
Dine - Torneira	Vinhais	Bom	–
Dine - Bairro de Cima	Vinhais	Bom	–
Dine	Vinhais	Bom	–
Carção	Vimioso	Bom	–
Vale de Frades	Vimioso	Bom	–
Malhadas	Miranda do Douro	Mau	pH
Malhadas	Miranda do Douro	Mau	pH
Sendim	Miranda do Douro	Mau	pH
Atenor (Sendim)	Miranda do Douro	Bom	–
Pena Roias	Mogadouro	Bom	–
Azibo	Macedo de Cavaleiros	Bom	–
Serra Serrada (Montesinho)	Bragança	Bom	–
Castedo (ETA de Palameiro)	Vila Flor	Bom	–
Candoso	Vila Flor	Mau	Ferro
Peneireiro	Vila Flor	Bom	–
Barragem fonte larga	Carrazeda de Ansiães	Bom	–
Vilarelhos - Santa comba de Vilariça	Alfândega da Fé	Mau	Nitritos

Verifica-se que a maioria das amostras apresenta um bom estado químico, não havendo nenhum parâmetro de classificação que se encontre fora dos limites legais em vigor.

Observa-se que o pH é o parâmetro que pior classifica algumas das amostras (4 amostras em 24.). Para estas amostras, o pH encontra-se abaixo do valor paramétrico permitido pelo D.L. n.º 306/2007 ($6,5 < \text{pH} < 9$). Na amostra colhida em Candoso (Vila Flor) o parâmetro que pior classifica é o ferro, apresentando valores muito acima dos

permitidos por lei. A amostra colhida em Vilarelhos – Alfandega da Fé – apresenta valores acima do permitido para os nitritos, sendo este, em termos de classificação, o pior parâmetro.

8. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

As amostras de água colhidas na zona de estudo – distrito de Bragança – agrupadas pelas zonas da Terra Quente e Terra Fria, são amostras não sujeitas a tratamentos de potabilidade. Isto porque o tratamento das águas para consumo não possibilita conservar as características naturais das águas, o que não permitiria a caracterização das amostras de forma consistente.

Os dados obtidos mostram que o pH oscila entre 4,4 a 7,5 na Terra Fria, onde as águas são relativamente mineralizadas, enquanto na Terra Quente o pH varia entre 4,9 a 8,3. Os teores em sódio, cálcio e magnésio são mais elevados na Terra Fria e podemos considerar estas águas como duras, ao passo que as amostras de águas da Terra Quente são macias. Estas águas são mais alcalinas, muito devido à natureza das rochas por onde fluem: xistos, rochas ultrabásicas, etc. O teor em sílica da água da Terra Quente é inferior ao da Terra Fria, facto que se liga, sem dúvida, à natureza das rochas xistentas, principalmente aos serpentinitos, presentes nos solos da Terra Fria.

Os cloretos que se encontram dissolvidos nestas águas são provenientes da alteração e dissolução minerais das rochas e solos envolventes. Apresentam maior concentração na Terra Fria mas a diferença não é significativa. O sódio e o potássio são originados na dissolução de quase todas as rochas, sendo o Na o mais abundante. O cálcio e o magnésio provêm principalmente de rochas carbonatadas presentes na zona de Bragança e Vimioso (Terra Fria).

Os macronutrientes, P e S, estão presentes na água, muito devido à lixiviação de fertilizantes químicos, principalmente no que respeita ao fosforo, como fosfato PO_4^{3-} . O enxofre, como sulfato (SO_4^{2-}), é encontrado na água devido à lixiviação das rochas sedimentares incluindo o xisto.

A Terra Quente apresenta valores de Oxigénio Dissolvido superiores aos da Terra Fria, o que não se deveria verificar, visto a temperatura da água da Terra Fria ser inferior à da Terra Quente, sendo que o teor de oxigénio é mais baixo quanto mais elevada é a temperatura da água. Isto pode dever-se à agitação da água no momento da colheita, ou à libertação de oxigénio por plantas aquáticas existentes nos locais de estudo.

Os resultados mostram que de todas as amostras colhidas, a maioria apresenta valores paramétricos dentro dos limites legais. Algumas das amostras apresentam valores

paramétricos que não respeitam os valores legais para a qualidade da água, em alguns parâmetros: pH; Dureza e Ferro.

No que diz respeito ao pH existem algumas amostras que não se encontram de acordo com a legislação, apresentando-se com valores abaixo do limite mínimo recomendado (5,5). Estas amostras são originárias de Torre de Moncorvo e Miranda do Douro. A dureza apresenta valores abaixo dos recomendados no anexo I, D.L. n° 306/2007, em todas as amostras, exceto a amostra colhida em Sendim – Miranda do Douro, estando esta dentro dos limites legislados ($150 \text{ mg/L} < \text{Dureza} < 500 \text{ mg/L}$).

O parâmetro mais preocupante é o ferro, visto apresentar, em duas amostras, valores paramétricos muito superiores ao recomendado na legislação, principalmente a amostra colhida em Candoso – Vila Flor ($\approx 1000 \text{ } \mu\text{g/L}$).

As amostras colhidas para este estudo apresentam na sua maioria uma boa qualidade encontrando-se dentro dos valores paramétricos legais em quase todos os parâmetros. Apenas as amostras colhidas em alguns locais (Miranda do Douro, Sendim, Torre de Moncorvo, Candoso e Castedo (ambos em Vila-Flor) apresentam valores fora do limite legal. No caso de Candoso, a amostra foi colhida de um furo nas proximidades de uma oficina de automóveis, pelo que pode ter havido lixiviação de águas poluídas provenientes desta.

9. CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos é possível dizer que a qualidade da água amostrada é, em média, boa.

Nas águas de alguns locais do distrito, observou-se que determinados parâmetros químicos e contaminantes indesejáveis apresentaram muitas vezes concentrações acima do valor paramétrico, principalmente o ferro no concelho de Vila Flor com concentrações muito acima dos valores recomendados.

Existem diferenças significativas entre alguns dos parâmetros analisados das amostras colhidas na Terra Quente e na Terra Fria, apesar de na maioria não haver diferenças entre os valores obtidos. Existem diferenças em parâmetros como o CBO₅, a dureza, o cálcio e o magnésio, sílica, o ião fosfato, nitrito e na oxidabilidade. No que respeita ao CBO₅, sílica e oxidabilidade, esta diferença não é muito significativa. Estes parâmetros apresentam valores superiores na Terra Quente, exceto a sílica. Os parâmetros dureza, magnésio, fosfatos e nitritos apresentam diferenças significativas entre a Terra Quente e a Terra Fria. As amostras colhidas na Terra Fria apresentam valores, em média, superiores aos da Terra Quente. Nos restantes parâmetros analisados não existem diferenças entre as duas zonas em estudo.

A continuação do estudo seria estendê-lo a outras zonas do país, comparando amostras do distrito de Bragança com outros distritos de características climáticas e geológicas diferentes.

10. BIBLIOGRAFIA

Agroconsultores e Coba, 1991, *Carta dos Solos, carta do uso actual da terra e carta da aptidão da terra do nordeste de Portugal- memórias*, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro – projecto de desenvolvimento rural integrado de Trás-os-Montes.

Aldstadt J., Bootsma H., Ammerman J., 2009, *Chemical Properties of Water in Biogeochemistry of Inland Waters*, A Derivative of Encyclopedia of Inland Waters, Likens G. (ed.), 2010, Elsevier Inc, Netherlands, ISBN:9780123819963.

Ali M., 2010, *Fundamentals of Irrigation and On-farm Water Management: Volume 1*, Springer Science + Business Media LLC, UK, ISBN: 978-1-4419-6334-5.

Bartram J., Ballance R., 1996, *Water Quality Monitoring: A practical guide to the design and implementation of freshwater quality studies and monitoring programmes*, E&FN Spon, UK, ISBN 0 419 22320 7.

Clark R., Hakim S., Ostfeld A., 2011, *Handbook of Water and Wastewater Systems Protection*, Springer Science+Business Media, LLC, ISBN 978-1-4614-0188-9

Clesceri L., Greenberg A., Eaton A., (Eds), 1999, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th ed.*, American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF), Washington, D. C., ISBN: 978-0875532356

CCDRN, Comissão de Coordenação e de Desenvolvimento Regional Norte (CCDRN), 2006, *Plano Regional de Ordenamento do Território de Trás-os-Montes e Alto Douro – Sistema Biofísico*, CCDRN).

Decisão n.º 2455/2001/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 20 de Novembro, *PT Jornal Oficial das Comunidades Europeias* 15.12.2001 L 331/1, estabelece a lista das substâncias prioritárias no domínio da política da água e altera a Directiva 2000/60/CE.

Decreto-Lei n.º 236/98 de 1 de Agosto, *Diário da República*, N.º 176 - I Série-A -
Estabelece normas, critérios e objectivos de qualidade com a finalidade de proteger o
meio aquático e melhorar a qualidade das águas em função dos seus principais usos.
Revoga o Decreto-Lei n.º 74/90, de 7 de Março (rectificado pela Declaração de
Rectificação n.º 22-C/98, de 30 de Novembro)

Decreto-Lei n.º 243/2001 de 5 de Setembro, *Diário da República*, N.º 206 - I Série-A -
Transpõe para o direito interno a Directiva n.º 98/83/CE, do Conselho, de 3 de
Novembro, relativa à qualidade da água. Aprova normas relativas à qualidade da água
destinada ao consumo humano.

Decreto-Lei n.º 58/2005, de 29 de Dezembro, *Diário da República*, N.º 249 - I Série-A -
Aprova a Lei da Água, transpondo para a ordem jurídica nacional a Directiva n.º
2000/60/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Outubro, estabelecendo as
bases e o quadro institucional para a gestão sustentável das águas.

Decreto-Lei n.º 306/2007, de 27 de Agosto, *Diário da República*, N.º 164 - I Série-A -
Estabelece o regime da qualidade da água destinada ao consumo humano, revendo o
Decreto-Lei n.º 243/2001, de 5 de Setembro, que transpôs para a ordem jurídica interna
a Directiva n.º 98/83/CE, do Conselho, de 3 de Novembro.

DeZuane J., 1997, *Handbook of Drinking Water Quality*, John Wiley & Sons, Inc, NY,
EUA, ISBN: 0-471-28789-X.

Directiva 98/83/CE do Conselho de 3 de Novembro de 1998, *Jornal Oficial das
Comunidades Europeias*, L 330/32 - relativa à qualidade da água destinada ao consumo
humano.

Directiva 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Outubro de 2000,
Jornal Oficial das Comunidades Europeias, L 327/1 estabelece um quadro de acção
comunitária para a protecção das águas de superfície interiores, das águas de transição,
das águas costeiras e das águas subterrâneas.

Dunne R., 2012, *Water Water Everywhere and not a Drop to Drink, Nor do I Know its Whereabouts*, in *Water in Mineral Processing* (Drelich J., (ed.)), First International Symposium on Water in Mineral Processing, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, USA, ISBN 978-0-87335-349-6.

Edzwald J., Tobiasson J., 2011, *Chemical Principles, Source Water Composition, and Watershed Protection in Water Quality & Treatment A Handbook on Drinking Water* (Edzwald J., (ed.)), McGraw-Hill Companies, Inc, ISBN: 978-0-07-163010-8.

Eisenreich S. (ed.), 1972, *Water quality criteria, 1972: a report of the Committee on Water Quality Criteria, Environmental Studies Board, National Academy of Sciences, National Academy of Engineering*, National Research Council (U.S.). Committee on Water Quality Criteria, United States. National Technical Advisory Committee on Water Quality Criteria, Environmental Protection Agency Washington, D.C.

EPA, Environmental Protection Agency, 2008, *Drinking Water Health Advisory For Boron*, U.S. Environmental Protection Agency, Document Number: 822-R-08-013, Washington DC.

Evangelou V., 1998, *Environmental Soil and Water Chemistry - Principles and Applications*, John Wiley & Sons, Inc, Canada ISBN 0-471-16515-8.

Frey M., Seidel C., Edwards M., Parks J., McNeill L., 2004, *Occurrence Survey of Boron and Hexavalent Chromium*. Water Research Foundation Report.

Gaur R., 2008, *Environmental Engineering Laboratory Manual*, New Age International (P) Ltd., Publishers, ISBN : 978-81-224-2652-6.

Gray N.F., 2008, *Drinking Water Quality, Problems and Solutions*, Second Edition, Cambridge University Press, UK, ISBN: 978-0-511-39371-6.

- Gopal K., 2004, *Fundamentals of Water and Waste Water*, S.B. Nangia, A.P.H. Publishing Corporation, New Delhi ISBN:81-7648-553-5.
- Harter T., Rollings L., 2008, *Watersheds, Groundwater and Drinking Water: A Practical Guide*, University of California – Agriculture and Natural Resources, Publication 3497, ISBN: 978-1-879906-81-5.
- Heller L., Padua V., 2006, *Abastecimento de água para consumo humano*, Editora UFMG, Belo Horizonte ISBN: 85-7041-516-8.
- Helmer R., Hespanhol I., 1997, *Water Pollution Control - A Guide to the Use of Water Quality Management Principles*, WHO/UNEP, ISBN 0 419 22910 8
- Hill M., 1996, *Nitrates and Nitrites in Food and Water*, Woodhead Publishing Ltd, England, ISBN: 1 85573 282 3.
- Hiscock K., 2005, *Hydrogeology : principles and practice*, Blackwell Science Ltd, Australia, ISBN 0-632-05763-7.
- Hunt D.T.E., Wilson A.L., 1986, *The Chemical Analysis of Water: General Principles and Techniques*, The Royal Society of Chemistry, UK, ISBN: 0-85186-797-9.
- Ibanez J., Doria-Serrano M., Singh A., 2007, *Environmental Chemistry: Fundamentals*, Springer Science + Business Media, LLC, EUA, ISBN 978-0-387-26061-7.
- Jeffery G., Bassett J., Mendham j., Denney R., 1989, *Vogel's – Textbook of Quantitative Chemical Analysis*, Longman Scientific & Technical, UK, ISBN: 0-582-44693-7.
- Koch P., 2010, *Water Sources Principles and practices of water supply operations series*, American Water Works Association, EUA, ISBN: 1583217827.

Kumar K., Rawat D., 1996, *Water Management in Himalayan Ecosystem: a study of natural springs of Almora*, G.B. Pant Institute of Himalayan Environment & Development, Kosi, Almora ISBN 81-7387-047-0.

Maroco J., 2003, *Análise Estatística - com utilização do SPSS, 2ª edição*, Edições Silabo, Lda, Lisboa, ISBN: 972-618-331-6

Mendes B., Oliveira J.F.S., 2004, *Qualidade da água para consumo humano*, Lidel – edições técnicas, lda, ISBN: 9789727572748.

Ministério da Saúde, 2006, *Vigilância e Controle da Qualidade da Água para Consumo Humano*, Secretaria de Vigilância em Saúde, Brasília

Nemerow N., Agardy F., Sullivan P., Salvato J., 2009, *Environmental Engineering, sixth edition – Water, Wastewater, Soil and Groundwater Treatment and Remediation*, John Wiley & Sons, Inc. ISBN 978 0 470 08303 1.

Nollet L., 2007, *Handbook of Water Analysis*, CRC Press - Taylor & Francis Group, LLC, ISBN 10: 0-8493-7033-7

Norma ISO 5667-3 – Guidance on the Preservation and handling of water samples.

Ohlweiler O., 1976, *Química Analítica Quantitativa*, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro.

Parron L., Muniz D., Pereira C., 2011, *Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água*, em Documentos 232, Embrapa Florestas, Brasil, ISSN 1980-3958;219.

Patnaik P, 2004, *Dean's Analytical Chemistry Handbook*, McGraw-Hill Companies, Inc., ISBN: 0-07-150119-3

Patnaik P., 2010, *Handbook of Analysis - Chemical Pollutants in Air, Water, Soil, and Solid Wastes*, Taylor and Francis Group, LLC, USA, ISBN: 978-1420065817.

Penn M., Pauer J., Mihelcic J., 2004, *Environmental and Ecological Chemistry-Vol. II- Biochemical Oxygen Demand*, Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS), Eolss Publishers, Oxford, ISBN: 978-1-84826-206-5.

Pillay S., 2009, *A comprehensive Laboratory Manual for Environment Science and Technology*, New Age International (P) Ltd., Publishers, ISBN: 978-81-224-2951-0

Post G., Atherholt T., Cohn P., 2011, *Health and Aesthetic Aspects of Drinking Water in Water Quality & Treatment A Handbook on Drinking Water* ((Edzwald J., (ed.)), McGraw-Hill Companies, Inc, ISBN: 978-0-07-163010-8.

Quevauvillier P., 2002, *Quality Assurance for Water Analysis*, John Wiley & Sons Ltd, England, ISBN: 978-0471899624.

Rainwater F., Thatcher L., 1968, *Methods for Collection and Analysis of Water Samples*, em Geological Survey Water-Supply Paper 1454, U.S. Department of the Interior.

Ritter J. (Ed.), 2010, *Water Quality, 4ed, Principles and Practices of Water Supply Operations*, AWWA (American Water Works Association), EUA, ISBN: 978-1-58321-780-1

Rodier J., Legube B., Merlet N., 2009, *L'analyse de l'eau, 9^e édition*, © Dunod, Paris, ISBN 978-2-10-054179-9.

Rosa A., Fraceto L., Moschini-Carlos V., 2012, *Meio Ambiente e Sustentabilidade*, Bookman, ISBN 978-85-407-0197-7.

Rump H., 1999, *Laboratory Manual for the Examination of Water, Wastewater and Soil*, Wiley-VCH, Germany, ISBN: 978-3-527-29825-9.

Safe Drinking Water Committee, 1988, *Drinking Water and Health*, National Academy of Sciences, Washington, D.C.

Santos N., 2011, *Controlo de Qualidade em Laboratórios de Ensaios*, Relatório de estágio – Tese de Mestrado – Tecnologias Ambientais, Instituto Politécnico de Viseu, Escola Superior de Tecnologia e Gestão.

Salvato J., Nemerow N., Agardy F., 2003, *Environmental Engineering, fifth edition*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.

Sharma B., 2006, *Analytical Chemistry: Comprehensively Covering the UGC Syllabus*, Krishna Prakashan Media (P) Ltd, ISBN 81-8283-022-2.

Shuval H., Gruener N., D.Sc., 1972, *Epidemiological and Toxicological Aspects of Nitrates and Nitrites in the Environment*, APJH (American Journal of Public Health), Vol. 62, No. 8.

Smith V.K., Desvousges W., 1996, *Measuring Water Quality Benefits*, Kluwer Academic Publishers, EUA, ISBN: 0-89838-181-9.

Souza-Lima J., Braga P., Machado C., Maciel-Lima S., 2012, *The Social Construction of Risk of the Elements of Rio Verde Watershed – Curitiba- Brazil in Sustainable Water Management in the Tropics and Subtropics – and case studies in Brazil*. VI.4, Bilibio C., Hensel O., Selbach J F., (eds.), Jaguarão/RS: Fundação Universidade Federal do Pampa, UNIKASSEL, PGCult-UFMA, ISBN: 978-85-63337-23-8.

Spellman F., Drinan J., 2012, *The Drinking Water Handbook*, CRC Press, Taylor & Francis Group, EUA, ISBN: 978-1-4398-6690-0.

Sullivan P., Agardy F., Clark J., 2005, *The Environmental Science of Drinking Water*, Elsevier Butterworth-Heinemann, UK, ISBN: 978-0750678766.

Symons J., 2010, *Plain Talk about Drinking Water: Answers to your Questions about the Water You Drink, fifth edition*, American Water Works Association, ISBN 978-1-58321-742-9.

Symons J., 2010, *Plain Talk about Drinking Water: Questions and Answers about the Water You Drink*, American Water Works Association, EUA, ISBN 1-58321-126-8.

Tolgyessy J. (ed), 1993, *Chemistry and Biology of Water, Air and Soil: Environmental Aspects*, Elsevier Science Publishers, Amesterdão, ISBN: 0-444-98798-3.

Tricker A. R., 1997, *N-nitroso compounds and man: sources of exposure, endogenous formation and occurrence in body fluids*, European Journal of Cancer Prevention, volume 6, 226-2268.

Twort A., Ratnayaka D., Brandt M., 2000, *Water Supply Fifth Edition*, Binnie Black & Veatch, Elsevier Ltd. Great Britain, ISBN: 978-0-340-72018-9.

Udeh P., 2004, *A Guide to Healthy Drinking Water “All You Need to Know About The Water You Drink”*, iUniverse, Inc, EUA, ISBN 0-595-32287-5.

Vigil K., 2003, *Clean Water: an introduction to water quality and water pollution control*, Oregon State University Press, ISBN: 978-0870714986.

Ward M., deKik 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 – National Institute of Environment Health Sciences, 113 (11) : 1607-1614.

Weiner E., 2000, *Applications of environmental chemistry: a practical guide for environmental professionals*, CRC Press LLC, ISBN 1-56670-354-9.

WHO - World Health Organization, 2003a, *Boron in Drinking-water: Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality*, World Health Organization, Geneva.

WHO – World Health Organization, 2003b, *Sodium in Drinking-water: Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality*, World Health Organization, Geneva.

WHO – World Health Organization, 2008, *Guidelines for Drinking-Water Quality – Volume 1 Recommendations*, WHO Livrary Cataloguing-in-Publication Data, Geneva.

WHO – World Health Organization, 2011, *Guidelines for Drinking-Water Quality* fourth edition, WHO Livrary Cataloguing-in-Publication Data, ISBN 978 92 4 154815 1.

Zheng-Gang J., 2008, *hydrodynamics and Water Quality Modeling Rivers, Lakes, and Estuaries*, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, ISBN: 978-0-470-13543-3.

Desenvolvimento Sustentável, 2013

http://2.bp.blogspot.com/_bW5zhzPEyTg/SMfLIGm4SPI/AAAAAAAAAC4/WxSGRwbDNPo/s400/geografia09.jpg, disponível em

<http://desenvolvimentooo.blogspot.pt/2008/09/disponibilidade-de-gua-no-mundo.html>.

EPA, Environmental Protection Agency, 2013, *Dissolved Oxygen and Biochemical Oxygen Demand* disponível em <http://water.epa.gov/type/rsl/monitoring/vms52.cfm> consultado em 07/07/2013

Fernandes L., Silva M., 2013, *Influência das Actividades Antrópicas na Qualidade das Águas Subterrâneas. Casos de Trás-os-Montes oriental.- (primeira abordagem)*,

disponível em <http://www.aprh.pt/congressoagua98/files/com/047.pdf>, consultado em 08/07/2013.

Infopédia, 2013, *Evaporito*, disponível em [http://www.infopedia.pt/\\$evaporito](http://www.infopedia.pt/$evaporito), consultado em 17/08/2013

Jornal de Saúde Ambiental, 2013, *O Ciclo Hidrológico da Água*, disponível em <http://teessea.blogspot.pt/>, consultado em 13/10/2013.

Portal da água, 2013, *Critérios de Classificação*, disponível em <http://portaldaagua.inag.pt/PT/InfoTecnica/Directiva/Accoes/AguasInteriores/Pages/CriteriosClassificacao.aspx>, consultado em 05/09/2013).

Rota da Terra Fria Transmontana, 2013, *Acessibilidades e caracterização física*, disponível em http://www.rotaterrafria.com/pagegen.asp?SYS_PAGE_ID=841447, consultado em 10/07/2013