

Geofísica Aplicada à Prospeção Geológica

Estudo Gravimétrico em Contexto Granítico no Concelho de Amares

Marta Angélico Monteiro Almeida Soares

Mestrado em Geologia

Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território

2019

Orientador

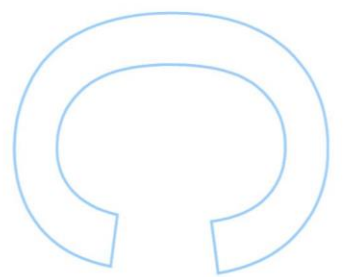
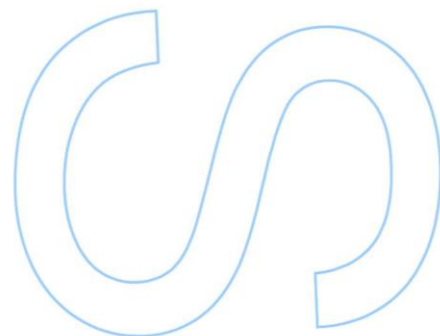
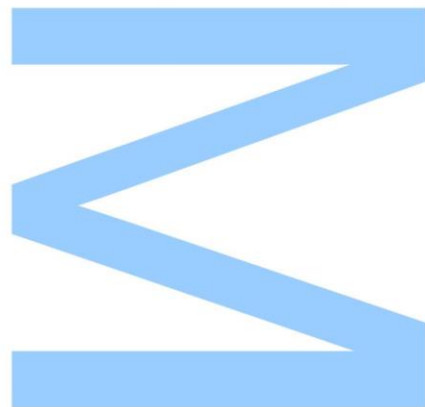
Doutora Helena Maria Sant'Ovaia Mendes da Silva, Professora Associada,
Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Coorientador

Doutor Rui Miguel Marques Moura, Professor Auxiliar, Faculdade de Ciências da
Universidade do Porto

Orientador Empresarial

Bruno Sameiro Pereira, sócio-gerente da empresa Sinergeo

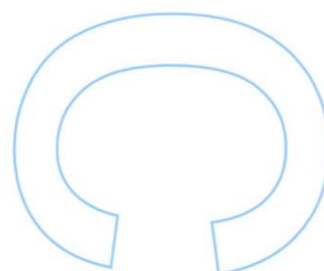
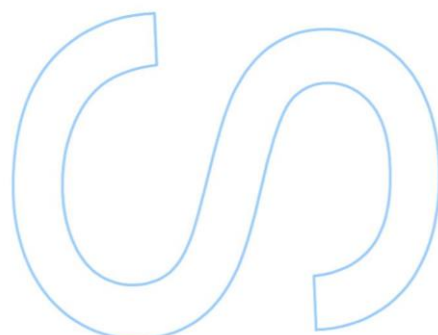
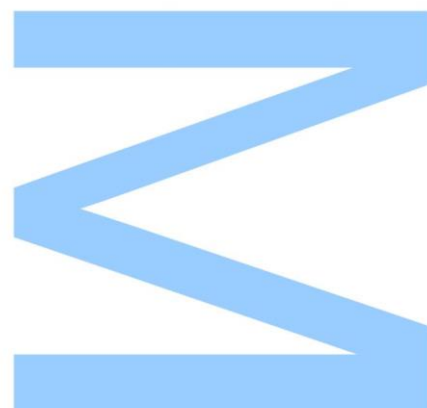




Todas as correções determinadas
pelo júri, e só essas, foram efetuadas.

O Presidente do Júri,

Porto, ____/____/____



Agradecimentos

Este trabalho não tinha sido possível de realizar sem a contribuição de muitas pessoas, que me ajudaram pacientemente ao longo deste trajeto. Gostava de agradecer:

À minha orientadora Professora Helena Sant'Ovaia, por ter aceite orientar-me desde o primeiro momento que lhe mencionei que iria realizar um estágio, e por todo o tempo despendido a ajudar-me nas minhas diversas dúvidas. De referir a motivação que me transmitia cada vez que ia ao seu gabinete rever o trabalho.

Ao meu co-orientador Professor Rui Moura, por ter cedido o gravímetro e ter partilhado o seu conhecimento acerca deste tema.

Ao meu orientador empresarial Bruno Sameiro Pereira, por todo o conhecimento partilhado e interesse em ajudar os estudantes que estão a concluir o curso a ter uma experiência no mundo empresarial. Saio uma pessoa mais formada e mais consciente do que se vai passando na área graças à oportunidade que me proporcionou com a realização deste estágio.

À Sinergeo e todos os seus elementos, foi um prazer poder vivenciar a vida empresarial durante 9 meses, ao aprender e perceber como se processam determinadas situações. À Andreia Sousa por toda a paciência e disponibilidade para me guiar no uso de diversos *softwares* e ajudar nas minhas diversas dúvidas. Agradecer também ao Flávio Dias e ao meu colega de estágio Márcio Macieira, por toda a cooperação durante o trabalho de campo.

Aos professores que me lecionaram durante estes anos, que de uma maneira ou outra, contribuíram para a minha formação.

À Cláudia Cruz e ao Ricardo Ribeiro, cuja ajuda foi preciosa no momento de tratar os dados e obter resultados e fazer uma breve discussão, demonstraram sem dúvida um espírito de entreajuda e boa vontade numa altura em que tudo parece uma competição.

Ao professor Fernando Almeida, da Universidade de Aveiro, pela ajuda nas correções de terreno.

Aos meus amigos e colegas de curso, por todo o companheirismo e apoio que fomos dando uns aos outros durante este percurso, sem grandes egoísmos e todos a remar para o mesmo lado, foi um prazer poder ter crescido durante todos estes anos com

vocês. Não posso deixar de agradecer especialmente à Sara Barbosa, por toda a ajuda dada especialmente em termos de cariz pessoal, foi sem dúvida a pessoa que mais me marcou durante estes anos todos.

E por último, mas nunca menos importante, aos meus pais que me apoiaram e ajudaram em tudo o que precisei, em momentos bons e outros menos bons, foi difícil, mas a vida é mesmo assim.

Resumo

Os estágios curriculares em contexto empresarial proporcionam aos alunos a oportunidade de terem um primeiro contacto com uma outra realidade. Além do tema proposto inicialmente, há a hipótese de acompanhar trabalhos de diversas vertentes e que enriquecem o saber e dão motivação para um futuro que se avizinha cada mais próximo. Este relatório está então estruturado segundo duas vertentes: uma que diz respeito aos trabalhos em curso na empresa Sinergeo e que tive a oportunidade de acompanhar, e uma outra onde nos concentramos no estudo gravimétrico realizado em duas áreas do concelho de Amares.

Os métodos geofísicos são grandes aliados da prospeção geológica, uma vez que permitem inferir sobre as características geológicas no subsolo. A gravimetria, em particular, permite a inferência de estruturas geológicas e/ou a geometria de corpos em profundidade, através da diferença de densidade entre estas estruturas e as encaixantes.

O principal objetivo deste trabalho, foi a identificação das estruturas regionais, fraturas e zonas de cisalhamento, que podendo ter água termal associada, são particularmente úteis para o conhecimento do potencial geotérmico das regiões em estudo. Para além disso a identificação de estruturas não aflorantes é importante como contributo e complemento da cartografia regional. Os resultados foram obtidos através da geração de mapas de anomalia de Bouguer com o uso do *software Oasis Montaj*. Através dos mapas residuais criados a partir dos mapas de anomalia de Bouguer e da tendência regional, detetaram-se diferenças de densidade acentuadas dentro do maciço granítico que permitiram pôr em evidência a existência de possíveis estruturas e de contactos entre granitos com diferentes graus de alteração. Acreditamos que os objetivos do trabalho foram cumpridos e lançam importantes linhas de investigação futura, nomeadamente na identificação de recursos energéticos.

Palavras-Chave: Estágio, Gravimetria, Anomalia de Bouguer, Densidade, Potencial Geotérmico, Recursos Energéticos.

Abstract

Curriculum internships in a business context offer the students a unique opportunity to get in touch with a different reality. In addition to the main theme of this internship, we get a chance to expand our knowledge in different areas and sort of get a motivation to a near future. This report is then structured according to two aspects: one concerning the on-going work in the company Sinergeo and which I had the opportunity to follow up, and another where we focus on the gravimetric study carried out in two areas of the municipality of Amares.

Geophysical methods are great allies of geological exploration, since they allow the understanding of geological features on underground. Among them, gravimetry method allows the identification of geological structures and/or geometry of bodies in depth, through differences in density between these structures and host rocks.

The main objective of this work was the identification of regional structures fractures and shear zones, which may have associated thermal water, and are particularly useful for the knowledge of the geothermal potential of the regions under study. In addition, the identification of structures is important as a contribution to regional mapping. The results were obtained by generating Bouguer anomaly maps using the Oasis Montaj software. Through residual maps created from Bouguer's anomaly maps and regional anomaly, sharp density differences were detected within the granitic massif, which showed the existence of structures and contacts between granites with different degrees of alteration. We believe that the objectives of the work we set out to achieve were met and, in future terms, will be important mainly in the identification of energetic resources.

Keywords: Internship, Gravimetry, Bouguer anomaly, Density, Geothermical potential, Energetic resources.

Índice

Agradecimentos.....	i
Resumo	iv
Abstract	v
Índice.....	vi
Índice de Figuras	viii
Índice de Tabelas	x
Introdução.....	11
Parte I.....	13
Capítulo 1. Geofísica aplicada com recurso ao georadar	14
Capítulo 2. Hidrogeologia Aplicada: Acompanhamento de um Ensaio de Caudal.....	17
Capítulo 3. GPS e <i>softwares</i> específicos	19
Parte II.....	20
Capítulo 1. Enquadramento Geral.....	21
1.1 Enquadramento Geográfico.....	21
2.2 Enquadramento Geomorfológico	21
2.3 Enquadramento Geológico Estrutural.....	23
2.4 Zona de cisalhamento Vigo-Régua.....	28
2.5 Enquadramento Hidrogeológico	29
2.5.1 Ocorrência termal de Caldelas.....	29
Capítulo 3. Gravimetria	33
3.1. Introdução	33
3.2. O método gravimétrico	33
3.2.1. Gravímetro.....	34
3.2.2. Correções Gravimétricas	35
3.3 Densidade	39
3.4 Anomalia Completa de Bouguer.....	43

3.5 Anomalia Regional e Residual.....	44
3.6 Campanha Gravimétrica.....	45
3.6.1 Amares	46
3.6.2 Caldelas.....	46
3.6.3. Trabalho de campo e medições com o gravímetro.....	48
Capítulo 4. Resultados.....	50
4.1 Amares.....	51
4.1.1 Anomalia Completa de Bouguer	51
4.1.1 Anomalia Regional.....	52
4.1.2 Anomalia Residual	53
4.2 Caldelas	54
4.2.1 Anomalia Completa de Bouguer	54
4.2.2 Anomalia Regional.....	55
4.2.3 Anomalia Residual	56
Capítulo 5. Conclusões.....	57
Trabalhos futuros.....	57
Capítulo 6. Referências bibliográficas.....	59
Webgrafia	61
Anexos	62

Índice de Figuras

Figura 1: Ilustração esquemática do funcionamento do GPR (in Kirsch, 2006)	14
Figura 2: Utilização do GPR com uma antena de 200MHz	16
Figura 3: Caudalímetro	18
Figura 4: Sonda automática na bomba	18
Figura 5: Medição do caudal com o caudalímetro	18
Figura 6: Medidor de parâmetros (pH, Eh, Tds, condutividade elétrica)	18
Figura 7: Imagem satélite das áreas de estudo (adaptada do Google Maps)	21
Figura 8: Zonas geotectónicas da Península Ibérica, segundo Lotze (1945) e Farias et al., (1987) (Adaptado de Vera, 2004 in Pinto, 2014)	22
Figura 9: Extrato da carta 5-D de Braga da Carta Geológica de Portugal e legenda adaptada (escala original 1/50 000)	25
Figura 10: Extrato da carta 5-B de Ponte da Barca da Carta Geológica de Portugal e legenda adaptada (escala original 1/50 000)	27
Figura 11: Mapa esquemático da Cadeia Varisca na ZCI, com destaque para a ZCDML, adaptado de Ribeiro et. al., 1990 e Llana-Fúnez and Marcos (2001) in Castro et al., 2010	28
Figura 12: Ocorrências termais em Portugal Continental (DGEG, 2017)	31
Figura 13: Gravímetro Worden Pioneer nº679	35
Figura 14: Caixa transportadora do gravímetro Worden Pioneer nº679	35
Figura 15: Curva da deriva instrumental (gravímetro). Correção do desvio (d) é subtraída ao longo de um tempo (t) (in Kearey, et al., 2002)	36
Figura 16: Ábaco usado para cálculos de correção de terreno. As zonas variam entre os 2m e os 22km e são usadas em mapas topográficos de diferentes escalas (in Kearey et al., 2002)	39
Figura 17: Densidade através do método de Nettleton (1939) em Amares	41
Figura 18: Densidade através do método de Nettleton (1939) em Caldelas (Oeste)	42
Figura 19: Densidade através do método de Nettleton (1939) em Caldelas (Este)	42
Figura 20: Separação das anomalias regional e residual a partir da anomalia de Bouguer observada (in Kearey et al., 2002)	44
Figura 21: Mapa de acessos de Amares (adaptado do Google Earth)	46
Figura 22: Mapa de acessos de Caldelas (adaptado do Google Earth)	47
Figura 23: Componentes do gravímetro (vistos de cima)	49
Figura 24: Medições efetuadas cuidadosamente pelo utilizador	49
Figura 25: Mapa de Anomalia Completa de Bouguer (Amares)	51
Figura 26: Mapa de Anomalia Regional (Amares)	52

Figura 27: Mapa de anomalia residual (polinómio de 2ª ordem) de Amares_____	53
Figura 28: Mapa de Anomalia Completa de Bouguer (Caldelas) _____	54
Figura 29: Mapa de Anomalia Regional (Caldelas)_____	55
Figura 30: Mapa de anomalia residual (polinómio de 2ª ordem) de Caldelas _____	56

Índice de Tabelas

Tabela 1: Propriedades elétricas dos materiais adaptado de (Marques Moura & Senos Matias, 1999)	15
Tabela 2: Densidade de rochas e minerais (adaptado de Milson, 2003 e Reynolds, 2002)	40
Tabela 3: Tabela de Correlação da densidade em Amares	41
Tabela 4: Tabela de Correlação da densidade em Caldelas (Oeste)	42
Tabela 5: Tabela de Correlação da densidade em Caldelas (Este)	42
Tabela 6: Dados de Anomalia Completa de Bouguer (Amares)	62
Tabela 7: Dados de Anomalia Completa de Bouguer (Caldelas)	63
Tabela 8: Valores da taxa de deriva da base em Amares (Norte) – 2 de Abril	66
Tabela 9: Valores da taxa de deriva da base em Amares (Norte) - 3 de Abril	66
Tabela 10: Valores da taxa de deriva da base em Amares (Sul) - 3 de Abril	66
Tabela 11: Valores da taxa de deriva da base de Caldelas (Oeste) - 9 de Abril	67
Tabela 12: Valores da taxa de deriva da base de Caldelas (Oeste) - 10 de Abril	67
Tabela 13: Valores da taxa de deriva da base de Caldelas (Este) - 10 de Abril	67
Tabela 14: Valores da taxa de deriva da base de Caldelas (Este) - 11 de Abril	68

Introdução

O presente relatório foi realizado no âmbito da conclusão do último ano do mestrado em Geologia, sendo relativo ao ano letivo 2018/2019, num contexto de Estágio Curricular em Contexto Empresarial. O estágio, orientado pelo geólogo Bruno Sameiro Pereira, foi realizado na Empresa Sinergeo – Soluções Aplicadas em Geologia, Hidrologia e Ambiente Lda., fundada em 2006 e que conta com um quadro técnico que permite abarcar serviços nas áreas da geologia, hidrogeologia, geotecnia e geofísica. A duração do estágio foi de 9 meses, com início a outubro de 2018 e conclusão a junho de 2019. A opção de fazer um estágio no último ano foi cativante, uma vez que era uma oportunidade única de ter uma experiência em contexto profissional. Este relatório está dividido em duas partes: uma primeira parte focada em trabalhos em curso na empresa e que tive oportunidade de acompanhar durante o período de duração do estágio; uma segunda parte dedicada ao estudo gravimétrico realizado em contexto granítico no concelho de Amares.

Quanto ao conteúdo da primeira parte, será direcionado para o método de radar de penetração (GPR), ensaios de caudal, obtenção de dados de GPS e utilização de *softwares* específicos.

O trabalho elaborado na segunda parte, acerca do estudo gravimétrico, surge num contexto de transição energética, e onde todos os dias surgem novas notícias acerca da exploração de recursos e a crise climática. A procura de novas fontes de energia não poluentes torna-se então uma prioridade enquadrada numa estratégia de desenvolvimento sustentável. No território minhoto (nomeadamente distritos de Braga e Viana do Castelo), estão registadas 8 ocorrências termais (6 em Braga e 2 em Viana), exploradas numa vertente económica e turística. É um caso onde o potencial deste território está apenas a ser levemente explorado, face à complexa geologia (Pereira, 2015).

A campanha gravimétrica levada a cabo durante o trabalho desenvolvido teve como principal objetivo a identificação de estruturas geológicas, associadas à circulação de águas termais ou fluidos geotérmicos.

A segunda parte está dividida em 5 capítulos, seguidamente explanados.

No capítulo 1 é apresentado o enquadramento geral da área de estudo, dando ênfase ao enquadramento geográfico, geomorfológico, geológico-estrutural e ainda hidrogeológico.

No capítulo 2 são apresentadas as metodologias, o enquadramento teórico, a descrição da campanha gravimétrica e aplicação de correções necessárias para a obtenção dos resultados.

No capítulo 3 é feita uma descrição dos resultados, juntamente com a discussão dos mesmos.

No capítulo 4 são apresentadas as principais conclusões, com uma síntese dos resultados obtidos assim como uma breve consideração acerca do estágio realizado e trabalhos futuros.

No capítulo 5 é apresentada a lista de referências bibliográficas deste relatório.

No final é possível consultar vários anexos.

Parte I

Capítulo 1. Geofísica aplicada com recurso ao georadar

O método de georadar é utilizado para analisar e estudar estruturas a baixa profundidade, sendo utilizado principalmente para identificação de condutas, estudos arqueológicos e geotécnicos, de prospeção mineira e de água subterrânea. É um método baseado nas equações de Maxwell, ligadas à teoria da propagação de ondas eletromagnéticas (Gonçalves, 2013), que estudam o interior da Terra através das suas propriedades elétricas e magnéticas e descrevem o comportamento eletromagnético em qualquer meio. Com o aumento da profundidade de penetração, há diminuição exponencial da energia de campo, ocorrendo fenómenos de atenuação (Marques Moura & Senos Matias, 1999)

O radar de penetração utiliza ondas na faixa dos 1 a 1000 MHz (Marques Moura & Senos Matias, 1999), onde através de uma antena colocada à superfície, há emissão de impulsos eletromagnéticos de curta duração e elevada frequência que são propagado em direção ao meio, onde uma parte desses impulsos serão parcialmente refletidos, dependendo do grau de heterogeneidade do local ou das estruturas que neles se possam encontrar (Gonçalves, 2013). A figura 1 ilustra o funcionamento esquemático do radar de penetração (GPR).

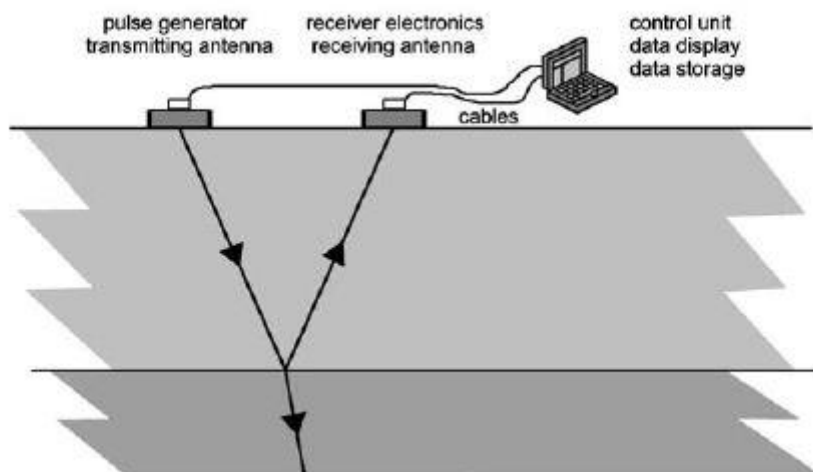


Figura 1: Ilustração esquemática do funcionamento do GPR (in Kirsch, 2006)

A profundidade de penetração do GPR depende de fatores como: frequência da antena e comprimento de onda associada a esta; características do local;

propriedades elétricas dos materiais atravessados, sendo as mais relevantes a condutividade (σ), a permissividade (ϵ) e a permeabilidade magnética.

A frequência do sinal emitido é inversamente proporcional à profundidade de penetração, ou seja, antenas de elevada frequência (ex. 1000 MHz) atingem menores profundidades quando comparadas com outras de menores frequências (ex. 200 MHz), que permitem o estudo a profundidades maiores, existindo assim aumento da atenuação. A diminuição da frequência implica uma qualidade mais baixa da resolução do sinal (Gonçalves, 2013).

As propriedades elétricas dos materiais são um fator importante a ter em conta, como é possível observar na tabela 1.

Características físicas do meio, dos materiais, variações granulométricas ou mineralógicas, e ainda a geometria e heterogeneidade do local, podem comprometer a frequência do sinal, sendo também estes fatores importantes aquando de uma campanha de georadar.

Tabela 1: Propriedades elétricas dos materiais adaptado de (Marques Moura & Senos Matias, 1999)

Material	Permitividade (ϵ)	Condutividade Elétrica (σ (mS/m))	Velocidade (V (cm/ns))
Ar	1	0	300
Água destilada	80	0.01	33
Água doce	80	0.5	33
Água salgada	80	3×10^4	10
Areia seca	3-5	0.01	150
Areia saturada	20 – 30	0.1 – 1.0	60
Calcário	4 – 8	0.5 – 2	120
Xistos	5 – 15	1 – 100	90
Argilosos			
Siltes	5 – 30	1 – 100	70
Argilas	5 – 40	2 – 1000	60
Granito	4 – 6	0.01 – 1	130
Sal-gema seco	5 – 6	0.01 – 1	130
Gelo	3 – 4	0.01	160

Para a realização de trabalho de campo, foi feito um estudo prévio do local recorrendo a imagens de satélite, carta geológica e notícia explicativa, estudos geotécnicos (se

existirem), entre outros que poderão ser úteis para o nosso trabalho. Através do trabalho de gabinete feito previamente, foi possível ter uma noção do que se poderá encontrar no local e de possíveis maneiras de intersectar o que estamos a procurar. No local é feita uma malha retangular com linhas paralelas e equidistantes entre si para se realizarem os perfis, onde estes apresentam um espaçamento consoante a dimensão da área de estudo (relativamente ao centro da antena do GPR). O procedimento passa por arrastar lentamente a antena ao longo do comprimento do nosso perfil, enquanto uma outra pessoa analisa os dados que são automaticamente gerados na unidade de controlo. Os dados gerados são posteriormente passados para o computador e analisados no programa “Reflex 2D” ou “Reflex3DScan”, onde os parâmetros serão ajustados e trabalhados para aproximar os resultados o mais possível da realidade e conseguir tirar o máximo de conclusões possível.

O trabalho que tive oportunidade de acompanhar foi efetuado numa obra na Foz, cidade do Porto. O objetivo passava pela identificação de cavidades sob as fundações de um edifício, uma vez que os resultados da prospeção geotécnica, por meios mecânicos, foi, em parte inconclusiva. As duas imagens da figura 2 ilustram a antena utilizada na realização deste trabalho e o procedimento.



Figura 2: Utilização do GPR com uma antena de 200MHz

Capítulo 2. Hidrogeologia Aplicada: Acompanhamento de um Ensaio de Caudal

O ensaio de caudal foi realizado em Vila Verde, Braga. Primeiramente, foi necessário fazer um estudo prévio do local, com a consulta de mapas cartográficos, geológicos e militares, e ainda observação da fotografia aérea com recurso ao *Google Earth*. A partir destes recursos podemos fazer um breve estudo geomorfológico e geológico da zona, com uma avaliação dos padrões de fracturação preferencial. A geobotânica também foi alvo de análise. Após estes estudos, a empresa de furos adjudicada vai ao local realizar o furo de pesquisa, que após ter sido transformado em captação, passa a reunir as condições para realizar o trabalho.

Neste ensaio foram medidos os parâmetros físico químicos (Eh, pH, sólidos totais dissolvidos, temperatura e condutividade) e nível da água. O trabalho consistiu de:

1. Medição do nível da água (NHE);
2. Colocação da sonda automática na bomba (esta sonda pode ficar no furo cerca de 22 dias);
3. Nova medição do nível da água (devido ao volume da sonda);
4. Registo do valor inicial do caudalímetro e apontamento da hora de início de bombagem, começando a correr o cronómetro;
5. Repetição do ponto anterior ao longo do dia;
6. No caso em questão, desligamos a corrente e apontamos os valores que se apresentavam no caudalímetro, tirando-se uma foto. Apontou-se a hora do fim e quanto tempo esteve a correr o cronómetro. O nível da água não foi medido, uma vez que numa das tentativas anteriores o nível métrico ficou preso, impossibilitando a medida do mesmo.

A medição do caudal pode ser feita utilizando um balde de 10 ℓ, contabilizando com o auxílio de um cronómetro, o tempo que este demora a ficar totalmente cheio. Pode ser também medido através do caudalímetro, também com o cronómetro, registando quanto tempo demora a contar 1 m³ (10 voltas).

No caso em questão foi colocado no tubo uma sonda automática que mede as variações do nível da água durante 24h através das diferenças de pressão. Esta tem capacidade para armazenar informação durante alguns dias consecutivos, sendo assim possível, no final, fazer um estudo pormenorizado dos níveis da água.

Quando a empresa dos furos retira o tubo do local, entregam a sonda e é analisada a sua informação. As imagens 3, 4 ,5 e 6 mostram algum equipamento anteriormente referido.

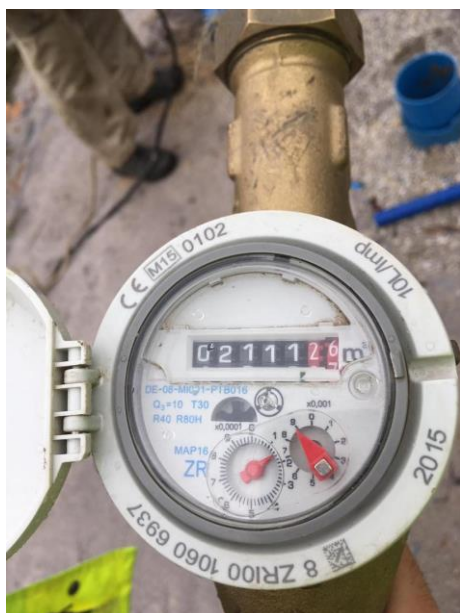


Figura 3: Caudalímetro



Figura 4: Colocação de Sonda automática na bomba



Figura 5: Medição do caudal com o caudalímetro



Figura 6: Medidor de parâmetros (pH, Eh, Tds, condutividade elétrica)

Capítulo 3. GPS e *softwares* específicos

O desenvolvimento de todos os trabalhos geológicos têm como elemento fulcral a georreferenciação. O GPS é um dispositivo de posicionamento que, dependendo do tipo e da marca, pode ter erros de precisão na ordem dos centímetros. Estes podem acontecer devido à pouca rede que exista num local, vegetação densa que não permita receber corretamente o sinal e erros nos próprios satélites. O GPS é utilizado principalmente para fazer um levantamento topográfico da área onde estamos a realizar o nosso trabalho, através da geração de coordenadas precisas e o mais aproximadas à realidade possível. Os GPS de mão são menos precisos que os de bastão, com erros que podem chegar aos 5m. Já nos de bastão, este só mede quando apresenta um erro de menos de 1m.

No que toca a *softwares*, foram utilizados, no âmbito deste:

- *QGIS*: trata-se de um *software* livre de dados abertos, onde é possível visualizar, editar e georreferenciar dados. Tem diversas funcionalidades muito úteis no âmbito da geologia, nomeadamente no que diz respeito à geração e modificação de mapas.
- *AutoCad*: é utilizado para desenhar e/ou projetar plantas e modelos, tanto em 2D como em 3D. Bastante útil para fazer um esquema em profundidade das litologias atravessadas na realização de um furo.
- *Reflex 2D* e *Reflex 3D*: usado no tratamento de dados de GPR, através da geração de perfis que permitem a observação em profundidade. Bastante dependente da experiência do utilizador.
- *Res2DNiv*: utilizado no tratamento de dados de perfis de resistividade. Normalmente está associado a outros programas (*Surfer*, *Voxler*, entre outros) que têm uma componente topográfica.

Todos as funcionalidades dos *softwares* referidos são potencializadas pela experiência do utilizador.

Parte II

Capítulo 1. Enquadramento Geral

1.1 Enquadramento Geográfico

As áreas em estudo (figura 7) localizam-se no Noroeste de Portugal, no distrito de Braga e concelho de Amares. A informação cartográfica de Amares pode ser encontrada na folha topográfica nº56 (Amares) à escala 1:25 000 da Carta Militar de Portugal, e a de Caldelas na folha topográfica nº42 (Vila Verde) à escala 1:25 000 da Carta Militar de Portugal, ambas fornecidas pelos Serviços Cartográficos do Exército. No que diz respeito ao contexto geológico, a área de Amares encontra-se abrangida pela Folha 5-D (Braga) e a de Caldelas pela folha 5-B (Ponte da Barca), ambas as cartas à escala 1:50 000 da Carta Geológica de Portugal.

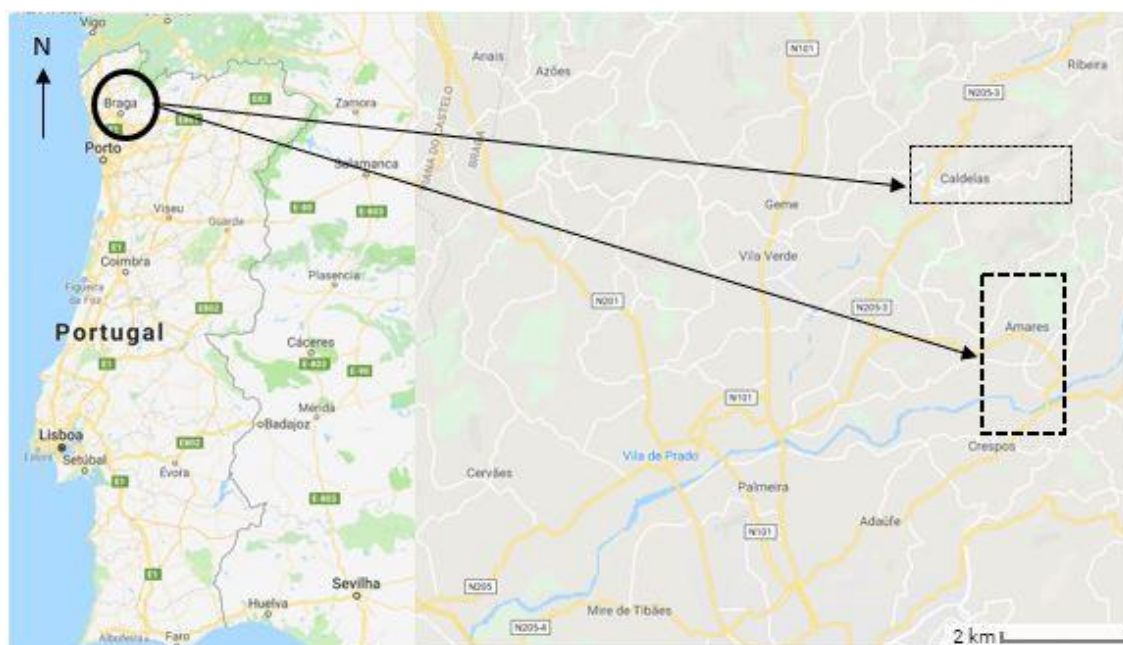


Figura 7: Imagem satélite das áreas de estudo (adaptada do Google Maps)

2.2 Enquadramento Geomorfológico

A região em estudo enquadra-se no Maciço Hespérico (também denominado como Maciço Ibérico), e é constituído por um extenso afloramento de rochas de idade Paleozoica que formam a estrutura central e ocidental da Península Ibérica. Esta unidade morfoestrutural é um fragmento complexo do Soco Varisco Europeu (Perez-Estaun *et al.*, 2004) apresentando grandes evidências da evolução e da formação de paleo continentes, em particular da Pangeia, através da formação e alteração de grandes estruturas geológicas e do próprio relevo da Península, modelado pela Orogenia Varisca. O Maciço Ibérico apresenta uma heterogeneidade única na geologia que se expressa ao longo da sua extensão. Por este motivo, o Maciço foi dividido (de

nordeste para sudoeste) em zonas geotectónicas (figura 8), sendo elas: Zona Cantábrica (ZC), Zona Astúrica-Occidental Leonesa (ZAOL), Zona de Galiza-Trás-os-Montes (ZGTM), Zona Centro-Ibérica (ZCI), Zona de Ossa Morena (ZOM) e Zona Sul Portuguesa (ZSP) (Julivert *et al.*, 1974; Farias *et al.*, 1987; Perez-Estaun *et al.*, 2004).

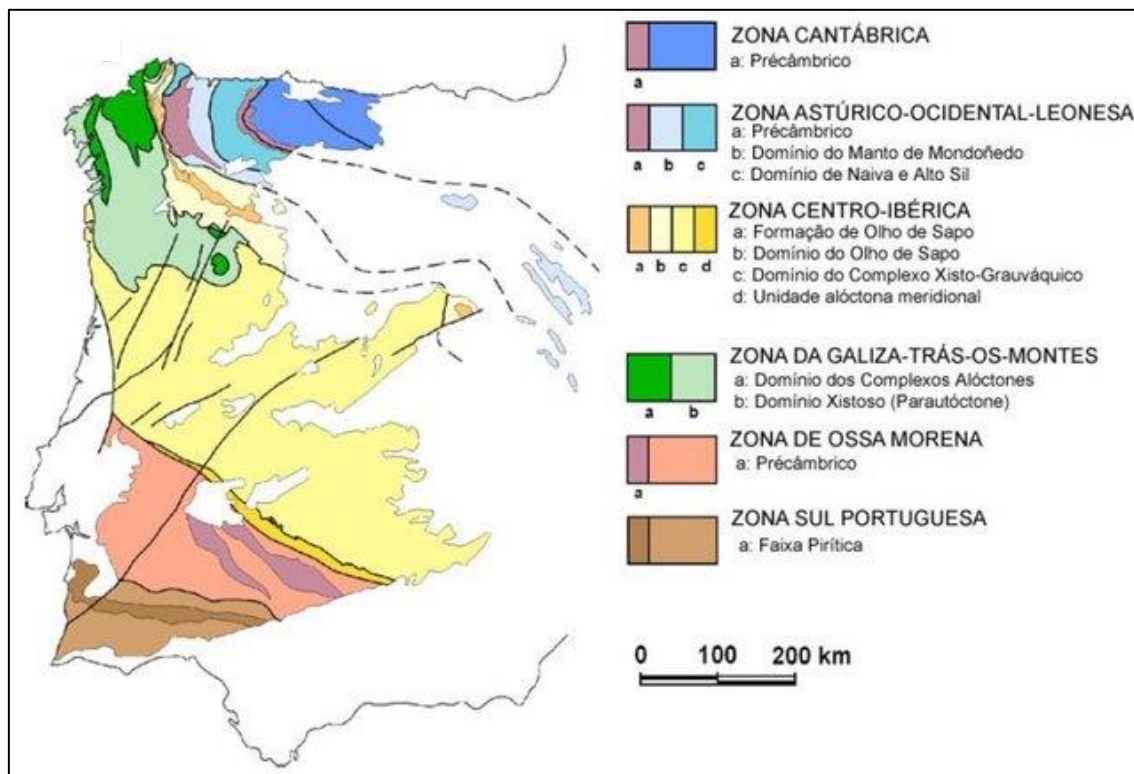


Figura 8: Zonas geotectónicas da Península Ibérica, segundo Lotze (1945) e Farias *et al.*, (1987) (Adaptado de Vera, 2004 *in* Pinto, 2014)

A região em estudo é dominada pela ocorrência de rochas graníticas de diferentes granularidades, texturas e composição, e por pequenas manchas de rochas metassedimentares (Ferreira *et al.*, 2000). A morfologia minhota ocidental é marcada pela oposição entre relevos elevados, culminando em planaltos descontínuos preservados no topo de blocos individualizados entre vales desenhando um reticulado rígido, que sugere um controlo por fraturas geralmente de difícil identificação no terreno, e vales profundos, mas largos de fundo aplanado, seguindo regionalmente orientações preferenciais, mas apresentando contornos sinuosos (Cabral *in* Cabral *et al.*, 1992)

Segundo Ferreira (1986) *in* Cabral *et al.*, 1992, tal dever-se-á às suas características litológicas, onde as condições climáticas húmidas favoráveis à alteração e uma tectónica complexa, traduzem variações na morfologia por erosão diferencial.

Os relevos desta região são marcados pela tectónica, onde as litologias terão sido marcadas fortemente pela fracturação Hercínica NNE-SSW e NW-SE, tendo sido

reativadas por movimentos Alpinos que geraram uma rede de fracturação própria ENE-WSW. (Ferreira *et al.*, 2000). Esta fracturação própria controla os principais rios desta região (Cávado, Ave e Este). Estes encontram-se principalmente em relevos baixos (pouco passando dos 200 m) em leitos relativamente abertos, contrastando com o setor montanhoso (relevos superiores a 400 m, que podem ir até 743 m no caso de S. Mamede) onde o seu encaixe é bem expressivo (Ferreira, 1983 *in* Ferreira *et al.*, 2000). Os vales encaixados dos rios permitiram a instalação de diversas barragens ao longo do rio Cávado, nomeadamente a barragem da Caniçada (Medeiros *et al.*, 1975).

2.3 Enquadramento Geológico Estrutural

Este estudo está enquadrado no domínio da Zona Centro Ibérica (ZCI). A ZCI deve a sua estruturação à Orogenia Varisca, que se iniciou com a colisão continental entre os continentes Gondwana e a Laurussia durante o Devónico. Constitui o maior evento na evolução tectónica da Europa ocidental, sendo caracterizada por mecanismos de subducção e obducção da crosta oceânica (Dias & Ribeiro 1994). A deformação varisca é polifásica e divide-se em três fases tectónicas - D1, D2 e D3 (Fig. 9) (Ribeiro 1974, Noronha *et al.*, 1979, Dias & Ribeiro, 1995). A primeira fase de deformação (D1), gera dobras com uma orientação predominante NW-SE, mas conforme se trate de terrenos alóctones, parautoctones ou autóctones, gera dobras com orientações e vergências diferentes, com plano axial vertical no autóctone e ligeiramente vergentes no parautoctone. A segunda fase, D2, decorre bastante próxima da fase D1 com formação de dobras deitadas, acentuando-se a vergência para SE. É representada especialmente no alóctone e no parautoctone (Dias & Ribeiro, 1995), verificando-se o desenvolvimento de uma foliação subhorizontal (S2) bem marcada no Domínio Peritransmontano e pouco marcada ou limitada às proximidades do carreamento, no Domínio do Douro Inferior (Ribeiro, 1974; Noronha *et al.*, 1979). A fase D3, ao contrário da D1 e D2, abrangeu todos os terrenos autóctones, parautoctones e alóctones. A nível regional, definem-se corredores e zonas de cisalhamento dúcteis-frágeis e frágeis de plano vertical e azimuth NNE-SSW (p. ex. a falha Régua-Verin). Ainda são retomadas nesta fase, em regime transcorrente, estruturas anteriores possivelmente formuladas em D1 ou D2 (p. ex. a zona de cisalhamento Vigo-Régua). (Pereira, B. *et al.*, 2013). O espessamento crustal relacionado com a colisão Varisca, teve como consequência a produção de magmas graníticos por anatexia. Decorre na 3ª fase a instalação dos principais granitos que, recentemente segundo Azevedo e Aguado, 2013 e Noronha *et al.*, 2013 são classificados segundo o seu período de instalação relativamente à fase D3 em granitos sin-, tardi a pós-, e pós-D3. Os granitoides sin-D3 instalaram-se em simultâneo com a formação dos principais

dobramentos da fase D3, ocupando as suas zonas de charneira com direção NW-SE. Têm idade compreendida entre 320-310 Ma e são predominantemente granitos peraluminosos de duas micas, havendo também alguns corpos de granodioritos e granitos biotíticos. O grupo dos granitoides tardi a pós-D3 têm idades compreendidas entre os 300-270 Ma e incluem complexos intrusivos que se instalaram no final ou posteriormente à fase de deformação. Predominam os monzogranitos/granodioritos essencialmente biotíticos, que podem ser associados a rochas básicas e intermédias. Já os granitoides pós D3 organizam plutões concêntricamente zonados, discordantes das estruturas regionais (Pereira *et al.*, 2013). Apresentam idades de 290-299 Ma (Dias *et al.*, 2010).

Como foi acima mencionado, o nosso estudo foi realizado em duas áreas distintas. A área de Amares é abrangida pela folha 5-D (Braga) da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000. Na região estudada (fig. 9) predominam essencialmente rochas graníticas de diferentes granularidades, texturas e composição. Estes granitoides correspondem a cerca de 80% da área aflorante, e distribuem-se paralelamente à zona de cisalhamento dúctil Vigo – Régua ou à fraturação tardi-hercínica (Ferreira *et al.*, 2000). Ocorre predominantemente um granito denominado como Granito de Braga. Este corresponde a um monzogranito biotítico com rara moscovite, de tendência porfiroide de grão médio a fino, com fenocristais com tendência euédrica e aspeto alongado (feldspato potássico). Apresenta numerosos e diversos tipos de encraves, sendo os microgranulares máficos mais abundantes (Ferreira *et al.*, 2000). Este granito é considerado tardi-tectónico em relação à terceira fase de deformação hercínica – D3, e tem uma idade compreendida entre os 300 - 320 Ma (Dias *et al.*, 2010).

Assinala-se também a ocorrência de depósitos de cobertura, quer preservados em depressões tectónicas, quer como terraços fluviais associados aos grandes rios que cortam a região, Cávado e Ave. Na área de estudo verifica-se a existência de um depósito fluvial do Quaternário Antigo, a norte do Rio Cávado. Estes depósitos fluviais são formados por areias caulínicas, que podem ser cobertas ou não por depósitos de solifluxão e vertente (Ferreira *et al.*, 2000).

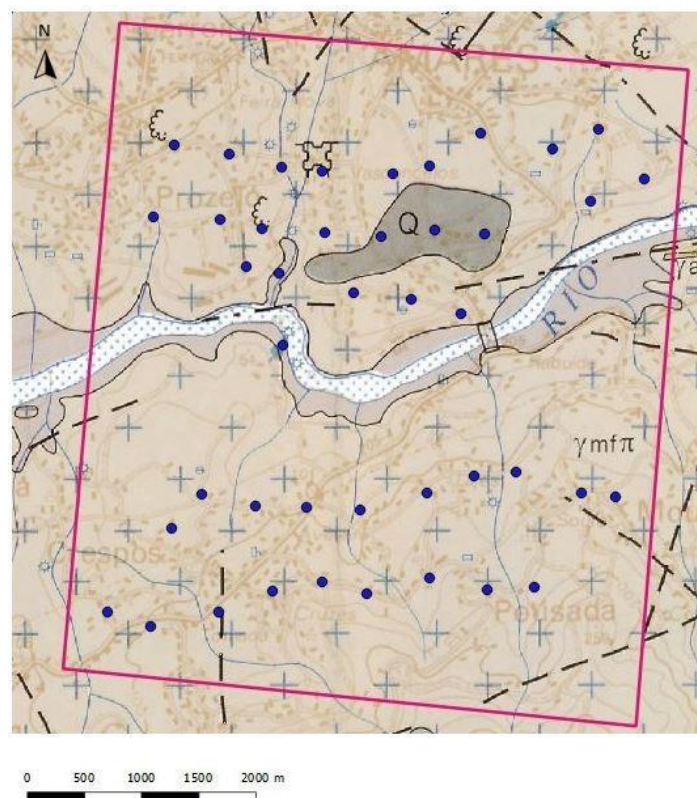
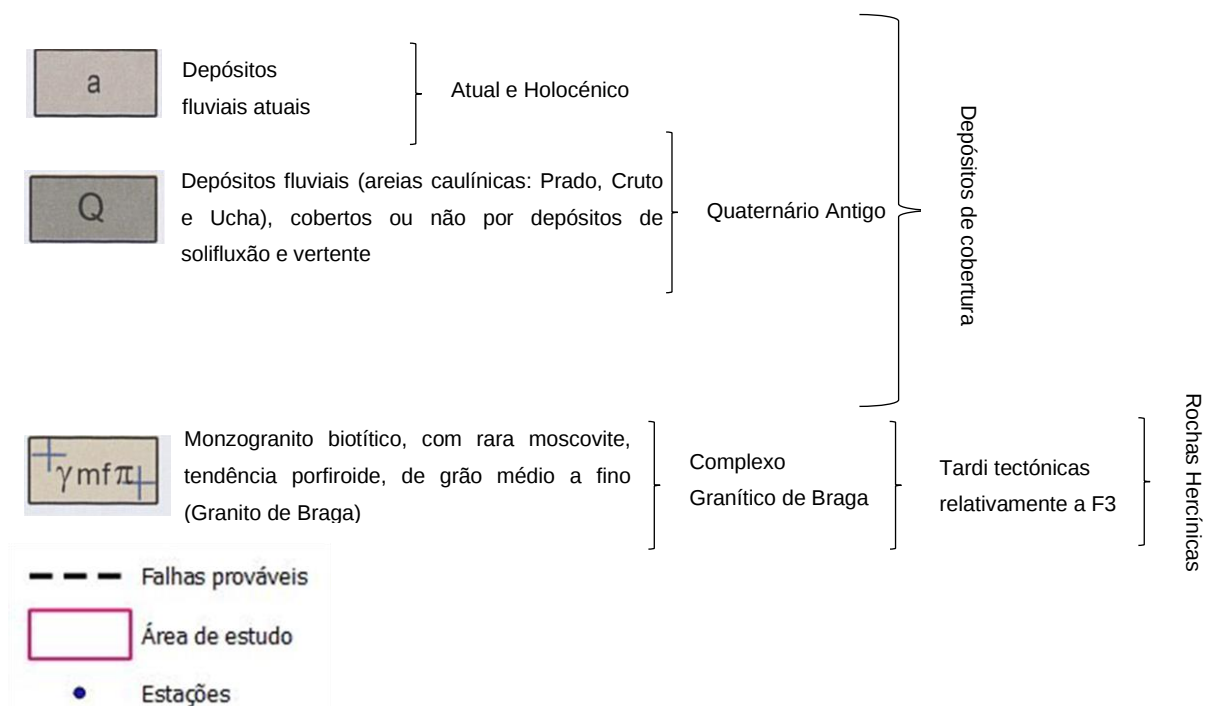


Figura 9: Extrato da carta 5-D de Braga da Carta Geológica de Portugal e legenda adaptada (escala original 1/50 000)



Já no caso da zona de Caldelas, esta é abrangida pela folha 5-B (Ponte da Barca) da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000. A área abrangente pela carta é essencialmente montanhosa, com relevos importantes, como os dos Maciços do Gerês. Na área de estudo (fig. 10) ocorrem granitoides calco-alcalinos e alcalinos. No que toca aos granitos calco-alcalinos, há ocorrências de dois tipos de granitos porfíroides: granito porfíroide de grão grosseiro ou médio grosseiro; e granito porfíroide de grão médio ou fino a médio (granito de Braga). O primeiro é o tipo petrográfico mais representativo da região, sendo um granito calco-alcalino monzonítico, de duas micas, predominantemente biotítico. Apresenta feldspatos geralmente de cor branca ou acinzentada, onde as dimensões dos megacristais são variáveis. O feldspato mais abundante é a plagioclase (Medeiros *et al.*, 1975).

Os afloramentos do granito de Braga são um prolongamento a Norte da carta 5-D de Braga.

Quanto aos granitos alcalinos, na área de estudo afloram pequenas manchas de granito não porfiroide de grão fino, rodeadas por granito porfiroide calco-alcalino. Esta área engloba uma parte da Mancha de Paranhos, caracterizada pelos granitos de grão fino, moscovítico, leucocrático e com escassa biotite. Em termos mineralógicos é formado por feldspatos potássicos, plagioclase, quartzo, moscovite, biotite e minerais acessórios (Medeiros *et al.*, 1975).

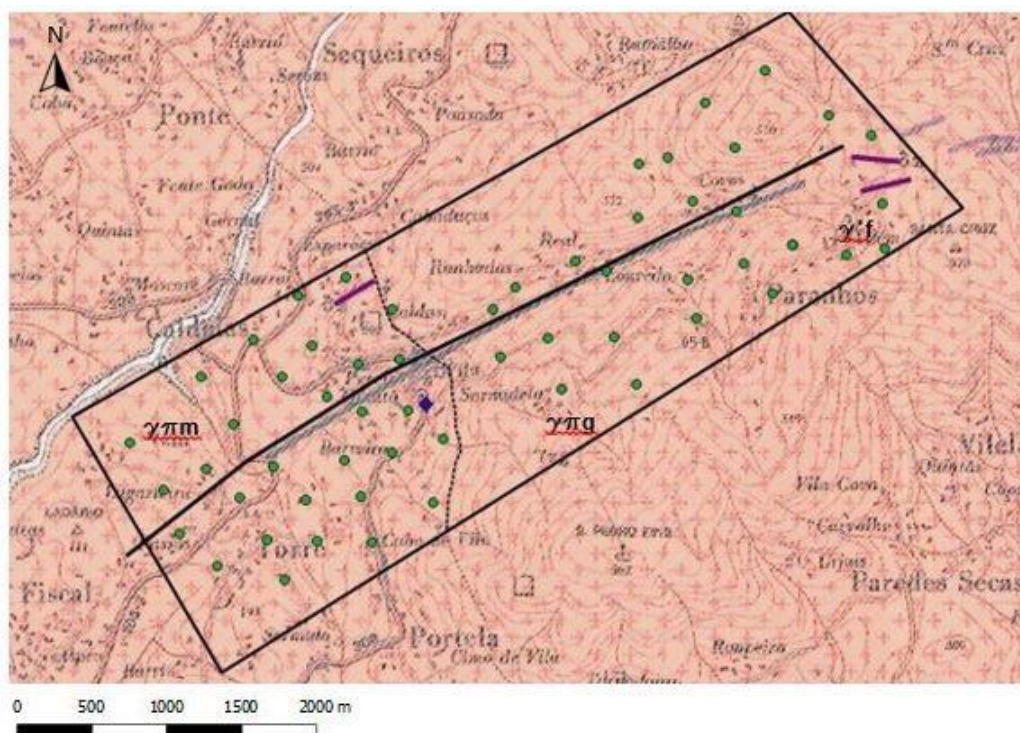
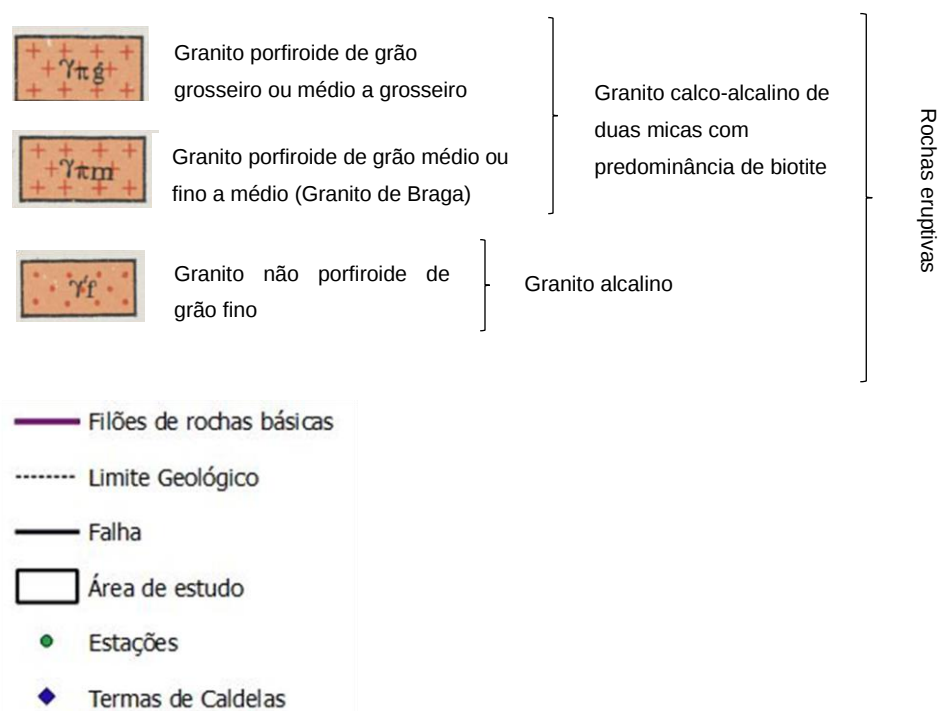


Figura 10: Extrato da carta 5-B de Ponte da Barca da Carta Geológica de Portugal e legenda adaptada (escala original 1/50 000)



2.4 Zona de cisalhamento Vigo-Régua

A zona de cisalhamento dúctil Vigo-Régua, corresponde ao segmento sul da estrutura denominada zona de cisalhamento dúctil Malpica-Lamego (ZCDML) (fig. 11), que apresenta no seu todo uma extensão de 275 km com uma orientação média NW-SE, paralela à direção da Cadeia Varisca e do NW da Península Ibérica (Castro *et al.*, 2010). Já o segmento Norte desta estrutura é denominado zona de cisalhamento Malpica-Vigo (Castro *et al.*, 2010). Ferreira *et al.*, 1987 destacaram a distribuição de granitoides de diferentes idades e proveniências relacionados com zonas de cisalhamento sub-verticais na cordilheira varisca portuguesa, onde o cisalhamento dúctil vigo-régua apresenta uma movimentação direccional (e.g., Fernandes, 1961; Ferreira *et al.*, 1987; Pereira *et al.*, 1993; Coke *et al.*, 2000 *in* Castro *et al.*, 2010) com uma interpretação cinemática multifásica: sinestrógrica em D1 e D2 (370-310/315 Ma) e dextrógrica na D3 (310/315-300 Ma) (Castro *et al.*, 2010).

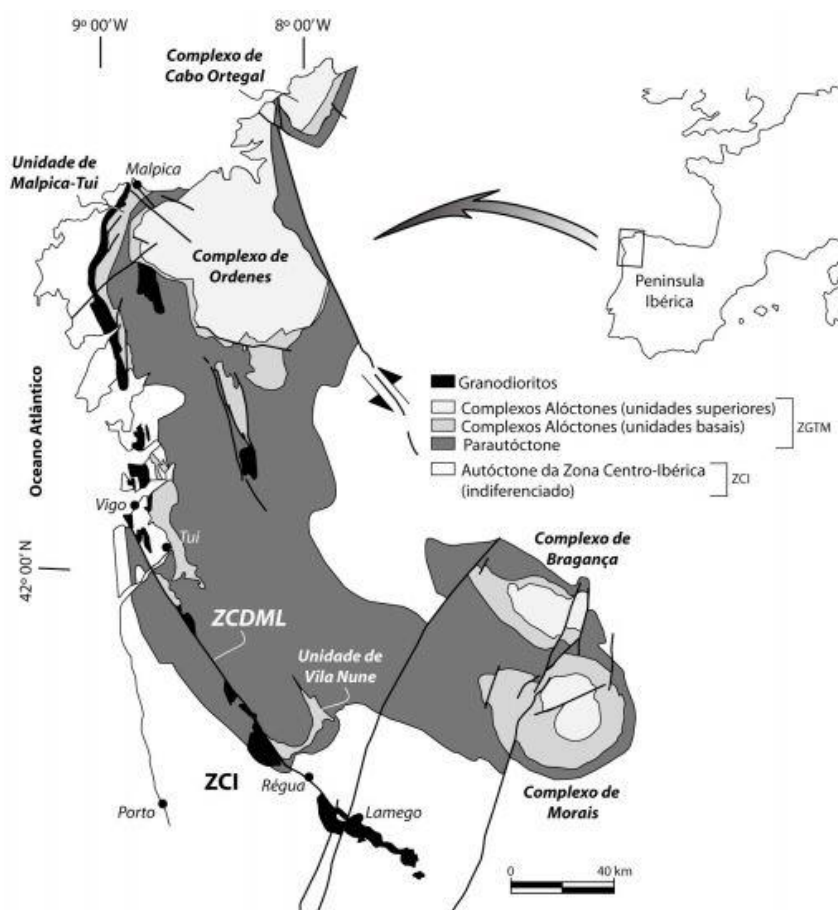


Figura 11: Mapa esquemático da Cadeia Varisca na ZCI, com destaque para a ZCDML, adaptado de Ribeiro *et al.*, 1990 e Llana-Fúnez and Marcos (2001) *in* Castro *et al.*, 2010

2.5 Enquadramento Hidrogeológico

A morfologia da região é dominada pelos vales profundos dos três rios principais: O Cávado, O Homem e O Lima. O rio Cávado nasce na Serra do Larouco, concelho de Montalegre, a 1520 m de altitude. Atravessa, de montante para jusante, os concelhos de Montalegre, Terras de Bouro, Vieira do Minho, Amares, Póvoa de Lanhoso, Vila Verde, Braga, Barcelos e Esposende, onde desagua no Oceano Atlântico, num percurso de cerca de 129 km. De um ponto de vista hidrogeológico, está inserido em sistemas aquíferos fissurados sustentados por rochas granitoides e metassedimentares do maciço hespérico. O relevo é marcado por depressões alinhadas, ocupadas pela drenagem fluvial, constituindo lineamentos importantes dispostos com orientação preferencial ENE-WSW, com correspondência aos principais cursos de água. O rio Homem, afluente do rio Cávado, atravessa a área no sentido NE-SW e segue uma importante linha de fratura com esta mesma direção, paralela aos grandes filões quartzosos cartografados. Os vales retilíneos em que brotam as nascentes termais de Caldelas também seguem a direção NE-SW. O rio Lima, segue a direção E-NE, sendo desviado para NE-SW após a Ponte da Barca (Medeiros *et al.*, 1975). Estes rios e os seus afluentes seguem direções tectónicas marcadas não só pelos seus trajetos, mas também pela localização no fundo dos vales de nascentes minero-medicinais.

2.5.1 Ocorrência termal de Caldelas

A geotermia pode ser designada como o conjunto das ciências e técnicas que estudam e exploram o calor proveniente do interior da Terra ou a energia geotérmica. A energia geotérmica apresenta a vantagem de ser renovável, pouco poluente e poder ser explorada continuamente. A energia geotérmica tem origem no interior terrestre, onde é possível verificar que, em média, a temperatura aumenta, em profundidade, em cerca de 33° por km. No entanto, devido à heterogeneidade da crosta terrestre, existem zonas anómalas, ou seja, zonas onde a variação da temperatura com a profundidade (grau geotérmico) é inferior ou superior ao valor considerado normal. A legislação portuguesa sobre recursos geológicos (Lei nº 54/2015, de 22 de junho) define como recurso geotérmico “os fluidos e as formações geológicas do subsolo, cuja temperatura é suscetível de aproveitamento económico”.

Os reservatórios geotérmicos são resultado de uma concentração de calor no interior da crosta terrestre, que será tanto mais acessível quanto maior for a temperatura e menor a profundidade a que se encontra. Podem ser considerados, segundo o diagrama de Lindal:

- Alta entalpia: quando a temperatura é superior a 150°C;
- Média entalpia: quando a temperatura se situa entre os 100°C e os 150°C;
- Baixa entalpia: correspondem a temperaturas entre 30°C e 100°C;

São também considerados recursos hidrominerais todos cujas temperaturas sejam superiores a 20°C e que possam ser aproveitados na sua componente geotérmica.

Em Portugal Continental têm sido estudados os recursos geotérmicos, verificando-se que as ocorrências se encontram desigualmente distribuídas no território nacional (fig. 12). Há uma predominância a Norte, motivada principalmente pelas características geológicas e estruturais a este associado. As nascentes termais localizam-se, na sua maioria, na Zona Centro-Ibérica, onde a sua distribuição está intimamente relacionada com os grandes acidentes tectónicos ao longo do quais se alinham importantes emergências (Lourenço *et al.*, 2006). Assim, muitas das ocorrências geotérmicas estão associadas a falhas de grande extensão que atingem profundidades elevadas, como é o caso (a Norte) das megaestruturas de orientação NNE-SSW falha de Penacova-Régua-Verin e falha de Manteigas-Vilariça-Bragança, ambas consideradas ativas na atualidade (Cabral *et al.*, 2011 *in* DGEG, 2017). A geomorfologia e intensa fracturação, aliadas à litologia presente na ZCI e ainda o facto de nesta zona se registarem os maiores índices de pluviosidade anual, fazem com que haja o maior número de ocorrências geotérmicas de baixa entalpia e de muito baixa entalpia conhecidas no país (cerca de 63%) (DGEG, 2017).

Litologicamente, as temperaturas mais elevadas das ocorrências estão relacionadas com as unidades graníticas da Orogenia Varisca. Estes granitos encontram-se, na sua grande maioria, intensamente fraturados, especialmente nas zonas de interseção de acidentes tectónicos, conferindo-lhes uma permeabilidade suficiente para a circulação de água.

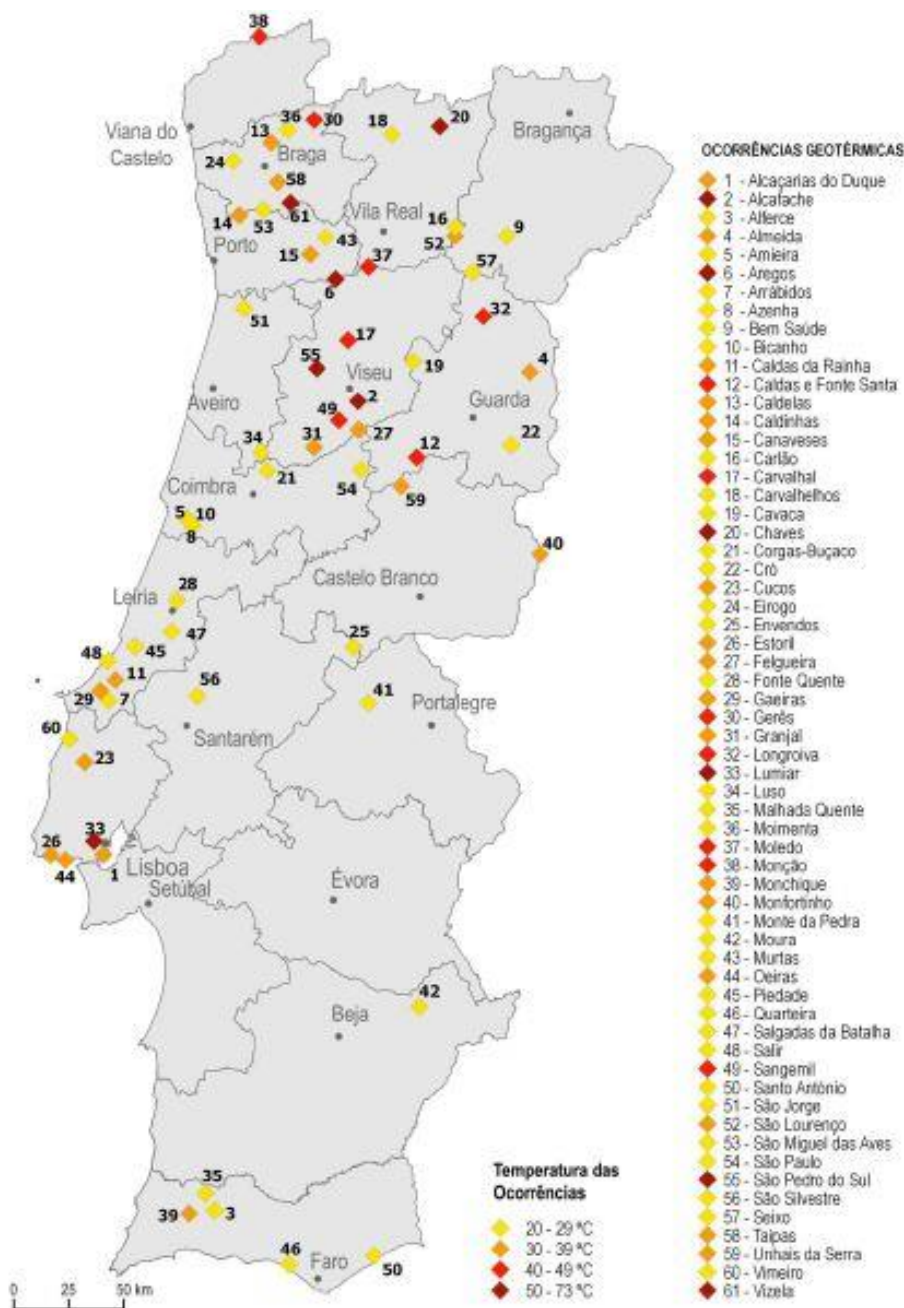


Figura 12: Ocorrências termais em Portugal Continental (DGE, 2017)

As nascentes de Caldelas localizam-se na margem esquerda do Ribeiro do Alvito, enquadradas numa zona de granitos hercínicos e com orientação ENE. O alinhamento ENE-WSW do vale do Ribeiro do Alvito materializa-se numa zona cisalhada com essa

direção. Há delimitação do vale do lado NW por um filão de rocha básica, e do lado SE pelas últimas fendas da falha de Caldelas. Trata-se de uma faixa cuja erosão foi facilitada pelo cisalhamento do granito, pela falha de Caldelas e por epissienitização do granito, que poderá estar relacionada com os efeitos do magma básico (hidrotermalismo) que ocorreu durante o Triásico (DGEG, 2019).

Localmente as nascentes de Caldelas situam-se na zona de contacto entre granitos grosseiros porfiroides e granitos de grão médio, predominantemente biotíticos. Este contacto faz-se para Este das nascentes, sendo este semi-gradativo com direção N20° - 40W, subvertical. Há uma acentuada convergência de falhas na zona das nascentes, onde as famílias de falhas dominantes são N70°E (sub-verticais), N30°-40°E (sub-verticais), N35°-45°W (sub-verticais) e N15°-20°W (verticais), todas elas com movimentação esquerda (DGEG, 2019).

Capítulo 3. Gravimetria

3.1. Introdução

A geofísica é um ramo das geociências que aplica os princípios da Física para estudar a Terra. O estudo do interior desta é feito a partir de medições na superfície ou nas proximidades, que serão influenciadas pela distribuição interna de propriedades físicas.

Os estudos geofísicos podem ser aplicados a uma escala global e regional, e determinam as propriedades físicas em profundidade que refletem a geologia superficial de uma dada região.

Apesar da ambiguidade e incerteza interpretativa dos levantamentos geofísicos, estes fornecem informações relativamente rápidas e de custo mais reduzido quando comparados com outras técnicas. Na exploração de recursos e estruturas, há métodos capazes de detetar e delinear locais de potencial interesse que não poderiam ser descobertos apenas com a realização de sondagens (Kearey *et al.*, 2002).

Por outro lado, caracteriza-se também por ser uma área bastante ambígua, passível de várias interpretações e que pode até ser pouco conclusiva. Assim sendo, os processos geofísicos corretamente aplicados aliados a uma posterior campanha de sondagens, podem otimizar as explorações, maximizar a taxa de cobertura do solo e minimizar a necessidade de perfuração (Kearey *et al.*, 2002).

3.2. O método gravimétrico

O método gravimétrico mede as variações do campo gravítico terrestre provocadas pela diferença de densidades entre estruturas geológicas e rochas encaixantes. Assenta na ideia que existe uma anomalia na subsuperfície que causa uma perturbação no campo gravítico a que se dá o nome de anomalia gravimétrica (Kearey *et al.*, 2002) Este método é usado tanto para grandes escalas, como por exemplo na deteção de plutões graníticos ou bacias sedimentares, assim como a escalas menores, onde é possível identificar estruturas geológicas como zonas de cisalhamento. O estudo das anomalias gravimétricas referidas anteriormente, fazem com que seja possível interpretar e determinar a profundidade e a forma destas estruturas (Kearey *et al.*, 2002).

Teoricamente, este método é baseado nas Leis de Newton, nomeadamente na Lei da Atração Universal, que afirma que a força (F) de atração entre dois corpos de massa

conhecida (m_1 e m_2) é diretamente proporcional ao produto das duas massas, e inversamente proporcional ao quadrado da distância (r^2) entre os seus centros de massa, ou seja, quanto maior a distância que separa os centros de massa, menor será a força de atração entre estes. A equação que permite descrever esta lei considera a Terra como uma esfera homogênea de massa M , de raio R e despreza a sua rotação. (Reynolds, 2011) e é dada por:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

Onde G é a constante de gravitação universal ($G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$).

Se ainda assim considerássemos que a massa (m) de uma esfera estivesse toda concentrada no mesmo centro de massa (Kearey *et al.*, 2002) teríamos a seguinte equação:

$$F = mg$$

Onde m é o valor de massa da Terra e g a aceleração da gravidade.

No entanto aceleração da gravidade não é constante em toda a superfície da Terra, existindo variações provocadas por fatores como a sua rotação, variações de raio provocadas por diferentes topografias superficiais e ainda variações a nível da densidade subsuperficial (Dentith & Mudge, 2014). O raio polar da Terra (6357 km) é 21 km mais curto que o raio equatorial (6378 km), ou seja, os pontos nos polos encontram-se mais próximos do centro de massa da Terra, sendo assim o valor da gravidade polar superior ao equatorial (Reynolds, 2011)

O valor médio da aceleração da gravidade é cerca de $9,8 \text{ m/s}^2$. Existem variações de gravidade causadas por variações de densidade da subsuperfície na ordem dos $100 \mu\text{m/s}^2$ (Kearey *et al.*, 2002), onde $1 \mu\text{m/s}^2 = 1 \text{ gu}$ ("gravity unit"). Em levantamentos gravimétricos, a unidade utilizada é o miligal (mGal), que corresponde a 10^{-3} Gal . Assim temos que: $1\text{mGal} = 10^{-3} \text{ Gal} = 10^{-5} \text{ m/s}^2 = 10 \text{ gu}$ (Musset & Kahn, 2000).

3.2.1. Gravímetro

A aquisição de dados de gravidade baseia-se na determinação do campo de força gravítico que atua sobre uma massa de teste dentro do instrumento. Os estudos geológicos requerem uma precisão de cerca de 1 a 0,01 mGal, embora em alguns casos mais específicos, possam ser necessárias precisões na ordem dos 0,001 mGal. Estes aspetos tornam o gravímetro um dos dispositivos mecânicos mais sensíveis. Assim, exige-se o maior cuidado ao manusear este aparelho, de maneira a obter

dados fiáveis para uma correta interpretação do que se passa na subsuperfície (Hinze, 2013). Os gravímetros são basicamente balanças de mola com massa constante. Variações no peso da massa causadas por variações da gravidade, fazem com que o comprimento da mola varie e forneça uma medida diferente de gravidade (Kearey *et al.*, 2002).

Nesta campanha gravimétrica foi utilizado o gravímetro Worden Pioneer nº679. Este instrumento possui componentes de quartzo (Hinze, 2013). O gravímetro Worden é sensível à vibração, pelo que deve ser transportado com muito cuidado. O alcance deste é de cerca de 2000 mGal com uma precisão de 0,01-0,02 mGal, apesar de com a inexperiência de alguns operadores as leituras poderão ser difíceis de fazer e uma precisão mais realista seja na ordem dos 0,1 mGal (Reynolds, 2011). Nas figuras 13 e 14 está ilustrado o gravímetro utilizado e respetiva caixa transportadora.



Figura 13: Gravímetro Worden Pioneer nº679



Figura 14: Caixa transportadora do gravímetro Worden Pioneer nº679

3.2.2. Correções Gravimétricas

Nos estudos gravimétricos, grande parte dos resultados obtidos são produzidos por fatores que não são de interesse geológico direto (Milson, 2003). Antes da

interpretação desses resultados, é necessário corrigir variações no campo gravitacional terrestre que não resultam da diferença de densidade de rochas que se encontram na subsuperfície. Este processo é conhecido como redução do geóide, uma vez que o nível do mar é a referência mais conveniente (Kearey *et al.*, 2002).

O principal objetivo das correções gravimétricas passa por obter a anomalia de Bouguer.

Correção da deriva instrumental

As leituras gravimétricas alteram em função do tempo, resultado da variação da temperatura, pressão atmosférica e desgaste das molas do equipamento. Assim sendo, efetuam-se leituras numa mesma estação (“base”) em diferentes momentos do dia, normalmente a cada 1 a 2 horas. As diferenças obtidas entre as sucessivas medições na “base”, irão produzir uma curva de desvio, onde no eixo das abcissas se lê o tempo (t) e no das ordenadas as medições gravimétricas efetuadas (fig. 15). Os valores podem então ser corrigidos subtraindo o valor do desvio pelo valor dos dados gravimétricos observados. Nas tabelas 8 a 14 dos anexos é possível consultar os valores de deriva obtidos.

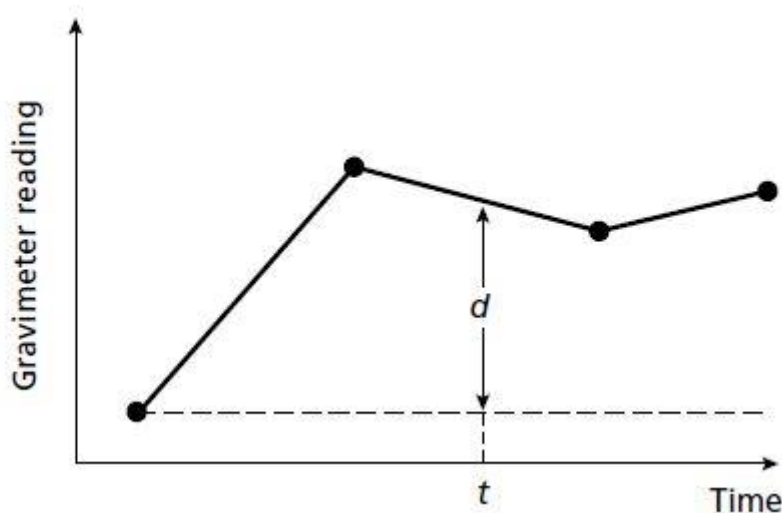


Figura 15: Curva da deriva instrumental (gravímetro). Correção do desvio (d) é subtraída ao longo de um tempo (t) (in Kearey, *et al.*, 2002)

Correção dos efeitos tidais

As forças gravíticas são influenciadas pelas posições relativas da Terra, Lua e Sol, que vão afetar as leituras obtidas no gravímetro. As variações das marés provocam uma mudança na gravidade em períodos de 12 h. Estas correções podem ser feitas com recurso a tabelas que são publicadas anualmente e também através de programas informáticos que têm capacidade de efetuar este tipo de correções. No caso atual estas foram feitas recorrendo a um *script tides.jar* de Frantisek Mantlik, onde basta inserir os dados da estação, ou seja, latitude, longitude, altitude e data (dia, hora, minuto) onde foi realizada a medida. O valor final dado pelo *script* encontra-se em μgal , sendo necessário posteriormente a divisão por 1000 de maneira a obtermos o valor em mGal.

Correção da Latitude

Uma vez que a Terra não é uma esfera perfeita, a aceleração da gravidade varia de acordo com a latitude. A correção de latitude é feita através da equação de Clairaut, que faz uma relação entre a gravidade e a latitude no elipsoide de referência (Kearey *et al.*, 2002), sendo ela:

$$g_{\varnothing} = g_0 (1 + k_1 \sin^2 \varnothing - k_2 \sin^2 2\varnothing)$$

Onde $g_{\varnothing}$ o valor previsto da gravidade na latitude ($\varnothing$) de cada estação; g_0 é o valor da gravidade no equador ($g_0 = 9780318 \text{ gu}$); k_1 e k_2 são constantes dependentes da forma e rotação da Terra ($k_1 = 0.0053024$ e $k_2 = 0.0000059$) (International Gravity Formula 1967 in Kearey *et al.*, 2002).

O valor obtido de $g_{\varnothing}$ dever ser subtraído ao valor observado, obtendo-se assim a correção da latitude.

Correção de Ar Livre

Considera que a diferença de altitude entre a medição efetuada na estação e a superfície do geoide, independentemente do tipo de rocha presente. É definida pela diferença entre a gravidade medida pelo nível do mar e uma altitude de h metros. A taxa de diminuição da gravidade com a elevação é de 0,3086 mGal por metro (Musset & Kahn, 2000). Os valores da correção de ar livre serão positivos caso a estação esteja acima da superfície do elipsoide, e negativos caso esta se encontre abaixo. A expressão desta correção é:

$$\text{Corr. Ar Livre} = 0.3806 \times h$$

Correção de Bouguer

As correções de Bouguer são uma importante base para a interpretação de dados gravimétricos, uma vez que explicam o efeito gravitacional entre a estação e a superfície equipotencial do elipsoide de referência. Tal é feito assumindo que existe uma camada infinita de densidade uniforme, ρ , cuja espessura h é a elevação da estação.

$$\text{Corr. Bouguer} = 0.04191 \times h \times \rho$$

Quando estamos a fazer as correções gravimétricas devemos ter em conta que se a correção de Ar Livre for positiva, a correção de Bouguer será negativa, enquanto que se a de Ar Livre for negativa, a de Bouguer será positiva.

Correção de Terreno

Ao contrário da correção de Bouguer, que considera a topografia plana, a correção de terreno tem em conta zonas de topografia acidentada como vales e colinas. A medição de gravimétrica obtida numa destas zonas requer uma correção aos dados obtido, tendo em conta tanto o excesso de massa acima da estação (no caso das colinas), ou a falta de massa abaixo desta (no caso dos vales). O cálculo destas correções pode ser feito recorrendo ao método de Hammer (1939). O ábaco de Hammer (fig. 16) consiste numa série de linhas radiais e concêntricas segmentadas com um grande número de compartimentos. A zona mais extensa estende-se cerca de 22 km (Kearey *et al.*, 2002). Este ábaco é sobreposto ao mapa topográfico da região estudada, com centro na estação, e a elevação média de cada compartimento é estimada. Após esse processo, é aplicada a seguinte equação (Kearey *et al.*, 2002):

$$C_{\text{Terreno}} = 0.4191 \frac{\rho}{n} (r_2 - r_1 + \sqrt{r_1^2 + z^2} - \sqrt{r_2^2 + z^2}) \text{ gu}$$

Onde ρ é a densidade da correção de Bouguer (M g m^{-3}); n é o número de compartimentos na zona; r_1 é o raio interno (m); r_2 é o raio externo (m); z é a diferença de elevação entre a estação e a elevação média de cada compartimento (m).

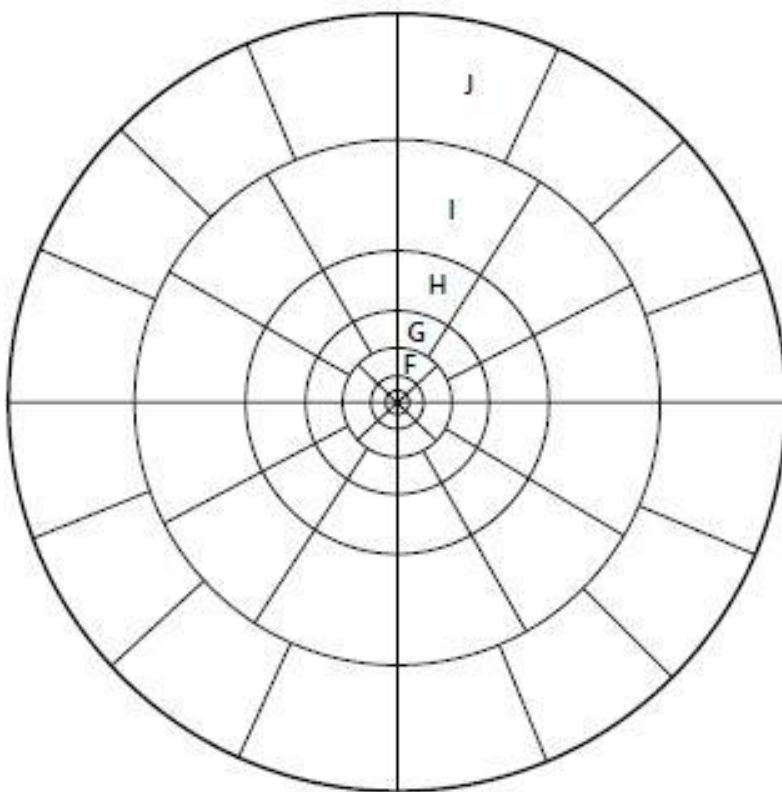


Figura 16: Ábaco usado para cálculos de correção de terreno. As zonas variam entre os 2m e os 22km e são usadas em mapas topográficos de diferentes escalas (in Kearey *et al.*, 2002)

No entanto o método do ábaco encontra-se obsoleto nos dias de hoje, uma vez que é possível recorrer a programas informáticos de maneira a obter as correções de terreno. No presente caso estas foram realizadas através do *software* MatLab (Almeida *et al.*, 2018), onde as correções de terreno (em mGal) foram somadas a todas as correções mencionadas anteriormente.

3.3 Densidade

As correções gravimétricas têm como fator determinante o valor da densidade, nomeadamente a densidade média das rochas que estão presentes na região em estudo. Esta pode ser determinada em laboratório, através de métodos diretos, que

consistem na recolha de amostras do substrato rochoso que posteriormente são analisadas através de métodos como o da balança de *Jolly*, entre outros. Nem sempre estes métodos são precisos, uma vez que podem existir rochas já bastante alteradas ou com alteração variável, que irão influenciar os valores da densidade. Por outro lado, há casos onde os materiais em profundidade apresentam densidades muito distintas quando comparados aos representados na superfície. A tabela 2 apresenta a densidade de algumas rochas e minerais.

Tabela 2: Densidade de rochas e minerais (adaptado de Milson, 2003 e Reynolds, 2002)

Densidade de rochas e minerais	
Rochas e minerais	Densidade (M g m ⁻³)
Areia seca	1.4 – 1.65
Areia saturada	1.95 – 2.05
Gnaisse	2.65 – 2.75
Carvão	1.2 – 1.5
Granito	2.52 – 2.75
Xisto	2.39 – 2.90
Sal	2.1 – 2.4
Aluvião	1.96 – 2.00
Basalto	2.7 – 3.1
Calcário	2.6 – 2.7
Gabro	2.7 – 3.3
Quartzito	2.6 – 2.7
Argilas	1.63 – 2.60

Assim sendo, para a obtenção da densidade é usado frequentemente o método de Nettleton (1939) de maneira a estimar um valor de densidade que minimize a correlação entre a anomalia de Bouguer e a altitude. A figura 17 ilustra o valor da densidade e correlação obtido por aplicação do método de Nettleton, que neste caso para Amares foi de 2.62 M g m^{-3} .

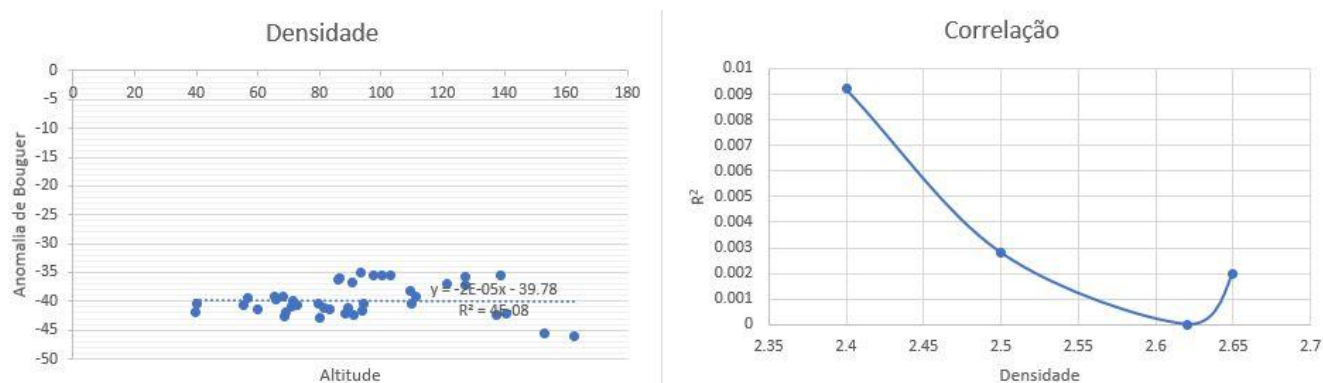


Figura 17: Densidade através do método de Nettleton (1939) em Amares

Tabela 3: Tabela de Correlação da densidade em Amares

Densidade	R ²
2.4	0.0092
2.5	0.0028
2.62	0.000004
2.65	0.002

Em Caldelas os dados foram divididos em dois, uma vez que os valores de anomalia de Bouguer diferiam de maneira significativa entre si. A divisão foi feita relativamente aos valores de altitude mais baixos (Oeste) e mais elevados (Este), respetivamente nas figuras 18 e 19. Consequentemente obtivemos valores de densidade de 2.3 M g m^{-3} para parte Oeste e 2.41 M g m^{-3} para Este. Ao observar a tabela 2 das densidades de algumas rochas e minerais, podemos ver que os valores de Amares estão dentro do intervalo proposto pelos autores. O caso de Caldelas pode-se justificar pelo facto de naquela região haver presença de falhas, água subterrânea e até termal (termas de

Caldelas), o que levou à meteorização e fracturação do granito e à sua densidade relativamente mais baixa quando comparada com os valores publicados.

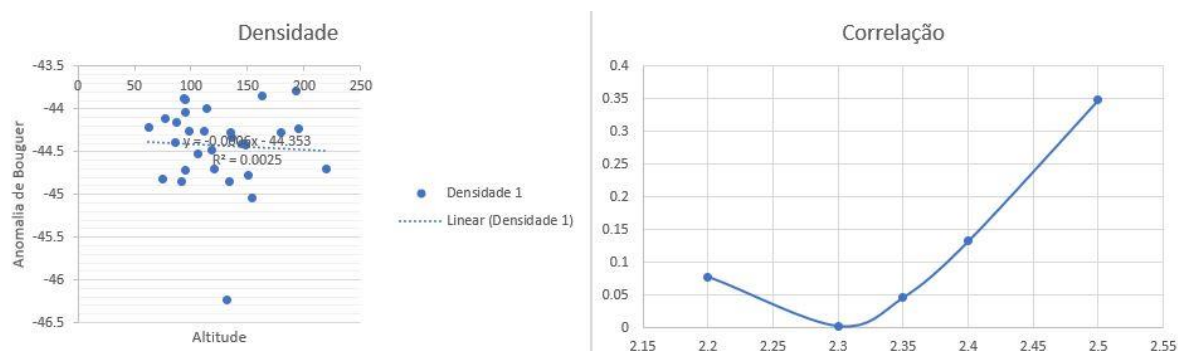


Figura 18: Densidade através do método de Nettleton (1939) em Caldelas (Oeste)

Tabela 4: Tabela de Correlação da densidade em Caldelas (Oeste)

Densidade	R ²
2.2	0.0781
2.3	0.0025
2.35	0.0461
2.4	0.1322
2.5	0.3482

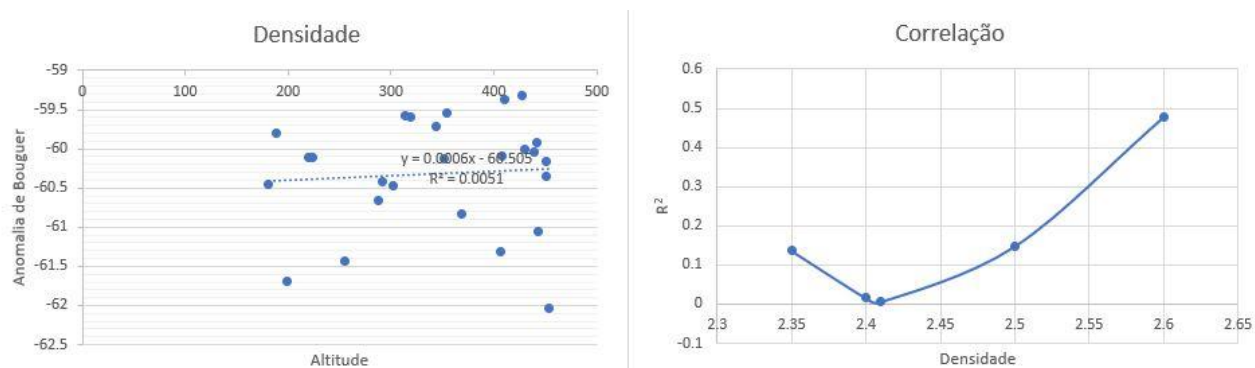


Figura 19: Densidade através do método de Nettleton (1939) em Caldelas (Este)

Tabela 5: Tabela de Correlação da densidade em Caldelas (Este)

Densidade	R ²
2.35	0.1362
2.4	0.0155
2.41	0.0051
2.5	0.1467
2.6	0.4768

3.4 Anomalia Completa de Bouguer

No final da correção de todos os dados gravimétricos recolhidos, é obtido o resultado da anomalia de Bouguer de cada estação medida. Esta anomalia é a diferença entre os valores gravimétricos observados (g_{obs}), ajustado pela soma algébrica de todas as correções referidas anteriormente, e os valores obtidos em cada estação (g_{base}). A variação da anomalia de Bouguer deve refletir a variação lateral de densidade. Um valor elevado de densidade num meio pouco denso dá origem a uma anomalia de Bouguer positiva, por outro lado, uma baixa densidade num meio bastante denso dá origem a uma anomalia de Bouguer negativa. (Reynolds, 2002).

O valor de g_{obs} foi calculado a partir da “Geodesia – Rede Gravimétrica” disponibilizada pela Direção-Geral do Território (DGT), que apresenta valores de gravidade absoluta por Portugal Continental. A este valor de foi aplicada a correção da deriva instrumental e correção dos efeitos tidais. Assim sendo, o valor da Anomalia Completa de Bouguer traduz-se na equação:

$$\text{Anomalia Completa de Bouguer} = g_{obs} - g_0 \pm \text{Correção Ar Livre} \pm \text{Correção Bouguer} + \text{Correção Terreno}$$

3.5 Anomalia Regional e Residual

As anomalias de Bouguer são frequentemente caracterizadas por anomalias amplas, com grandes dimensões e mais profundas denominadas anomalias regionais. Sobrepostas a estas, ocorrem anomalias mais tênues, pouco perceptíveis e de menores dimensões, as anomalias residuais (fig. 20). Por norma, estas anomalias residuais em levantamentos gravimétricos despertam mais interesse, sendo o primeiro passo a remoção da anomalia regional de modo a isolar a residual (Kearey *et al.*, 2002).

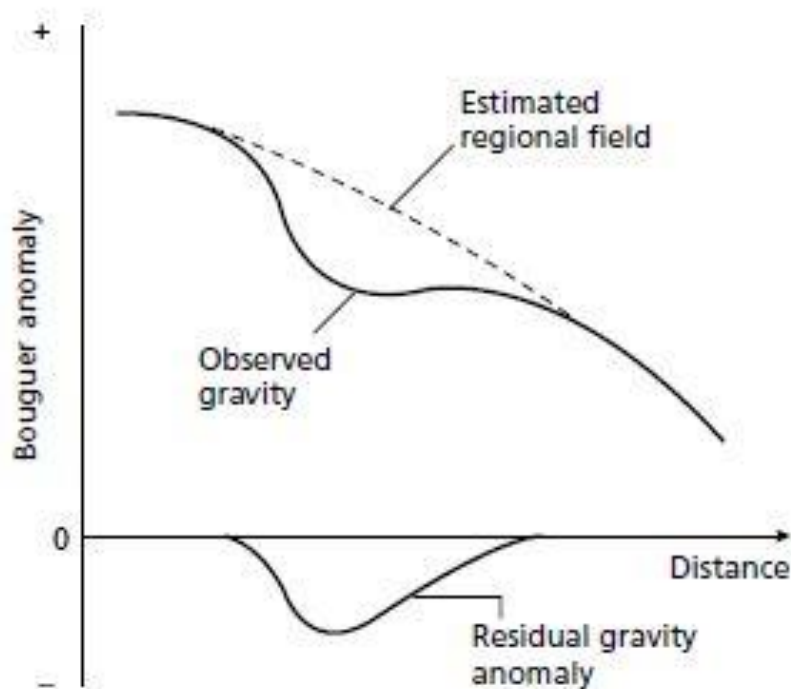


Figura 20: Separação das anomalias regional e residual a partir da anomalia de Bouguer observada (*in* Kearey *et al.*, 2002)

No entanto a subtração do efeito regional é um problema no que toca à interpretação dos dados obtidos. O uso de *softwares* com aplicação de diversos filtros é uma opção cada vez mais viável e utilizada para a separação destas anomalias. De maneira a potenciar o uso dos *softwares* e perceber se estaremos a utilizar os filtros adequados ao nosso estudo, é importante a recolha de informações acerca de estruturas (falhas, zonas de cisalhamento, dobras, etc.) e densidade distribuídas pela área antes de realizar a separação das Anomalias de Bouguer.

Num artigo publicado por Martínez-Moreno em 2015, o autor faz comparação dos diferentes métodos de interpolação possíveis de utilizar neste tipo de trabalhos utilizando como exemplo “Gruta de las Maravillas (SW Spain)”. Nesta publicação, utiliza métodos de interpolação como *kriging*, curvatura mínima, método polinomial,

transformação *Fast-Fourier* e *moving average method* para saber qual é o melhor aplicar no caso em questão. Assim, tal como o autor conclui, para realizar a separação dos nossos mapas, foram utilizados o método de mínima curvatura para obter o mapa de anomalia de Bouguer completa e o método polinomial para alcançar o mapa de anomalia de Bouguer residual.

3.6 Campanha Gravimétrica

A campanha de prospeção geofísica iniciou-se com a realização de trabalho prévio de gabinete. Assim, através do *software Google Earth*, definiram-se e delimitaram-se as áreas de estudo: Amares e Caldelas. Já com estas definidas e recorrendo ao *QGIS*, foram traçados todos os acessos existentes em cada uma das áreas, separando-os posteriormente em “acessos de carro” e “acessos de pé posto”. Com esta etapa concluída e com a noção da dimensão das zonas a estudar, foi possível definir o espaçamento que queríamos aplicar entre os pontos, criando uma grelha que facilitou a distribuição destes. Foram assim definidas, em ambos os casos, uma rede pontos equidistantes entre si, 300 em 300 m.

Com os pontos projetados no *Google Earth*, procedeu-se ao reconhecimento inicial das áreas de estudo, cujo objetivo passou por descrever os arredores do local onde iriam ser feitas as medições, tirar fotografias e recolher coordenadas mais exatas com um GPS de mão. Este reconhecimento foi importante para perceber se os locais escolhidos não pertenciam a propriedades privadas, zonas onde os acessos não eram favoráveis e ainda sítios com cobertura vegetal densa que deturpassem e impedissem o bom funcionamento do GPS de mão. Com todas estas atenuantes e tendo em conta a margem de erro do GPS, grande parte dos pontos não ficaram equidistantes entre si. No entanto, tal não afetou a campanha de recolha de dados. Com o reconhecimento inicial concluído, deu-se a preparação da campanha gravimétrica. Esta começou pela definição de “estações base” para cada um dos locais, que consistem num local do mapa de acesso fácil e centralizado, onde serão tiradas medidas em diferentes momentos do dia, normalmente num espaço entre uma e duas horas, devido principalmente a mudanças de temperatura, pressão atmosférica e do desgaste das próprias molas do equipamento. Com estas “bases” definidas, foi então possível planear os trajetos que permitam rentabilizar ao máximo o nosso dia de trabalho. O plano para cada uma das áreas de estudo passou por:

3.6.1 Amares

A área total de Amares é de cerca 11.52 km² (3.2 km por 3.6 km) e encontra-se dividida Norte – Sul pelo Rio Cávado. Foram definidos 4 perfis aproximadamente E-W (dois a Norte e dois a Sul), e ainda uns pontos adicionais próximos do Cavadinho. Uma vez que área apresenta uma dimensão considerável e é atravessada pelo rio, foram definidas “duas estações base”: uma a Norte e outra a Sul do Cávado. A escolha destes locais “base” deveu-se ao facto de serem de fácil acesso e centralizados. Com os acessos traçados e com auxílio da grelha mencionados inicialmente, foram então marcados os pontos onde seriam realizadas medições. No total obtivemos 43 pontos para a área de estudo de Amares. Estes pontos foram marcados com uma direção sensivelmente E-W. Na figura 21 está ilustrado o mapa da área com as estações marcadas após o reconhecimento inicial com o GPS de mão e os trajetos traçados inicialmente.

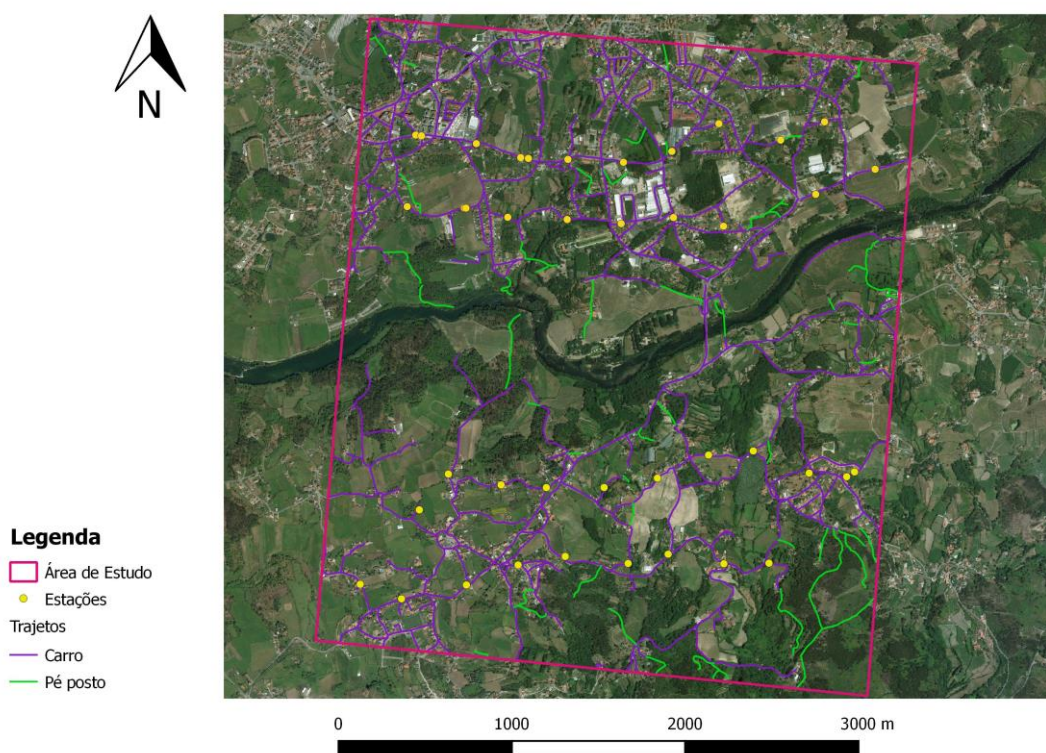


Figura 21: Mapa de acessos de Amares (adaptado do *Google Earth*)

3.6.2 Caldelas

No caso de Caldelas, a área de estudo é um pouco menor, tendo aproximadamente 9.36 km² (5.2 km por 1.8 km), apesar de ter um comprimento bastante superior quando comparado a Amares. Por este motivo, a abordagem para esta zona foi diferente. Neste caso em particular, não recorremos a perfis para definir as estações,

mas sim a pontos distribuídos por toda a área. Tal aconteceu por haver duas estruturas já conhecidas (uma Norte-Sul, outra Este-Oeste), mas também pela área Caldelas apresentar uma vegetação mais densa e uma quantidade menor de acessos (nomeadamente na parte Este do mapa) quando comparada a Amares. No entanto, a estratégia de marcação de pontos foi idêntica, tentando distanciá-los 300 m entre si. Na zona mais urbanizada e com vias de comunicação (a Oeste) ainda foi possível aplicar esta equidistância entre os pontos. Quando nos começamos a deslocar para Este, tal deixa de ser possível, havendo aí menos estações e sendo mais espaçadas entre si. Em Caldelas foram feitas 57 medições, preferencialmente numa direção N-S. Na figura 22 está ilustrado o mapa da área com as estações marcadas após o reconhecimento inicial com o GPS de mão e os trajetos traçados inicialmente. Nesta área não foram distinguidos os trajetos em “carro” dos trajetos realizados a pé. Tal deveu-se ao facto de na área de Caldelas só termos utilizado trajetos de carro, uma vez que os caminhos pedestres estavam cobertos de vegetação densa que não era atravessável.

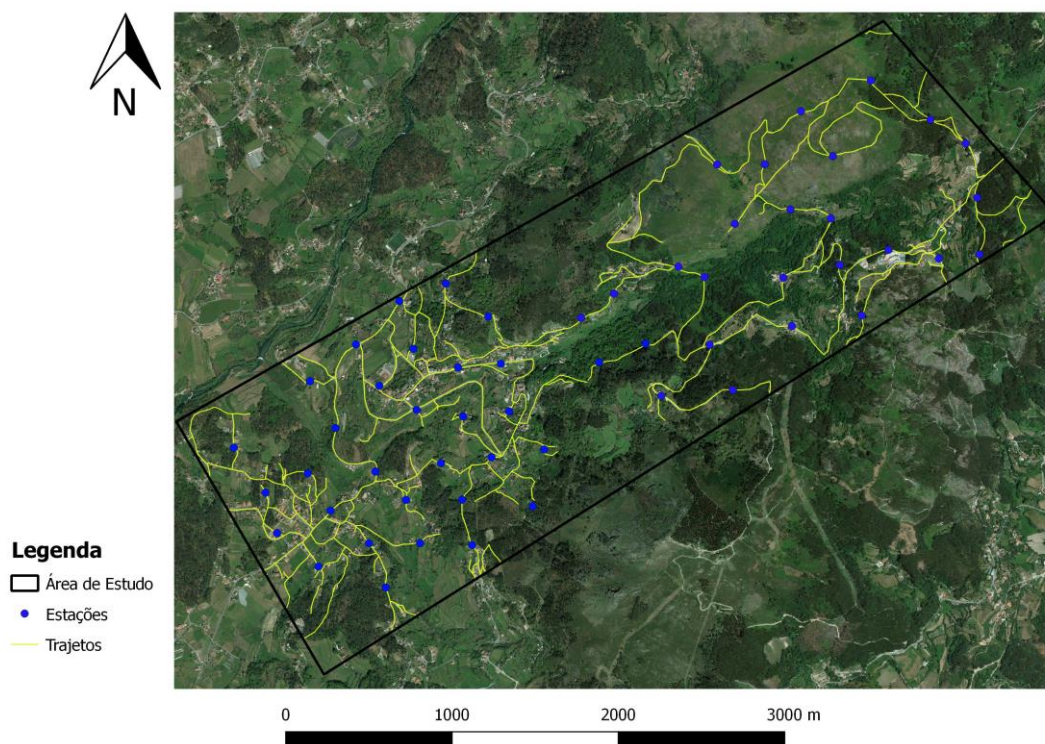


Figura 22: Mapa de acessos de Caldelas (adaptado do Google Earth)

3.6.3. Trabalho de campo e medições com o gravímetro

Após o trabalho de gabinete descrito anteriormente, deu-se início à campanha gravimétrica. Para a área de Amares, esta decorreu nos dias 2 e 3 de abril. Na área Caldelas ocorreu nos dias 9,10 e 11 do mesmo mês. O trabalho de campo iniciou-se pelo carregamento do jipe com o material necessário: gravímetro e respetivo “prato”; GPS de bastão; nível; prancheta com os mapas impressos e estações assinaladas; fichas de trabalho para apontar os valores medidos e outros parâmetros; termómetro; spray; pregos; estacas; bússola; martelo; máquina fotográfica (neste caso, telemóvel com câmara incorporada); material de escrita. Importante também referir o uso da aplicação *Google Maps* através do telemóvel, que permitiu projetar as coordenadas obtidas no reconhecimento inicial com o GPS de mão, e facilitou o acesso aos locais onde se realizaram as medições.

Este trabalho é idealmente feito por duas/três pessoas. Com todo material preparado, deu-se início o trabalho de campo. A primeira paragem realizada foi na “estação base”, onde começamos por assinalar o local exato onde é feita a medida com um prego/estaca ou, no caso de o sítio estar pavimentado, sinalizamos com spray. Este processo facilita as medições que serão feitas ao longo do dia na nossa “base”. O método para realizar as leituras é igual para todas as estações e passa por:

- Obtenção das coordenadas do local com auxílio do GPS de bastão (estas estão suscetíveis a mudanças, caso no local se encontre vegetação aérea densa e que não permita a receção do sinal. Nesses casos tenta-se, na área circundante, arranjar um sítio com boa cobertura de rede.
- Uso correto o gravímetro. Este processo pode ser demorado para um novo utilizador, visto que este é um instrumento especialmente sensível e que apresenta alterações de valores ao mínimo toque/turbulência. À medida que o utilizador vai ganhando experiência, o tempo entre estações diminui. Assim, os passos para obter corretamente uma medida são:

Acamar a base o máximo possível. Tal como referido na listagem de material necessário, com o uso do gravímetro, é também utilizado um prato côncavo que o permite horizontalizar em relação ao solo. É usado o nível para garantir que a base está nivelada.

Concluído o passo 1, segue-se a utilização do gravímetro. Com este em cima do prato já horizontalizado, dá-se o alinhamento dos níveis presentes no próprio instrumento

através dos mecanismos que este possui. Após termos a certeza e conferirmos que tudo está nivelado, procedemos à leitura das divisões de gravímetro.

A leitura das divisões de gravímetro é feita através do óculo, onde alinhamos o feixe de luz que nele se encontra com ajuda do parafuso de restituição, e quando este se encontrar perfeitamente alinhado, tiramos o valor. O valor da medição é dado pelo número maior que se encontra na janela do parafuso, seguido do número que estiver alinhado com o zero e, por fim, o nónio (Ex.: 1211,4). Aos resultados obtidos, serão posteriormente aplicadas as correções necessárias para determinar o valor de g expresso em mGal.

Após realizada a leitura, esta é anotada na ficha de campo juntamente com as horas a que foi medida e com o valor da temperatura sentida naquele momento. Seguem-se então as medições nas restantes estações tendo sempre em mente, que, num espaço máximo de duas horas, é necessário regressar à “base” para voltar a realizar outra leitura. Durante o dia realizamos cerca de quatro/cinco medições na estação “base”. No final do trabalho de campo, procede-se ao tratamento dos dados e respetivas correções. Nas figuras 23 é observável o parafuso de acerto, o óculo e a fonte de luz, enquanto que na figura 24 temos o utilizador a efetuar cuidadosamente uma medição.



Figura 23: Componentes do gravímetro (vistos de cima)



Figura 24: Medições efetuadas cuidadosamente pelo utilizador

Capítulo 4. Resultados

As correções gravimétricas que deram origem à anomalia de Bouguer, foram efetuadas com recurso a folhas de *Excel*. Esses resultados encontram-se nas tabelas 6 e 7 dos Anexos.

Após todos os processos referidos no capítulo 3 das metodologias, chega o momento de gerar os resultados. Com recurso ao *software Oasis Montaj*, foram obtidos os mapas de Anomalia de Bouguer Completa, Anomalia Regional e Anomalia Residual. Os dados começaram por ser interpolados através do algoritmo curvatura mínima. Quando se fala de interpolação de dados, há dois algoritmos que são utilizados regularmente: o *kriging* e o *curvatura mínima*. Ao gerar os mapas de anomalia de Bouguer completa com ambos, foi possível verificar que as diferenças eram pouco significativas entre ambos. A escolha acabou por recair no algoritmo curvatura mínima devido ao facto de os valores se aproximarem um pouco mais aos obtidos pelas correções efetuadas na folha Excel. No que diz respeito aos mapas de anomalia residual, após consulta bibliográfica e opiniões de utilizadores deste *software*, estas foram feitas com recurso ao método polinomial. No trabalho já referido anteriormente de Martínez-Moreno de 2015, o autor refere que os polinómios de mais baixo grau são os que dão resultados mais aproximados da realidade. Assim sendo e após a geração dos 3 mapas de anomalia residual (polinómio de 1ª, 2ª e 2ª ordem), optamos por, em ambos os casos, usar o mapa obtido pelo polinómio de 2ª segunda ordem. Foram também gerados 3 mapas de anomalia regional, onde apenas apresentaremos o exemplo do segundo, visto ser o que apresenta uma informação mais específica. Os resultados que se seguem estão divididos por área de estudo, começando com Amares e seguindo-se Caldelas.

4.1 Amares

4.1.1 Anomalia Completa de Bouguer

O mapa de Anomalia Completa de Bouguer está ilustrado na figura 25 e foi obtido através da interpolação dos dados com o algoritmo curvatura mínima. A densidade utilizada foi a conseguida através do método de Nettleton referido no capítulo anterior e foi $2,62 \text{ g/cm}^3$. Os valores de anomalia variam entre os -35.6 e -47.0 mGal , sendo perfeitamente visível pela imagem uma brusca diferença de densidades, nomeadamente a sul do rio. O baixo valor de anomalia observável no canto NE, poderá estar associado à falha provável cartografada na carta Folha 5-D (Braga) à escala 1:50 000 da Carta Geológica de Portugal.

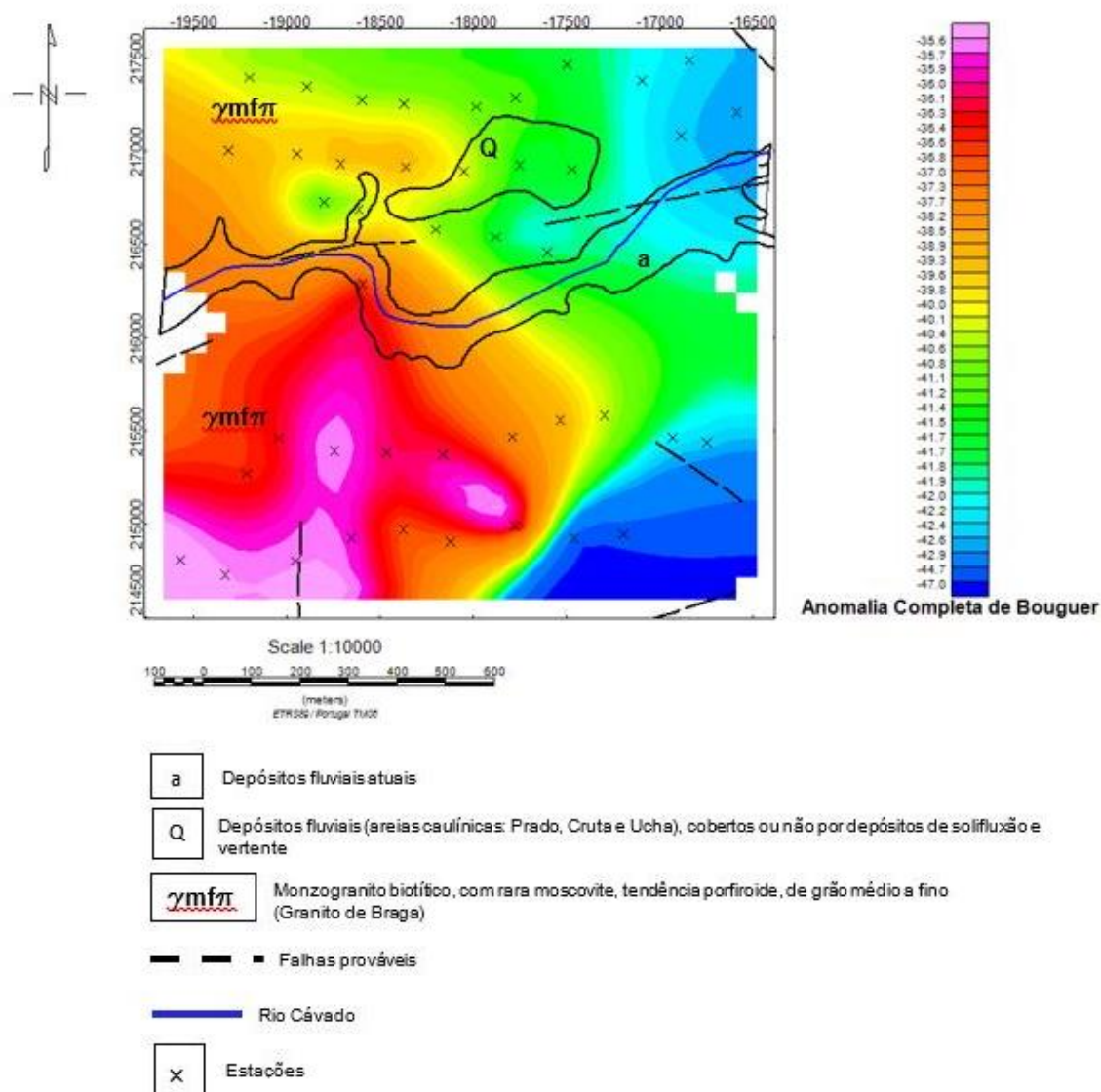


Figura 25: Mapa de Anomalia Completa de Bouguer (Amares)

4.1.1 Anomalia Regional

A anomalia regional (fig. 26) varia entre -35.4 mGal e -45.7 mGal, apresentando-se crescente de Nordeste (NE) para Sudoeste (SW), ou seja, nesta direção os valores tendem a ficar cada vez mais negativos. Este mapa confirma a tendência presente na Península Ibérica.

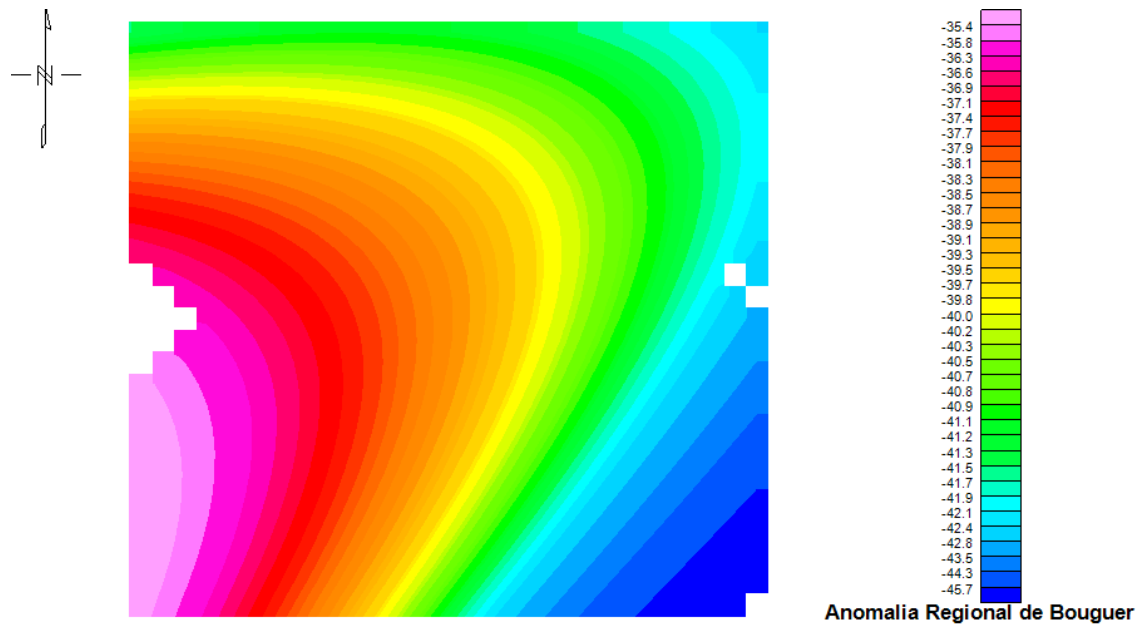


Figura 26: Mapa de Anomalia Regional (Amare)

4.1.2 Anomalia Residual

O mapa da anomalia residual fornece as informações mais importantes acerca de estruturas e contatos uma vez que houve a redução do efeito regional. Tal como referido anteriormente, a figura 27 ilustra o mapa resultante da aplicação do método polinomial de segunda ordem. Assim, temos que esta varia entre os -2.0 mGal e 3.1 mGal. À primeira vista é observável o aluvião e o rio com cursos bem marcados, assim como a baixa densidade associada ao quaternário. No entanto esta parece também estar relacionada com as falhas prováveis cartografadas. Tal como no mapa de anomalia completa de Bouguer, é bem notável o contacto brusco que ocorre a Sul do rio entre materiais de densidade mais alta (cor de rosa) e muito mais baixa (azul). Os contrastes de densidades presentes por todo o mapa, podem indicar a presença de fraturas que serão importantes para o trabalho que realizamos.

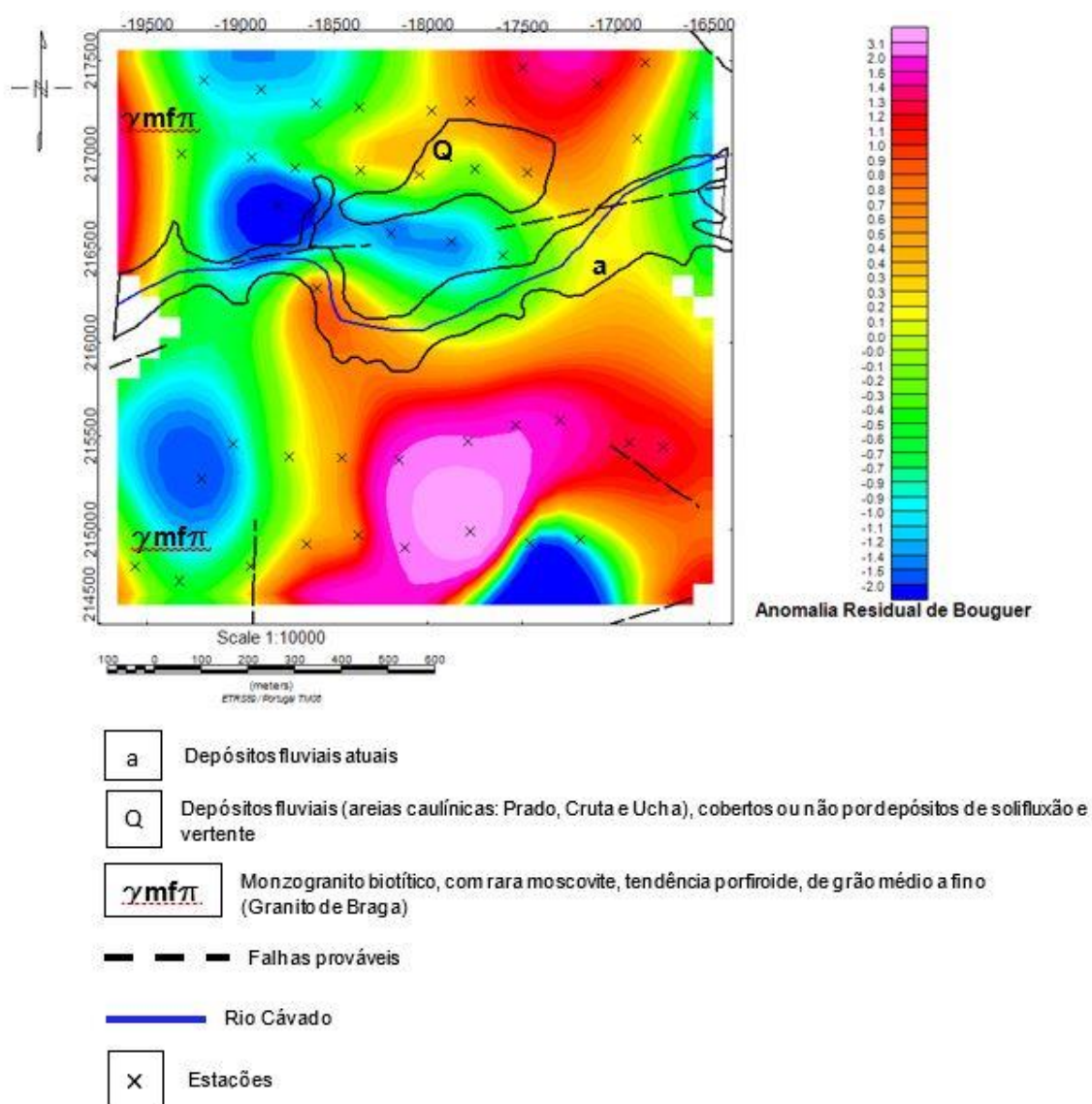


Figura 27: Mapa de anomalia residual (polinómio de 2ª ordem) de Amares

4.2 Caldelas

4.2.1 Anomalia Completa de Bouguer

No caso de Caldelas, o mapa de anomalia completa de Bouguer (fig. 28) foi obtido através do mesmo método de interpolação. No que diz respeito à densidade, por termos duas zonas com altitudes que diferem mais de 100 m, não foi possível utilizar a mesma densidade para toda a área. No entanto as densidades usadas não diferem anormalmente entre si. Temos então a parte mais a Oeste (a tender para SW), com densidade de 2.3 g/cm^3 , e na região mais a Este (tendência pra NE) com 2.41 g/cm^3 . A observação do mapa indica realmente que temos duas densidades distintas em zonas opostas do mapa. A escala varia entre os -43.9 mGal e os -61.4 mGal .

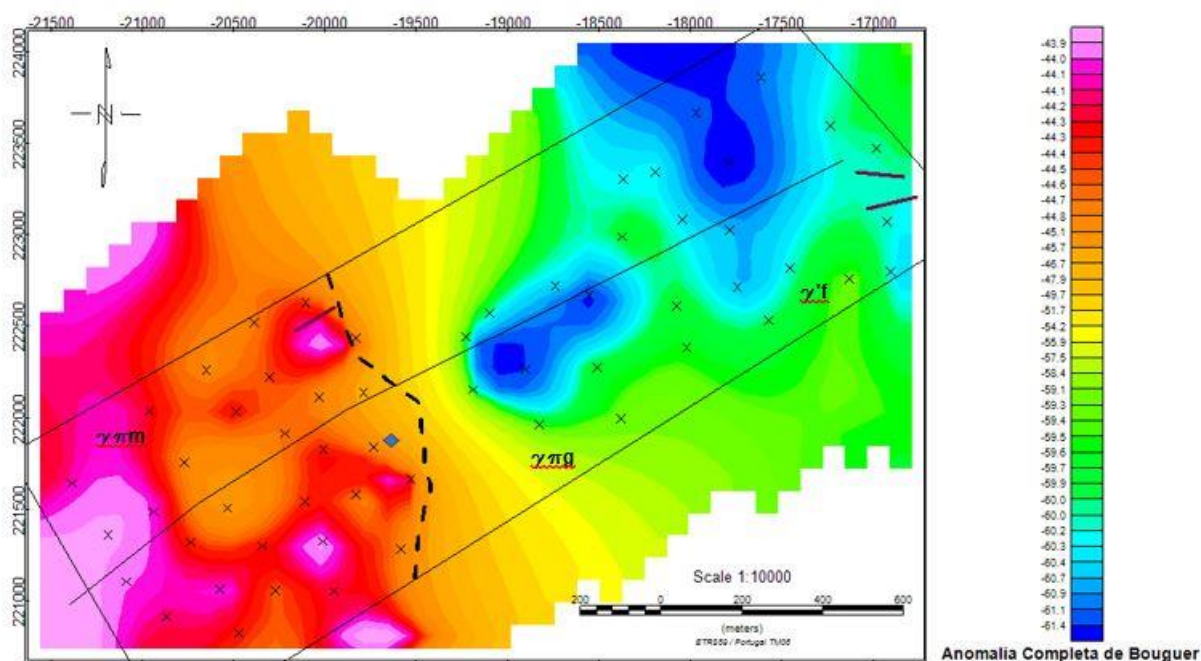


Figura 28: Mapa de Anomalia Completa de Bouguer (Caldelas)

- | | |
|---------------|---|
| $\gamma\pi g$ | Granito porfiroide de grão grosseiro ou médio a grosseiro |
| $\gamma\pi m$ | Granito porfiroide de grão médio ou fino a médio (Granito de Braga) |
| $\gamma'f$ | Granito não porfiroide de grão fino |
| | Filões de rocha básica |
| | Limite geológico |
| | Falha |
| | Área de estudo |
| | Estações |
| | Termas de Caldelas |

4.2.2 Anomalia Regional

O mapa ilustrado na figura 29, representa a anomalia regional que está concordante com a obtida em Amares. Assim, temos valores de anomalia que variam entre os -43.4 mGal e os -62.1 mGal, com um movimento crescente para NE. As elevadas altitudes desta zonas e o facto de ter uma menor densidade, também contribuem de maneira significativa para esta tendência.

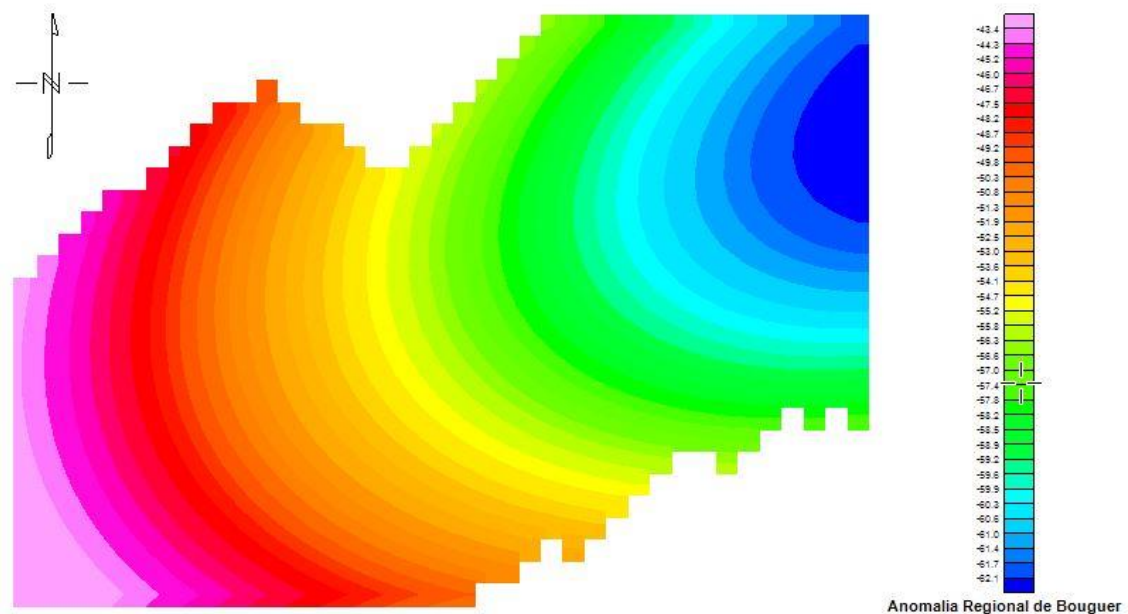


Figura 29: Mapa de Anomalia Regional (Caldelas)

4.2.3 Anomalia Residual

O mapa gerado para interpretar a anomalia residual de Caldelas, foi obtido através do método polinomial de segunda ordem (fig. 30). Os valores variam entre 7.9 mGal e -3.6 mGal. Estando esta zona inserida num local que têm umas termas, há circulação de fluídos quentes em profundidade e a rocha está muito alterada. Tal poderá justificar a baixa densidade obtida no método de Nettleton, uma vez que a água provoca meteorização dos granitos, tornando-os mais alterados e caulinizados. A diferença brusca de densidade observada perto do limite geológico provável, confirma esse limite e demonstra claramente que não estamos perante litologias idênticas. No campo também é possível observar que o granito se encontra muito deteriorado. A observação da fotografia aérea parece confirmar este facto, uma vez que é possível marcar falhas prováveis bem visíveis. A parte de anomalia mais negativa (a azul) sugere que nessa zona possa existir uma caixa de falha. Por outro lado, as variações de altitude bastante elevadas desta zona também poderão influenciar os valores obtidos.

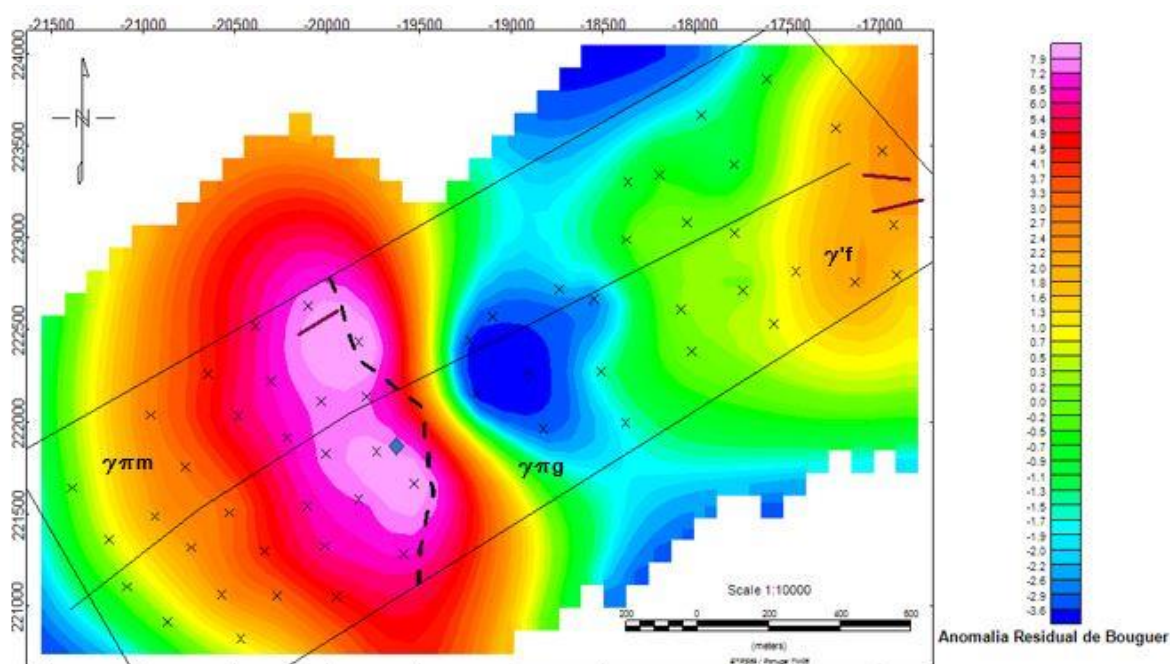


Figura 30: Mapa de anomalia residual (polinómio de 2ª ordem) de Caldelas

- | | |
|---------------|---|
| $\gamma\pi g$ | Granito porfiroide de grão grosseiro ou médio a |
| $\gamma\pi$ | Granito porfiroide de grão médio ou fino a médio (Granito de Braga) |
| $\gamma'f$ | Granito não porfiroide de grão fino |
| | Filões de rocha básica |
| | Limite geológico |
| | Falha |
| | Área de estudo |
| | Estações |
| | Termas de Caldelas |

Capítulo 5. Conclusões

A realização deste estudo gravimétrico conduziu às seguintes conclusões relativas às zonas de estudo:

- Tanto Amares como Caldelas são zonas com potenciais locais de interesse, uma vez que com uma área de dimensões aceitáveis e uma rede de amostragem relativamente pequena em relação às campanhas gravimétricas de grande dimensão, apresentaram resultados positivos e animadores em termos de identificação de estruturas frágil-dúcteis profundas;
- Visto se tratar de áreas com uma litologia semelhante por todas a sua extensão, o facto de se observar diferenças de densidade notáveis nos mapas elaborados, leva a crer que também poderá haver água a circular em profundidade.
- Os contactos bruscos que são observáveis em ambos os mapas de anomalia residual, indicam a presença de estruturas, que são confirmadas pelas baixas densidades de algumas zonas da área;
- Em relação ao potencial geotérmico, uma vez que há aproveitamento turístico e medicinal nas termas do Gerês com indícios que possam ter outras estruturas associadas, a elaboração deste tipo de trabalhos permite complementar a informação já existente e potenciar trabalhos futuros da mesma vertente.

Trabalhos futuros

Este estágio e este trabalho contribuíram positivamente para a minha formação, tanto profissional como futura geóloga, mas também do ponto de vista de desenvolvimento pessoal. Desenvolvi competências, adquiri conhecimentos e perspetivei novas possibilidades até então desconhecidas. Estou satisfeita com trabalho realizado ao longo do estágio, e creio que consigo olhar o meu futuro profissional de outra forma.

Seria interessante dar continuidade a este tema e esta campanha, alargando as áreas de estudo e aumentando a rede de pontos de amostragem, com menos espaçamento entre estações. O gravímetro é realmente um aparelho que exige prática e experiência, uma vez que com a sua extrema sensibilidade e com a influência de diversos fatores, os valores obtidos são facilmente manipulados, o que pode passar despercebido a um utilizador com pouca experiência.

O facto deste trabalho ter uma aplicação ao potencial geotérmico duma região foi extremamente interessante indo de encontro a área temática de muito interesse para mim.

Capítulo 6. Referências bibliográficas

- Almeida, F., Lourenço, M., Matias, M., Martins, A., 2018. A MatLab script to perform gravity terrain corrections using DEM-EU digital elevation model in a teaching lab. Near Surface Geoscience Conference & Exhibition 2018.
- Cabral, M., Cramez, P., Moreira, A., Noronha, F., Oliveira, J. M. S., Pereira, E., Farinha Ramos, J.M., Reis, M.L., Ribeira, A., Ribeiro, M. L., Simões, M., 1992. Carta Geológica de Portugal na Escala 1/200000. Notícia Explicativa da Folha 1. Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa, 1992.
- Carta Geológica de Portugal. Escala 1:50000. Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa. Folha 5B – Ponte da Barca.
- Carta Geológica de Portugal. Escala 1:50000. Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa. Folha 5D – Braga.
- Carta Militar de Portugal do Serviço Cartográfico do Exército. Escala 1:25000. Lisboa. Folha 42 – Vila Verde.
- Carta Militar de Portugal do Serviço Cartográfico do Exército. Escala 1:25000. Lisboa. Folha 56 - Amares.
- Castro P., Coke C., Ferreira N., Llana-Fúnez S., Pamplona J., Pereira E., Pimenta P., Rodrigues B.C., Rodrigues J. (2010). Evolução e Estrutura da Zona de Cisalhamento Dúctil Malpica-Lamego: Livro Guia da Excursão pós-congresso. Rodrigues B.C. e Pamplona J. (Eds), VIII Congresso Nacional de Geologia, Braga. Pp. 11-13.
- Dentith, M. & Mudge, T. Stephen. 2014. Geophysics for the Mineral Exploration Geoscientist. 1st Ed. 516 pp., Cambridge University Press. United Kingdom
- Dias, G., Noronha, F., Almeida, A., Simões, P. P., Martins, H. C. B., Ferreira, N., 2010. Geocronologia e Petrogénese do Plutonismo Tardi-Varisco (NW de Portugal): Síntese e Inferências sobre os processos de acreção e reciclagem crustal na Zona Centro – Ibérica. Ciências Geológicas – Ensino e Investigação e sua História. Volume I, Capítulo II – Petrologia e Geoquímica. Pp 143 – 160.
- Dias, R., Ribeiro, A., 1995. The Ibero-Armorican Arc: a collision effect against an irregular continent? Tectonophysics 246, 113– 128.
- Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG). 2017. Geotermia - Energia Renovável em Portugal. 1ª Edição. 54pp. Lisboa.
- Farias, P., Gallastegui, G., Lodeiro, F.G., Marquinez, J., Parra, L.M.M., Catalan, J.R.M., Macia, G.P., Fernanzer, L.R.R. (1987). Appontaciones al conocimiento de la litoestratigrafia y estrutura de Galicia Central. IX Reuniao de Geologia do Oeste

Peninsular. Publ. Mus. Lab. Mineral. Geol. Fac. Cien. Univ. Porto, Program Abstracts 1, 411–431.

- Ferreira, N., Dias, G., P. de Meireles, Carlos A., Sequeira Braga, M.A., 2000. Notícia Explicativa da Folha 5-D Braga na escala de 1:50000. 2ª edição. Departamento de Geologia. Instituto Geológico e Mineiro. Lisboa, 2000
- Gonçalves, L.M., 2013. Estudo geoarqueológico com georadar. Aplicação aos contextos arqueológicos da Pré-História recente à Proto-História do NW de Portugal. 272 pp., Universidade do Minho (Tese de Doutoramento).
- Hinze, W. J., Von Frese, R. R. B. & Saad, A. H., 2013. Gravity and Magnetic Exploration: Principles, Practices, and Applications. Cambridge University Press.
- Julivert, M., Fontbote, J., Riveiro, A., Conde, L. (1974). Memoria explicativa del Mapa Tectonico de la Peninsula Iberica y Baleares a escala 1:1000000. Inst. Geol. y Minero de Espana, Madrid, Spain, 133 pp.
- Kearey, P., Brooks, M., Hill, I. 2002. An Introduction To Geophysical Exploration. 3rd Ed., 281 pp., Blackwell Science Ltd. Oxford.
- Kirsch, R. 2006. Groundwater Geophysics, A Tool For Hidrogeology. 1st Ed., 500 pp., Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Lourenço, C., Cruz, J., 2006. Os Recursos Geotérmicos de Baixa Entalpia em Portugal Continental e seu Tipo de Aproveitamento. Boletim de Minas, 41 (2): 175-186.
- Marques Moura, R.M. & Senos Matias, M.J., 1999. Radar de Penetração (GPR: Ground Penetrating Radar) aplicado ao estudo de fracturação em mármore do anticlinal de Estremoz (Alentejo-Portugal). Comunicações Instituto Geológico e Mineiro, t 26. Pp 289 – 300.
- Martínez-Moreno, F. J., Galindo-Zaldívar, J., Pedrera, A., Teixidó, T., Peña, J. A., & González-Castillo, L., 2015. Regional and residual anomaly separation in microgravity maps for cave detection: The case study of Gruta de las Maravilhas (SW Spain). Journal of Applied Geophysics, 114, 1-11.
- Medeiros, A., Texeira, C., Lopes, J., 1975. Carta Geológica de Portugal na Escala de 1/50000. Notícia Explicativa da Folha 5-B Ponte da Barca. Direção Geral de Minas e Serviços Geológicos. Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa, 1975.
- Milson, J. 2003. Field Geophysics. 3rd Ed., 249 pp., Other Wiley Editorial Offices. England.
- Musset, E. Alan & Kahn., M. Aftab. 2000. Looking into the Earth. An Introduction to geological geophysics. 1st Ed., 493 pp., Cambridge University Press. USA.

- Nettleton. 1939. Determination of Density for Reduction of Gravimetry Observations. Paper read at Annual Meeting, Oklahoma City, Oklahoma, March 21, 1939. Pp. 176-183
- Noronha, F., Ramos, J. M. F., Rebelo, J. A., Ribeiro, A., Ribeiro, M.L., 1979 Essai de correlation des phases de deformation hercynienne dans le Nord-Ouest Péninsulaire. Bol. Soc. geol. Portg., 21, 2/3, 227-237.
- Pereira, B., Azevedo, J., Oliveira, J., Dias, P., Leal Gomes, C., Marta Fernandes, J., Carvalho, J., 2013. PROSPEG – Projecto de prospecção, análise distanciada e detecção remota de pegmatitos. 146 pp. Sinergio - Soluções Aplicadas em Geologia, Hidrogeologia e Ambiente, Lda.
- Perez-Estaun, A., Bea, F., Bastida, F., Marcos, A., Martinez Catalan, J.R., Martinez Poyatos, D., Arenas, R., Diaz Garcia, F., Azor, A., Simancas, J.F. & Gonzalez Lodeiro, F. (2004). La cordillera varisca europea: el Macizo Iberico. In: Vera, J.A. (Eds.). Geologia de Espana. Soc. Geol. Espana/Inst.Geol. Min. Espana (SGE/IGME), Madrid, pp. 21-25.
- Pinto, F. 2014. Estudo da distribuição do Estanho na Mina da Panasqueira. 236 pp. Faculdade de Ciencias da Universidade do Porto. (Tese de Mestrado)
- Reynolds, J. M. 2011. An Introduction To Applied and Environmental Geophysics. 2nd Ed., 712 pp., JohnWiley & Sons, Ltd. UK
- Ribeiro, A., 1974. Contribution à l'étude tectonique de Trás-os-Montes Oriental. Serviços Geológicos de Portugal, Direcção-Geral de Minas e Serviços Geológicos. Memórias dos Serv. Geol. Portugal. Nova Série, V.24, 168 p.

Webgrafia

Direção-Geral de Energia e Geologia (DGEG), 2019

<http://www.dgeg.gov.pt/wwwbase/wwwinclude/ficheiro.aspx?access=1&id=6841>

Direção Geral do Território (DGT), Geodesia – Rede Gravimétrica, 2019

<http://mapas.dgterritorio.pt/geodesia/geodesiaredegravimetricawms.html>

P., Bruno, 2015. A Cartografia Geológica no Ordenamento do Território,

<http://www.sinergio.pt/cartografia-geologica-no-ordenamento-do-territorio/>

Anexos

Tabela 6: Dados de Anomalia Completa de Bouguer (Amares)

Estações	Latitude	Longitude	X	Y	Altitude	Anomalia completa de Bouguer
Base1 (B1)	41.62156477	-8.346116406	-17752.063	216930.871	79.92	-41.66862092
EA2	41.62125983	-8.349686472	-18049.677	216897.743	71.51	-39.98768619
EA3	41.62144315	-8.353448061	-18363.117	216918.897	65.51	-39.20921015
EA4	41.6215916	-8.357628294	-18711.455	216936.283	56.8	-39.31507358
EA5	41.62206446	-8.360436175	-18945.325	216989.415	66.05	-39.55882935
EA6	41.62221672	-8.364887083	-19316.215	217007.313	68.15	-39.18492826
EA7	41.62135107	-8.342740104	-17470.74	216906.446	83.18	-41.45623584
EA8	41.62576049	-8.363517657	-19201.037	217400.6	94.42	-40.46394892
EA9	41.62532485	-8.35982118	-18893.12	217351.399	79.62	-40.45108477
EA10	41.62466708	-8.356289833	-18599.024	217277.575	55.34	-40.66223514
EA11	41.62450751	-8.353573114	-18372.669	217259.27	72.77	-40.6191671
EA12	41.62435569	-8.348921983	-17985.104	217241.428	81.38	-41.14763832
EA13	41.6247977	-8.346411042	-17775.73	217290	89.47	-41.2637725
EA14	41.62300715	-8.335734648	-16886.472	217088.985	68.52	-42.53703752
EA15	41.62412405	-8.332121331	-16585.059	217212.334	79.93	-42.91232626
EA16	41.6266498	-8.335227053	-16843.222	217493.461	91.3	-42.35040941
EA17	41.62564919	-8.338267668	-17096.871	217382.926	88.59	-42.07908927
EA18	41.62642924	-8.343083587	-17497.993	217470.528	93.72	-41.72524155
EA19	41.61808009	-8.347610991	-17877.584	216544.15	69.1	-41.78870906
EA20	41.61736118	-8.344322582	-17603.709	216463.627	39.59	-41.88022395
EA21	41.61974055	-8.358695879	-18800.965	216730.927	59.81	-41.28811715
EA22	41.61939552	-8.356439026	-18612.973	216692.116	40.32	-40.51574791
EA23	41.6184303	-8.351510371	-18202.477	216583.862	70.9	-40.97844678
Base2 (B2)	41.60766351	-8.354618765	-18464.613	215388.699	100.95	-36.18736484

EA25	41.60756587	-8.350985447	-18161.775	215377.083	86.45	-36.05318537
EA26	41.60770405	-8.357986532	-18745.331	215393.928	97.77	-35.49966026
EA27	41.60833052	-8.361573448	-19044.144	215464.293	86.16	-36.21386585
EA28	41.60662386	-8.36361554	-19214.873	215275.194	90.51	-36.70175415
EA29	41.60241058	-8.367868473	-19570.667	214808.199	93.41	-35.07824577
EA30	41.60170787	-8.364978065	-19329.919	214729.5	100.43	-35.60982047
EA31	41.60241699	-8.360442164	-18951.574	214807.253	103.07	-35.54353117
EA32	41.60349856	-8.356858477	-18652.51	214926.598	127.15	-35.6963794
EA33	41.60842984	-8.346523872	-17789.63	215472.112	109.5	-38.13227908
EA34	41.60924811	-8.343461874	-17534.17	215562.367	111.41	-39.12711871
EA35	41.60948158	-8.340600684	-17295.611	215587.72	109.86	-40.37050489
EA36	41.60842155	-8.336236289	-16932.092	215469.121	140.58	-42.20088146
EA37	41.60819224	-8.334033574	-16748.54	215443.222	137.35	-42.41070519
EA38	41.60372532	-8.339362059	-17193.893	214948.149	152.99	-45.51789686
EA39	41.60355828	-8.342566854	-17461.099	214930.24	162.75	-46.14117738
EA41	41.60394235	-8.353556334	-18377.107	214975.179	121.4	-36.94079462
EA42	41.60333443	-8.350530083	-18125.001	214907.02	127.48	-37.1654215
EA40	41.6041326	-8.346355577	-17776.781	214994.801	138.84	-35.50087706
Cavadinho	41.61577075	-8.356186454	-18592.964	216289.473	32.497	-36.49066513

Tabela 7: Dados de Anomalia Completa de Bouguer (Caldelas)

Estações	Latitude	Longitude	X	Y	Altitude	Anomalia completa de Bouguer
Base1 (B1)	41.6627095	-8.379675624	-20535.818	221508.121	72.96	-45.44102632
EB2	41.66950926	-8.381088655	-20651.332	222263.686	91.3	-44.8495268

EB3	41.66748762	-8.384830598	-20963.61	222040.053	62.42	-44.21852312
EB4	41.66495	-8.38252492	-20772.407	221757.649	74.99	-44.82512164
EB5	41.66748436	-8.379092502	-20485.738	222038.311	111.81	-44.25474316
EB6	41.66639322	-8.37590343	-20220.491	221916.368	120.07	-44.69606852
EB7	41.66917566	-8.376942924	-20306.188	222225.65	118.76	-44.48170336
EB8	41.67182904	-8.377976976	-20391.465	222520.597	94.99	-44.71534164
EB9	41.67281904	-8.374573898	-20107.765	222629.753	147.82	-44.41711752
EB10	41.66085775	-8.377362598	-20343.756	221301.904	98.51	-44.26352436
EB11	41.65866857	-8.376518005	-20274.097	221058.56	106.49	-44.53115564
EB12	41.66101224	-8.382112026	-20739.283	221320.195	85.65	-44.3887534
EB13	41.66818651	-8.37366588	-20033.587	222115.021	134.02	-44.84668072
EB14	41.66842206	-8.370755094	-19791.105	222140.51	131.4	-46.2316504
EB15	41.6587325	-8.380139287	-20575.701	221066.518	114.09	-43.98840924
EB16	41.65658284	-8.378892064	-20472.498	220827.466	135.65	-44.3266534
EB17	41.65735318	-8.383679525	-20871.02	220914.173	86.93	-44.15358348
EB18	41.65909004	-8.386314445	-21089.926	221107.721	95.28	-44.04471408
EB19	41.66137402	-8.387519522	-21189.55	221361.692	94.44	-43.87423184
EB20	41.66391349	-8.389902191	-21387.159	221644.331	77.68	-44.11300048
EB21	41.66252945	-8.384521602	-20939.483	221489.289	95.39	-43.88657604
EB22	41.66341888	-8.371216802	-19831.091	221584.928	153.6	-45.0332096
EB23	41.66562	-8.373377038	-20010.327	221829.899	134.62	-44.28018232
EB24	41.66109084	-8.373415804	-20014.958	221326.869	162.43	-43.84380148
EB25	41.65863777	-8.372665786	-19953.247	221054.24	179.04	-44.27635744
EB26	41.66305797	-8.374569858	-20110.466	221545.62	145.17	-44.40665212
EB27	41.66074037	-8.368296494	-19588.682	221286.767	219.41	-44.70079676
EB28	41.6641763	-8.36763178	-19532.28	221668.234	194.84	-44.22776624
EB29	41.66573778	-8.370069419	-19734.822	221842.218	150.15	-44.7717754
EB30	41.67107698	-8.371249679	-19831.479	222435.497	192.53	-43.79126508
Base2 (B2)	41.67272428	-8.350209292	-18078.856	222613.83	292.55	-59.73047364

EB32	41.67363531	-8.346207146	-17745.331	222714.184	368.08	-60.82496049
EB33	41.67066194	-8.349542274	-18023.886	222384.633	354.19	-59.55068416
EB34	41.66966517	-8.355415125	-18513.243	222275.169	314	-59.5713754
EB35	41.66685852	-8.35917251	-18826.968	221964.257	343.84	-59.70966702
EB36	41.66715837	-8.353820753	-18381.18	221996.405	410.75	-59.37703558
EB37	41.66957068	-8.360138192	-18906.598	222265.7	254.83	-61.43023966
EB38	41.66858046	-8.363543805	-19190.505	222156.472	223.66	-60.10829473
EB39	41.67643618	-8.346717806	-17787.084	223025.373	287.38	-60.65316022
EB40	41.67695487	-8.34983837	-18046.786	223083.632	291.89	-60.41999213
EB41	41.67460859	-8.342735485	-17455.973	222821.574	407.6	-60.08613063
EB42	41.67409172	-8.338849055	-17132.481	222763.387	427.89	-59.31906173
EB43	41.6720067	-8.344137347	-17573.416	222532.875	441.32	-59.92641285
EB44	41.67685838	-8.336358127	-16924.331	223070.179	450.72	-60.16900619
EB45	41.67442467	-8.336137733	-16906.616	222799.831	451.33	-60.35489831
EB46	41.68050255	-8.337102503	-16985.356	223475.073	439.03	-60.04531128
EB47	41.68159976	-8.340124216	-17236.663	223597.538	429.91	-60.01110285
EB48	41.68398531	-8.344668895	-17614.414	223863.413	442.65	-61.04916617
EB49	41.67980119	-8.346781633	-17791.472	223399.129	453.02	-62.02683222
EB50	41.6822367	-8.348949722	-17971.32	223670.084	406.8	-61.30457348
EB51	41.67893505	-8.353700669	-18367.831	223304.381	302.62	-60.46323878
EB52	41.67929485	-8.35164753	-18196.773	223343.907	351.05	-60.13270341
EB53	41.6761088	-8.353794321	-18376.433	222990.497	319.1	-59.59785051
EB54	41.67115293	-8.364025276	-19229.836	222442.296	181.28	-60.44762901
EB55	41.6732365	-8.355926264	-18554.784	222671.936	198.94	-61.68472713
EB56	41.67370263	-8.358169193	-18741.425	222724.193	220.4	-60.10192044

Tabela 8: Valores da taxa de deriva da base em Amares (Norte) – 2 de Abril

Taxa de deriva (base) Amares (Norte) – 2 de Abril			
Hora	Base (divisões de gravímetro)	Transformação (mGal)	Taxa de deriva (mGal)
11h48	1208.3	110.064047	
13h34	1226.7	111.740103	0.015812
15h05	1227.9	111.849411	0.001201 (almoço)
16h44	1228.3	111.885847	0.000368
17h56	1226.6	111.730994	-0.00215

Tabela 9: Valores da taxa de deriva da base em Amares (Norte) - 3 de Abril

Taxa de deriva (base) Amares (Norte) – 3 de Abril			
Hora	Base (divisões de gravímetro)	Transformação (mGal)	Taxa de deriva (mGal)
09h23	1222	110.064047	-0.00177
11h01	1220.1	111.740103	

Tabela 10: Valores da taxa de deriva da base em Amares (Sul) - 3 de Abril

Taxa de deriva (base) Amares (Sul) – 3 de Abril			
Hora	Base (divisões de gravímetro)	Transformação (mGal)	Taxa de deriva (mGal)
11h15	1161.5	105.801035	
12h48	1164.9	106.110741	0.00333
14h11	1169	106.48421	0.0045 (almoço)
16h14	1358.3	123.727547	0.14019
16h39	1356.5	123.563585	-0.00656

Tabela 11: Valores da taxa de deriva da base de Caldelas (Oeste) - 9 de Abril

Taxa de deriva (base) Caldelas (Oeste)– 9 de Abril			
Hora	Base (divisões de gravímetro)	Transformação (mGal)	Taxa de deriva (mGal)
10h07	1496.3	136.297967	
10h55	1497.1	136.370839	0.001518
12h48	1497.1	136.370839	0 (almoço)
14h58	1498.4	136.489256	0.000911
17h08	1495	136.17955	-0.00238

Tabela 12: Valores da taxa de deriva da base de Caldelas (Oeste) - 10 de Abril

Taxa de deriva (base) Caldelas (Oeste)– 10 de Abril			
Hora	Base (divisões de gravímetro)	Transformação (mGal)	Taxa de deriva (mGal)
09h27	1498.6	136.507474	
10h55	1499	136.54391	0.000414
12h49	1498	136.45282	-0.0008

Tabela 13: Valores da taxa de deriva da base de Caldelas (Este) - 10 de Abril

Taxa de deriva (base) Caldelas (Este) – 10 de Abril			
Hora	Base (divisões de gravímetro)	Transformação (mGal)	Taxa de deriva (mGal)
14h06	1003.8	91.436142	
15h35	1002.8	91.345052	-0.00102
16h32	1001.7	91.244853	-0.00176

Tabela 14: Valores da taxa de deriva da base de Caldelas (Este) - 11 de Abril

Taxa de deriva (base) Caldelas (Este) – 11 de Abril			
Hora	Base (divisões de gravímetro)	Transformação (mGal)	Taxa de deriva (mGal)
10h22	993.5	90.497915	
11h55	1000.2	91.108218	0.006562
13h10	1001	91.18109	0.000972
14h42	1001.2	91.199308	0.000198 (almoço)
16h06	999.7	91.062673	-0.00163