



Geofísica Aplicada à Prospecção Geológica

Estudo gravimétrico de carácter exploratório em zonas com potencial geotérmico (região de Braga)

Renato Rodrigues Rolo

Mestrado em Geologia

Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território
2021

Orientador

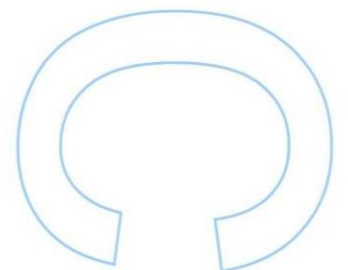
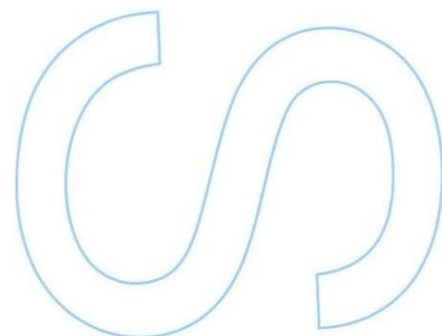
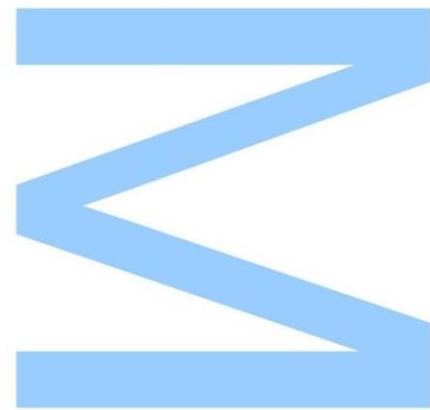
Helena Maria Sant'Ovaia Mendes da Silva, Professora Associada,
Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Coorientador

Cláudia da Conceição Ferreira da Cruz, Investigadora
Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Orientador Empresarial

Bruno Sameiro Pereira, sócio-gerente da Sinergeo

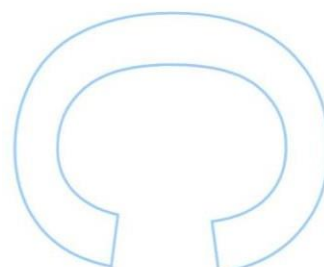
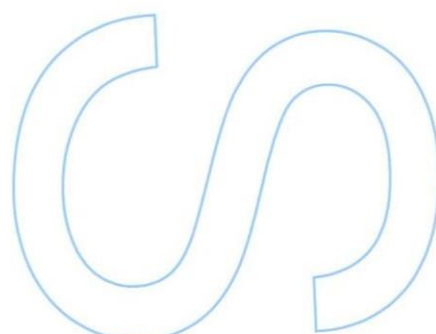
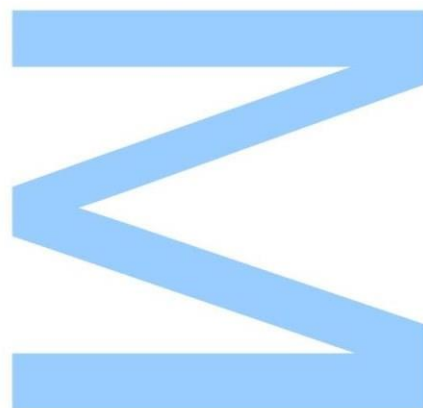




Todas as correções determinadas pelo júri, e só essas, foram efetuadas.

O Presidente do Júri,

Porto, ____ / ____ / ____



Este trabalho foi financiado por fundos nacionais através da FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P., no âmbito dos projetos Ref^{as} UIDB/04683/2020 e UIDP/04683/2020.

Agradecimentos

Não seria justo referir que este relatório apenas foi realizado por mim, mas sim, pelo resultado de um esforço desenvolvido coletivamente, com o apoio, envolvimento, contribuição e incentivo de diversas pessoas intervenientes, que culminou esta obra. Desta forma, com imenso carinho e gratidão, expresso o meu reconhecimento e agradecimento às pessoas e entidades que contribuíram da sua forma, para alcançar o principal objetivo.

Em primeiro lugar, um agradecimento especial à Sinergeo, pela excelente oportunidade e ferramentas de trabalho que me proporcionaram, para o desenvolvimento desta investigação, mas também pela oportunidade de acompanhar os diversos trabalhos que realizam, enriquecendo os meus conhecimentos nas diversas áreas da geologia. Um agradecimento para todos os elementos que constituem a Sinergeo, por toda a disponibilidade e ajuda prestada no meu auxílio e ao Márcio Macieira, por todo o tempo, disponibilidade, cooperação e companheirismo no trabalho de campo realizado.

Quero agradecer à Professora Helena Sant'Ovaia, na qualidade de orientadora, por ter aceitado acompanhar-me e por acreditar em mim. Por toda a sua simpatia, motivação, disponibilidade e auxílio prestado em todos os problemas que surgiram e pelas dúvidas esclarecidas.

Ao meu orientador empresarial Bruno Sameiro Pereira, pela oportunidade que me deu, por todas as conversas e ensinamentos transmitidos, pelo apoio e auxílio prestado, pela autonomia e confiança que me deu nos trabalhos desenvolvidos e pelas sugestões dadas no desenvolvimento desta obra.

Não menos importante, um agradecimento à minha coorientadora Cláudia Cruz, por toda a sua disponibilidade, cooperação e por todo o auxílio e ajuda que me prestou no desenvolvimento deste relatório, pela paciência e pelo enorme companheirismo que demonstrou e pela motivação que me transmitiu.

Ao Professor Rui Moura, por ter cedido de boa vontade, o gravímetro, que seria imprescindível para a realização desta investigação.

Ao Professor José Alberto Gonçalves, por ter cedido gentilmente o seu DEM de Portugal continental, que foi essencial para realizar a correção de terreno.

Um agradecimento ao Presidente da Junta de Freguesia de Gualtar, João Vieira, por ter cedido gentilmente, informações relevantes sobre ocorrências de águas quentes na freguesia.

Um agradecimento a todos os professores que me acompanharam ao longos

destes 5 anos e também à Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, por fornecer aos estudantes, excelentes oportunidades de ensino.

A todos os meus amigos chegados e de curso, um agradecimento por todos os momentos que vivenciámos, por todo o companheirismo, apoio e entreaajuda, que tornaram este percurso, ainda mais especial.

Um agradecimento muito especial, à minha família mais próxima, os meus pais, a minha irmã e aos meus avós, por todo o amor e apoio incondicional e por terem acreditado sempre em mim, desde o princípio. São e sempre vão ser os meus pilares, pois a eles devo tudo e por eles farei tudo. Sem dúvida alguma que a pessoa que sou hoje, é graças a eles.

Por último, um agradecimento especial, com muito carinho, à minha namorada Sandra Mota, por toda a paciência e apoio incondicional que me deu, desde o momento em que me conheceu. Por nunca ter duvidado de mim e por ter-me feito ver, que eu também tenho valor. Por toda a motivação dada e por ser um exemplo a seguir.

Resumo

O presente relatório realizou-se no âmbito de um estágio curricular em contexto empresarial, na Sinergeo – Soluções Aplicadas em Geologia, Hidrologia e Ambiente Lda., com o objetivo de proporcionar um acompanhamento profissional, na realização dos trabalhos por parte da Sinergeo, mas também oferecer uma componente científica, com a concretização de uma investigação no âmbito da geofísica.

A geofísica é uma técnica importante na prospeção geológica e fornece uma demanda de métodos indiretos, que permitem caracterizar as propriedades geofísicas do subsolo. O método de gravimetria fornece a possibilidade de detetar e interpretar a presença de corpos e estruturas geológicas no subsolo, assim como determinar a sua geometria em profundidade, através da influência em primeira instância na gravidade, pelas variações de densidade dos materiais geológicos e essas estruturas e corpos.

Esta investigação focou-se na identificação de estruturas geológicas em profundidade que possam potencializar a circulação de fluídos geotérmicos, enriquecendo o potencial geotérmico da região de Braga. O processamento dos dados permitiu adquirir a anomalia de Bouguer da área de estudo, determinando-se posteriormente os mapas de anomalia regional e residual através do mapa da anomalia de Bouguer, recorrendo ao *software Oasis Montaj*. A região mostrou ser intensamente anómala, com um nítido controlo estrutural, onde as anomalias podem estar relacionadas com o cisalhamento Vigo-Régua (NNW-SSE) e com as falhas perpendiculares, tardi Variscas que parecem ter grande influência na área. Detetou-se uma zona anómala que poderá ser causada por um sistema *Horst Graben*, por um granito mais denso e menos fraturado, ou até mesmo por um enriquecimento de elementos densos, provenientes de fluídos hidrotermais. As interpretações dos resultados, criaram grande interesse na área, com o potencial geotérmico a ser intensificado, mas também promovem futuras investigações na região, com diferentes métodos e abordagens.

Palavras-Chave: Geofísica, Gravimetria, Geotermia, Densidade, Estruturas Geológicas

Abstract

This work was carried out as part of a curricular internship in a business context, at *Sinergeo – Soluções Aplicadas em Geologia, Hidrologia e Ambiente Lda.*, with the objective of providing professional follow-up in the performance of work at Sinergeo, but also to offer a scientific component, with the realization of an investigation in the field of geophysics.

Geophysics is an important technique in geological prospecting and offers a demand for indirect methods, which allow the characterization of subsoil geophysical properties. The gravimetric method provides the possibility to detect and interpret the presence of underground geological bodies and structures, as well as to determine their geometry in depth, through the influence, in the first instance, on gravity, by the density variations of geological materials and these structures and bodies.

This investigation focused on the identification of geological structures in depth that can enhance the circulation of hydrothermal and geothermal fluids, enriching the geothermal potential of the Braga region. Data processing allowed the acquisition of the Bouguer anomaly of the study area, later determining the regional and residual anomaly maps through the Bouguer anomaly map, using the Oasis Montaj software. The region proved to be intensely anomalous, with a clear structural control, where the anomalies may be related to the Vigo-Régua shear zone (NNW-SSE) and the perpendicular faults, late Variscan, that seem to have a great influence on the area. A large anomalous zone was detected that could be caused by a Horst Graben system, a denser and less fractured granite, or even an enrichment of dense elements, originating from hydrothermal fluids. The interpretations of the results created great interest in the area, with the geothermal potential intensified, but also promote future investigations in the region, with different methods and approaches.

Keywords: Geophysics, Gravity, Geothermy, Density, Geological Structures

Índice

Agradecimentos	i
Resumo	iii
Abstract	iv
Índice.....	v
Índice de Figuras.....	vii
Índice de Tabelas	x
Lista de Abreviaturas.....	xi
Introdução	1
Parte I – Acompanhamento de trabalhos da Sinergeo.....	3
Capítulo 1 – Geofísica.....	4
1.1. Método de Resistividade Elétrica	4
1.1.1. Resistividade Elétrica e lei de Ohm	4
1.1.2. Resistividade dos materiais geológicos.....	4
1.1.3. Dispositivos geoeletricos.....	5
1.2. Casos de Estudo.....	6
1.2.1. Litoral.....	6
1.2.2. Padim da Graça, Braga.....	7
1.2.3. Estudo de contaminação de solos.....	9
1.2.4. Estudo de apoio a perícia geotécnica.....	11
Capítulo 2 – Caracterização geológica e geotécnica.....	13
2.1. Estudo de estabilidade de taludes.....	13
2.2. Estudo geotécnico.....	17
Capítulo 3 – Hidrogeologia	18
3.1. Execução de diagrafia ótica	18
Parte II - Geofísica Aplicada à Prospeção Geológica.....	21
Capítulo 1 - Enquadramento Geral.....	22
1.1. Enquadramento Geográfico	22
1.2. Enquadramento Geomorfológico e Tectónico	23
1.2.1. Cisalhamento Vigo-Régua	26
1.3. Enquadramento Geológico.....	27
1.4. Enquadramento Hidrogeológico	37

1.4.1. Ocorrências termais	37
Capítulo 2 – Princípios Teóricos	39
2.1. Geofísica e prospeção geofísica	39
2.2. Gravimetria	40
2.2.1. Teoria.....	41
2.2.2. Unidades da Gravidade.....	42
2.2.3. Gravímetro	42
2.2.4. Correções gravimétricas	44
2.2.5. Densidade das rochas	50
2.2.6. Anomalia completa de Bouguer	52
2.2.7. Anomalia Regional e Residual	52
2.3. Geotermia	53
Capítulo 3 - Obtenção e Tratamento de dados de campo	56
3.1. Planeamento da prospeção geofísica	56
3.2. Campanha gravimétrica	59
3.3. Material usado.....	64
3.4. Processamento dos dados	66
3.5. Modelação da Anomalia.....	70
Capítulo 4 – Resultados e Discussão	73
Capítulo 5 – Considerações finais	86
Referências.....	88
Anexos	I

Índice de Figuras

Figura 1 - Intervalos de variação da resistividade elétrica para alguns materiais geológicos (adaptado de Kearey et al., 2002).....	5
Figura 2 – Esquema do dispositivo de Wenner-Schlumberger (extraído de Dias, 2017).	6
Figura 3 - Oitava sondagem elétrica vertical, onde é possível observar o cabo elétrico, os elétrodos, o resistímetro e as baterias.	7
Figura 4 - Extensão de 90 metros (metade) da sondagem elétrica vertical deste caso, com o resistímetro entre os dois cabos elétricos.	8
Figura 5 - Registo das coordenadas e cota de cada elétrodo da sondagem elétrica vertical realizada, através de um GPS.	9
Figura 6 - Sondagem com trado manual, para recolha de solo.	10
Figura 7 - GPS diferencial para obtenção das coordenadas e cota dos elétrodos nas sondagens elétricas verticais.	11
Figura 8 - Sondagem elétrica vertical no aterro inferior.	12
Figura 9 - Parte da sondagem elétrica vertical, nas moradias.	12
Figura 10 - Obtenção das coordenadas das estacas, com recurso a GPS diferencial.	14
Figura 11 – Observação de taludes.	15
Figura 12 - Falhas com argilização.	16
Figura 13 - Esclerómetro de Schmidt.	16
Figura 14 - Uso do esclerómetro de Schmidt, numa rede de ensaios.	17
Figura 15 - Equipamento usado no ensaio DPSH.	18
Figura 16 - RCAM 1000 da Laval underground Surveys a ser inserido no furo de captação de água.	19
Figura 17 - Manuseamento e visualização em tempo real da filmagem do furo de captação de água com RCAM 1000 da Laval underground Surveys.	20
Figura 18 - Localização geográfica da área de estudo (fotografia de satélite extraída do Google Earth, 2021).....	22
Figura 19 - Localização geográfica da área da campanha gravimétrica (fotografia de satélite extraída do Google Earth, 2021).....	23
Figura 20 - Zonamento geotectónico da Península Ibérica, com unidades estruturais de primeira ordem (terrenos) e de segunda ordem (zonas) (adaptado de Ribeiro et al., 2006).	24
Figura 21 - Representação esquemática da Cadeira Varisca do NW da Península Ibérica, com a localização da ZCDML (extraído de Castro et al., 2010).	27

Figura 22 - Localização da zona norte da área de estudo, no excerto da Folha 5-B (Ponte da Barca) da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50000 e a respetiva legenda da folha.....	29
Figura 23 - Localização da zona central da área de estudo, no excerto da Folha 5-D (Braga) da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50000 e a respetiva legenda da folha.	31
Figura 24 - Localização da zona a sul da área de estudo, no excerto da Folha 9-B (Guimarães) da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50000 e a respetiva legenda da folha.....	34
Figura 25 - Localização da área da campanha gravimétrica, sobreposta no mapa geológico adaptado da Folha 5-D (Braga) da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50000, criado em ArcGis v10.7, com a respetiva legenda. Sistema de coordenadas ETRS89 Portugal TM06.....	36
Figura 26 - Princípio de funcionamento de um gravímetro (adaptado de Mussett e Khan, 2000)	43
Figura 27 - Gravímetro the Pioneer, Worden nº679, model 155, posicionado em cima do prato côncavo e a respetiva caixa de transporte.	44
Figura 28 - Gráfico de medição do gravímetro versus tempo, onde a correção do desvio (d) é subtraída no valor medido pelo gravímetro, no tempo t (adaptado de Kearey e Brooks, 1991).	45
Figura 29 - Gráfico de Hammer (Zonas F para J), as zonas variam entre 2 m e os 22 km e pode ser usado em mapas topográficos de diferentes escalas (extraído de Kearey e Brooks, 1991).	48
Figura 30 - Exemplo da correção de maré para o ponto 2407, da campanha gravimétrica realizada neste estudo, no Tides.jar.	50
Figura 31 - Anomalias regionais e residuais, separadas a partir da anomalia de Bouguer (adaptado de Kearey e Brooks, 1991).	53
Figura 32 - Ocorrências geotérmicas em Portugal continental (extraído de DGEG, 2017).	55
Figura 33 - Representação do eixo e das suas retas perpendiculares, espaçadas com 100 metros, na área da campanha gravimétrica (fotografia de satélite extraída do <i>Google Earth</i> , 2021).....	57
Figura 34 - Representação do resultado inicial da rede de amostragem, com a distinção dos pontos de medição (fotografia de satélite extraída do <i>Google Earth</i> , 2021).....	58
Figura 35 - Representação do resultado final da rede de amostragem (fotografia de satélite extraída do <i>Google Earth</i> , 2021).....	59

Figura 36 - Gravímetro the Pioneer, Worden nº679, model 155 e o seu respetivo utilizador.	60
Figura 37 - Topo do gravímetro, com os dois níveis de bolha horizontais, a luz, o óculo e o parafuso de medição.	61
Figura 38 - Leitura do valor da janela do parafuso do gravímetro.	62
Figura 39 - Leitura decimal, através do nónio do aparelho.	62
Figura 40 - Localização das estações e bases gravimétricas, no mapa geológico da região da rede de amostragem, criado no ArcGis v10.7, com a respetiva legenda. Sistema de coordenadas ETRS89 Portugal TM06.	63
Figura 41 – Material usado na realização das leituras gravimétricas.	64
Figura 42 - Processo de criação da correção do sinal do DGPS (Extraído e adaptado de Cruz, 2020).	66
Figura 43 – Informações da estação base absoluta usada, da Rede Gravimétrica Nacional, disponibilizada no site da Direção-Geral do Território (Direção-Geral do Território, 2013).	67
Figura 44 – Determinação do valor médio da densidade pelo método de Nettleton, para todas as rochas da área da campanha gravimétrica.	68
Figura 45 - Determinação do valor médio da densidade pelo método de Nettleton, para o Granito de Celeirós.	69
Figura 46 – Cálculo da anomalia regional de 3ª ordem no menu Grid and Image>Grid Math, no Oasis Montaj.	71
Figura 47 – Mapa das anomalias gravimétricas de Bouguer para a Península Ibérica, para um valor de densidade de $2,67 \text{ g/cm}^3$ (extraído de Mezcua <i>et al.</i> , 1996).	72
Figura 48 – Mapa da anomalia de Bouguer (interpolação de dados através do kriging, no Oasis Montaj).	74
Figura 49 – Mapa da anomalia regional de 1ª ordem polinomial.	75
Figura 50 – Mapa da anomalia regional de 2ª ordem polinomial.	76
Figura 51 - Mapa da anomalia regional de 3ª ordem polinomial.	77
Figura 52 – Mapa da anomalia regional de 2ª ordem polinomial, com sobreposição das litologias locais.	79
Figura 53 - Mapa da anomalia residual de 1ª ordem polinomial.	80
Figura 54 - Mapa da anomalia residual de 2ª ordem polinomial.	81
Figura 55 - Mapa da anomalia residual de 3ª ordem polinomial.	82
Figura 56 - Mapa da anomalia residual de 2ª ordem polinomial, com sobreposição das litologias locais.	83

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Tabela da correção de terreno, com os valores para cada zona (adaptado de Kearey e Brooks, 1991).	48
Tabela 2 - Densidade de tipos de rochas comuns (adaptado de Kearey e Brooks, 1991; Milsom, 2003).	51

Lista de Abreviaturas

FCUP – Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

GPS - *Global Positional Satellite*

DGEG - Direção-Geral de Energia e Geologia

DPSH - *Dynamic Probing Super Heavy*

ZCI - Zona Centro-Ibérica

ZC - Zona Cantábrica

ZAOL - Zona Astúrica-Occidental Leonesa

ZGTM - Zona de Galiza-Trás-os Montes

ZOM - Zona de Ossa Morena

ZSP - Zona Sul Portuguesa

ZCDML - Zona de cisalhamento dúctil Maplica-Lamego

FAC - *Free-air correction*

BC - Correção de Bouguer

DEM - *Digital Elevation Model's*

SIG – Sistemas de Informação Geográfica

DGPS - *Differential Global Positional Satellite*

DGAOT - Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território

DHC - *District heating and cooling*

Introdução

Este relatório realizou-se no âmbito da unidade curricular de Estágio do Mestrado em Geologia, inserida no plano curricular do segundo ano, tendo como principal objetivo desenvolver a capacidade de realizar trabalho de cariz científico-tecnológico em ambiente profissional, aperfeiçoando a capacidade de pesquisa e resolução de problemas do aluno, desenvolvendo o seu sentido crítico, assim como a capacidade de síntese e integração de conhecimentos. Este relatório servirá ainda para a obtenção de grau Mestre em Geologia e ainda permitir prosseguir uma carreira profissional no domínio da Geologia.

O estágio curricular em contexto empresarial, decorreu no ano letivo de 2020/2021, com uma duração de 9 meses, realizado na Sinergeo – Soluções Aplicadas em Geologia, Hidrologia e Ambiente Lda., orientado pelo geólogo Bruno Sameiro Pereira.

Como referido, este estágio curricular de cariz científico-tecnológico, apresentou uma componente de cariz profissional, com o acompanhamento de obras realizada pela empresa e uma componente científica, com a realização de uma investigação científica com trabalho autónomo do aluno supervisionado pelo orientador empresarial, mas também pelos orientadores da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (FCUP).

Desta forma, o presente relatório está estruturado em duas partes, sendo elas para cada componente deste estágio. A Parte I, integra os trabalhos acompanhados na Sinergeo Lda., com breves descrições dos métodos utilizados e do papel desempenhado pelo aluno. Por motivos relacionados com a confidencialidade de dados empresariais, as descrições foram realizadas de uma forma muito geral. Em relação à Parte II, esta diz respeito à investigação científica realizada pelo aluno, onde apresenta um estudo gravimétrico na região de Braga, de carácter exploratório, focado na potencial geotérmica da região, uma vez que existem ocorrências geotérmicas, mas que apenas são aproveitadas e exploradas na vertente turística e medicinal. Como referido, é uma zona com um potencial geotérmico, que com a realização de mais estudos de carácter exploratório, poderá vir a revelar-se uma zona promissora. O principal objetivo do estudo gravimétrico baseou-se na identificação de estruturas geológicas, cuja permeabilidade possa potenciar a circulação de fluídos geotérmicos.

A primeira parte, está estruturada em três capítulos da seguinte forma:

- Capítulo 1 denominado de Geofísica, onde é descrito o método de resistividade elétrica, que a Sinergeo Lda., aplica e os casos de estudo no qual tive a

oportunidade de acompanhar;

- Capítulo 2 intitulado de Caracterização geológica e geotécnica, onde são apresentados e descritos dois casos de estudo acompanhados, um de caracterização geológica com uma breve componente geotécnica e um caso de geotecnia;
- Capítulo 3 de nome, Hidrogeologia, onde é apresentado um trabalho acompanhado de uma filmagem de um furo de captação de água.

A segunda parte, está estruturada em cinco capítulos sendo eles:

- Capítulo 1 referente ao Enquadramento Geral, onde é realizado os enquadramentos geográficos, geomorfológicos e tectónicos, geológicos e hidrogeológicos e ainda a referência de ocorrências termais na região de estudo;
- Capítulo 2 denominado de Princípios teóricos, onde como o título indica, é realizado um enquadramento teórico do método utilizado e ainda brevemente da geotermia;
- Capítulo 3 denominado de Obtenção e tratamento de dados, onde se descreve o planeamento da campanha gravimétrica, como se obteve os dados e com que material, a forma como se realizou o processamento dos dados e a modelação das anomalias;
- Capítulo 4, Resultados e discussão, onde se apresenta os resultados obtidos após as correções gravimétricas e modelações dos mapas e as respetivas interpretações;
- Capítulo 5 referente às Considerações finais, onde se faz referência dos principais resultados e objetivos alcançados, assim como sugestões de trabalhos futuros a realizar, mas também breves considerações do trabalho realizado ao longo do ano.

Parte I – Acompanhamento de trabalhos da Sinergeo

Capítulo 1 – Geofísica

1.1. Método de Resistividade Elétrica

Existem muitos métodos de levantamento elétrico, sendo que, o usado nos trabalhos acompanhados requerem a introdução de correntes geradas artificialmente no solo, ou seja, este método, consiste na injeção de corrente elétrica no solo, medindo as diferenças de potencial resultantes na superfície, investigando as propriedades elétricas do subsolo. A resistividade elétrica é o inverso da condutividade elétrica, que é a propriedade geofísica mais útil na caracterização geológica na exploração geofísica e resulta da medição da capacidade de um material para conduzir corrente elétrica.

Este método é usado no estudo de descontinuidades horizontais e verticais, na detecção de corpos com condutividade elétrica anómalos, mas também em investigações hidrogeológicas (Kearey *et al.*, 2002; Reynolds, 2011; Dentith e Mudge, 2014).

1.1.1. Resistividade Elétrica e lei de Ohm

Como já referido, este método realiza medições do subsolo com o objetivo de obter a resistividade elétrica (ρ , unidade SI ohm-metro), que corresponde ao inverso da condutividade elétrica (σ , unidade SI Siemens-metro) de um material, é dada pela expressão:

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

A lei de Ohm permite calcular uma resistência, tendo em consideração as dimensões do material, onde é atravessado uma corrente, contudo, tendo em conta o fluxo de corrente elétrica na Terra, esse fluxo ocorre num volume finito. Esta lei aplica-se na grande maioria dos estudos geofísicos, no entanto, se ocorrerem elevadas densidades de corrente elétrica, a linearidade da lei de Ohm não pode ser aplicada (Kearey *et al.*, 2002; Reynolds, 2011).

1.1.2. Resistividade dos materiais geológicos

A resistividade elétrica dos materiais geológicos tem uma enorme variação, que é causada, maioritariamente pelas diferenças litológicas que possam existir no subsolo, o grau de compactação, o estado de alteração, o grau de saturação em água, salinidade, fraturação, porosidade, os minerais constituintes e também a temperatura. No entanto, é recorrente existir diferentes tipos de rochas que exibem variações de resistividade que se sobrepõe e por essa razão, não é possível determinar com exatidão o tipo de rocha presente no subsolo através da interpretação dos dados de resistividade. Em suma,

para realizar uma interpretação correta da geologia local, deve-se utilizar a informação geológica regional que já exista, com recurso a cartas geológicas e as respetivas notícias explicativas, investigações anteriores realizadas na região, como estudos geotécnicos, poços de monitorização, entre outros, de forma a que um geólogo possa ter noção de que litologias são previsíveis de encontrar no subsolo, para que se realize uma interpretação com exatidão (Kearey *et al.*, 2002).

Desta maneira, a resistividade elétrica dos materiais geológicos apresenta grandes intervalos de propriedades físicas, com rochas ígneas a tenderem a ter maior resistividade, as rochas sedimentares com menor resistividade, devido à sua grande porosidade, quando preenchida por água e as rochas metamórficas, com resistividades intermédias, como se pode observar na Figura 1, que contem os intervalos de valores de resistividade elétrica para alguns materiais geológicos e também para a água meteórica (Kearey *et al.*, 2002).

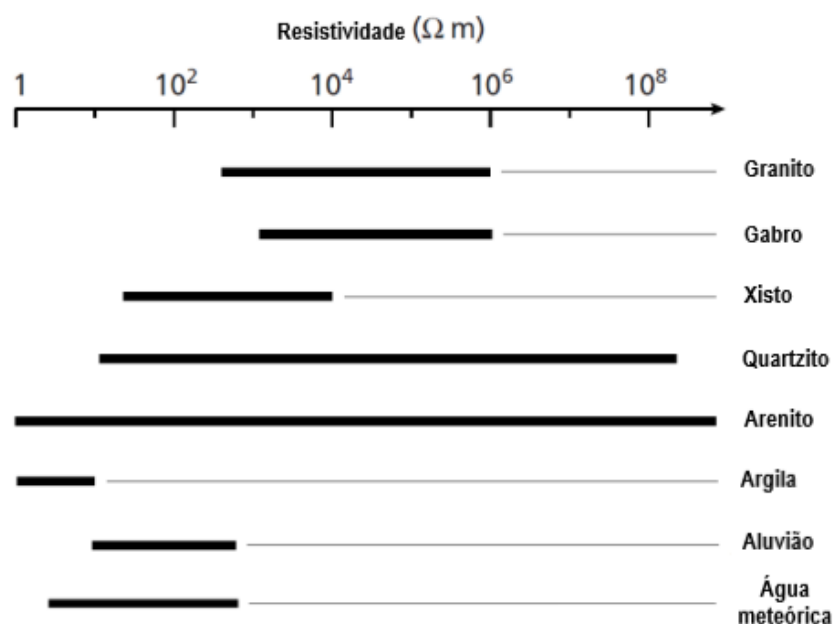


Figura 1 - Intervalos de valores da resistividade elétrica para alguns materiais geológicos (adaptado de Kearey *et al.*, 2002).

Embora a porosidade tenha uma importância relevante na resistividade das formações geológicas, no entanto, as rochas cristalinas com porosidade intergranular insignificante são importantes condutores ao longo das fraturas e fissuras (Kearey *et al.*, 2002).

1.1.3. Dispositivos geoeletricos

Existem diferentes tipos e estilos de configuração de elétrodos que apresentam vantagens, desvantagens e sensibilidade distintas, que podem ser usados na prospeção

geoeletrica de resistividade (Reynolds, 2011), no entanto, só vai ser descrito o dispositivo *Wenner-Schlumberger*, uma vez que foi usado para todos os casos que acompanhei neste estágio curricular.

Este dispositivo é composto pelo dispositivo de *Wenner* e *Schlumberger*, sendo uma forma modificada, que consiste em elétrodos dispostos com espaçamento constante (Figura 2). Para este dispositivo o fator n , corresponde à relação entre a distância entre os elétrodos $C_1 - P_1$, $C_2 - P_2$ e ao espaçamento entre o par dos elétrodos de potencial $P_1 - P_2$ (Loke, 2004).

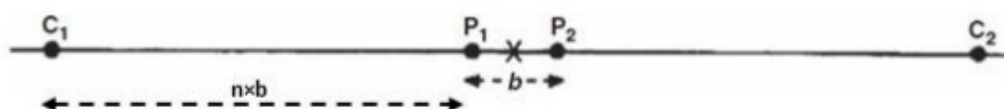


Figura 2 – Esquema do dispositivo de *Wenner-Schlumberger* (extraído de Dias, 2017).

Este dispositivo apresenta uma sensibilidade moderada para a determinação tanto de estruturas horizontais como de estruturas verticais e por essa razão, foi muito usado em todos os casos que acompanhei.

1.2. Casos de Estudo

1.2.1. Litoral

O primeiro trabalho acompanhado, realizou-se no litoral e teve como principal objetivo, estimar a profundidade do *bedrock*.

Como particularidade, neste caso, foi necessário ter em conta em que intervalos do dia, é que a maré se encontrava baixa, uma vez que a água tem influência direta na resistividade elétrica e se o nível do mar estiver mais baixo, a profundidade de alcance, será maior.

Tendo em conta esta particularidade, reconheceu-se a área e recolheu-se o máximo de informações e foram definidos 8 perfis para a realização de sondagens elétricas verticais de 90 metros com 18 elétrodos, com espaçamento de 5 metros e posterior perfilagem. Na Figura 3, está representada a oitava sondagem elétrica vertical, na secção mais a norte da Restinga, bem como o cabo elétrico esticado ao longo de 90 metros, com elétrodos espaçados de 5 em 5 metros, conectado ao resistivímetro, que por sua vez, está conectado a duas fontes de energia, nomeadamente, as baterias, ligadas em paralelo.



Figura 3 - Oitava sondagem elétrica vertical, onde é possível observar o cabo elétrico, os elétrodos, o resistímetro e as baterias.

1.2.2. Padim da Graça, Braga

O segundo trabalho de resistividade elétrica acompanhado, teve como principal objetivo a seleção do melhor local para realizar um furo de pesquisa de água subterrânea.

Foi realizado um estudo prévio de gabinete da área, para recolher o máximo de informações possíveis para facilitar o trabalho.

Após a realização deste estudo, foi decidida a realização de um perfil, com uma extensão de 180 metros e um total de 36 elétrodos, com espaçamento intereletródico de 5 metros. Na Figura 4, está representado parte da secção da sondagem elétrica vertical, apenas 90 metros de extensão, com o resistímetro a metade da secção, entre os dois cabos elétricos de 90 metros cada.

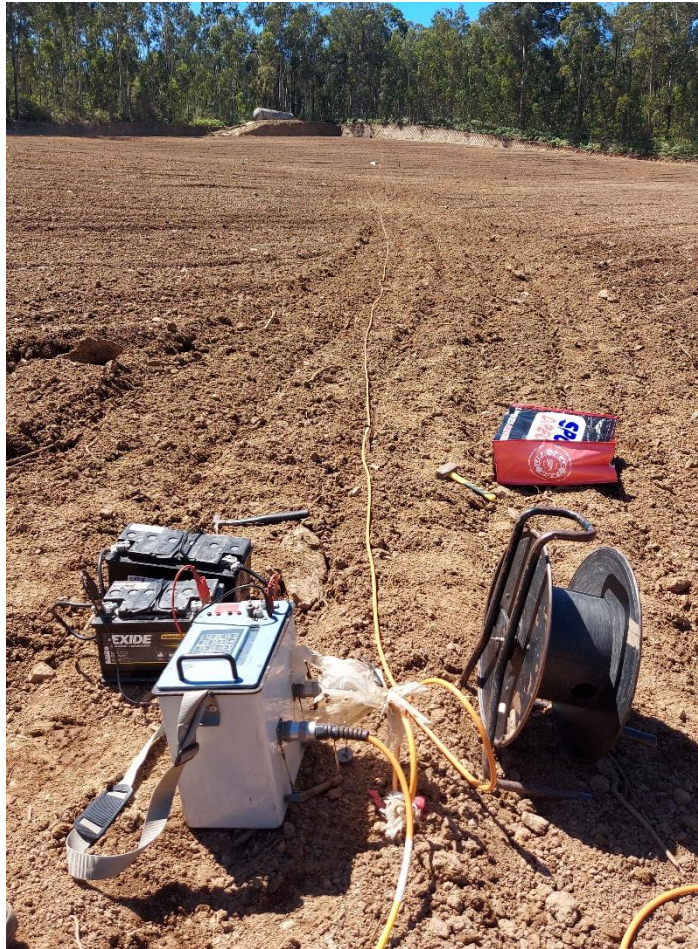


Figura 4 - Extensão de 90 metros (metade) da sondagem elétrica vertical deste caso, com o resistímetro entre os dois cabos elétricos.

Neste caso, foi usado o dispositivo de *Wenner – Schlumberger*, por apresentar uma sensibilidade moderada na determinação tanto de estruturas horizontais como de verticais (fraturas e filões).

Com a finalidade de obter uma interpretação mais detalhada, através de um *Global Positional Satellite* (GPS) de mão, procedeu-se ao registo das coordenadas e a cota de cada elétrodo, como está representado na Figura 5, para posteriormente inserir nas inversões finais.

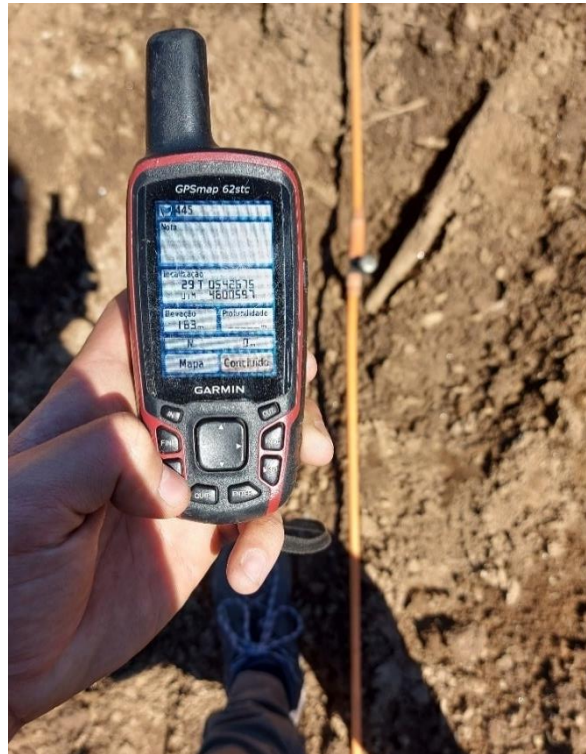


Figura 5 - Registo das coordenadas e cota de cada elétrodo da sondagem elétrica vertical realizada, através de um GPS.

Após a realização das inversões finais e interpretação dos dados, foi possível indicar 3 localizações para realização de furos de pesquisa de água uma vez que no subsolo, existia uma estrutura filoniana que potencializa a circulação de água.

1.2.3. Estudo de contaminação de solos

Dentro dos trabalhos de resistividade elétrica, tive a oportunidade de acompanhar um estudo que teve como objetivo a avaliação “due diligence” ambiental relativa ao grau de contaminação dos solos, num aterro, num determinado local.

Uma vez mais, realizou-se um estudo prévio de gabinete da área do local, de forma a recolher o máximo de informação relevante possível, recorrendo-se a imagens de satélite, através do Google Earth, cartas geológicas e respetivas notícias explicativas, para se ter uma noção da geologia no terreno e se possível, a estudos geotécnicos anteriores.

Para este caso, foram realizados dois perfis geoeletricos, de 90 metros cada, com elétrodoes espaçados de 5 em 5 metros, fazendo um total de 18 elétrodoes para cada perfil. De acordo com o objetivo deste caso, realizaram-se ainda, duas sondagens com trado manual, para recolha de amostras de solo, para posterior análise química, como está representado na Figura 6.



Figura 6 - Sondagem com trado manual, para recolha de solo.

O dispositivo selecionado foi o de *Wenner – Schlumberger*, para 18 elétrodoes.

Como no caso anterior, através de um GPS diferencial, como está representado na Figura 7, procedeu-se à recolha das coordenadas e cota de cada elétrodo, para se inserir nas inversões finais, de modo a obter-se uma interpretação mais detalhada.

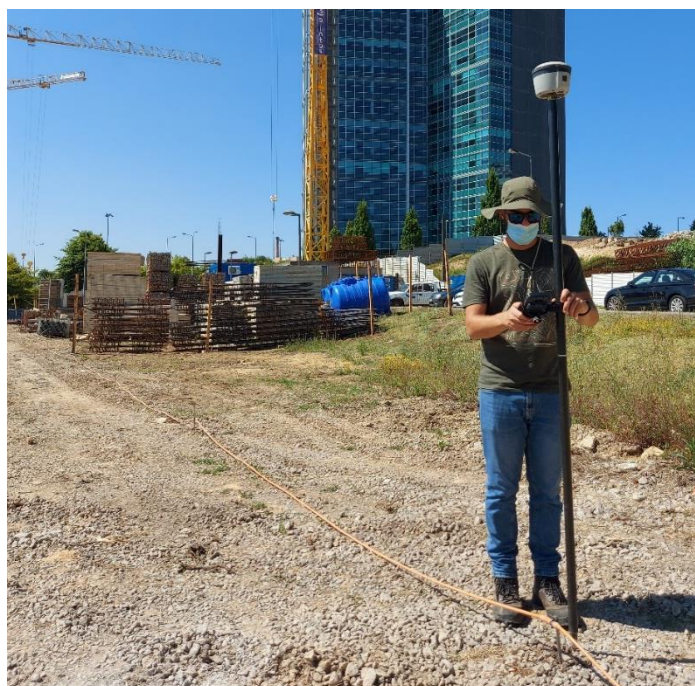


Figura 7 - GPS diferencial para obtenção das coordenadas e cota dos eléctrodos nas sondagens elétricas verticais.

1.2.4. Estudo de apoio a perícia geotécnica

O quarto trabalho que acompanhei consistiu na monitorização topográfica, prospeção geotécnica e geofísica de um imóvel, com sinais de degradação com origem geológica-geotécnica.

Na Figura 8, está representada a sondagem elétrica vertical que foi realizada nas moradias e na Figura 9, uma outra sondagens, mas num aterro inferior.

De referir que neste caso, após as inversões finais e interpretação, foi possível concluir que o aterro não foi construído da melhor forma, uma vez que existem espaços vazios, que justificam os movimentos e fissurações em causa.

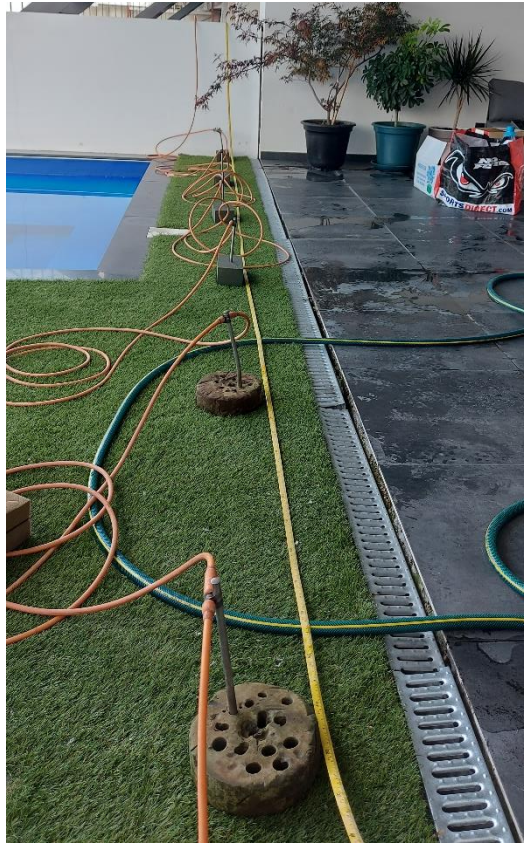


Figura 9 - Parte da sondagem elétrica vertical, nas moradias.



Figura 8 - Sondagem elétrica vertical no aterro inferior.

Capítulo 2 – Caracterização geológica e geotécnica

2.1. Estudo de estabilidade de taludes

Durante o estágio curricular, tive a oportunidade de acompanhar uma caracterização geológica e geotécnica de uma pedreira com o objetivo de reavaliar as condições de segurança e a deteção de perigos e riscos para pessoas, bens ou ambiente.

Como em qualquer outro trabalho realizado pela Sinergeo Lda., efetua-se sempre inicialmente, um trabalho de gabinete prévio, que visa o reconhecimento e a obtenção de informação do local, para uma maior facilidade de realização do trabalho. Procede-se então a uma observação com imagens de satélites, no *Google Earth*, para conhecer a área e se for possível observar, identificar estruturas, como falhas que sejam evidentes nas imagens. É feito também um estudo geológico do local, com recurso a cartas geológicas e as respetivas notícias explicativas e caso exista, estudos geotécnicos realizados no local.

Em campo, o trabalho iniciou-se com um reconhecimento do local e a colocação de estacas distribuídas pela pedreira, visíveis a alguma distância entre si, onde posteriormente se vai obter as suas coordenadas (Figura 10), para com a estação total, se criar e visualizar a informação num espaço de trabalho 3D, como por exemplo, a atitude das falhas neste espaço.



Figura 10 - Obtenção das coordenadas das estacas, com recurso a GPS diferencial.

Para este tipo de trabalho, é necessária a descrição da litologia, a geomorfologia, a geologia estrutural, o tipo de descontinuidades e o estado de alteração da rocha, tanto na superfície de fraturação, como no envolvente (Figura 11). É necessário realizar uma divisão do maciço rochoso em zonas geotécnicas, descrevendo de uma forma geral esse zonamento. Para tal, é necessário ter em conta o estado de alteração da rocha, o seu grau de fraturação e também a resistência do material rochoso. Da mesma maneira que tem de se ter em conta a parametrização do talude rochoso, medindo a atitude das descontinuidades e as suas características, para se chegar ao número de famílias de descontinuidades que possam existir, de forma a obter uma caracterização geral do talude rochoso e uma classificação geomecânica. Desta forma, o principal objetivo deste trabalho, teve em conta o que foi descrito anteriormente.



Figura 11 – Observação de taludes.

Com o decorrer dos trabalhos e a observação dos taludes de exploração, foi possível identificar algumas situações de risco. Identificaram-se algumas falhas de grande envergadura, com argilização na superfície de movimento, como representado na Figura 12, que sugere facilidade e uma maior circulação de água nesse espaço. Esta situação diminui consideravelmente a resistência do material rochoso.



Figura 12 - Falhas com argilização.

Ainda neste trabalho, para a obtenção da resistência à compressão do material rochoso, foi usado um esclerômetro de Schmidt (Figura 13), pontualmente em superfícies rochosas, que de uma forma, simples, prática e rápida, nos dá o valor da resistência à compressão do material rochoso na superfície.



Figura 13 - Esclerômetro de Schmidt.

Para realizar este ensaio, é necessário proceder à preparação da superfície a ensaiar, usando-se uma lixa para remover relevos mais significativos da superfície do material rochoso. Após isto, já se pode utilizar o esclerômetro, onde a cabeça do veio de compressão é colocada perpendicularmente à superfície a ensaiar, empurrando o corpo do esclerômetro contra ela, de uma forma contínua, até a massa se soltar e se ouvir o impacto. Posteriormente é lido o “índice esclerométrico” que está no aparelho. De referir que na superfície rochosa, usualmente é desenhada uma rede, onde se fazem diversos ensaios para se chegar a um valor da resistência à compressão médio do material rochoso, como está representado na Figura 14.



Figura 14 - Uso do esclerômetro de Schmidt, numa rede de ensaios.

2.2. Estudo geotécnico

Um dos trabalhos que também tive a oportunidade de acompanhar, está relacionado com a geotecnia e corresponde a ensaios *Dynamic Probing Super Heavy* (DPSH). Este ensaio consiste na cravação de uma ponteira cónica que está ligada a um conjunto de varas fixas topo a topo.

O ensaio DPSH foi realizado pelo equipamento mecanizado representado na Figura 15, que contem um sistema automático de queda do peso. De metro a metro, as varas têm de ser inseridas no equipamento e apenas se dá como finalizado o ensaio quando forem precisas 100 pancadas, para a ponteira avançar 20 centímetros.



Figura 15 - Equipamento usado no ensaio DPSH.

Capítulo 3 – Hidrogeologia

3.1. Execução de diagrafia ótica

Ainda no seguimento dos acompanhamentos dos trabalhos no decorrer do estágio curricular, acompanhei uma diagrafia ótica com o objetivo de perceber se o revestimento do tubo do furo se encontrava danificado, uma vez que a bomba de água, estaria a sugar seixos de pequenas dimensões que poderiam causar danos.

O aparelho de filmagem, está representado na Figura 16, RCAM 1000 da *Lava/underground Surveys* e contém duas câmaras, que permite uma visualização quer verticalmente quer lateralmente e fortes luzes leds, para permitir uma visualização límpida em profundidade e em águas turvas, com alcance de profundidade de 300 metros.



Figura 16 - RCAM 1000 da Laval underground Surveys a ser inserido no furo de captação de água.

Este equipamento, é conectado a um computador de campo, que permite a visualização do furo em tempo real, como representado na Figura 17. No entanto, também é possível proceder à gravação do furo, onde posteriormente é fornecido ao cliente, com as observações feitas pela Sinergeo Lda.

Neste caso, a filmagem teve de ser repetida, uma vez que na primeira tentativa, encontrava-se uma sonda a obstruir a passagem da câmara, que impediu de chegar a profundidades maiores.

Na segunda tentativa, sem obstruções, foi possível concluir que o material de revestimento do tubo do furo, assim como o tubo-ralo estavam em perfeitas condições, chegando-se à conclusão, que a bomba estaria a sugar com demasiada pressão, o que fazia com que pequenos seixos entrassem na bomba de captação de água.



Figura 17 - Manuseamento e visualização em tempo real da filmagem do furo de captação de água com RCAM 1000 da Laval underground Surveys.

Parte II - Geofísica Aplicada à Prospeção Geológica

Capítulo 1 - Enquadramento Geral

1.1. Enquadramento Geográfico

A área de estudo onde foi realizado o trabalho de cariz científico-tecnológico mencionado anteriormente na introdução do presente relatório, está representada na Figura 18. Com uma área relativamente extensa, esta localiza-se no distrito de Braga e abrange os concelhos de Vila Verde, Amares, Braga, Guimarães e ainda uma pequena porção do concelho de Póvoa de Lanhoso. Relativamente a esta zona, a sua informação cartográfica pode ser encontrada nas folhas topográficas 42 (Vila Verde), 56 (Amares), 70 (Braga), 71 (São Torcado, Guimarães), 84 (Selho, Guimarães) e 85 (Guimarães) à escala 1:25000 da Carta Militar de Portugal, dos Serviços Cartográficos do Exército.

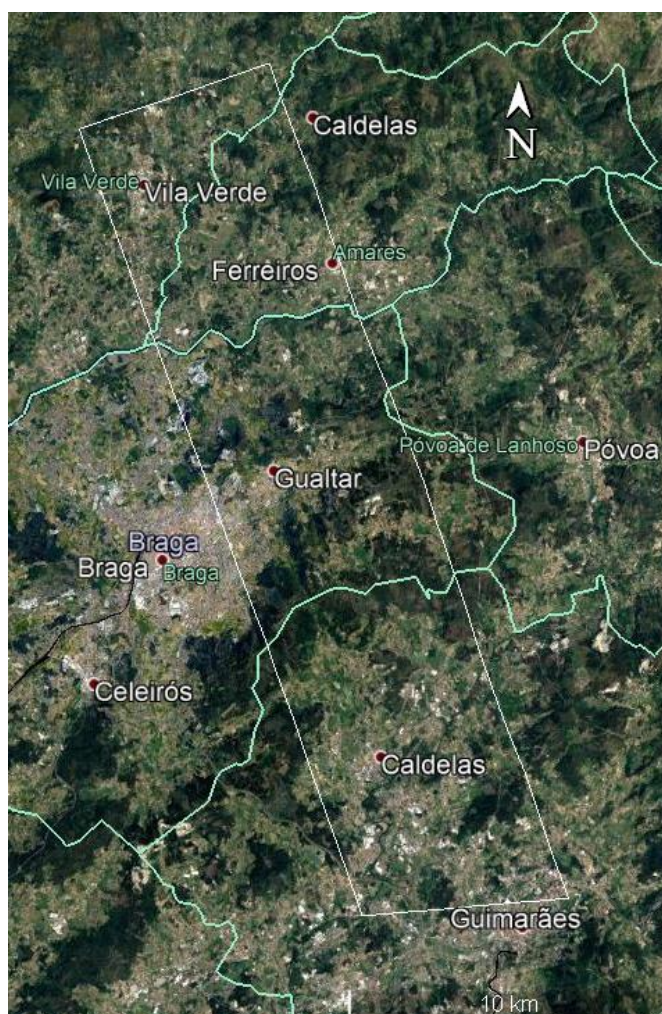


Figura 18 - Localização geográfica da área de estudo (fotografia de satélite extraída do Google Earth, 2021).

Dentro da área de estudo mencionada, realizou-se numa área mais reduzida, uma campanha gravimétrica, representada na Figura 19, com aproximadamente 14km². A área de estudo referida anteriormente na Figura 18, serviu inicialmente para o estudo da geologia regional, que irá ser descrita no seguimento deste relatório, para que exista uma maior facilidade de interpretação geológica em campo durante a recolha de dados e até mesmo durante a interpretação dos dados. A área da campanha gravimétrica foi reduzida consideravelmente em comparação com a área de estudo inicialmente prevista, devido à atual crise pandémica provocada pelo vírus SARS-CoV-2, que encurtou substancialmente o período de tempo protocolado para a realização desta investigação.



Figura 19 - Localização geográfica da área da campanha gravimétrica (fotografia de satélite extraída do Google Earth, 2021).

1.2. Enquadramento Geomorfológico e Tectónico

A região da área de estudo da Figura 18, está enquadrada no esquema estrutural que hoje se admite para o NW da Península Ibérica, constituindo a Zona Centro-Ibérica (ZCI) do orógeno Varisco, do Quadro das Divisões Paleogeográficas da Península Ibérica. O Maciço Hespérico, ou Maciço Ibérico, corresponde a um fragmento complexo do Soco Varisco Europeu (Perez-Estaun *et al.*, 2004), onde há grandes evidências da evolução e formação de paleocontinentes, em específico da Pangeia, com a formação

e alteração de grandes estruturas geológicas, assim como o desenvolvimento do revelo da Península, que terá sido modelado pela Orogenia Varisca. O maciço apresenta uma heterogeneidade única na geologia que se expressa ao longo da sua extensão e por esse motivo, o Maciço foi dividido (de nordeste para sudoeste) em zonas geotectónicas, nomeadamente: Zona Cantábrica (ZC), Zona Astúrica-Occidental Leonesa (ZAOL), Zona de Galiza-Trás-os-Montes (ZGTM), ZCI, Zona de Ossa Morena (ZOM) e Zona Sul Portuguesa (ZSP) (Julivert *et al.*, 1974; Farias *et al.*, 1987; Ribeiro *et al.*, 1989; Perez-Estaun *et al.*, 2004; Ribeiro *et al.*, 2006), sendo que, as zonas correspondem a subunidades, que estão inseridas em unidades. Na Figura 20, está representado este zonamento, na parte ocidental da Península Ibérica, com destaque completo para Portugal.



Figura 20 - Zonamento geotectónico da Península Ibérica, com unidades estruturais de primeira ordem (terrenos) e de segunda ordem (zonas) (adaptado de Ribeiro *et al.*, 2006).

Como já foi referido, a área de estudo está enquadrada na ZCI, que foi estruturada na Orogenia Varisca, resultante da colisão continental entre os continentes Gondwana e a Laurussia, que se iniciou no final do Silúrico e início do Devónico, caracterizada por mecanismos de subducção e obdução da crosta oceânica (Dias e Ribeiro 1994). O ciclo Varisco, resumidamente, começou com a abertura de oceanos Paleozóicos bordejados por margens passivas (540-420 Ma), seguido do início da subducção nos Oceanos Paleozóicos com a abertura subordinada de bacias marginais pós-arco e obdução de lâminas ofiolíticas (420-390 Ma) e eventos termometamórficos de alta pressão. Posteriormente deu-se a colisão continental e a orogénese com

polaridade sedimentar e tectónica orientada em direção às zonas de antepaís (ZC) a NE e ZSP, a SW (390-300 Ma) acompanhada de anomalias térmicas geradoras de abundantes granitóides e metamorfismo de alta temperatura, dando-se depois, uma deformação intracontinental transcorrente, seguida de colapso orogénico localizado (300-270 Ma) (Ribeiro *et al.*, 2006). A deformação Varisca é caracterizada por ser polifástica e divide-se em três fases tectónicas, D1, D2 e D3 (Noronha *et al.*, 1979; Dias e Ribeiro, 1994; Ribeiro *et al.*, 2006). A fase D1, gerou dobras com orientação predominante NW-SE, mas, no entanto, em terrenos alóctones, parautoctones ou autóctones, gera dobras com orientações e vergências diferentes, sendo no autóctone, dobras com plano axial vertical e no parautoctone, ligeiramente vergentes. A fase D2, ocorreu próxima da fase D1, com a formação da dobras deitadas, vergentes para SE, sendo bem representada no alóctone e no parautoctone (Dias e Ribeiro, 1994), com o desenvolvimento de uma foliação subhorizontal (S2) (Noronha *et al.*, 1979). A fase D3, ao contrário das anteriores, teve abrangência em todos os terrenos autóctones, parautoctones e alóctones do maciço Ibérico. A nível regional, definem-se corredores e zonas de cisalhamento dúctil-frágil e frágil de plano vertical e orientação NNE-SSW (falha Régua-Verin). Ainda nesta fase, são reativadas, em regime transcorrente, estruturas anteriores possivelmente formuladas em D1 ou D2 (cisalhamento Vigo-Régua) (Castro *et al.*, 2010). A orogenia Varisca originou um espessamento crustal que produziu magmas graníticos por anatexia, que ocorreu na fase D3, sendo que os granitos variscos portugueses, são sinorogénicos e podem ser divididos em dois grupos principais, nomeadamente, granitos de duas micas e granitos biotíticos (Ferreira *et al.*, 1987). Os granitos de duas micas são considerados sintectónicos em relação à terceira fase de deformação Varisca, sin-D3 e localizam-se geralmente ao longo do núcleo de dobras regionais D3, com direção NW-SE (D3, última fase de deformação dúctil Varisca). Geralmente são granitos leucocratas, com moscovite e biotite primária, resultantes da cristalização húmida de magmas peraluminosos, originários de um nível mesocrustal (Ferreira *et al.*, 1987). O segundo grupo, de granitos biotíticos, têm origem a um nível mais profundo da crosta e correspondem a magmas relativamente mais secos, sendo que, se a moscovite ocorrer neste grupo, tem uma origem secundária (Noronha, 1982). Os granitos biotíticos, são controlados principalmente, por zonas de cisalhamentos D3 e estruturas tectónicas tardias Variscas. O período de instalação de granitos, relativamente à fase D3, pode ser sin-D3 (320-313 Ma), tardi-D3 (311-306 Ma), tardi a pós-D3 (300 Ma) ou até mesmo pós-D3 (299-290 Ma) (Dias *et al.* 2010).

Na área de estudo, os relevos são marcados pela tectónica, onde as litologias terão sido marcadas fortemente pela fraturação Varisca NNE-SSW e NW-SE, tendo sido reativadas por movimentos Alpinos que geraram uma rede de fraturação própria ENE-WSW (Ferreira *et al.*, 2000). A fraturação anteriormente descrita, controla os principais rios desta região (Cávado, Ave e Este). Também a fraturação NNW-SSE está bem expressa nos alinhamentos, com que condiciona os cursos de água. Os granitoides que afloram nesta área têm a sua instalação condicionada pela fase F3 Varisca, onde a instalação do granito de duas micas de Vila Verde, está associada ao grande cisalhamento Vigo-Régua, com orientação geral NW-SE, com foliação bem marcada N40°W (Ferreira *et al.*, 2000). A fraturação tardi-varisca está marcada pelo efeito da compressão máxima com orientação NE-SW que provocou por fraturação NW-SE e ENE-WSW bem marcada nesta carta pelos grandes alinhamentos da rede fluvial (Ferreira *et al.*, 2000). O setor sul da área é montanhoso, do ponto de vista orográfico, com relevos acima de 400 metros.

1.2.1. Cisalhamento Vigo-Régua

A zona de cisalhamento dúctil Maplica-Lamego (ZCDML) tem uma extensão de 275 km, com orientação média NW-SE, paralela à Cadeia Varisca do NW da Península Ibérica (Figura 21). Esta estrutura é composta por dois segmentos, que têm correspondência em cisalhamentos direcionais, a norte a zona de cisalhamento Malpica-Vigo e a sul, a zona de cisalhamento dúctil Vigo-Régua (Ferreira *et al.*, 1987).

Apenas o segmento sul, correspondente à zona de cisalhamento dúctil Vigo-Régua, insere-se e/ou teve influência nesta, portanto, apenas será feita a descrição deste segmento.

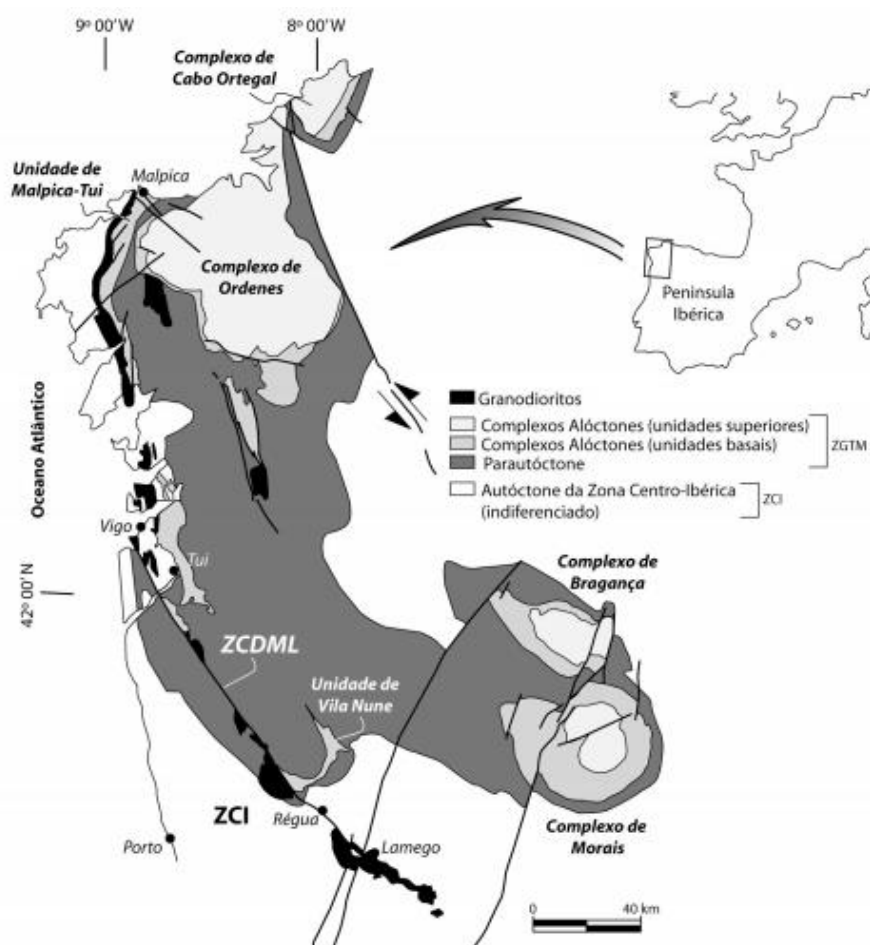


Figura 21 - Representação esquemática da Cadeira Varisca do NW da Península Ibérica, com a localização da ZCDML (extraído de Castro et al., 2010).

A zona de cisalhamento dúctil Vigo-Régua é descrita como uma movimentação direcional (Ferreira *et al.*, 1987) com uma interpretação cinemática multifásica: sinestrógiro em D1 e D2 (370-310/315 Ma) e dextrógiro na D3 (310/315-300 Ma). Em D1, é identificado um evento de cavalgamento, seguido por um episódio que altera a vergência estrutural, antes de D3. Em D3, inicialmente como movimento direito e posteriormente como esquerdo. Esta zona de cisalhamento tem uma foliação penetrativa sub-vertical ou inclinada para W e uma lineação de estiramento subhorizontal (Castro *et al.*, 2010).

Este cisalhamento desenvolve-se ao longo de sequências para autóctones e alóctones da ZCI e das rochas graníticas associadas. As rochas granodioríticas porfíroides definem o padrão da zona de cisalhamento, onde a sua instalação foi estruturalmente controlada por este cisalhamento (Castro *et al.*, 2010).

1.3. Enquadramento Geológico

Relativamente ao contexto geológico, a área de estudo abrange três folhas da Carta Geológica de Portugal, sendo respetivamente a Folha 5-B (Ponte da Barca), a

Folha 5-D (Braga) e a Folha 9-B (Guimarães), à escala 1:50000 (ver anexo Figura A.1 e Tabela A.2). Como a área é abrangida por 3 folhas, a sua contextualização geológica vai ser realizada para cada carta onde se insere.

A zona mais a norte da área de estudo, insere-se na Folha 5-B (Ponte da Barca), Carta Geológica de Portugal à escala 1:50000, como é possível observar na Figura 22, havendo apenas dominância de rochas graníticas, a presença de um filão de rocha básica cartografada, depósitos de terraços fluviais dos Plistocénico e Aluviões atuais. Relativamente às rochas graníticas, existe dominância do granito porfíroide de grão médio ou fino a médio, mais conhecido como granito de Braga. Correspondem a prolongamentos para norte da mancha do granito em Braga e situam-se a este e oeste da Vila Verde. É um granito calco-alcalino monzonítico, de duas micas, com predominância visível de biotite. É composto por feldspatos geralmente brancos ou acinzentados, com dimensões variáveis, surgindo pontualmente, raros mega cristais dispersos, de natureza potássica. A plagioclase é do tipo oligoclase andesina e é mais abundante que os feldspatos potássicos (Medeiros *et al.*, 1975).

A região de Vila Verde é ocupada por granito não porfíroide de grão médio ou grosseiro a médio (granito de Vila Verde), e estende-se para norte e noroeste. Contacta, nesta zona a este e oeste com o granito de Braga. Esta passagem faz-se de maneira gradual por desaparecimento ou rarefação dos megacristas de feldspato. É constituído essencialmente por quartzo, feldspato potássico e olígoclase, pouca biotite e contém alguma moscovite. A matriz por vezes é orientada, com alinhamento da biotite e a textura é xenomórfica. A presença de minerais como a andaluzite, silimanite e cordierite revela um provável, endometamorfismo. A presença de albite intergranular, pertites e mimerquites e as inversões na ordem de cristalização, revelam as ações metassomáticas que estes granitos sofreram (Medeiros *et al.*, 1975).

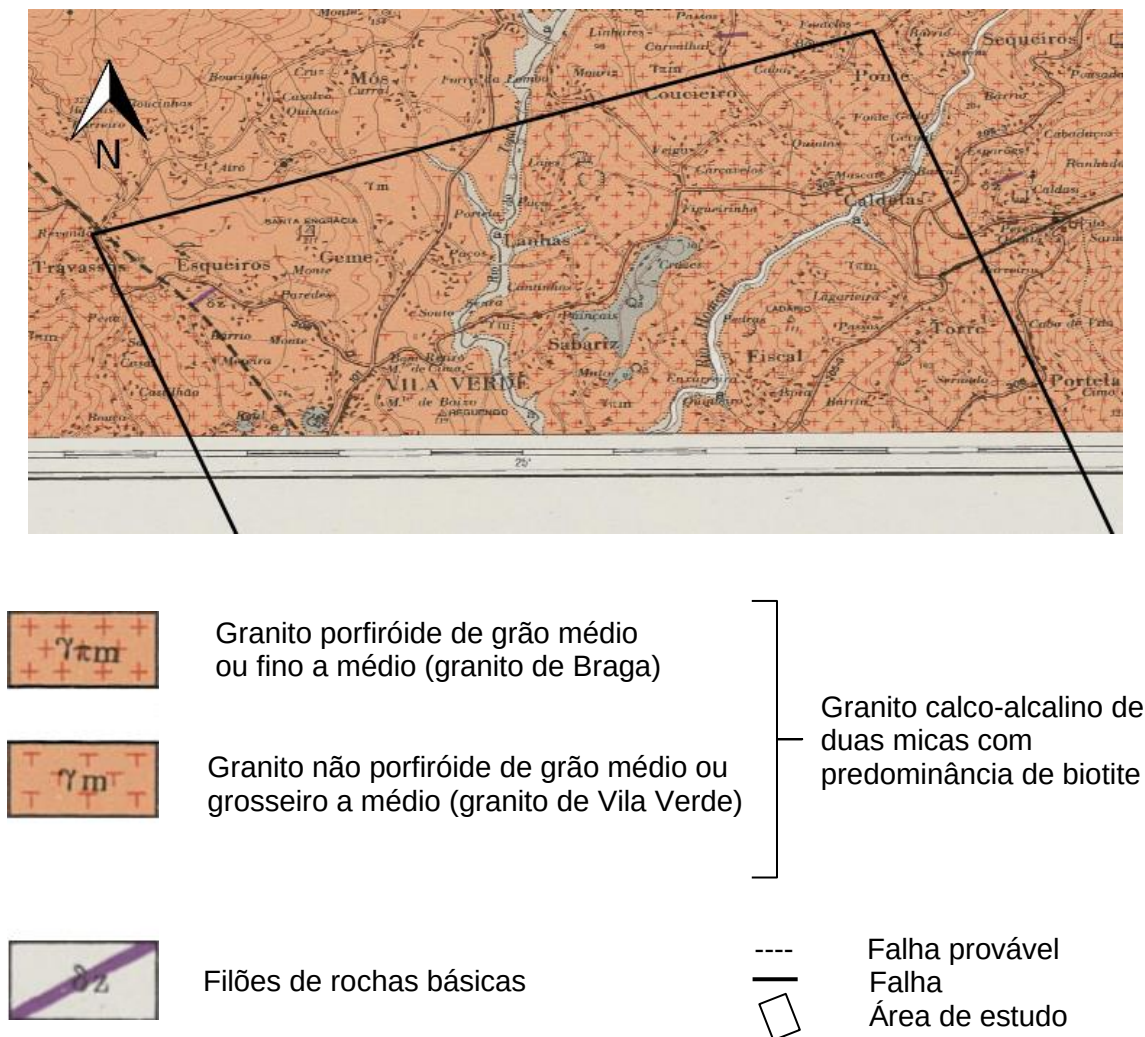


Figura 22 - Localização da zona norte da área de estudo, no excerto da Folha 5-B (Ponte da Barca) da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50000 e a respetiva legenda da folha.

Relativamente à zona central da área de estudo, esta insere-se na folha 5-D (Braga), da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50000, representada na Figura 23, e compreende essencialmente formações graníticas da idade Varisca, metassedimentos do Paleozoico, em retalhos, considerados pequenos, dispersos nos granitos, depósitos de cobertura plio-pleistocénicos, preservados em depressões tectónicas ou em terraços fluviais, geralmente ligados aos grandes rios que cortam a área, nomeadamente, Cávado e Ave e aluviões atuais. Os metassedimentos do Paleozoico ocorrem a oeste do cisalhamento dúctil Vigo-Régua, sendo que a este deste, são mais escassos (Ferreira *et al.*, 2000).

Na área de estudo, as manchas de metassedimentos do Paleozoico, unidade alóctone, mais significativas ocorrem a este de Braga, em *roof-pendant* no granito de Sameiro, sendo manchas intragraníticas, que definem o cisalhamento Vigo-Régua, estando já na presença de migmatitos. Na mancha de metassedimentos na zona central da área de estudo, a norte desta unidade, existem pequenos níveis de turmalinitos nos

migmatitos que ocorrem no cisalhamento. As paragénese metamórficas são bastante marcadas pela forte alteração meteórica e por fluídos hidrotermais pós-magmáticos, especialmente na proximidade das intrusões graníticas. Existe um metamorfismo de alta temperatura e baixa pressão, sendo que ao longo do cisalhamento Vigo-Régua, desenvolve-se silimanite, por vezes andaluzite, podendo haver neoformação de feldspato potássico, indicador de alto metamorfismo. As manchas são de micaxistos e migmatitos, com textura granolepidoblástica e os contactos entre os tectossilicatos apresentam tendência para a existência de pontos triplos, que marcam o pico metamórfico pós-deformação (Ferreira *et al.*, 2000).

Relativamente aos granitoides que afloram na área de estudo, estes apresentam forte variabilidade textural e composicional. Distribuem-se paralelamente à zona de cisalhamento dúctil Vigo-Régua ou à fraturação tardi-varisca, considerando-se três grupos, granitoides sintectónicos (320-310 Ma), sendo que nesta área são os granitos de Vila Verde e Sameiro; granitoides tardi tectónicos (310-305 Ma), complexo de Celeirós, com granito de Celeirós e Vieira do Minho, complexo de Póvoa de Lanhoso, com o granito de Agrela e o complexo de Braga, com granito de Braga e granito de Gonça; granitoides tardi a pós-tectónicos (≈ 300 Ma) com o granito de Briteiros (Ferreira *et al.*, 2000).

O granito de Vila Verde ocorre encaixado no Granito de Braga, numa pequena mancha que se estende para norte, bem marcado pelo cisalhamento Vigo-Régua, sendo bem expressivo neste granito. É um granito de grão médio, de duas micas, de tendência porfiróide. Megacristais de pequenas dimensões, sem orientação preferencial, rodeados por concentrações de biotite. É visível uma orientação de N40°W das micas, de *schlierens* e de pequenos encraves xistentos muitos frequentes. Quando alterada, é frequente a presença de pequenos nódulos de silimanite (Ferreira *et al.*, 2000).

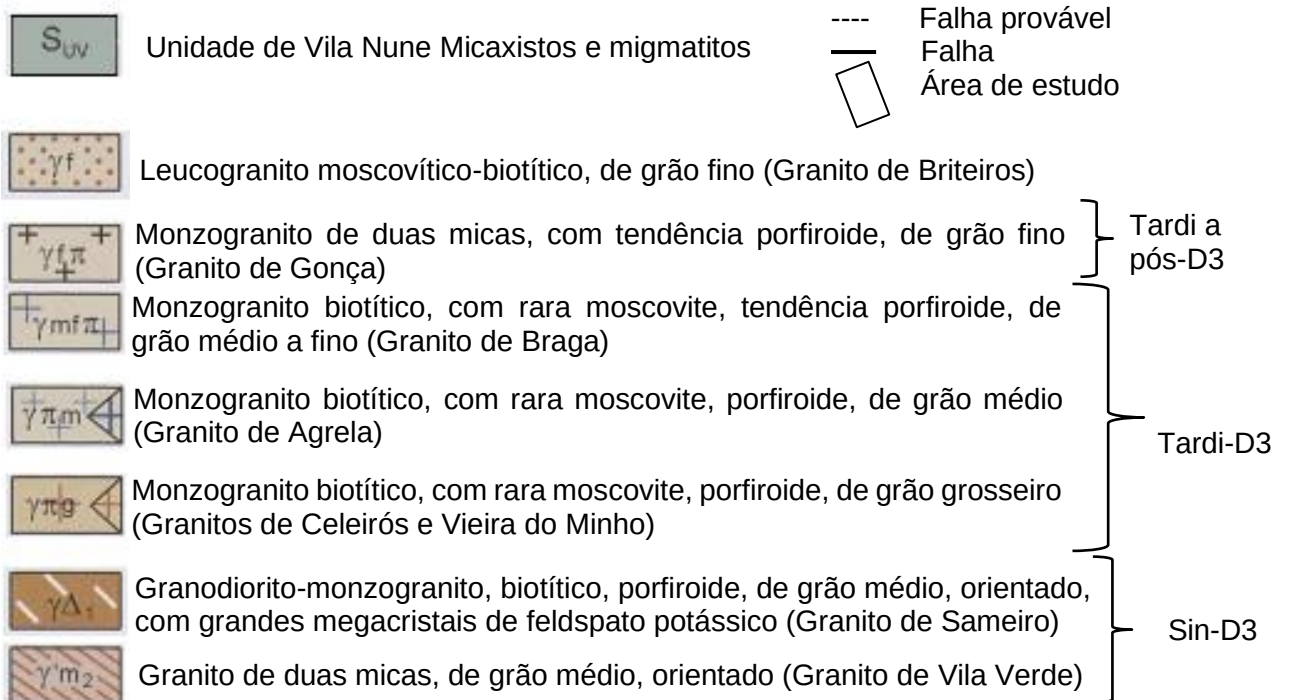
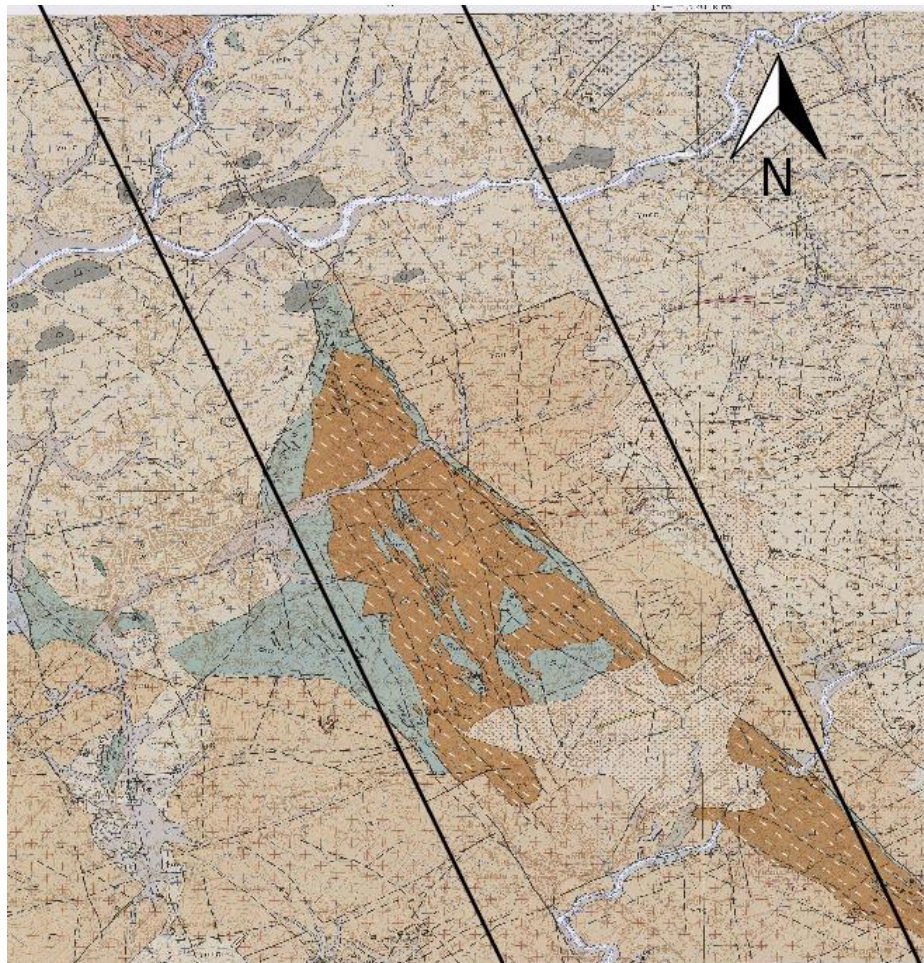


Figura 23 - Localização da zona central da área de estudo, no excerto da Folha 5-D (Braga) da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50000 e a respetiva legenda da folha.

Numa parte considerável desta área, estende-se uma mancha granítica, denominada granito do Sameiro, que é interrompida por uma mancha de Granito de Briteiros, e limitada no seu bordo NE, pelo grande cisalhamento Vigo-Réguia. Como já referido anteriormente, no interior desta mancha, surgem em abundância painéis de rochas metassedimentares, *roof-pendants*, que por vezes, estão alinhadas paralelamente à orientação do cisalhamento principal. Esta rocha apresenta uma composição de granodiorito a monzogranito biotítico, porfiróide de grão médio, com orientação bem marcada na matriz, assim como nos cristais de grandes dimensões de feldspato potássico, contendo inclusões alinhadas de biotite, dispostas concêntricamente. Contém, por vezes, encraves microgranulares máficos, encraves metassedimentares e raros encraves leucocráticos. Apresenta estrutura interna essencialmente magmática, conferida pela orientação dos megacristais de feldspato potássico, da biotite e dos encraves microgranulares máficos (Ferreira *et al.*, 2000). A estrutura interna do maciço é o resultado da deformação dos magmas por achatamento com uma reduzida componente rotacional, num regime tectónico dominado por uma componente compressiva subhorizontal de direção NE-SW, sem movimento significativo ao longo do acidente Vigo-Réguia. A instalação dos granitos é compatível com o regime de tensões na etapa inicial da terceira fase de deformação Varisca (D3). A ascensão e instalação dos magmas terá sido facilitada pela deformação do encaixante metassedimentar e pela fraturação associada ao acidente, com expansão lateral *in situ*. O acidente Vigo-Réguia esteve ativo na fase final da instalação dos granitoides (Simões, 2000).

O granito de Celeirós e Vieira do Minho, do Complexo Granítico de Celeirós, corresponde a um monzogranito biotítico, com rara moscovite, porfiróide de grão grosseiro, com quartzo disperso na matriz, ou em agregados cristalinos, de cor azulada. Megacristais abundantes, com contorno mal definido, contendo por vezes, inclusões de biotite dispostas concêntricamente. É frequente a presença de cordierite, alterada por vezes para gigantolite. Frequentes encraves metassedimentares centimétricos a decimétricos, com andalusite e raros encraves microgranulares máficos. A sul da área de estudo, o granito é de grão médio e com os megacristais orientados paralelamente ao contacto com o Granito do Sameiro sendo que, esta variação de granularidade não tem correspondência do ponto de vista geoquímico, uma vez que a composição química é idêntica à do granito de grão grosseiro, correspondendo assim a uma fácies de bordadura. O contacto entre este granito com o Granito do Sameiro é estabelecido pelo grande cisalhamento Vigo-Réguia, que mantém em quase toda a extensão do contacto, um estreito painel de metassedimentos, com intensa deformação. A norte desta

mancha, dá-se um contacto com o Granito de Braga, por uma falha tectónica com orientação N70°E. Os granitos diferem muito na granulometria, composição e textura e os seus contactos, muitas vezes retilíneos, sugerem que quando se deu a instalação do Granito de Braga, o Granito de Celeirós já se encontrava consolidado (Ferreira *et al.*, 2000).

O Granito de Agrela, do complexo Granítico da Póvoa de Lanhoso, é pouco representativo na área estudada, no entanto, corresponde a monzogranito biotítico com rara moscovite, porfiróide de grão médio, com os megacristais de feldspato potássico, a definirem geralmente uma orientação de fluxo e apresentam geralmente zonamento de crescimento marcado pela biotite. Quartzo abundante e cordierite frequente. Abundantes encraves microgranulares, metassedimentares e raros encraves micáceos. O Granito de Agrela caracteriza-se igualmente pela existência de uma fluidalidade magmática observada em toda a mancha, materializada pelo alinhamento dos megacristais de feldspato (Ferreira *et al.*, 2000).

Relativamente ao Complexo Granítico de Braga, o Granito de Gonça também é de pouca representatividade na área de estudo, corresponde a um monzogranito de duas micas, com tendência porfiróide de grão fino, contém frequentes encraves metassedimentares e pequenos encraves micáceos. Os encraves microgranulares são muito raros ou estão ausentes. Os megacristais de feldspato também são raros e definem uma orientação de fluxo pouco marcada. O contacto com os granitos encaixantes é por regra brusco (Ferreira *et al.*, 2000).

Pertencente ao Complexo Granítico de Braga, o Granito de Braga, corresponde a um monzogranito biotítico com rara moscovite, com tendência porfiróide de grão médio a fino. Os fenocristais de feldspato potássio, têm tendência euédrica e apresentam grande relação eixo maior eixo menor, conferindo um aspeto alongado. Numerosos encraves, sendo os mais abundantes os microgranulares máficos. Surgem ainda encraves metassedimentares de dimensão variável com andalusite no interior e pequenos encraves micáceos com andalusite e silimanite. Existe uma orientação N40°W, que poderá corresponder a fluxo magmático, materializada pela orientação dos megacristais, encraves e minerais micáceos. O contacto com o Granito de Celeirós é brusco e nítido, ao contrário do contacto com o Granito de Agrela, que é gradual, sendo visíveis relações de *mixing* e *mingling*, que sugerem uma instalação simultânea. O contacto com o Granito de Vila Verde, é estabelecido por acidente tectónico, não sendo visíveis relações. O Granito de Briteiros surge frequentemente a preencher fraturas no Granito de Braga (Ferreira *et al.*, 2000).

O último granitoide visível na área, corresponde ao Granito de Briteiros, sendo

um leucogranito moscovítico-biotítico de grão fino, onde por vezes se dá uma grande concentração de moscovite em grandes placas. São frequentes os encraves metassedimentares e micáceos que contém silimanite. Não apresenta deformação, no entanto, é visível uma orientação preferencial da moscovite segundo planos subhorizontais. Junto ao rio Ave, o granito está fortemente afetado por cisalhamentos frágeis. É um granito nitidamente posterior a todos os outros, que corta contactos, com o Granito do Sameiro por exemplo e preenche fraturas, como já referido, no Granito de Braga (Ferreira *et al.*, 2000).

Por fim, a área de estudo, no seu limite sul, insere-se na Folha 9-B (Guimarães) da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50000, como é visível na Figura 24, e de acordo com a cartografia realizada nesta folha, apenas se insere uma litologia na área, que corresponde ao Granito de Guimarães, que de acordo com Ferreira *et al.*, 2000, na Notícia explicativa e Folha 5-D (Braga), corresponde à continuação do Granito de Celeirós a sul da Área 1. Este granito é um monzogranito biotítico, porfiróide de grão grosseiro.

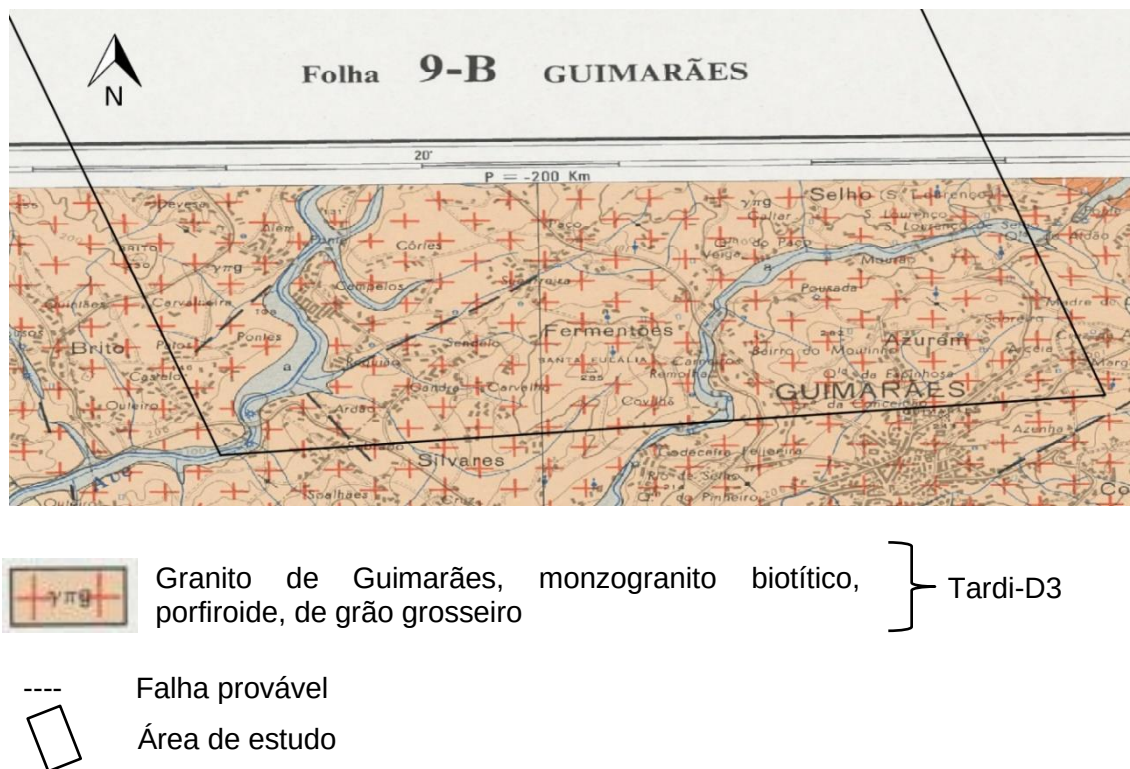
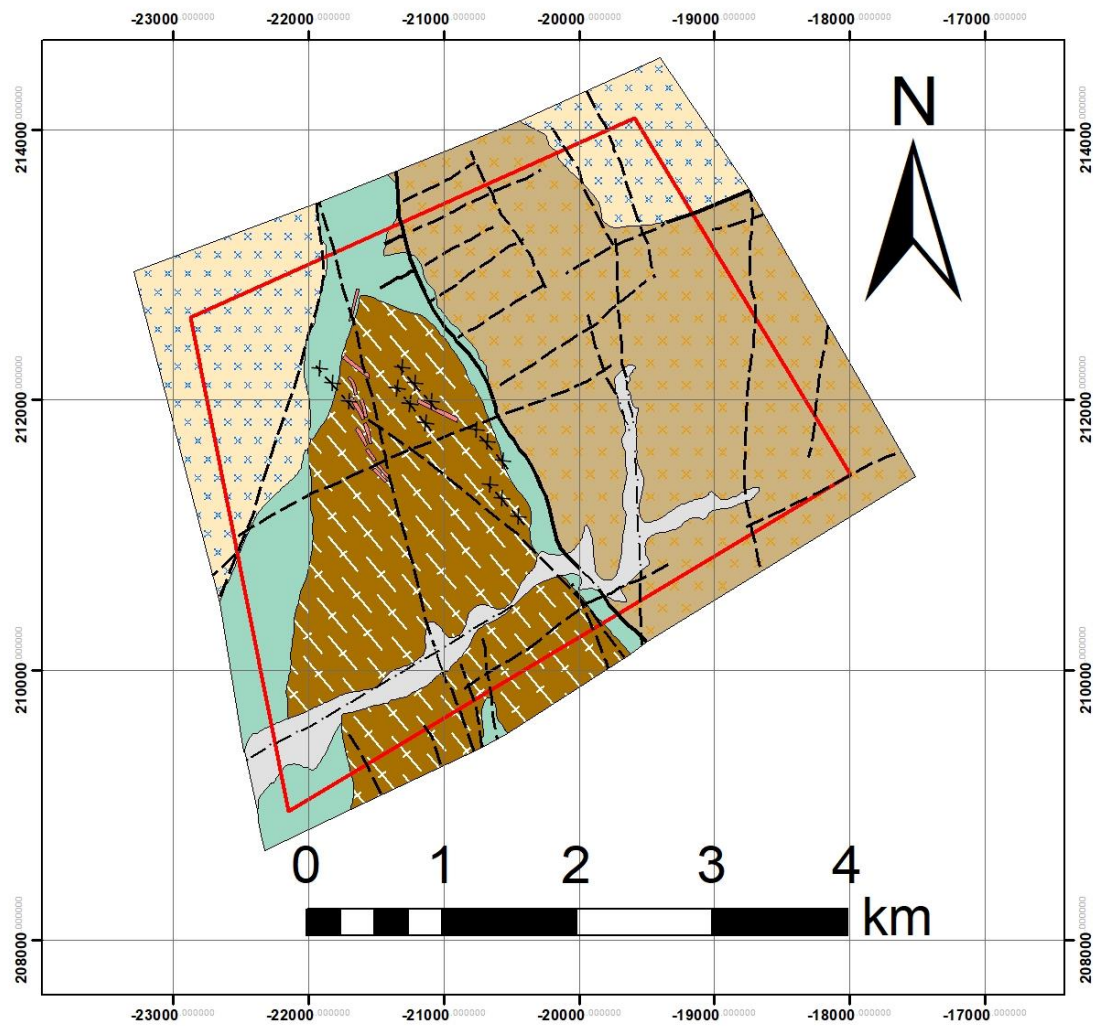


Figura 24 - Localização da zona a sul da área de estudo, no excerto da Folha 9-B (Guimarães) da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50000 e a respetiva legenda da folha.

Dentro da área da campanha gravimétrica, surgem micaxistos e migmatitos da Unidade de Vila Nune em *roof-pendant* no Granito do Sameiro, mas também em volta deste, sendo intragranítico, limitado a NE definindo o cisalhamento Vigo-Régua. Podem surgir no Granito do Sameiro, filões e massas aplíticas e/ou pegmatíticas. No cisalhamento podem ainda ocorrer migmatitos com níveis mais turmalinitos. Na proximidade das intrusões graníticas, os metassedimentos estão fortemente marcados pela circulação de fluídos hidrotermais pós-magmáticos. O Granito de Celeirós ocorre na área, paralelo ao cisalhamento dúctil Vigo-Régua, sendo que esta estrutura estabelece o contacto com o Granito do Sameiro, que mantém na sua extensão da área, um estreito painel de metassedimentos, com intensa deformação. Por fim, o Granito de Braga, que também surge na área, quando em contacto com o Granito de Celeirós, dá-se de forma brusca e nítida, retilínea, que sugere quando se deu a instalação do Granito de Braga, o Granito de Celeirós já se encontrava consolidado (Ferreira *et al.*, 2000). A geologia da área da campanha gravimétrica está representada na Figura 25.



Legenda

 Área Gravimétrica

Estruturas

*** Cisalhamento

— Falha

- - - Falha Oculta

- - - Falha Provável

Geologia

Depósitos do Quaternário

Micaxistos

Granito de Braga

Granito de Celeirós

Granodiorito

Filões aplíticos e/ou pegmatíticos

Figura 25 - Localização da área da campanha gravimétrica, sobreposta no mapa geológico adaptado da Folha 5-D (Braga) da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50000, criado em ArcGis v10.7, com a respetiva legenda. Sistema de coordenadas ETRS89 Portugal TM06.

1.4. Enquadramento Hidrogeológico

A hidrogeomorfologia da área de estudo é marcada por vales profundos, vales fluviais em zonas baixas e relevos acentuados. Estamos perante a presença de quatro principais rios, o Rio Homem, Rio Cávado, Rio Este e Rio Ave. A norte, o rio Homem, afluente do Rio Cávado, segue uma linha tectónica importante, com sentido NE-SW, onde se podem localizar no fundo dos vales, nascentes minero-medicinais. De referir que perto desta região, emergem as nascentes termais de Caldelas, localizadas num vale retilíneo com a mesma atitude. (Medeiros *et al.*, 1975).

É possível delimitar duas bacias hidrográficas na área de estudo, sendo que o setor NW, é dominado pela bacia do Cávado e o setor SE pela bacia do Ave. O Rio Homem, insere-se na bacia do Cávado. Os vales do Rio Cávado e do Rio Ave, e dos seus afluentes, do Rio Homem e do Rio Este, respetivamente, apreentam consideráveis áreas aluvionares, que constituem importantes depósitos de água subterrânea. Estes vales maiores têm origem tectónica, que estão relacionados com emergências de águas minerais e até mesmo ocorrência de termalismo, como por exemplo, o caso das Termas das Taipas, perto do Rio Ave. Todos os rios são controlados por uma rede de fraturação ENE-WSW, criada com movimentos Alpinos, mas também a fraturação Varisca NNW-SSE, bem expressa nos alinhamentos, que condicionam os cursos de água. De um ponto de vista hidrogeológico, está inserido em sistemas aquíferos fissurados sustentados por rochas granitoides e metassedimentares do maciço hespérico (Ferreira *et al.*, 2000). Relativamente aos granitos, quanto maior for a sua alteração e fraturação, maior é a sua permeabilidade.

1.4.1. Ocorrências termais

Na área de estudo, existe a ocorrência de águas termais, na secção sul da zona, em Caldelas, na margem direita do Rio Ave, denominada de Caldas das Taipas, enquadrada no monzogranito biotítico (Granito de Celeirós), perto de duas falhas, com direcções NNE-SSW e ENE-WSW, coincidentes com a rede de fraturação da região. Trata-se de uma água hipertermal, que emerge a temperatura de 30,5 °C, com pH de 8,19 e resíduo seco 216,6 mg/l. É uma água sulfúrea, tendo como constituintes importantes o sulfureto e o sulfato e é bicarbonatada sódica (Ferreira *et al.*, 2000).

Perto da região norte da área de estudo, existe ainda a ocorrência de águas termais, em Caldelas, que brotam no vale encaixado retilíneo, estreito e abrupto, do ribeiro de Alvito, na margem esquerda. O alinhamento ENE-WSW do vale, corresponde à zona de cisalhamento próxima com a mesma orientação, que materializa o alinhamento do vale. A concessão de Caldelas ocorre numa zona de contacto de dois

granitos, granito porfiroide de duas micas, de grão médio ou fino a médio (Granito de Braga) e granito de duas micas, com tendência porfiroide de grão médio a grosseiro. O furo ocorre no Granito de Braga. A água de Caldelas, é hipossalina, bicarbonatada cálcica, silicatada, sulfocloretoada sódica, potássica, magnésiana, litinífera e ferruginosa, com temperatura de cerca de 30-31 °C (Medeiros *et al.*, 1975).

Capítulo 2 – Princípios Teóricos

2.1. Geofísica e prospeção geofísica

A geofísica é uma ciência que tem como base princípios físicos, que são aplicados para estudar a Terra, desde a superfície até ao seu centro. A geofísica é o único ramo das geociências que permite verdadeiramente “olhar” para o interior da Terra, executando geralmente medições à superfície, ou perto desta, que são influenciadas por uma distribuição interna de propriedades físicas do meio. A análise e tratamento dos dados geofísicos obtidos, permite revelar a variação das propriedades físicas em profundidade, verticalmente e lateralmente, sendo possível detetar remotamente, por exemplo, a presença de corpos e estruturas. Em contraste, a geologia em si, só os poderá deduzir (Kearey e Brooks, 1991; Mussett e Khan, 2000).

A maioria dos alvos com interesse de investigação estão a profundidades relativamente pouco profundas, podendo ocorrer por vezes a profundidades maiores, sendo utilizadas geralmente, como já referido, medições geofísicas na superfície da Terra, no entanto, a seleção do método geofísico mais adequado torna-se difícil devido ao elevado grau de heterogeneidade geológica por vezes encontrado em subsolo, a profundidade do alvo, mas também de características geofísicas, que diferem suficientemente de uma região para outra, nomeadamente na densidade, suscetibilidade magnética, resistividade e condutividade elétrica, radioatividade, condutividade térmica, entre outros. Com isto, o método geofísico, ou o conjunto de métodos adequados à situação, depende de muitos fatores e, geralmente, em investigações, são usados diferentes métodos para diferentes propriedades, para permitir uma verificação extra dos resultados aumentando assim a confiabilidade da interpretação (Kearey e Brooks, 1991; Sharma, 1997; Mussett e Khan, 2000; Milsom, 2003).

Os instrumentos geofísicos variam amplamente no tamanho e complexidade, mas todos podem ser usados para fazer medições físicas em campo, em locais temporários, por vezes em condições desfavoráveis, portanto, devem ser económicos energeticamente, portáteis, robustos, confiáveis e simples (Milsom, 2003).

O fator custo também é um critério importante na escolha do método de prospeção adequado a um determinado problema. Geralmente, recorre-se a uma prospeção mecânica, nomeadamente a sondagens, para a investigação no subsolo, contudo, esta prospeção é mais dispendiosa e apenas fornece informação do local exato onde está a ser executada. Ao contrário desta, os custos de levantamento geofísico são muito mais baixos que os custos de perfuração. O levantamento geofísico não evita a

necessidade de perfuração, mas, devidamente aplicado, pode otimizar programas de exploração, maximizando a taxa de cobertura do solo e minimizando a necessidade de perfuração. Contudo, a estimativa do custo de um método geofísico selecionado para uma área de investigação, pode depender das condições do terreno, do tamanho da área, do espaçamento da rede de amostragem e do número de pontos de levantamento, da precisão necessária e dos detalhes da interpretação. Por sua vez, a prospeção geofísica é usada para economizar tempo e despesas monetárias, porque, é capaz de fornecer imagens amplas e compostas da subsuperfície em grandes áreas com rapidez e economia que não são alcançáveis por outros métodos de prospeção (Kearey e Brooks, 1991; Sharma, 1997; Mussett e Khan, 2000).

Todavia, os resultados do levantamento geofísico não devem ser considerados definitivos, porque, por vezes, são propensos a grandes ambiguidades inerentes à interpretação de resultados, sendo, por isso, ocasionalmente, não conclusivos. Portanto, uma combinação adequada de prospeção geofísica, com uma campanha de sondagens, otimiza as conclusões da investigação (Sharma, 1997; Kearey *et al.*, 2002).

Com isto, a geofísica é capaz de adicionar uma terceira dimensão, a profundidade, de uma forma que a geologia tradicional geralmente não o consegue. Desta forma, a geofísica não substitui a geologia, mas completa-a.

2.2. Gravimetria

Para se compreender o método gravimétrico, é necessário entender a definição de gravimetria. Resumidamente, a gravidade é a magnitude da aceleração da gravidade experienciada por um corpo na superfície terrestre, que resulta da atração gravitacional da Terra, do efeito centrífugo associado à rotação da Terra. A aceleração da gravidade, g , tem um valor médio de $9,8 \text{ m/s}^2$, embora o valor exato possa variar em ambas as unidades de tempo e espaço, em resposta a qualquer fenómeno que altere a distribuição de massa (Van Camp *et al.*, 2017). As medidas da gravidade terrestre são úteis para mapear o campo gravitacional, permitindo também, por vezes, revelar em pequena escala estruturas geológicas (Mickus, 2003; Reynolds, 2011).

O método gravimétrico é uma ferramenta importante para resolver problemas que envolvem o mapeamento da subsuperfície. Num levantamento gravimétrico, a geologia do subsolo é investigada nas variações do campo gravitacional da Terra, provocado pelas diferenças de densidades das rochas encaixantes e/ou estruturas geológicas presentes. Estas diferenças de densidades quando presentes, provocam perturbações no campo gravítico, que são conhecidas como anomalias gravimétricas. A análise e interpretação destas anomalias gravimétricas permite fazer uma estimativa

da profundidade e forma do corpo anómalo. Este método é utilizado em vários estudos geológicos, para localizar diferentes corpos anómalos em diferentes escalas, como por exemplo, intrusões ígneas, falhas geológicas, bacias sedimentares, estruturas salinas, corpos de minério metálico, entre outros. O levantamento gravimétrico mede, por vezes, diferenças mínimas na perturbação da gravidade, que, por consequente, necessita de instrumentos extremamente sensíveis. Estes instrumentos são portáteis e geralmente conhecidos como medidores de gravidade ou gravímetros. Este método é importante para a caracterização regional da Terra, pois permite determinar a estrutura da crosta, identificando regiões com potencial favorável à exploração de recursos (Kearey e Brooks, 1991; Mussett e Khan, 2000; Milsom, 2003; Hinze *et al.*, 2013).

2.2.1. Teoria

O método gravimétrico, teoricamente, é fundamentado pelas Leis de Newton, nomeadamente na Lei da Gravitação Universal e, para compreender este método, é necessário entender a Lei. Newton, teve a genialidade de perceber que a força familiar que puxa os objetos em direção ao solo, também é a força responsável por manter os planetas nas suas órbitas à volta do Sol e que, de facto, todos os corpos se atraem. Isto é, uma força (F) de atração entre dois corpos de massa conhecida, m_1 e m_2 , é diretamente proporcional ao produto das suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância (r^2) entre os centros de massa, portanto, quanto maior for a distância entre os centros de massa, menor será a força de atração entre esses dois corpos (Kearey e Brooks, 1991; Mussett e Khan, 2000; Mickus, 2003; Reynolds, 2011). A equação que descreve a Lei da Gravitação Universal, é representada por:

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

onde G , corresponde à Constante Gravitacional ($G = 6,67 \times 10^{-11} m^3 kg^{-1} s^{-2}$, em unidades SI).

Considerando a Terra, como uma esfera homogénea, não rotativa, de massa M e de raio R numa pequena massa na sua superfície, é relativamente simples mostrar que, a massa de uma esfera age como se estivesse concentrada no centro desta (Kearey e Brooks, 1991), por substituição na primeira equação:

$$F = \frac{GM}{R^2} m = mg$$

A força está relacionada com a massa por uma aceleração, onde $g = GM/R^2$, é conhecido como aceleração gravitacional, ou vulgarmente como gravidade. O peso da massa é dado por mg (Kearey e Brooks, 1991).

Na teoria, a gravidade na Terra seria constante, mas, no entanto, a sua forma elipsoidal, a sua rotação, o seu relevo irregular na superfície, a sua distribuição interna de massa e variações de densidade sub-superficial (Kearey e Brooks, 1991; Dentith e Mudge, 2014), provocam uma variação da gravidade ao longo da sua superfície. Com isto, o campo gravitacional da Terra é definido em termos do potencial gravitacional U (Kearey e Brooks, 1991), representado pela equação:

$$U = \frac{GM}{R}$$

Considerando que a aceleração gravitacional g , é um vetor quantitativo, com direção e magnitude (verticalmente para baixo), o potencial gravitacional U é escalar, tendo apenas magnitude. Em qualquer direção, a primeira derivada de U , dá a componente de gravidade, nessa direção. Uma abordagem do campo potencial, consequentemente, fornece flexibilidade computacional. Superfícies equipotenciais podem ser definidas com U constante, como por exemplo, a superfície do nível do mar, sendo a superfície equipotencial mais facilmente reconhecida, sendo horizontal e ortogonal em toda a sua extensão, para a direção da gravidade (Kearey e Brooks, 1991).

2.2.2. Unidades da Gravidade

Como já referido anteriormente, o valor médio da aceleração da gravidade, g , é aproximadamente de $9,8 \text{ ms}^{-2}$. As variações de gravidade são causadas por variações de densidade na subsuperfície na ordem dos $100 \mu\text{ms}^{-2}$, sendo que esta unidade, é referida como unidade de gravidade, gu . O sistema CGS de unidades de gravidade é o *milliGal*, onde $1 \text{ mGal} = 10^{-3} \text{ Gal} = 10^{-3} \text{ cms}^{-2} = 10 \text{ gu}$. Em investigações de gravidade em terra, a precisão de $\pm 0,1 \text{ gu}$ é facilmente alcançável (Kearey e Brooks, 1991).

2.2.3. Gravímetro

Para se efetuar a medição das variações de gravidade ao longo da superfície da Terra, geralmente utiliza-se um gravímetro que se baseia na determinação do campo de força gravítico que atua sobre uma massa dentro do aparelho. Estes aparelhos, contêm uma balança de mola, como esquematizada na Figura 26, onde, a atração da gravidade sobre uma massa constante, m , faz estender a sua mola, desta forma, em locais com o g maior, a extensão da mola será maior (Mussett e Khan, 2000; Kearey et

al., 2002; Hinze, 2013).

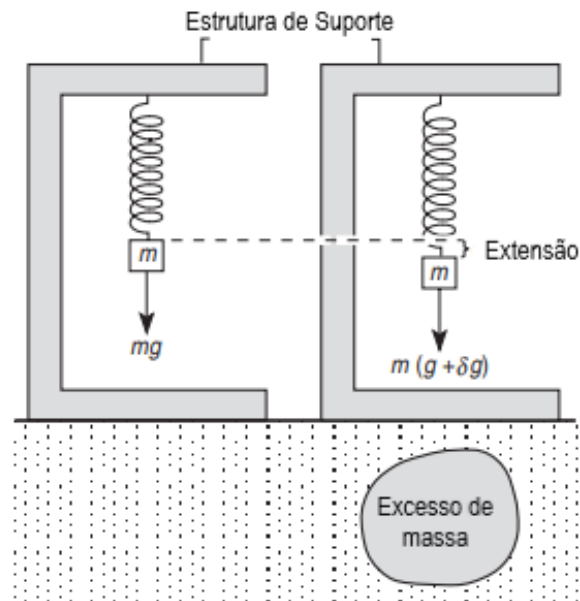


Figura 26 - Princípio de funcionamento de um gravímetro (adaptado de Mussett e Khan, 2000)

Como o sistema de mola de um gravímetro é mecânico, estes estão sujeitos a uma deriva instrumental. A deriva instrumental a curto prazo, é em grande parte, causada pelas mudanças de temperatura interna que afetam as constantes das molas, apesar dos dispositivos de compensação estarem geralmente incluídos nos aparelhos. No entanto, esta deriva, também pode ser causada, a longo prazo, pelo desgaste da mola, por estarem em tensão contínua e por estarem sujeitas, por vezes, a grandes vibrações causadas pelo seu transporte, para tal, são transportados dentro de caixas protetoras com material que absorve as vibrações.

Para esta investigação, na campanha gravimétrica utilizou-se o gravímetro *the Pioneer, Worden nº679, model 155*, cedido gentilmente pelo professor doutor Rui Moura. Este aparelho contém uma mola de quartzo que é sensível à vibração e por isso, é transportado numa caixa com material que absorve essa vibração. Na Figura 27, está representado o gravímetro e a sua caixa de transporte. Este instrumento tem um alcance de 2000 mGal com uma precisão de 0,01-0,02 mGal, sendo que, se utilizado por operadores inexperientes, as leituras podem tornar-se difíceis e com uma precisão real de 0,1 mGal.



Figura 27 - Gravímetro the Pioneer, Worden n°679, model 155, posicionado em cima do prato côncavo e a respetiva caixa de transporte.

2.2.4. Correções gravimétricas

A primeira etapa a seguir após o levantamento gravimétrico, é o tratamento dos dados recolhidos, antes de serem interpretados, isto porque, os resultados obtidos podem não ser de interesse geológico direto, uma vez que as variações no campo gravitacional da área de estudo, podem não resultar das diferenças de densidade nas rochas subjacentes, portanto, é necessário corrigir todas as variações que possam ocorrer. Este processo é denominado como redução da gravidade (LaFehr, 1991) ou redução para geoide, visto que o nível do mar é geralmente mais conveniente a nível de dados. Os efeitos provocados são removidos por reduções que envolvem cálculos sequenciais de uma série de quantidades reconhecidas, sendo que, em cada caso, o sinal da redução é oposto ao do efeito a que se destina remover. Portanto, um efeito positivo, é aquele que aumenta a magnitude do campo medido (Kearey e Brooks, 1991; Milsom, 2003).

Correção da deriva

A correção da deriva instrumental é baseada nas mudanças em repetidas leituras do gravímetro mantido no mesmo sítio, numa estação base, ao longo do dia. Estas mudanças na leitura podem surgir por diversos motivos, como por exemplo, o clima, o desgaste do equipamento, as marés, entre outros. A deriva é medida, retornando periodicamente o gravímetro à estação base pré-definida para realizar uma leitura, num espaço temporal máximo de duas horas, os dados são registados e efetua-se um gráfico da medição do gravímetro *versus* tempo (Figura 28). A correção da deriva no momento t é d , que é subtraído pelo valor gravimétrico observado, no local de investigação (Kearey e Brooks, 1991; Mussett e Khan, 2000).

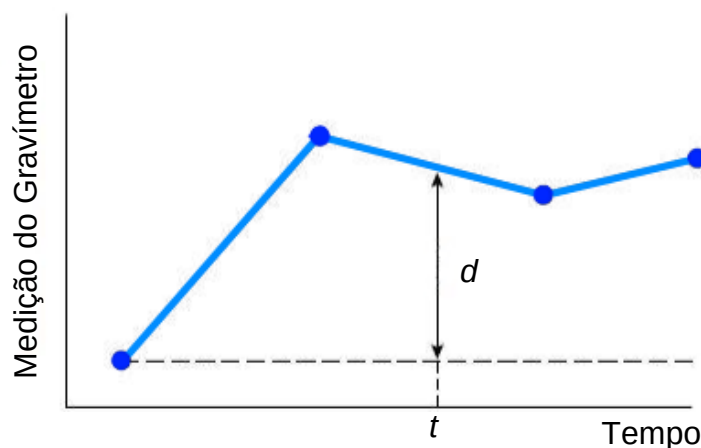


Figura 28 - Gráfico de medição do gravímetro versus tempo, onde a correção do desvio (d) é subtraída no valor medido pelo gravímetro, no tempo t (adaptado de Kearey e Brooks, 1991).

Com a correção da deriva realizada, a diferença do valor de gravidade obtido entre um ponto de investigação e a base, é encontrada por multiplicação da diferença da leitura pelo fator de calibração do gravímetro (Kearey e Brooks, 1991).

Correção de Latitude

A rotação da Terra torna necessária esta correção. Esta rotação gera uma força centrífuga que depende da distância ao eixo de rotação, assim como da taxa de rotação, sendo que esta força é máxima no equador e diminui suavemente para zero nos polos, ou seja, esta força causa uma diminuição da gravidade dos polos para o equador. Este fenómeno é comprovado, se numa bola com água, aplicarmos uma rotação, a água vai ser liberta com mais intensidade no local mais afastado do eixo de rotação. Por consequente, esta força centrífuga dá à Terra, uma forma achatada, denominada de elipsoide polar achatado, sendo que o diâmetro equatorial é maior do que o polar, com uma diferença de 21 km, por este motivo, pontos próximos ao equador estão mais

distantes do centro de massa da Terra, do que pontos perto dos polos, sendo que, a gravidade seja menor no equador e aumente para os polos (Kearey e Brooks, 1991; Mussett e Khan, 2000; Milsom, 2003). Com isto, a aceleração da gravidade varia de acordo com a latitude, portanto, a fórmula de Clairaut, relaciona a gravidade à latitude no esferoide de referência de acordo com a seguinte fórmula:

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

onde g_{ϕ} , é o valor previsto da gravidade na latitude ϕ , g_0 é o valor da gravidade no equador e k_1 e k_2 são constantes dependentes da forma e da velocidade da rotação da Terra. Os valores de g_0 , k_1 e k_2 no seu uso corrente definem a Fórmula Internacional da Gravidade 1967, onde: $g_0 = 978031,8$ mGal, $k_1 = 0,0053024$, $k_2 = 0,0000059$ (IAG 1971; Kearey e Brooks, 1991).

O valor de g_{ϕ} dá o valor da gravidade previsto ao nível do mar em qualquer ponto da superfície da Terra e é necessário subtrair o valor da gravidade observado, para obter a correção de latitude.

Correção de ar livre

A correção de ar livre ou *free-air correction* (FAC) corrige a diminuição da gravidade com a altura ao ar livre, resultante do aumento da distância ao centro da Terra, de acordo com a Lei de Newton. Considera que a diferença de altitude entre a medição na estação e a superfície da Terra, independentemente da geologia local, é definida pela diferença da gravidade medida ao nível do mar e a uma altitude de h metros. Esta correção é positiva para um ponto de observação acima do nível do mar e negativa para um ponto a baixo, de forma a corrigir a diminuição da gravidade com a elevação. A taxa de diminuição da gravidade com a elevação é de 0.3086 mGal por metro (Kearey e Brooks, 1991; Milsom, 2003). A correção de ar livre, é dada pela seguinte expressão:

$$FAC = \pm 0,3086 h$$

Correção de Bouguer

A correção de Bouguer (BC) assume que a camada de rocha em baixo do ponto de observação é uma camada horizontal infinita de densidade d uniforme e constante, cuja sua espessura é igual à elevação da estação de base (Kearey e Brooks, 1991; Mussett e Khan, 2000; Milsom, 2003). A equação da correção é dada por:

$$BC = 2\pi G\rho h = 0,4191 \rho h$$

onde h é em metros e ρ em mgm^{-3} .

Em terra, a correção de Bouguer deve ser subtraída, isto porque a atração gravitacional da rocha entre o ponto de observação e a estação base, deve ser removida do valor da gravidade observada. O efeito Bouguer é positivo e a correção, portanto, negativa (Milsom, 2003).

As correções de Bouguer e de ar livre são frequentemente aplicadas juntas como a correção de elevação combinada (Kearey e Brooks, 1991).

Correção de Terreno

Ao contrário da correção de Bouguer, que considera uma topografia plana em torno da estação gravimétrica, a correção de terreno considera a topografia da zona de investigação, tendo em conta a topografia acidentada, como colinas e depressões ou vales. É necessário corrigir a medição gravimétrica obtida numa zona acima da estação de base, com excesso de massa, no caso das colinas, ou o déficit de massa abaixo da estação de base, como o caso dos vales (Mussett e Khan, 2000; Milsom, 2003).

As correções de terreno são aplicadas com o uso de uma retícula circular, conhecido como gráfico de Hammer (Figura 29), que é dividido por uma série de linhas radiais e concêntricas num grande número de compartimentos. A zona mais externa estende-se por quase 22 km. Este gráfico é colocado sobre um mapa topográfico, centrado com a estação de base. É calculada manualmente a elevação média topográfica para cada compartimento do gráfico, através da subtração da elevação da gravidade da estação base com o efeito gravitacional de cada compartimento, que é determinado a partir dos dados da Tabela 1, das correções de terreno para cada compartimento (Kearey e Brooks, 1991; Milsom, 2003), aplicando a seguinte equação:

$$T = 0,4191 \frac{\rho}{n} \left(r_2 - r_1 + \sqrt{r_1^2 + z^2} - \sqrt{r_2^2 + z^2} \right)$$

onde, T = correção do terreno do compartimento (gu); ρ = densidade de correção de Bouguer (Mgm^{-3}); n = número de compartimentos da zona; r_1 = raio interno da zona (m); r_2 = raio externo da zona (m); z = módulo de diferença de elevação entre o ponto de observação e elevação média do compartimento (m).

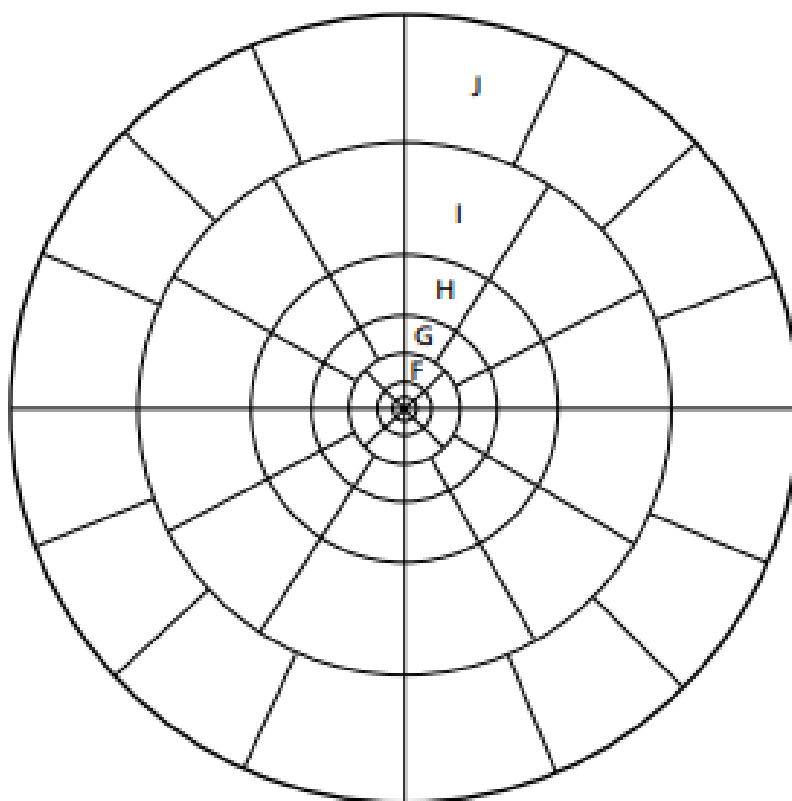


Figura 29 - Gráfico de Hammer (Zonas F para J), as zonas variam entre 2 m e os 22 km e pode ser usado em mapas topográficos de diferentes escalas (extraído de Kearey e Brooks, 1991).

Para áreas de topografia moderada, os efeitos de terreno são baixos, raramente excedendo os 10 *gu* em áreas planas. Em terrenos de topografia acidentada, os efeitos já são consideravelmente maiores, sendo máximos em vales íngremes, na base ou no topo de falésias e no topo de montanhas (Kearey e Brooks, 1991).

Tabela 1 - Tabela da correção de terreno, com os valores para cada zona (adaptado de Kearey e Brooks, 1991).

Zona	r_1	r_2	n	Zona	r_1	r_2	n
B	2,0	16,6	4	H	1529,4	2614,4	12
C	16,6	53,3	6	I	2614,4	4468,8	12
D	53,3	170,1	6	J	4468,8	6652,2	16
E	170,1	390,1	8	K	6652,2	9902,5	16
F	390,1	894,8	8	L	9902,5	14740,9	16
G	894,8	1529,4	12	M	14740,9	21943,3	16

As correções de terreno podem ser extremamente demorosas de realizar manualmente, no entanto, é possível simplificar o processo em computador, mas é exigido dados do terreno em formato digital, o que poderá ser igualmente demorado caso não haja um *Digital Elevation Model's* (DEM) da zona pretendida. Contudo, a correção para as zonas mais interiores do gráfico, o cálculo deve ser realizado manualmente, porque o intervalo de amostragem da área, poderá ser muito grande para fornecer uma representação digital precisa do terreno perto da estação base, localizada no centro do gráfico (Kearey e Brooks, 1991; Milsom, 2003).

O método de Hammer para o cálculo da correção de terreno é extremamente demorado e pode ser problemático, sendo que já não é muito usado na atualidade, na sua forma tradicional, podendo ser realizado através de *software* informático. A disponibilidade atual de ferramentas digitais, sistemas de informação geográfica (SIG) e técnicas de *scrip* fáceis de usar, permitem uma maior rapidez no cálculo desta correção. Para esta investigação, foi usado o *software Oasis Montaj* (ver secção 3.4).

Correção Tidal ou correção do efeito das marés

Como já referido anteriormente, a gravidade pode ser influenciada por diversos fatores e esta correção, refere-se à influência periódica dos efeitos gravitacionais do Sol e da Lua, associados aos seus movimentos orbitais, na gravidade medida num local fixo com o tempo. Apesar da massa da Lua ser muito menor, a atração gravitacional da Lua é maior do que a do Sol, por causa da sua proximidade à Terra. Estes efeitos gravitacionais fazem com que a forma da Terra sólida varie, da mesma forma que as atrações celestiais causam variação nas marés. Esta variação sólida é consideravelmente menor que a variação nas marés, no entanto, causam a elevação do ponto de medição de gravidade em alguns centímetros, variando a distância ao centro de massa da Terra. Estas variações têm uma periodicidade de cerca de 12 horas e podem ter amplitude máxima de 3 *gu*. A correção deste efeito pode ser calculada através de programas informáticos, ou feita, através de tabelas de correções realizadas, que são publicadas periodicamente (por exemplo, *Tidal Gravity Corrections* para 1991, Associação Europeia de Geofísicos de Exploração, Haia) (Kearey e Brooks, 1991; Milsom, 2003).

Para este caso de estudo, recorreu-se ao uso de um *script* de java, Tides.jar (Figura 30), que, através da data (ano, mês e dia), hora e minuto da medição do ponto gravimétrico, da sua latitude e longitude (coordenadas decimais do sistema ETRS89) e altura (metros), nos dá o valor da correção tidal em μGal , sendo necessário fazer a conversão desse valor em mGal , para ficar de acordo com as mesmas unidades da leitura gravimétrica. Posteriormente, já é possível adicionar as correções de maré às leituras gravimétricas.

The screenshot shows a Java window titled "Tidal Corrections Computation". It has a menu bar with "File" and "Help". The main area contains input fields for "GPS Latitude (+North/-South):" (41.574944102), "GPS Longitude (+East/-West):" (-8.40131190812999), and "GPS Altitude in meters:" (257.004). Below these is a "GMT Date and time:" section with fields for year (2021), month (6), day (22), hour (15), and minute (34), along with a "Now" button. A "Compute" button is centered below the date fields. At the bottom, the result is displayed: "Tidal correction = -35,9 uGals".

Figura 30 - Exemplo da correção de maré para o ponto 2407, da campanha gravimétrica realizada neste estudo, no Tides.jar.

2.2.5. Densidade das rochas

Para a interpretação dos dados de gravidade, assim como para as correções gravimétricas, é necessário a determinação do valor da densidade média das rochas que estão presentes na zona de estudo. É importante conhecer a densidade do material de interesse ou o contraste de densidade entre o material de interesse e o material circundante. A densidade pode ser obtida de diversas maneiras, no entanto o melhor método é a amostragem de rocha da subsuperfície da zona de estudo, e posteriormente em laboratório, determinar a sua densidade média. Também se pode obter a densidade das rochas da subsuperfície, se existir registo de dados de sondagens feitas no local, mas que nem sempre estão disponíveis. Outro método para obter a densidade das rochas, é através de pesquisas de refração, que relacionam as velocidades sísmicas de compressão, com a densidade. No entanto, como existe grande heterogeneidade na subsuperfície em termos geológicos e no estado de alteração das rochas, estes fatores influenciam a densidade. Nas rochas sedimentares, a variação da porosidade é a

principal causa da variação da densidade, sendo que, em sequências sedimentares, a densidade tende a aumentar com a profundidade, devido à compactação e com o tempo, devido à progressiva cimentação. No que diz respeito às rochas ígneas e metamórficas, a composição é a causa principal da variação de densidade. As formas de obtenção da densidade referidas anteriormente, correspondem a métodos diretos de obtenção (Kearey e Brooks, 1991; Reynolds, 1997; Milsom, 2003).

Quando não é possível determinar a densidade das rochas através dos métodos diretos, pode-se usar tabelas que contêm a média de valores de densidade de rochas e minerais, a partir de numerosas medições em rochas, solo e amostras minerais, ou diversas bibliografias. A Tabela 2, é um exemplo de tabela que contêm o intervalo de valores de densidades possíveis para alguns tipos de rochas comuns.

Tabela 2 - Densidade de tipos de rochas comuns (adaptado de Kearey e Brooks, 1991; Milsom, 2003).

Rochas	Densidade (mgm^{-3})
Aluvião	1,96-2,00
Areia seca	1,4-1,65
Areia saturada	1,95-2,05
Argilas	1,63-2,60
Xisto	2,06-2,66
Calcário	2,60-2,80
Granito	2,52-2,75
Granodiorito	2,67-2,79
Gnaisse	2,61-2,99
Basalto	2,70-3,20
Carvão	1,20-1,50
Gabro	2,85-3,12
Quartzito	2,60-2,70

Para o cálculo da densidade com métodos indiretos, o método de Nettleton (1939) é o mais usado, sendo que consiste em procurar a correlação mínima possível existente entre a topografia e as variações da anomalia de gravidade para diferentes valores de densidade. No entanto, a desvantagem deste método, é que as características isoladas do relevo podem ser formadas por materiais anómalos que não são representativos da área em geral (Kearey et al., 2002). Para esta investigação, foi usado um valor de densidade tabelado (ver secção 3.4).

2.2.6. Anomalia completa de Bouguer

Após a aplicação de todas as correções referidas anteriormente, nos dados gravimétricos recolhidos, o valor corrigido é chamado de anomalia de Bouguer. Esta anomalia é dada pela diferença entre os valores gravimétricos observados (g_{obs}), ajustado com todas as correções, e os valores obtidos em cada estação base (g_{base}). A variação lateral de densidade, reflete a variação da anomalia de Bouguer, sendo que, um valor de densidade elevado, num meio pouco denso, reflete uma anomalia de Bouguer positiva, ao passo que uma baixa densidade num meio bastante denso, é o inverso e dá origem a uma anomalia de Bouguer negativa (Reynolds, 1997; Mussett e Khan, 2000).

O objetivo da anomalia de Bouguer, é identificar a anomalia devido às variações de densidade da geologia na subsuperfície, sem os efeitos da topografia e latitude (Mussett e Khan, 2000).

A anomalia completa de Bouguer, onde são aplicadas todas as correções realizadas anteriormente, é dada pela seguinte equação:

$$\text{Anomalia Completa de Bouguer} = g_{obs} + \text{Correção Free-air} - \text{Correção de Bouguer} \\ + \text{Correção de Terreno} - \text{Correção de Latitude}$$

onde se pressupõe, que ao valor gravimétrico observado (g_{obs}), já tenha sido aplicada a correção da Deriva e a correção Tidal, no local onde se realizou a medição. As anomalias completas de Bouguer, atualmente, podem ser obtidas em *software* informático, que facilita a interpretação de resultados.

2.2.7. Anomalia Regional e Residual

Os campos da anomalia de Bouguer são caracterizados por uma anomalia regional ampla, de variação suave, de grandes dimensões, onde podem ser sobrepostas, anomalias locais de comprimento de onda mais pequeno. O local que revela anomalias num levantamento de gravidade, é de grande interesse e para a sua interpretação, é necessário remover o campo regional, para isolar as anomalias residuais (Figura 31), que são mais ténues, pouco perceptíveis e de menores dimensões (Kearey e Brooks, 1991).

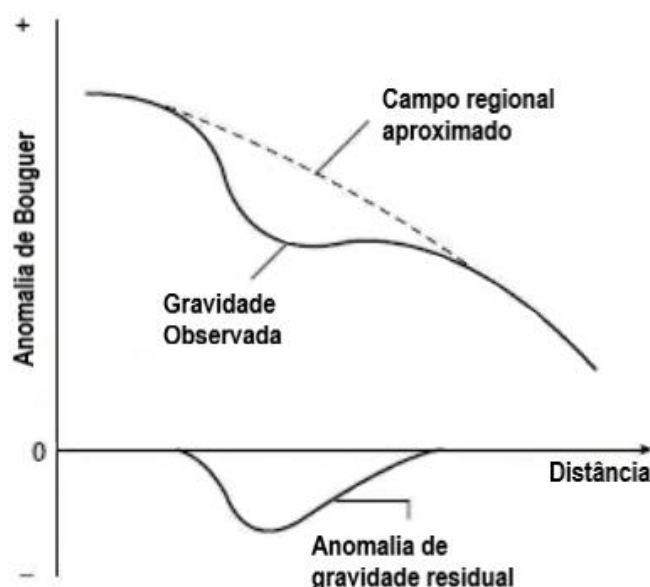


Figura 31 - Anomalias regionais e residuais, separadas a partir da anomalia de Bouguer (adaptado de Kearey e Brooks, 1991).

É possível realizar um gráfico a partir de *softwares* informáticos, que permitem a interpretação do método, com conhecimento geológico, tanto na anomalia regional, como na residual. Com a junção de dados de estruturas geológicas adequados ao estudo pretendido e dados de densidades da área, às anomalias residuais e regionais, é possível potencializar resultados da investigação.

Neste caso de estudo, para a obtenção dos mapas da anomalia Regional e Residual, foi usado, uma vez mais, o *software Oasis Montaj* (ver secção 3.5).

2.3. Geotermia

A geotermia pode ser definida como a ciência ou o conjunto de técnicas que estudam e exploram o calor do interior da Terra ou, geralmente denominada de energia geotérmica. É uma energia renovável, pouco poluente, independente do custo dos combustíveis e como pode apresentar elevada disponibilidade, pode ser explorado praticamente em contínuo. Como referido, a energia tem origem no interior da Terra, em profundidade, com o aumento de temperatura, em média, de 33°C por km. No entanto, este valor pode ser superior, ou inferior, devido à heterogeneidade da crosta terrestre, com locais onde o gradiente geotérmico é diferente do dito normal. O aproveitamento da energia geotérmica convencional, implica a existência de um fluído, geralmente a água, que transporta o calor do interior da Terra de volta para a superfície. A geotermia estimulada, recorre à injeção do fluído no subsolo. A geotermia pode ser usada para a produção de eletricidade, ou para aplicar diretamente no aquecimento industrial ou urbano (DGEG, 2017).

As concentrações de calor no interior da crosta, são denominadas de reservatório geotérmico, que será tanto mais acessível, quanto maior for a temperatura e menor a profundidade. Estes reservatórios são classificados consoante a temperatura a que se encontra o fluído transportador de calor, sendo que, os reservatórios geotérmicos são considerados de:

- Alta entalpia, quando a temperatura do fluído é superior a 150°C;
- Média entalpia, quando a temperatura do fluído se situa entre os 100°C e os 150°C;
- Baixa entalpia, quando a temperatura do fluído está entre os 30°C e 100°C;

No entanto, se a temperatura for inferior a 30°C, ainda é possível a utilização desta muito baixa entalpia, já não se considerando reservatório geotérmico (DGEG, 2017).

Em Portugal, pode-se considerar que a atividade tectónica é relativamente baixa e por esse motivo, não é expectável a existência de reservatórios geotérmicos de alta entalpia. Contudo, são frequentes as ocorrências geotérmicas à superfície, com temperaturas superiores à temperatura média das águas superficiais. Pode-se desta forma afirmar, que em Portugal, existem ocorrências geotérmicas de baixa entalpia, com temperaturas entre os 30°C e os 76°C e ainda, várias ocorrências geotérmicas de muito baixa entalpia, com temperaturas entre 20°C e os 29°C. O trabalho proposto visa a análise exploratória de uma estrutura mega-regional, o cisalhamento Vigo-Régua, encarado como uma estrutura permeável e suscetível de aproveitamento geotérmico. A Figura 32, representa as ocorrências geotérmicas em Portugal continental.

Na Zona Centro-Ibérica, as ocorrências geotérmicas com maior ocorrência são as de baixa entalpia e muito baixa entalpia, associadas a unidades graníticas de idade Varisca, onde estão maioritariamente associadas a granitos com intensa fraturação, ou associadas a acidentes tectónicos. Nestas zonas particulares, há grande permeabilidade que permite a circulação de fluídos. Esta zona, corresponde de uma forma geral, ao norte de Portugal, como é evidenciado na Figura 32 (DGEG, 2017).

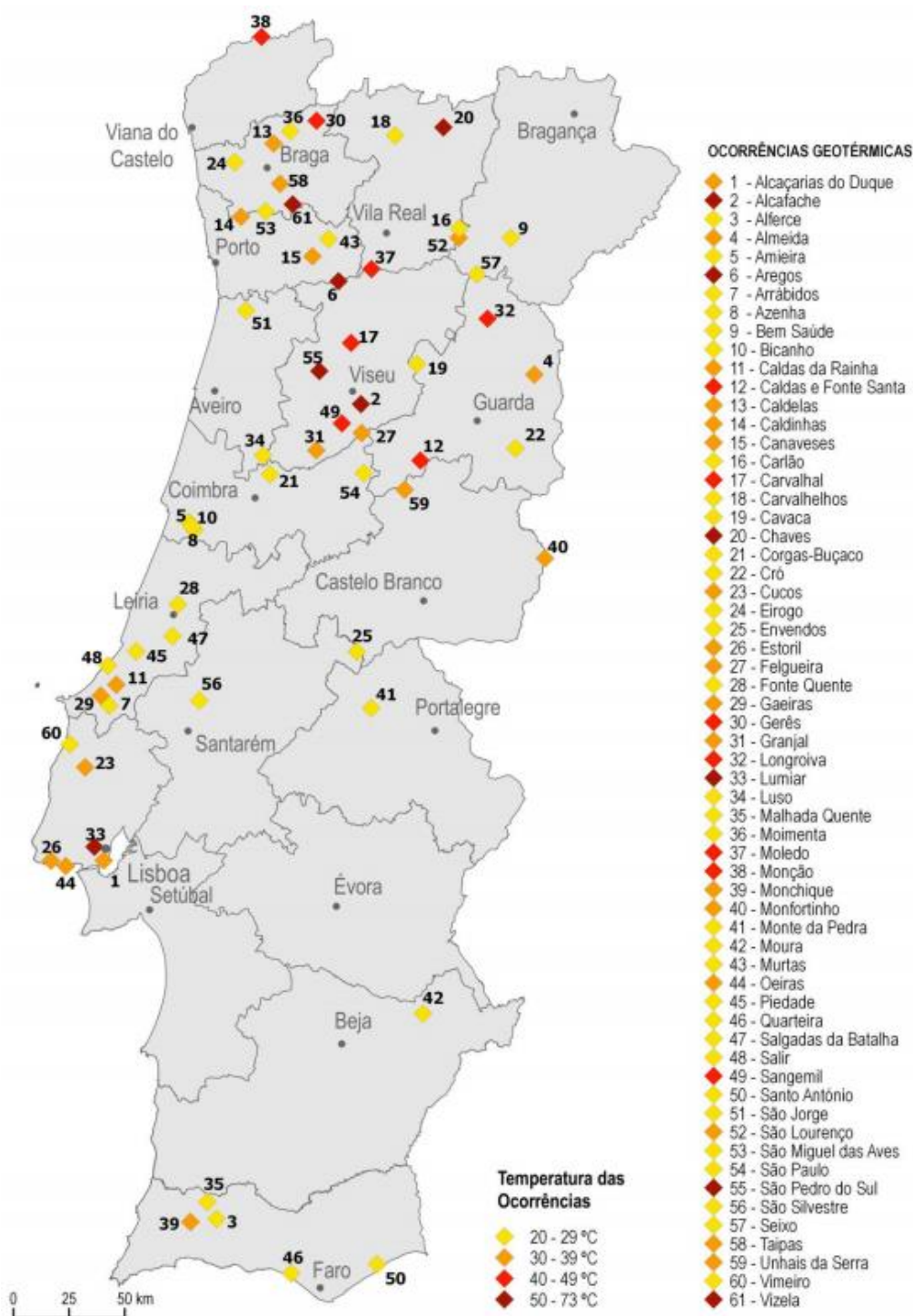


Figura 32 - Ocorrências geotérmicas em Portugal continental (extraído de DGEG, 2017).

Capítulo 3 - Obtenção e Tratamento de dados de campo

3.1. Planeamento da prospeção geofísica

Antes de se iniciar uma investigação com carácter de prospeção geofísica, é necessário primeiramente fazer um planeamento do trabalho que se vai realizar, tanto em gabinete, como no campo, por fases. O planeamento realizado nesta investigação dividiu-se em três fases: a primeira, correspondendo a uma fase de reconhecimento ou estudo preliminar da área de investigação, realizada em gabinete, com recurso a uma pesquisa bibliográfica da área, onde se procura informações em trabalhos anteriores realizados na região, assim como a execução do enquadramento geológico da área de investigação, sendo esta, uma fase de extrema importância; a segunda fase, realizada também em gabinete, denominada de fase de planeamento de prospeção, onde se marcaram os pontos na área onde se vai realizar as medições com o gravímetro. Esta fase, por sua vez, desempenhou um papel importante para o reconhecimento da área, uma vez que se realizou uma grelha de amostragem através do *Google Earth*, onde foi usado inúmeras vezes a ferramenta *Street View*; a terceira fase, de campo, é denominada como execução da prospeção geofísica, que, como o nome indica, corresponde à fase onde se realizaram os levantamentos gravimétricos planeados. É importante referir que quanto maior for o tempo despendido no planeamento da prospeção geofísica, maior será a eficácia e rapidez da prospeção geofísica.

A fase de reconhecimento ou estudo preliminar desta prospeção geofísica, está devidamente representada e descrita no Capítulo 1 da Parte II do presente relatório.

A fase de planeamento de prospeção, como referido anteriormente, consistiu na construção de uma grelha de amostragem onde irão ser realizadas as medições com o gravímetro. Esta grelha foi construída no *Google Earth* e está representada na Figura 33. Inicialmente traçou-se um eixo na área de investigação, onde perpendicularmente foram traçadas retas de 100 em 100 metros. Em cada reta perpendicular ao eixo, com espaçamento de 50 metros entre si, foram marcados pontos, onde vão ser realizadas as medições gravimétricas.



Figura 33 - Representação do eixo e das suas retas perpendiculares, espaçadas com 100 metros, na área da campanha gravimétrica (fotografia de satélite extraída do *Google Earth*, 2021).

Na rede de amostragem construída inicialmente, esquematizada na Figura 33, foram marcados um total de 2829 pontos de medição. No entanto, como grande parte da área da campanha gravimétrica é urbanizada não foi possível realizar medição em vários pontos, uma vez que estes se encontravam em locais ocupados por edifícios, propriedades e terrenos privados ou em locais inacessíveis. Por esse motivo, os pontos foram revistos e alterados da seguinte forma: i) os pontos que estavam localizados em estradas ou caminhos de terra acessíveis, onde a sua medição se previu possível, foram identificados com uma simbologia de cor verde; ii) os pontos que estavam perto de estradas ou caminhos de terra acessíveis, terrenos amplos, com possível acesso ou em situações que se tenham de desviar alguns metros relativamente à localização inicial para que fossem possíveis de medir, ficaram com uma simbologia de cor amarela; iii) os restantes pontos, em que se prevê que a sua medição não seja possível, foram mantidos com a sua simbologia inicial, de cor branca. De referir, que esta distinção entre simbologias foi realizada através de suposição no *Google Earth*, com auxílio da ferramenta do *Street View* e por isso, em campo, poderão existir pontos que foram marcados como possíveis de medir, mas que na realidade, não são, sendo que o inverso também poderá acontecer. O resultado da rede de amostragem está representado na

Figura 34.

Como referido anteriormente, com o uso do *Street View* para a marcação e distinção dos pontos de medição, obteve-se uma forte base de reconhecimento de campo, que potencializa futuramente a prospeção geofísica, com a redução do tempo de execução e com o aumento da eficácia, uma vez que grande parte do terreno da área, já é conhecido.

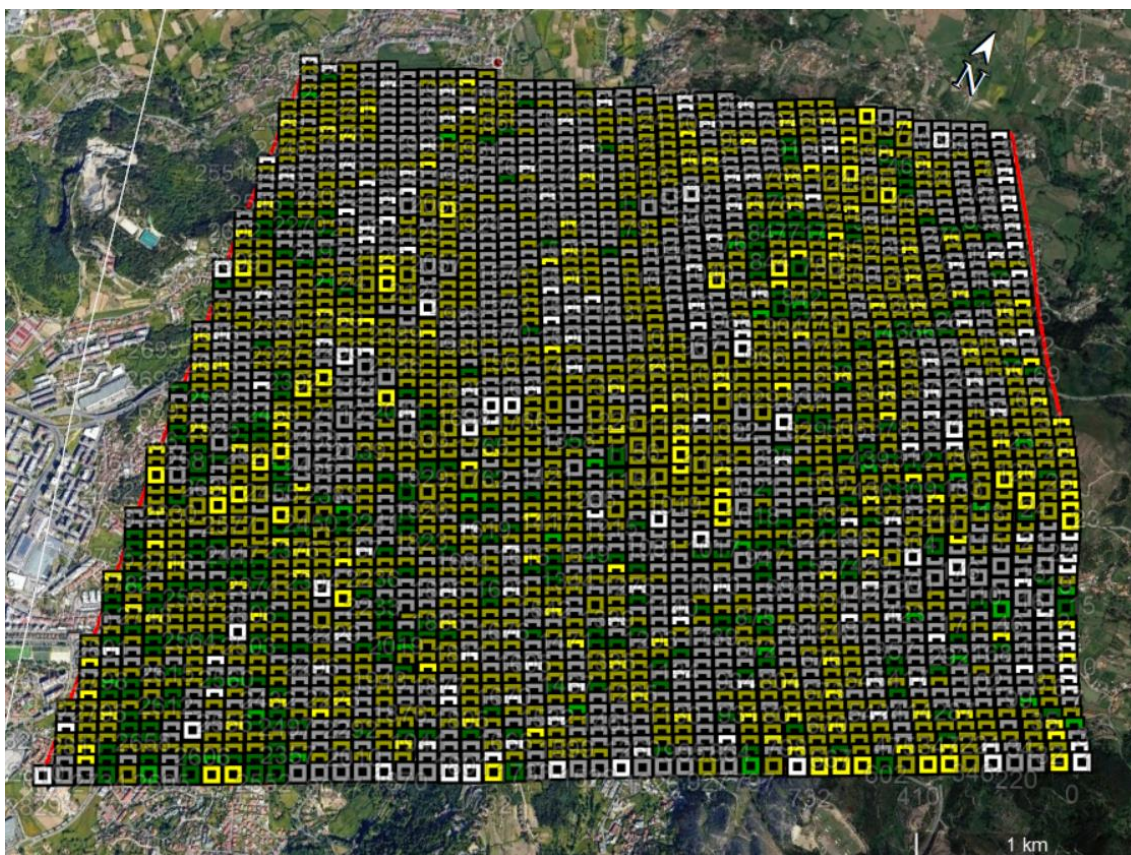


Figura 34 - Representação do resultado inicial da rede de amostragem, com a distinção dos pontos de medição (fotografia de satélite extraída do Google Earth, 2021).

No entanto, devido à atual crise pandémica provocada pelo vírus SARS-CoV-2, o estágio curricular sofreu diversos atrasos, já anteriormente referidos, que encurtou o tempo disponível para realizar os trabalhos inicialmente previstos. Assim, foi necessário uma diminuição considerável do número de pontos de amostragem previstos. Como mencionado, o espaçamento inicial dos pontos, era de 50 em 50 metros em cada reta perpendicular ao eixo da área, com espaçamento de 100 metros entre cada uma. Procedeu-se então a um aumento do espaçamento entre pontos, passando para 200 metros entre cada, para que o número de pontos de amostragem fosse menor e assim ser possível realizar o levantamento gravimétrico dentro do tempo restante do Estágio Curricular. O resultado final da rede de amostragem está devidamente representado na

Figura 35. O número previsto de pontos de amostragem, de acordo com a rede de amostragem era de 355 pontos. De referir que a numeração dos 355 pontos, manteve-se de acordo com a numeração da rede de amostragem inicialmente realizada.

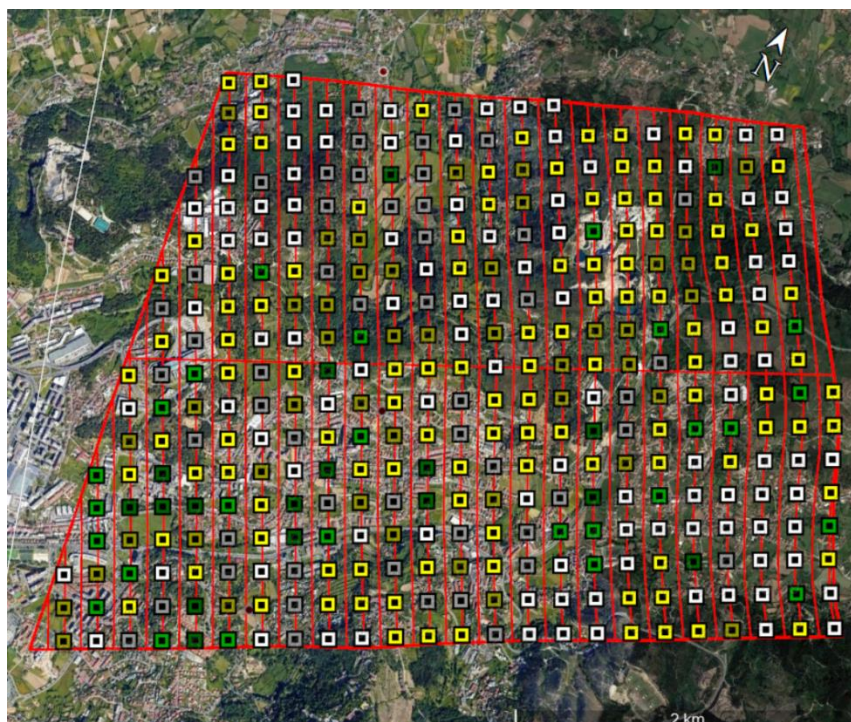


Figura 35 - Representação do resultado final da rede de amostragem (fotografia de satélite extraída do *Google Earth*, 2021).

3.2. Campanha gravimétrica

A campanha gravimétrica decorreu entre junho e agosto de 2021, em 18 campanhas de trabalho de campo. As medições gravimétricas foram executadas por uma equipa de duas pessoas, utilizando o gravímetro *the Pioneer*, Worden nº679, model 155 (Figura 41).



Figura 36 - Gravímetro the Pioneer, Worden nº679, model 155 e o seu respetivo utilizador.

Um gravímetro requer um manuseamento cuidadoso, sendo que, para realizar uma medição de gravidade, primeiramente é necessário colocar um prato côncavo de três pernas, que se faz acompanhar com o aparelho, no solo, nivelado e estável. Se as pernas estiverem inseridas no solo, é necessário verificar se a superfície inferior do prato não toca no solo e se o solo apresentar vegetação espessa, é necessário remover. Uma vez que o prato está nivelado, pousa-se, cuidadosamente o gravímetro no prato e procede-se ao seu nivelamento nos três pés ajustáveis com rosca, através dos dois níveis de bolha horizontais no topo do aparelho (Figura 37). Para um utilizador inexperiente, este processo de nivelamento do gravímetro pode tornar-se demoroso, uma vez que apenas usa um pé de cada vez para nivelar. Com a prática, é possível nivelar usando dois pés ao mesmo tempo, que torna o processo mais rápido. Com o aparelho nivelado, a leitura pode ser obtida, através de um óculo no topo e um parafuso, onde se vai girar até alinhar um feixe de luz no centro de uma escala graduada no óculo. Após a leitura é fulcral verificar as bolhas de nível, para que seja válida. Vibrações contínuas de veículos nas proximidades e até mesmo o vento, podem dificultar a leitura e deslocar o feixe de luz (Mussett e Khan, 2000; Milson, 2003).

Após nivelar o aparelho e alinhar o feixe de luz no óculo através do parafuso, a leitura do número de divisões do gravímetro, começa com o número que está isolado na janela do parafuso (círculo vermelho na Figura 38), posteriormente, no nónio, a escala decimal que apenas contém o 0, observa-se em que ordem das dezenas na escala à volta do parafuso, é que se encontra o 0. Para finalizar, dá-se a leitura do nónio, que corresponde ao valor decimal do número inteiro já observado, que é feito de acordo com a Figura 39.



Figura 37 - Topo do gravímetro, com os dois níveis de bolha horizontais, a luz, o óculo e o parafuso de medição.

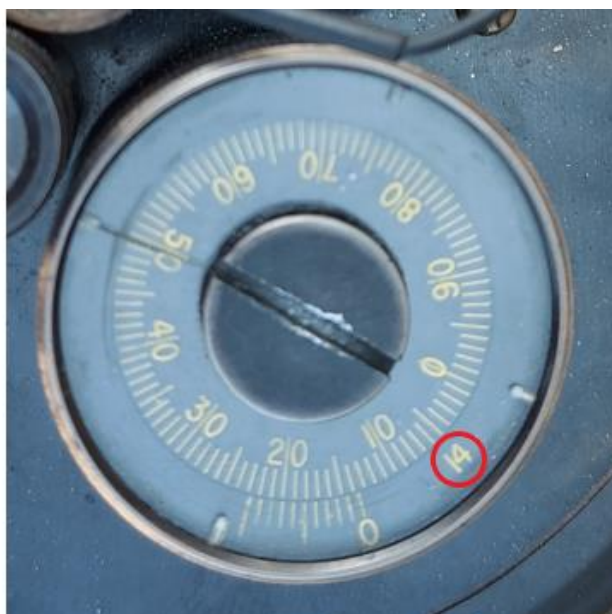


Figura 38 - Leitura do valor da janela do parafuso do gravímetro.

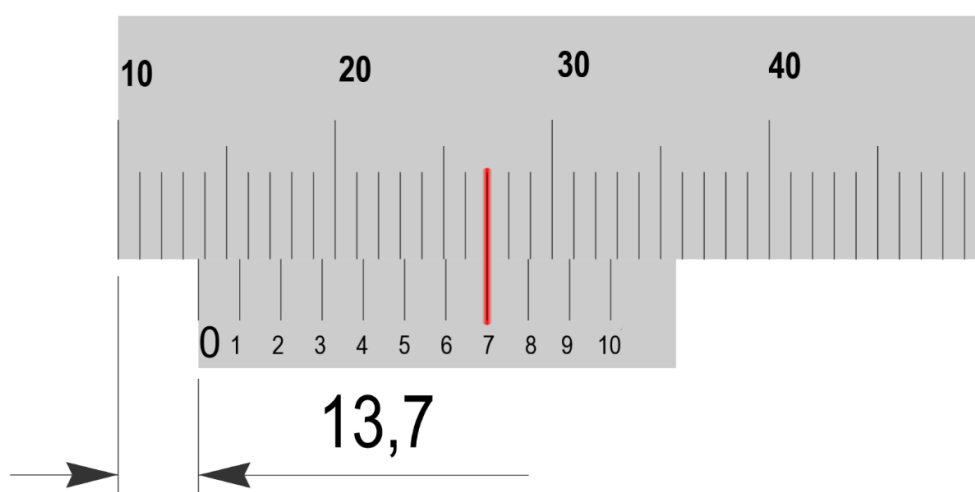
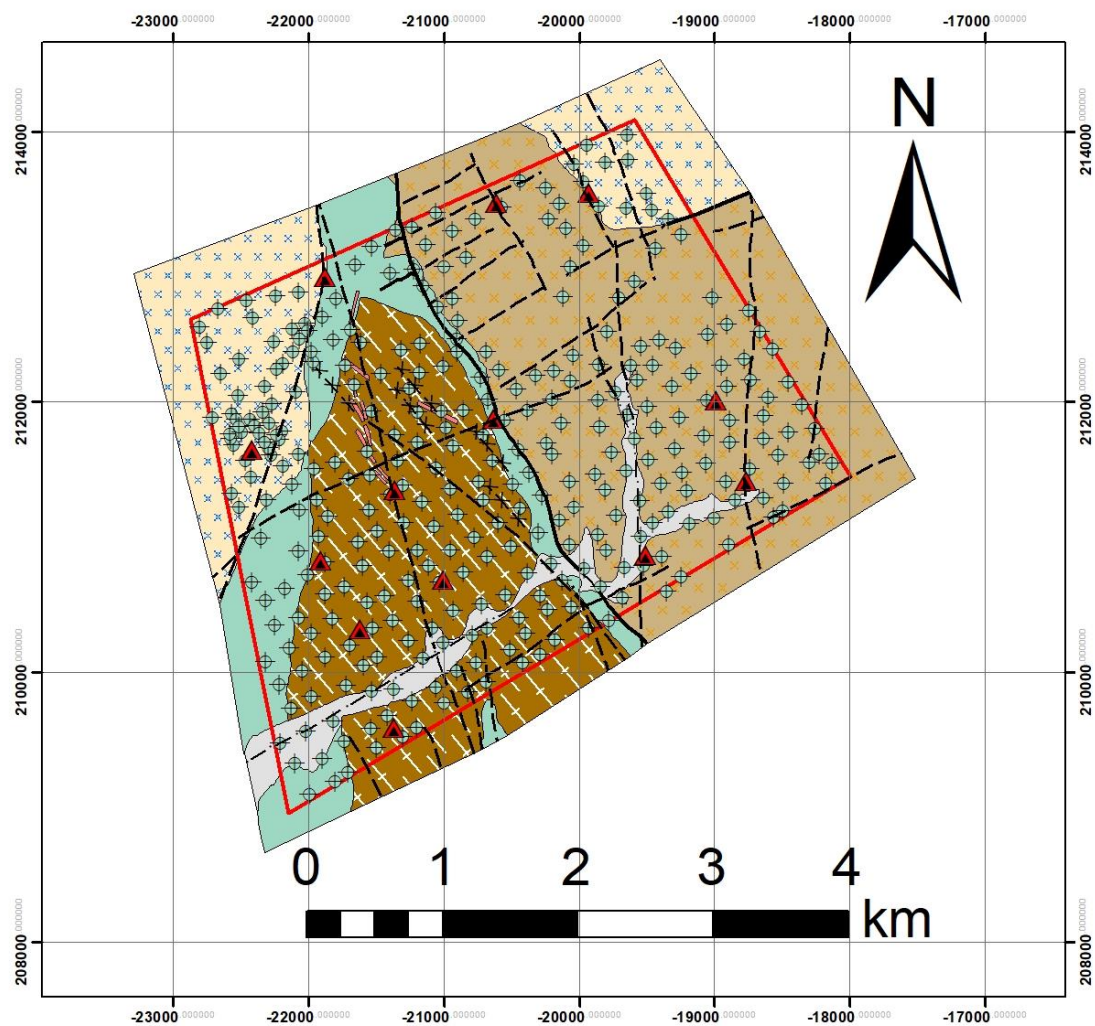


Figura 39 - Leitura decimal, através do nónio do aparelho.

Para este caso, o valor do número das divisões do gravímetro seria de 1413,7. Para obter os valores das leituras em mGal, é necessário multiplicar o valor das divisões por uma constante dial, que é fornecida pelo fabricante no próprio gravímetro, que corresponde a 0,09109.

A pesquisa gravimétrica foi efetuada na rede gravimétrica prevista, sendo que se realizaram 329 estações gravimétricas e foi necessário o uso de 13 estações base (Figura 40). As estações bases foram definidas estrategicamente em locais de rápido e fácil acesso, que abrangessem uma boa área de pontos, com boas vias de acessos, visto que o tempo máximo estipulado entre duas medições de base era de 2 horas.



Legenda

Estruturas

- × × × × Cisalhamento
- Falha
- - - Falha Oculta
- . . . Falha Provável

Pontos Gravimétricos

- ▲ Base
- ⊕ Medição

- Área Gravimétrica

Geologia

- Depósitos do Quaternário
- Micaxistos
- Granito de Braga
- Granito de Celeirós
- Granodiorito
- Filões aplíticos e/ou pegmatíticos

Figura 40 - Localização das estações e bases gravimétricas, no mapa geológico da região da rede de amostragem, criado no ArcGis v10.7, com a respetiva legenda. Sistema de coordenadas ETRS89 Portugal TM06.

A rede gravimétrica prevista tinha uma área de aproximadamente 14 km² e um total de 355 pontos. No decorrer da campanha gravimétrica, por motivos de inacessibilidade em alguns terrenos e propriedades privadas, não foi possível realizar medições gravimétricas em 26 pontos, que estavam inicialmente previstos.

3.3. Material usado

Para a realização da campanha gravimétrica, foram necessários diversos materiais, para que houvesse uma recolha de dados com sucesso. Como grande parte da área era terreno acidentado, foi necessário o uso de um veículo todo-o-terreno para facilitar o acesso em algumas zonas. Para realizar a campanha gravimétrica, foi então utilizado o gravímetro, *the Pioneer, Worden nº679, model 155*, que foi transportado numa caixa própria, para não se danificar, o respetivo prato concavo, um nível que foi usado para nivelar o prato, um termómetro, para registar a temperatura ambiente em cada ponto, uma prancheta, com mapas impressos e fichas de trabalho, onde se registavam os valores medidos e material de escrita, como está representado na Figura 41.



Figura 41 – Material usado na realização das leituras gravimétricas.

Recorreu-se ao uso de um *smartphone* para o registo horário, fotográfico e também para o uso da aplicação *Google Earth*, que continha os limites da área gravimétrica e também as coordenadas dos pontos da rede de amostragem. O seu uso facilitou também, a visualização dos acessos para algumas zonas. Para a identificação e sinalização das estações base, foram usados pregos e tinta de *spray*, para facilitar as medições, uma vez que eram feitas diversas medições na mesma estação, ao longo do dia de trabalho.

Em cada local onde se realizava uma medição gravimétrica, era registada a sua coordenada e cota, através de um GPS diferencial (DGPS). Um DGPS corresponde a um GPS que usa um sistema para fornecer correções de posição para os sinais GPS, usando uma posição fixa conhecida para ajustar esses sinais em tempo real, eliminando erros de pseudo-alcance. Estes erros consistem em atrasos causados pela trajetória dos satélites até ao dispositivo GPS, uma vez que o sinal necessita viajar através das camadas da atmosfera. O atraso afeta o tempo gasto que o sinal demora a viajar entre um determinado satélite para um recetor GPS, introduzindo assim um pequeno erro no GPS que causa um erro na posição medida pelo utilizador. Para contrariar isto, uma estação base estática é usada para fornecer mensagens de correção para atrasos de sinal, configurando a estação base a uma posição exata na superfície da Terra. Para realizar esta configuração, basta deixar o aparelho a gravar dados de GPS. Um DGPS mede a diferença entre a distância “real” (que atravessou as camadas da atmosfera até ao satélite) e a distância “teórica” (mais curta). Desta forma, cada satélite no seu alcance, enviará um sinal de correção ao GPS recetor, que aplica essa correção a cada medição realizada, eliminando uma grande quantidade dos diferentes erros de pseudo-alcance de cada sinal de satélite, isto porque, o GPS recetor, está próximo a uma estação base fixa e ambos os sinais terão viajado pela mesma porção de atmosfera (ESRI, 2021). Todo este processo está representado na Figura 42.

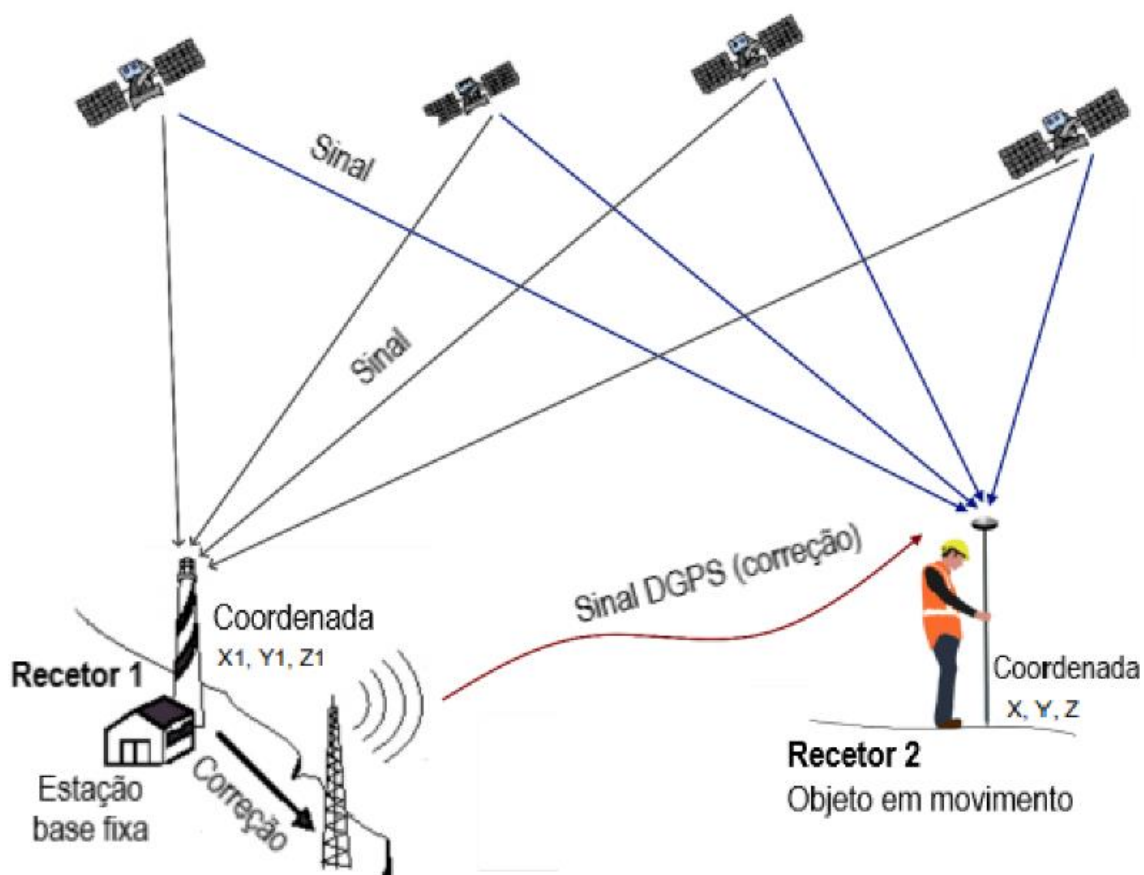


Figura 42 - Processo de criação da correção do sinal do DGPS (Extraído e adaptado de Cruz, 2020).

3.4. Processamento dos dados

As correções gravimétricas foram efetuadas manualmente, em Excel. Para cada ponto medido, ou seja, para cada estação gravimétrica, aos valores registados, foram aplicadas as correções de deriva instrumental e a correção do efeito das marés. A média da taxa de deriva instrumental das 329 estações gravimétricas é de 0,2 mGal/s, sendo um valor relativamente muito baixo, no entanto, existem valores que chegam a 2.2 mGal/s e -2.3mGal/s, que podem ser explicados pelo facto do gravímetro ter já muito uso mas também, pelas altas temperaturas registadas durante os levantamentos em alguns dias, que podem influenciar a oscilação da mola do gravímetro.

Foram usadas 13 estações base para o total de estações gravimétricas, uma vez que a área de campanha era demasiado grande para se usar apenas uma estação base, visto que o tempo máximo entre duas medições de estação base, seria de 2 horas. Se a campanha não tivesse sido efetuada desta forma, não haveria tempo suficiente para finalizar a área de campanha no decorrer do estágio curricular. As taxas de deriva para todos os pontos, foram calculadas de acordo com a estação base definida para eles. O

valor absoluto de g_{obs} foi obtido através de uma estação base universal da Rede Gravimétrica Nacional, disponibilizado no site da Direção-Geral do Território. Esta base incluída na área da campanha gravimétrica, tem um valor de 979981,05 mGal, como está representado na Figura 43.

Posteriormente, foram calculadas as correções de latitude, de altitude ou de ar livre e a de Bouguer. Com os valores destas correções, foi possível calcular o valor da anomalia de Bouguer simples, sem a correção de terreno, para cada estação gravimétrica.

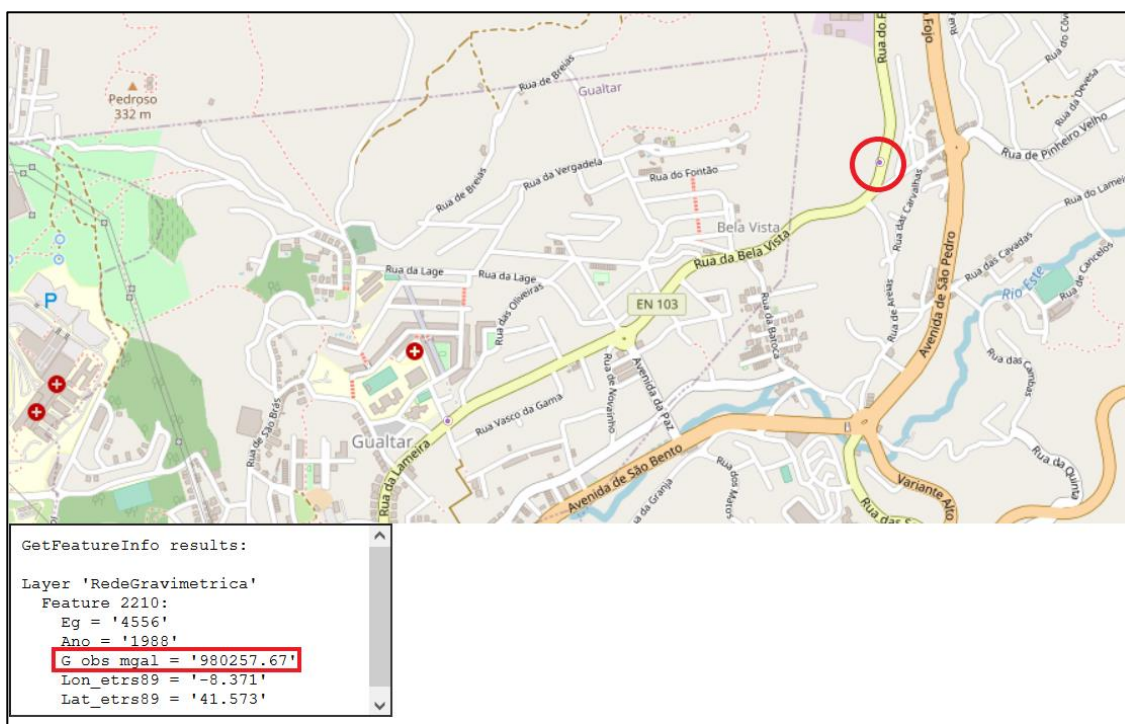


Figura 43 – Informações da estação base absoluta usada, da Rede Gravimétrica Nacional, disponibilizada no site da Direção-Geral do Território (Direção-Geral do Território, 2013).

Para o cálculo da correção de terreno, foi utilizado o *software Oasis Montaj*, que fornece a possibilidade de aplicar correções de terreno através de um DEM. Este *software* é acompanhado de diversas ferramentas que o complementam, sendo uma delas, intitulada de *Gravity and Terrain Correction system*. Para o cálculo da correção de terreno, é usado um DEM regional e um DEM local. Desta forma, o *software* produz uma rede de correção regional que representa as correções de terreno para a área em estudo. Com esta rede, é possível calcular as correções de terreno para cada estação gravimétrica. De referir, que o cálculo das correções de terreno, foi realizado para um valor de densidade unitária, ou seja, de 1.

O DEM usado no *Oasis Montaj* para as correções de terreno, corresponde a um DEM de Portugal continental, com dimensões de 20 metros por 20 metros, cedido

gentilmente pelo Professor José Alberto Gonçalves, do Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território (DGAOT) da FCUP.

O cálculo da Anomalia Completa de Bouguer exige uma correção de terreno calculada com o valor da densidade das litologias da área. Uma vez que não se procedeu à obtenção da densidade das rochas através de métodos diretos, foi calculada a densidade média, através do método indireto de Nettleton.

O valor da densidade calculado pelo método de Nettleton (Nettleton, 1939), está representado na Figura 44, sendo que na área da campanha gravimétrica, obteve-se um valor de densidade de $6,6 \text{ g/cm}^3$, que do ponto de vista geológico, corresponde a uma densidade extremamente alta e irreal para a geologia local.

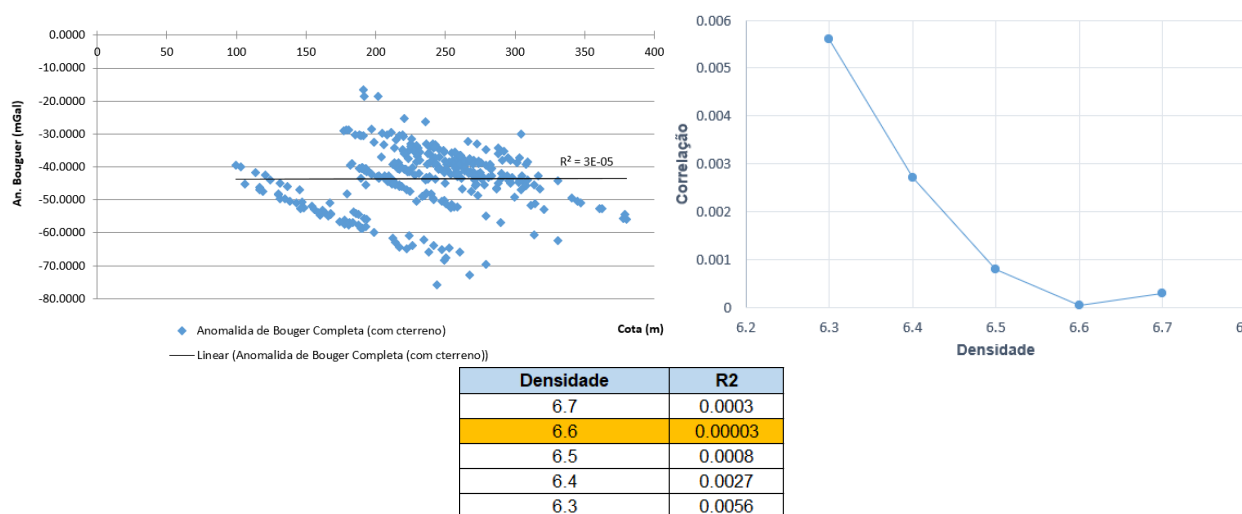


Figura 44 – Determinação do valor médio da densidade pelo método de Nettleton, para todas as rochas da área da campanha gravimétrica.

De modo a explorar melhor os dados e na expectativa de verificar se seria possível obter densidades que fossem geologicamente possíveis, foi feita uma seleção das estações gravimétricas consoante a litologia em que estavam inseridas. Para isso, com recurso ao ArcGis v10.7, os pontos das estações gravimétricas foram sobrepostos a uma *shapefile* da geologia local, como representado na Figura 40 e posteriormente, separados por litologia.

Com as estações gravimétricas separadas por litologias, efetuou-se novamente o método de Nettleton, no entanto os valores médios de densidade continuaram bastante elevados, nomeadamente uma densidade de $7,6 \text{ g/cm}^3$ para o Granito de Braga, uma densidade de $6,4 \text{ g/cm}^3$ para o Granodiorito, uma densidade de $7,4 \text{ g/cm}^3$ para os Micaxistos e uma densidade de 6 g/cm^3 para o Granito de Celeirós como representado na Figura 45.

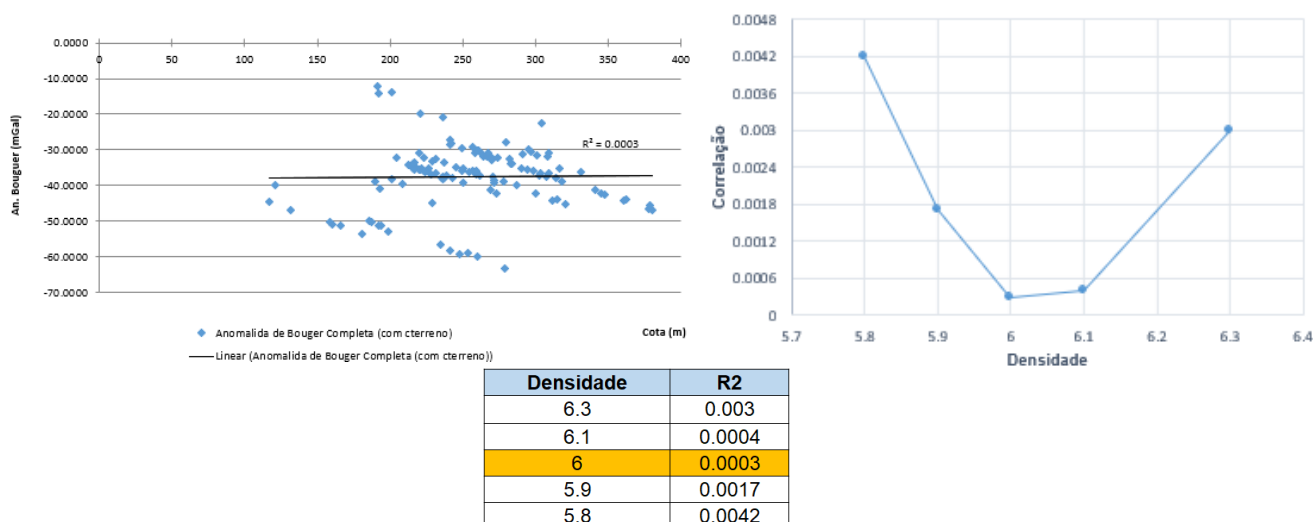


Figura 45 - Determinação do valor médio da densidade pelo método de Nettleton, para o Granito de Celeirós

Como o gráfico dos pontos do Granito de Celeirós, aparenta ter um padrão diferente da tendência principal, realizou-se uma separação dessas duas tendências, aplicando-se novamente o método de Nettleton, no entanto, os valores da densidade média para os dois padrões, foram de $3,45 \text{ g/cm}^3$ e 4 g/cm^3 , que, do ponto de vista geológico, continuam a ser valores demasiado altos, para corresponderem à realidade.

Este valores anómalos podem ser explicados uma vez que o método de Nettleton é fiável para terrenos pouco acidentados e com baixa variação da morfologia e da estrutura, contudo a área da campanha gravimetria apresenta-se intensamente fraturada e com grandes diferenças na altitude, sendo que o ponto de cota mais baixa, apresenta-se com um valor de 99,625 metros e o ponto de cota mais elevada, de 380,16 metros.

Por este motivo, o método de Nettleton não foi utilizado neste caso de estudo e a densidade média assumida para a área foi de $2,67 \text{ g/cm}^3$, de acordo com Mezcuca *et al.* (1996), como é possível observar na Figura 47. Com o valor da densidade, foi então calculada a correção de terreno para uma densidade de $2,67 \text{ g/cm}^3$ e posteriormente a Anomalia Completa de Bouguer.

3.5. Modelação da Anomalia

Com o valor da Anomalia de Bouguer Completa calculado, procedeu-se à interpolação dos mapas das anomalias de Bouguer, regional e residual. Para isso, utilizou-se o *software Oasis Montaj*, que dispõem de ferramentas que possibilitam o cálculo das anomalias referidas. Com os dados de cada estação gravimétrica georreferenciados e com os valores da Anomalia de Bouguer calculados, obteve-se o mapa da anomalia de Bouguer através de uma interpolação dos dados, utilizando o menu *Grid and Image*, a ferramenta de *Gridding* e o método de *Kriging*.

O mapa da anomalia de Bouguer, corresponde à sobreposição da anomalia regional e residual, sendo necessário remover o campo regional para isolar a anomalia residual. Para realizar esta separação, aplica-se um método de filtragem espectral, de acordo com o ajuste polinomial, através do menu *Grid and Image*, a ferramenta de *Filters/Trend* e procede-se à remoção da anomalia regional de acordo com a 1ª, 2ª e 3ª ordem de superfícies polinomiais.

Uma vez que se removeu as anomalias regionais da anomalia de Bouguer, para obter as anomalias residuais, é possível realizar cálculos matemáticos para obter os mapas das anomalias regionais. Para tal, o *Oasis Montaj* dispõem da ferramenta *Grid Math*, no menu *Grid and Image*, que, ao mapa da anomalia de Bouguer inicialmente obtido, remove separadamente os mapas correspondentes às anomalias residuais de 1ª, 2ª e 3ª ordem, para a obtenção dos mapas das anomalias regionais de 1ª, 2ª e 3ª ordem, como representado na Figura 46, onde G_0 corresponde *grid* da anomalia regional que pretendemos obter, G_1 a anomalia de Bouguer onde é subtraído um G_2 , que corresponde à *grid* da anomalia residual. Para o cálculo da anomalia regional de 1ª ordem, utiliza-se na fórmula, a anomalia residual de 1ª ordem e assim sucessivamente para as 3 ordens.

De referir que a separação das anomalias regionais e residuais da anomalia de Bouguer, é um passo extremamente importante na interpretação dos mapas gravimétricos.

Grid Math Expression Builder
?
X

Step 1: Type in a mathematical expression. Use your own variable names or use the button below to insert default variable names.

Example: $G0 = G1 + G2$

Expression:
Clear

Operators
Insert Grid Variable

Step 2: Assign grid files to the variable names used above.

Assign grids:

* G0 =	anomalia_regional_3.grd(GRD)	▼	...
* G1 =	krigging_anom.grd(GRD)	▼	...
* G2 =	anom_residual_3.grd(GRD)	▼	...

Common tasks:
▼

Expression file:
...
Load
Save

OK
Cancel

Figura 46 – Cálculo da anomalia regional de 3ª ordem no menu *Grid and Image>Grid Math*, no *Oasis Montaj*

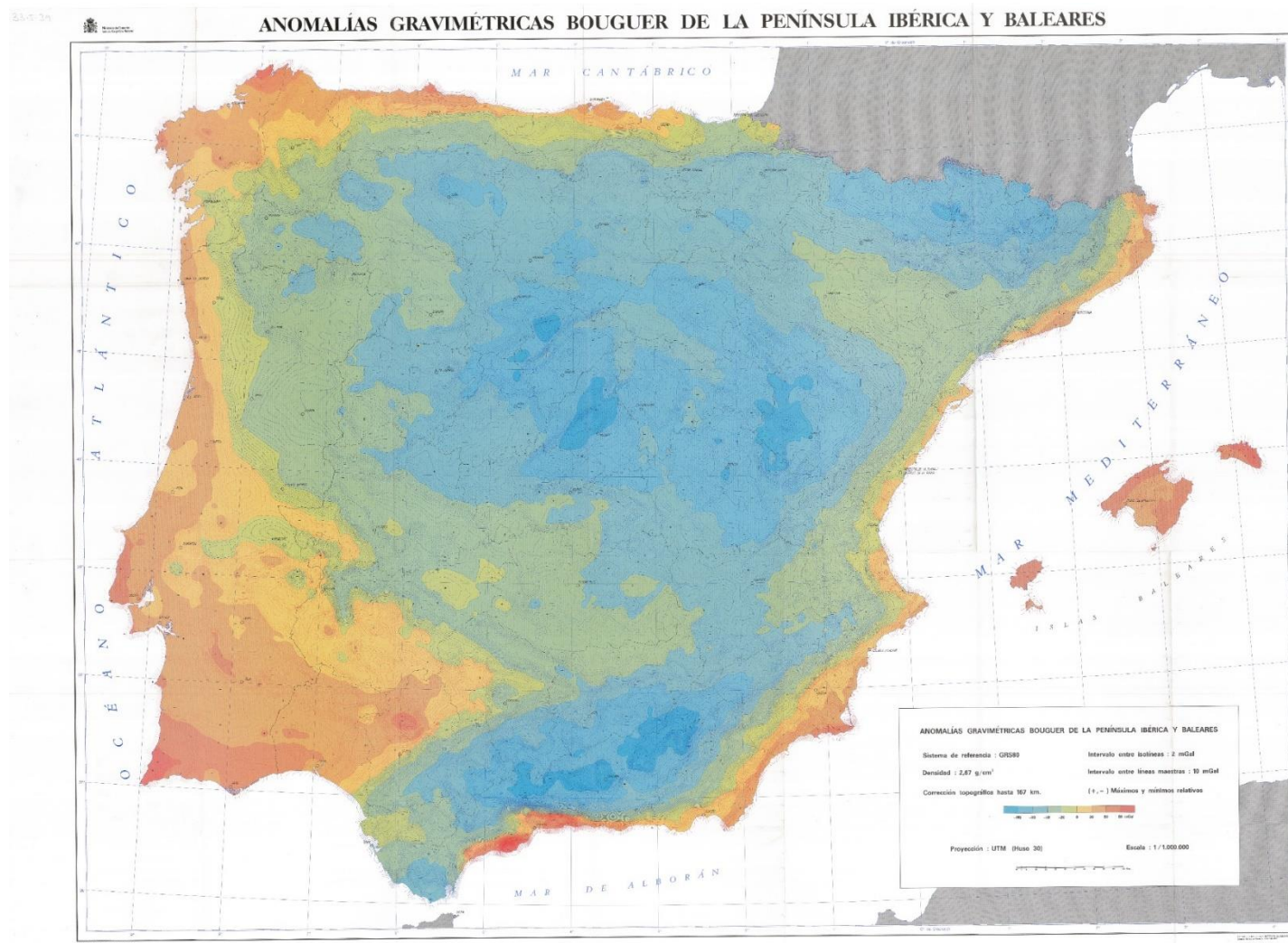


Figura 47 – Mapa das anomalias gravimétricas de Bouguer para a Península Ibérica, para um valor de densidade de $2,67 \text{ g/cm}^3$ (extraído de Mezcua *et al.*, 1996).

Capítulo 4 – Resultados e Discussão

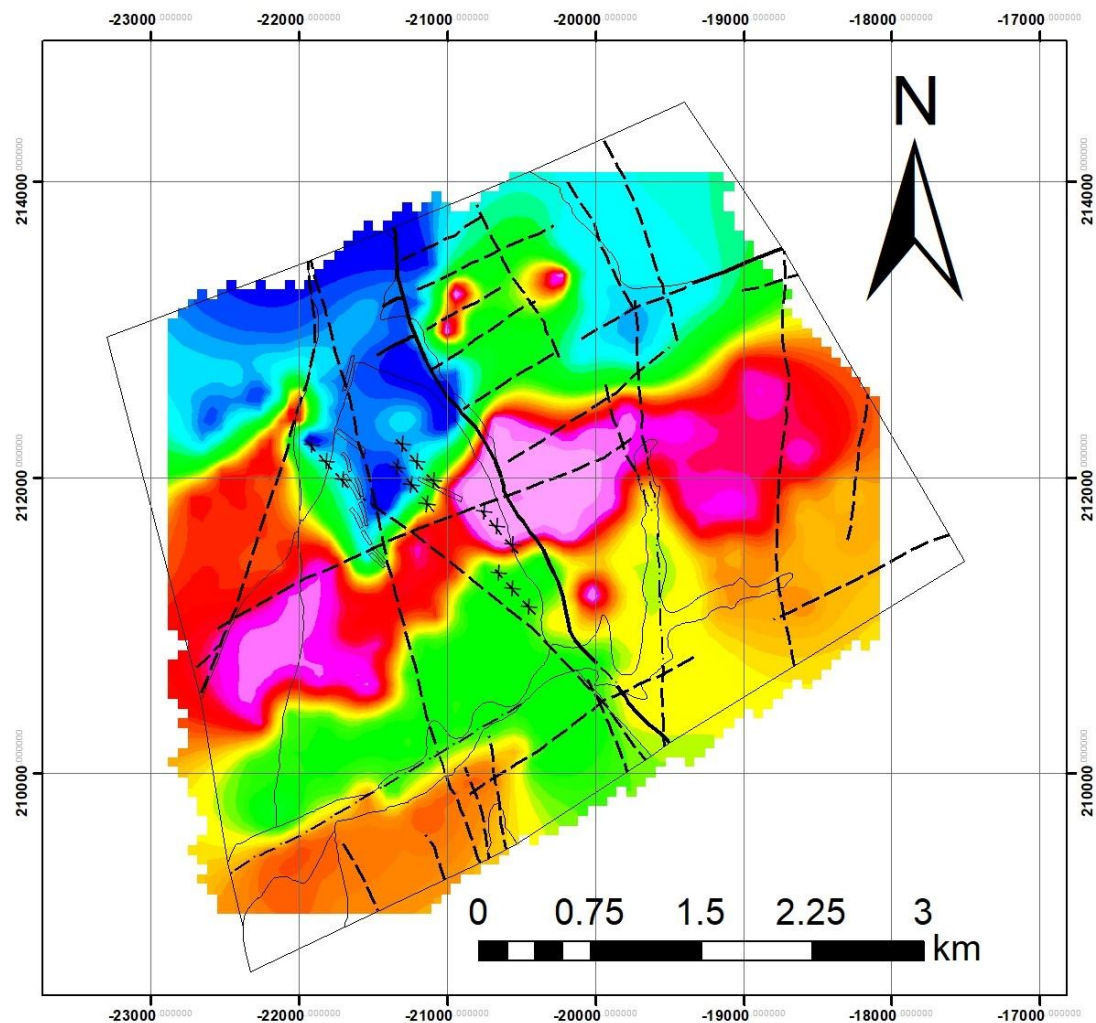
Geralmente, uma campanha gravimétrica identifica, de forma eficiente, descontinuidades, como falhas e contactos geológicos, permite inferir sobre a profundidade e geometria de corpos intrusivos, assim como sobre a zona de alimentação de um granito, e ainda contribuir com dados relevantes para a avaliação do potencial geotérmico na região.

Como já referido, a partir de um valor de referência de densidade de $2,67 \text{ g/cm}^3$, de acordo com Mezcua *et al.* (1996) e através do método de interpolação de dados *kriging*, obteve-se o mapa da anomalia de Bouguer, representado na Figura 48.

A anomalia de Bouguer da área de estudo, apresenta valores que variam de -38,60 mGal e 18,67 mGal, com o valor médio de -6,94 mGal e um desvio padrão de 12,33 mGal. Uma vez que grande parte da área de estudo é ocupada por diferentes granitos, sendo que os micaxistos que ocorrem, surgem associados ao granito, as zonas de anomalias negativas mais baixas não estão diretamente correlacionadas com a presença de granitos. No entanto, verifica-se que na área existe um forte controlo estrutural provocado pela zona de cisalhamento Vigo-Régua (NNW-SSE) e pelas falhas ENE-WSW da fraturação tardi-varisca, bem marcada, pelo alinhamento do rio Este, presente nesta área. Os valores mais negativos da anomalia de Bouguer parecem estar relacionados com zonas em que os granitos estão mais profundos, sugerindo locais de enraizamento dos corpos graníticos. No entanto é também evidente um controlo estrutural ENE-WSW, na faixa de anomalia de Bouguer positiva devido à presença de uma falha com esta direção.

Através da remoção da tendência regional ao mapa da anomalia de Bouguer, obteve-se o mapa da anomalia regional de acordo com o polinómio de 1ª ordem (Figura 49), de 2ª ordem (Figura 50) e de 3ª ordem (Figura 51).

Martínez-Moreno (2015) defende que os mapas de anomalia realizados com o método polinomial de mais baixo grau, evidenciam os resultados mais aproximados à realidade, no entanto é necessário ter em conta o conhecimento geológico da área e reconhecendo o controlo estrutural das falhas da região.



Legenda

Estruturas

*** Cisalhamento

— Falha

--- Falha Oculta

--- Falha Provável

□ Contornos litológicos

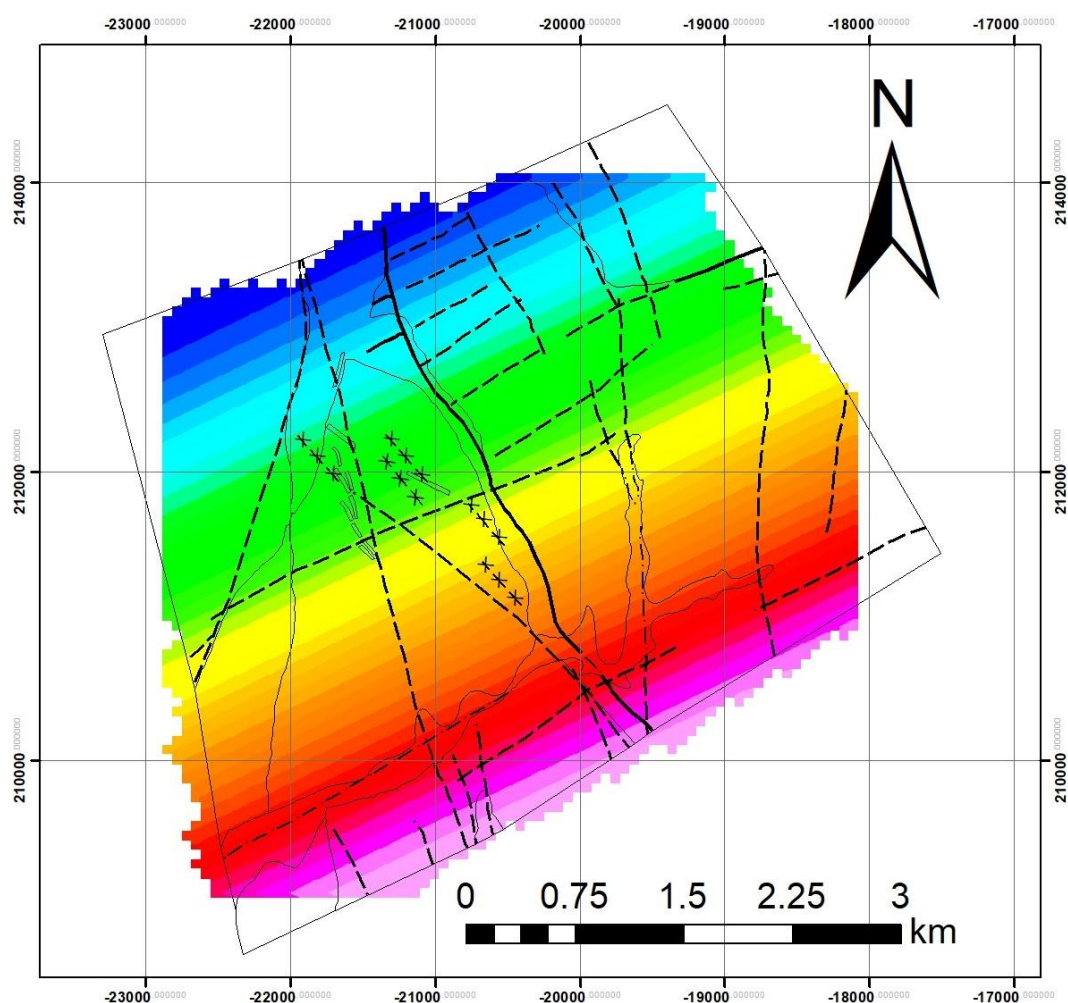
Anomalia Bouguer

-31.1 -26.1 -12.3 -8.8 -5.5 -2.5 -0.6 2.2 4.7



(mGal)

Figura 48 – Mapa da anomalia de Bouguer (interpolação de dados através do *kriging*, no Oasis Montaj)



Legenda

Estruturas

× × × × Cisalhamento

— Falha

- - - Falha Oculta

- - - Falha Provável

□ Contornos litológicos

Anomalia Regional

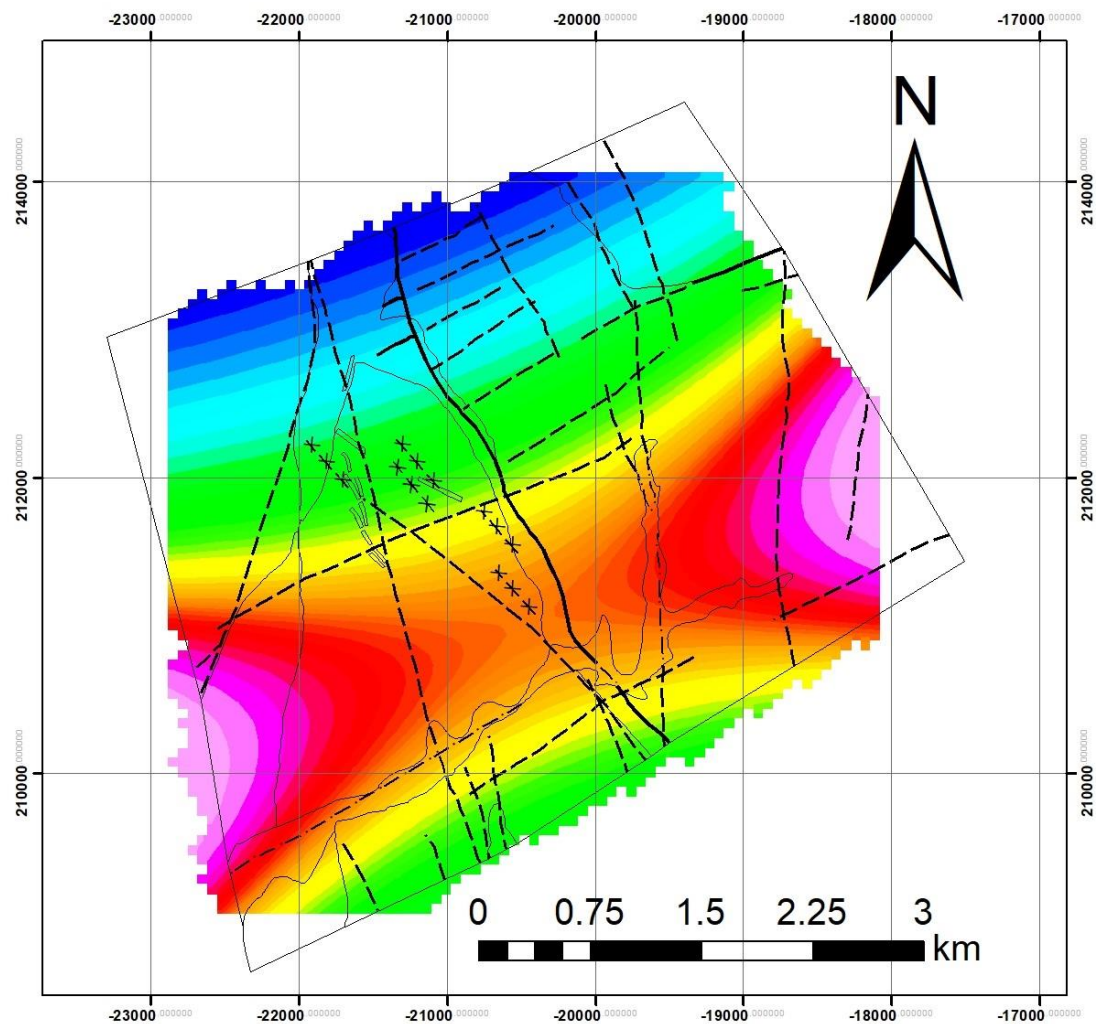
1ª Ordem

-21.0 -17.1 -13.7 -10.5 -7.6 -5.4 -3.1 -0.8 1.6



(mGal)

Figura 49 – Mapa da anomalia regional de 1ª ordem polinomial.



Legenda

Estruturas

× × × × Cisalhamento

— Falha

- · - · - Falha Oculta

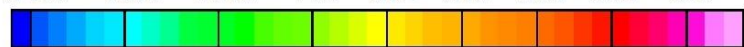
- - - - Falha Provável

□ Contornos litológicos

Anomalia Regional

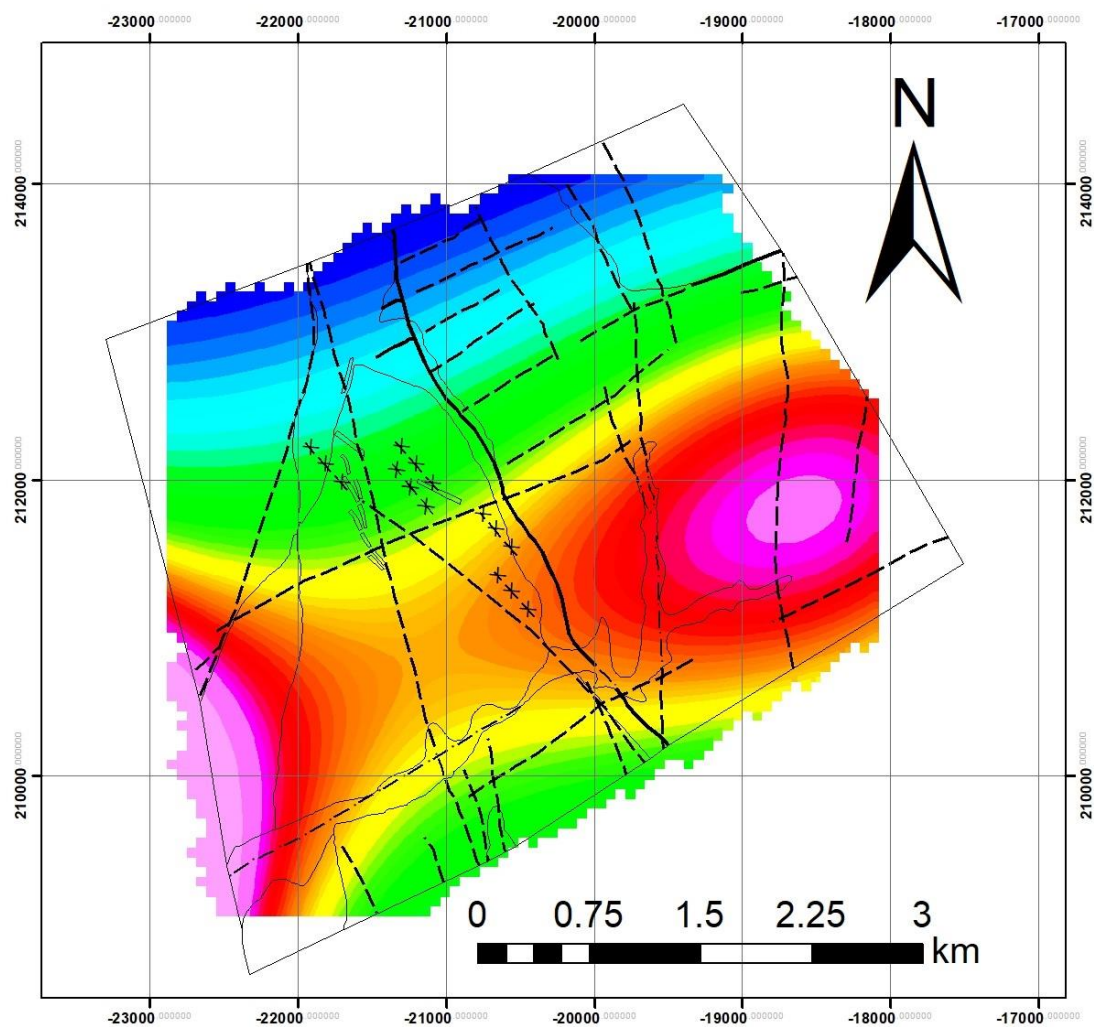
2ª Ordem

-31.5 -18.9 -10.8 -7.1 -5.2 -3.8 -3.0 -2.1 -0.5



(mGal)

Figura 50 – Mapa da anomalia regional de 2ª ordem polinomial.



Legenda

Estruturas

- × × × × Cisalhamento
- Falha
- - - - Falha Oculta
- - - - Falha Provável
- Contornos litológicos

Anomalia Regional

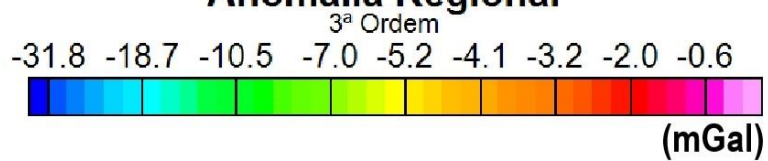


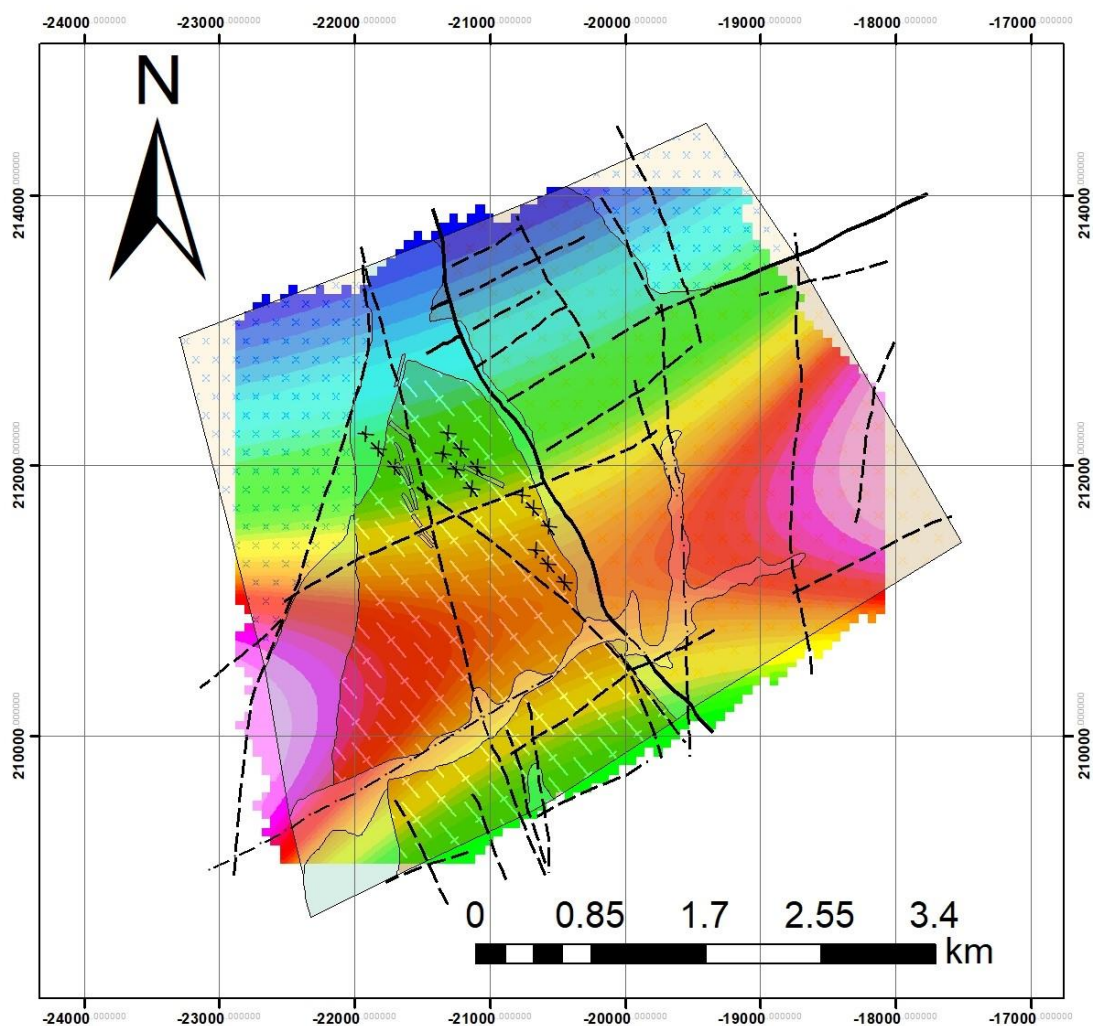
Figura 51 - Mapa da anomalia regional de 3ª ordem polinomial.

Observando os mapas de anomalia regional, é visível uma tendência regional NNW-SSE, que aumenta de NNW para SSE, que é atenuada pelo controlo estrutural do cisalhamento Vigo-Régua, com a interseção de falhas perpendiculares ENE-WSW, que evidencia zonas de anomalia mais positiva concordante com a zona de falhas ENE-WSW. É ainda visível, principalmente no mapa da anomalia regional de 2ª ordem, um eixo de simetria das zonas anómalas na mesma localização do cisalhamento Vigo-Régua, que atenua esta anomalia (Figura 52). A Figura 52 corresponde ao mapa de anomalia regional de 2ª ordem com sobreposição da geologia local e das estruturas, que facilita a observação desta interpretação. Por este motivo e de acordo com Martínez-Moreno (2015), o mapa de polinómio de 2ª ordem, é o que melhor se ajusta à superfície de anomalia de Bouguer.

Através da remoção das anomalias regionais no mapa da anomalia de Bouguer, obteve-se os mapas de anomalia residual de 1ª ordem (Figura 53), de 2ª ordem (Figura 54) e de 3ª ordem (Figura 55).

Para a escolha do mapa da anomalia residual que melhor se ajusta à superfície de anomalia de Bouguer, teve-se em conta a escolha do polinómio de 2ª ordem do mapa da anomalia regional, mas também se sobrepôs aos mapas das anomalias residuais das três ordens, a litologia e estruturas locais. Esta sobreposição permitiu verificar qual o mapa que melhor se ajustava ao conjunto de falhas da área de estudo, uma vez que, neste caso existe um grande controlo estrutural, porque os contactos litológicos não são perceptíveis pelo mapa da anomalia residual.

Desta forma o polinómio que se adequa mais à zona em estudo, corresponde à 2ª ordem. O mapa da anomalia residual de 2ª ordem, com a sobreposição da litologia e estruturas locais, está representado na Figura 56.



Anomalia Regional

2ª Ordem

-31.5 -18.9 -10.8 -7.1 -5.2 -3.8 -3.0 -2.1 -0.5



(mGal)

Legenda

Estruturas

*** Cisalhamento

— Falha

--- Falha Oculta

--- Falha Provável

□ Contornos litológicos

Geologia

□ Depósitos do Quaternário

□ Micaxistos

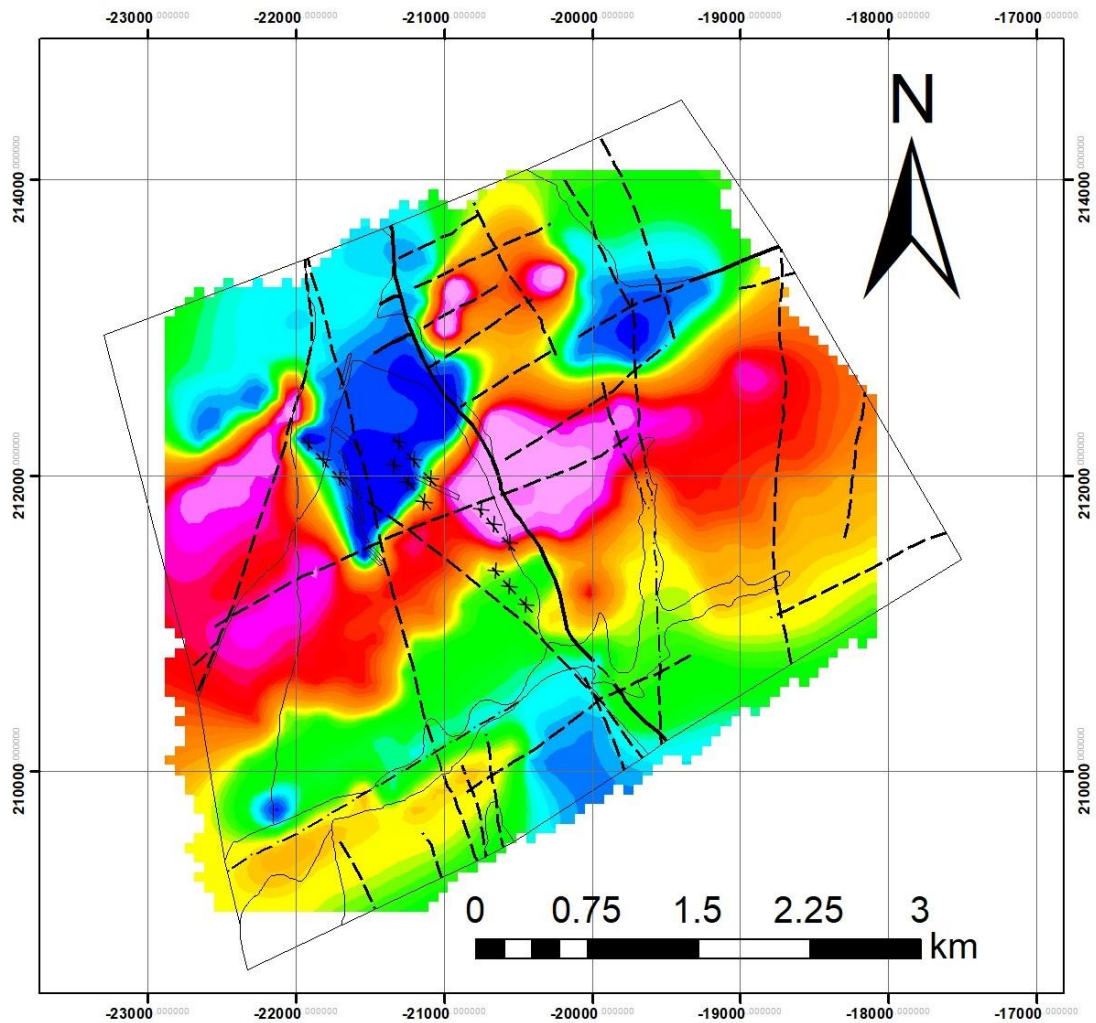
□ Granito de Braga

□ Granito de Celeirós

□ Granodiorito

□ Filões aplíticos e/ou pegmatíticos

Figura 52 – Mapa da anomalia regional de 2ª ordem polinomial, com sobreposição das litologias locais.



Legenda

Estruturas

*** Cisalhamento

— Falha

- - - Falha Oculta

- - - Falha Provável

□ Contornos litológicos

Anomalia Residual

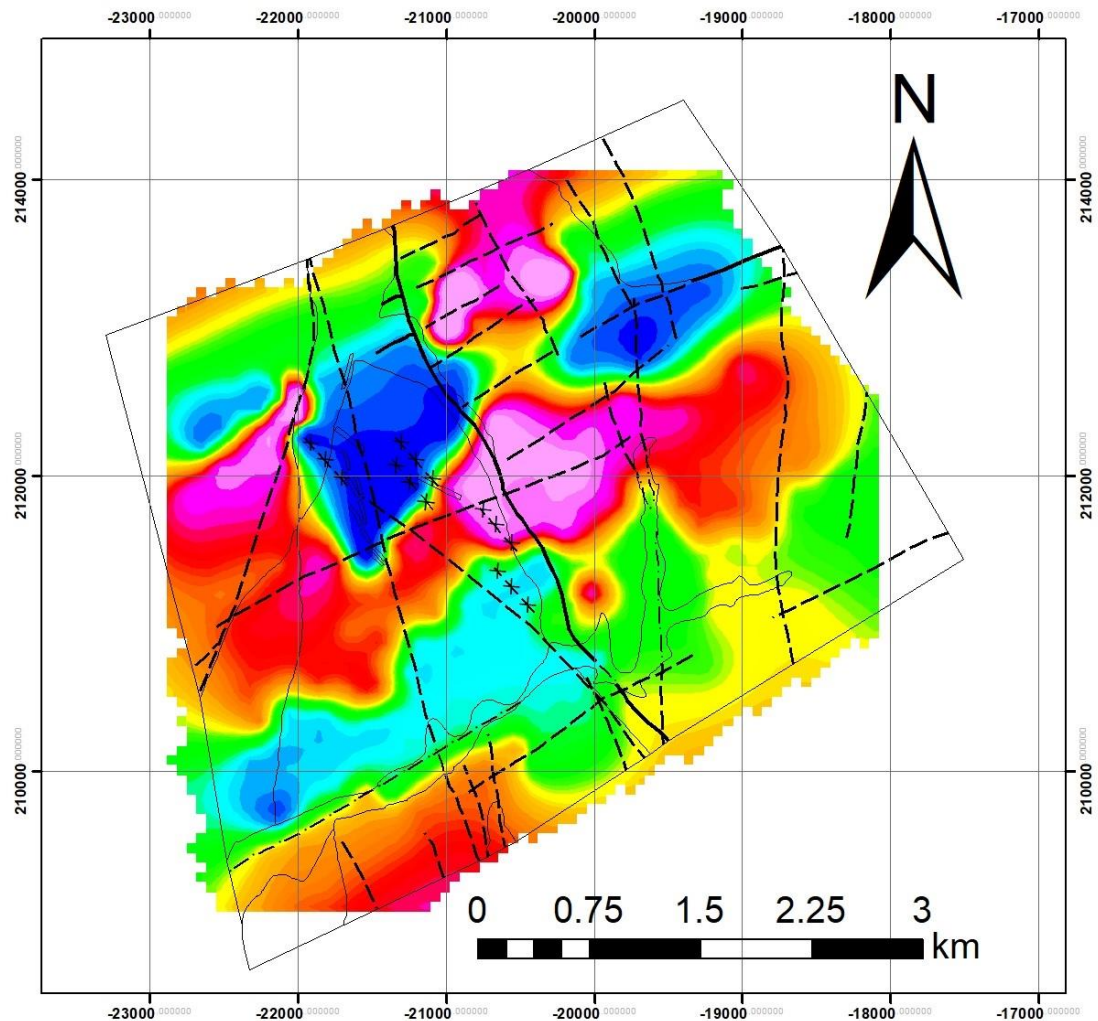
1ª Ordem

-15.2 -10.0 -7.2 -5.0 -2.3 0.1 5.7 11.0 14.6



(mGal)

Figura 53 - Mapa da anomalia residual de 1ª ordem polinomial.



Legenda

Estruturas

*** Cisalhamento

— Falha

--- Falha Oculta

--- Falha Provável

□ Contornos litológicos

Anomalia Residual

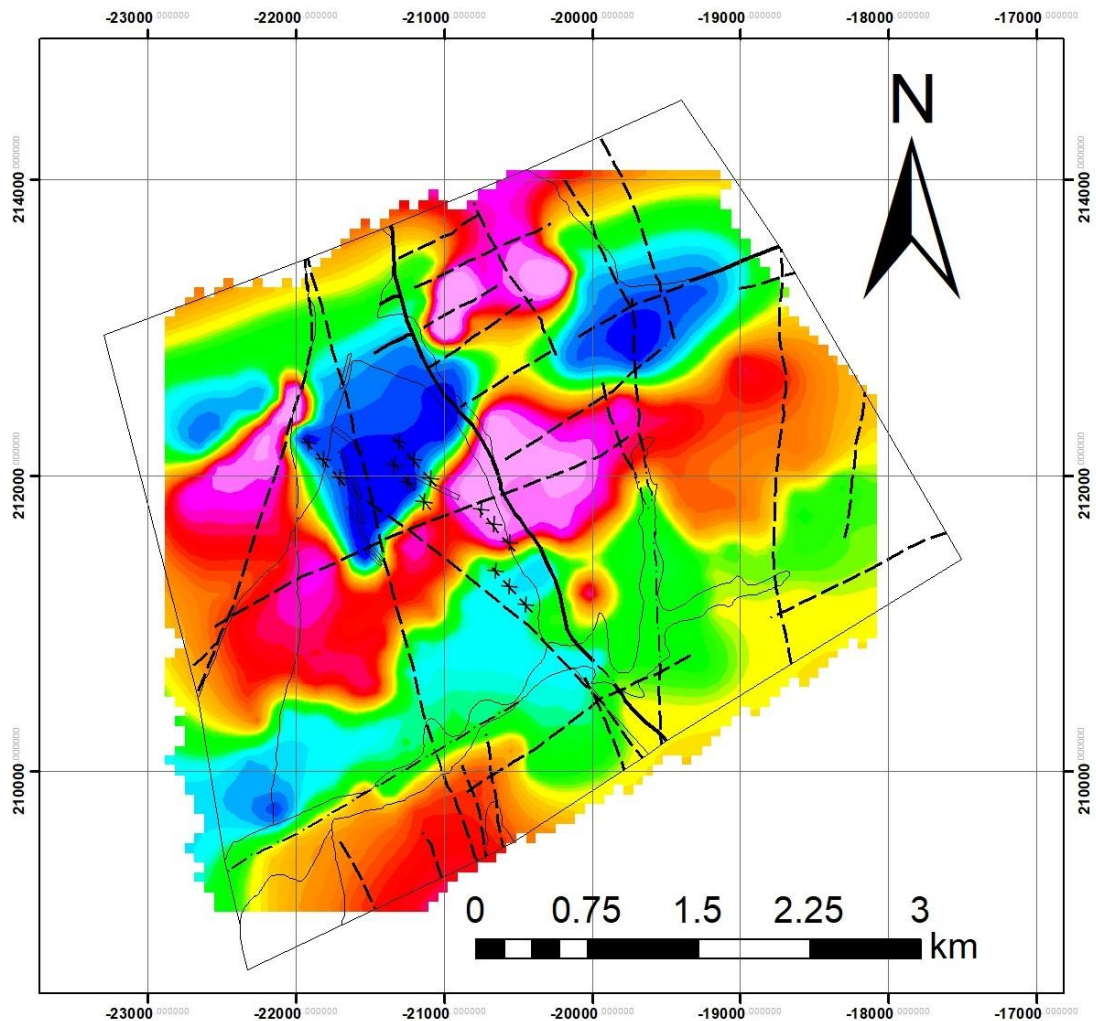
2ª Ordem

-16.8 -8.1 -5.1 -2.7 -0.7 1.1 4.1 6.3 8.3 15.8



(mGal)

Figura 54 - Mapa da anomalia residual de 2ª ordem polinomial.



Legenda

Estruturas

*** Cisalhamento

— Falha

--- Falha Oculta

--- Falha Provável

□ Contornos litológicos

Anomalia Residual

3ª Ordem

-17.2 -7.6 -5.2 -2.5 -0.8 1.1 4.2 6.3 8.5 15.5



(mGal)

Figura 55 - Mapa da anomalia residual de 3ª ordem polinomial.

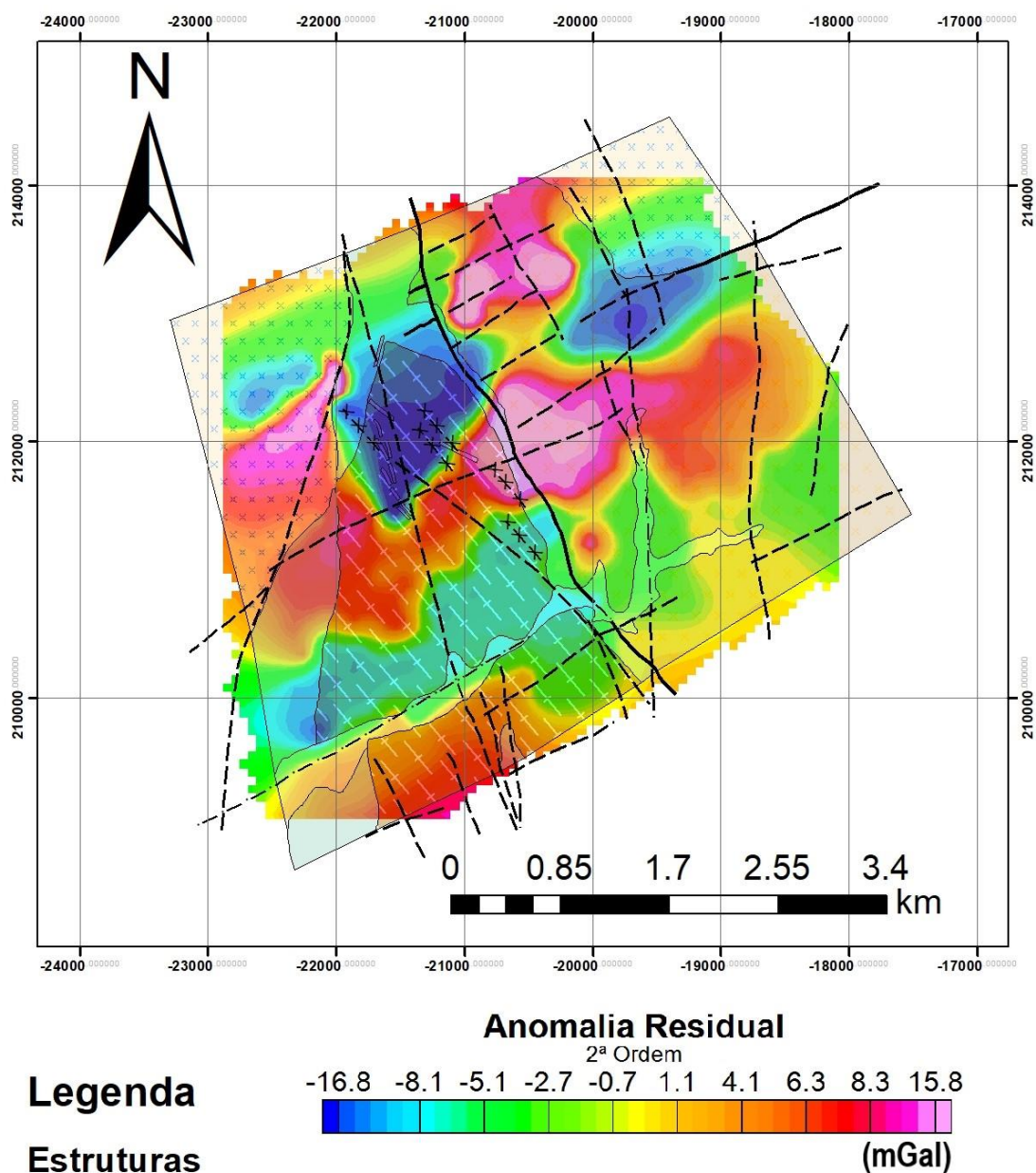


Figura 56 - Mapa da anomalia residual de 2ª ordem polinomial, com sobreposição das litologias locais.

Tendo em conta o mapa da anomalia residual de 2ª ordem, com a sobreposição das litologias e as estruturas da área (Figura 56), é possível realizar diversas interpretações que justifiquem as anomalias da área. Na zona norte da área surgem três anomalias muito negativas, na zona sul em toda a sua extensão, verifica-se uma zona de anomalia negativa de valor reduzido, e numa faixa central ocorrem valores, correspondentes a uma anomalia positiva. É evidente, que neste caso o valor zero da anomalia não é concordante com os contactos geológicos, uma vez que, a grande maioria da área, é constituída por granitos, que se prevê que sejam de densidades idênticas, mas tendo em conta o sistema de falhas, é nitidamente visível um grande controlo estrutural.

Se nos basearmos nos princípios teóricos da gravidade, esta é influenciada em primeira instância pela densidade, pelo que quando se verificam anomalias positivas estamos perante um corpo mais denso que a zona envolvente. Visto que a área é maioritariamente composta por granitos, a variação da anomalia não se deverá justificar apenas pela presença de corpos com densidades diferentes. Assim, e tendo em conta as estruturas presentes no local, estas anomalias positivas poderão ser justificadas pela presença de granitos menos fraturados.

Visto que, uma das principais conclusões, é de que a área tem um grande controlo estrutural, a faixa central de anomalia positiva e a sul desta, a faixa de anomalia negativa, poderá sugerir uma estrutura de *Horst Graben*. A faixa de anomalia positiva poderá corresponder a um *Horst* (elevação de terreno) e a anomalia negativa a um *Graben* (abatimento de terreno), justificado pela disposição dessas zonas, paralelas a uma zona de falhas extensas ENE-WSW, correspondente à fraturação tardi Varisca, que condicionou, também, a orientação do rio Este. Nesta zona, perpendicularmente às estruturas referidas, surge o grande cisalhamento Vigo-Régua, que em parte, é definido pelas anomalias. É importante referir que, na possível estrutura de *Graben*, ou seja, a zona com anomalia negativa baixa, existem registos de populares e moradores desta região, que afirmam a ocorrência de águas quentes, que, com a necessidade de construção de habitações, foram “encanadas” para o rio Este. Esta informação foi gentilmente cedida pelo Presidente da Junta de Freguesia de Gualtar, João Vieira.

A presença deste zonamento de anomalia negativa baixa, referido anteriormente, poderá ser provocado também, pela presença de aluviões, uma vez que é lá que circula o rio Este. Como este material é menos denso que os granitos, pode eventualmente causar esta ligeira anomalia negativa.

Em relação às 3 anomalias negativas evidentes a norte da área, que correspondem, nomeadamente, aos cantos superiores esquerdo e direito, numa zona

do granito de Braga e a anomalia mais central, ao granodiorito ou granito do Sameiro. Estas anomalias podem ser justificadas por uma zona de enraizamento ou zona de maior espessamento do corpo granítico. No caso do granodiorito ou granito do Sameiro, com uma anomalia mais negativa, poderá indicar uma zona de enraizamento, sugerindo um fluxo magmático de NW para SE, subparalelo ao cisalhamento Vigo-Régua, sendo que na sua extensão, o número de ocorrências de *roof-pendants* aumenta, o que poderá indicar uma diminuição da espessura deste granito.

Capítulo 5 – Considerações finais

A aplicação do estudo gravimétrico nesta área bastante heterogénea, quer devido à existência de grandes anisotropias estruturais, quer devido à ocorrências de águas quentes, foi bastante útil para enquadrar e reforçar a hipótese do potencial da região no que diz respeito ao aproveitamento geotérmico. Este estudo, de carácter exploratório e focado gravimetria aplicada à prospeção de recursos geotérmicos, é de elevada importância uma vez que, estamos perante um contexto de transição energética, onde cada vez mais nos dias de hoje, as alterações climáticas têm mais importância e por isso, a exploração de energias renováveis, são tomadas como prioridades, numa estratégia de desenvolvimento sustentável. Em Portugal, a geotermia, ainda não é tida em conta, como em outros países de União Europeia, muito pela falta de investigações de carácter exploratório neste tema. No entanto, é possível que Portugal tenha um rumo diferente e explore o potencial geotérmico que o país possa ter. Como o estudo da geotermia em Portugal continental ainda está numa fase muito embrionária, é importante referir que esta investigação forneceu um grande contributo para esta área, uma vez que se obteve uma grande base de dados e excelentes resultados para a região do Minho.

De acordo com os resultados obtidos através da gravimetria, verifica-se que a área de estudo é bastante anómala, evidenciando um possível potencial geotérmico. A presença do cisalhamento Vigo-Réguia e do sistema de falhas regional promove a circulação de fluidos, contribuindo assim para reforçar esta conjectura. O principal objetivo desta investigação baseava-se na identificação de estruturas geológicas que potencializassem a permeabilidade e a consequente circulação de fluídos hidrotermais e geotérmicos em profundidade. Tendo em conta os mapas obtidos, as suas interpretações e resultados e também as possíveis ocorrências de águas quentes na área, é nitidamente visível um controlo estrutural na região, que permitirá potencializar a circulação destes fluídos e por isso, o interesse geotérmico na área cresceu bastante.

Esta investigação permitiu completar informações da região, relativas a trabalhos anteriores, mas também potenciar trabalhos futuros nesta vertente, uma vez que podem ser aplicados outros métodos que comprovem os resultados obtidos e que fortaleçam as interpretações e o potencial geotérmico da região.

Como a geotermia é uma área que possivelmente irá crescer bastante nos próximos anos Portugal e sendo a região do Minho uma região com potencial, considera-se que dar continuidade a esta investigação seria bastante relevante. Para além disso, uma vez que a cidade de Braga atinge temperaturas mínimas bastante

baixas no Inverno, a geotermia poderia ser usada em rede de aquecimento (por exemplo, DHC-*District heating and cooling*).

Como trabalhos futuros, e para dar continuidade a esta investigação, seria necessário aumentar a área da rede de campanha gravimétrica ou ainda, diminuir o espaçamento entre estações, para aumentar o pormenor e obter uma base de dados ainda maior. A aplicação de diferentes métodos, como métodos eletromagnéticos, que possam comprovar e fortalecer os resultados já obtidos.

De um ponto de vista pessoal, este estágio curricular e a realização desta investigação científica, enriqueceram as minhas competências científicas e profissionais como futuro geólogo, uma vez que o meu sentido crítico e autonomia foram impulsionados, derivado do grande envolvimento necessário, para a realização do trabalho o que foi mencionado neste relatório.

Referências

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, 11-12 pp.

Cruz, C., 2020. Post-tectonic Variscan magmatism from Northwest Iberia. Implications for W-Mo metallogeny. Case study of Lamas de Olo Pluton. Tese de doutoramento, Universidade do Porto, Porto, 69 pp.

Dentith, M., Mudge, T., 2014. Geophysics for the Mineral Exploration Geoscientist. 1st Ed., Cambridge University Press. United Kingdom, 516 pp.

DGEG, 2017. Geotermia - Energia Renovável em Portugal. 1st ed. Direção Geral de Energia e Geologia, Lisboa, 6-17 pp.

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, Investigação e sua História. Lisboa, APG, SGP. Vol. I, cap. II, 143-160 pp.

Dias, R., Ribeiro, A., 1994 The Ibero-Armorican Arc: a collision effect against an irregular continent? Tectonophysics 246, 113-128 pp.

Direção-Geral do Território, 2013. Rede Nacional de Gravimetria: <http://mapas.dgterritorio.pt/geodesia/geodesiaredegravimetricawms.html> Acessado a 4 de Agosto de 2021.

ESRI, 2021. Differential GPS Explained: <https://www.esri.com/news/arcuser/0103/differential1of2.html>. Acesso a 23 de setembro de 2021.

Farias, P., Gallastegui, G., González, F. L., Marquínez, J., Martín-Parra, L., Martínez Catalán, J. R., Pablo Maciá, J. G., Rodríguez-Fernández, L. R., 1987 Appontaciones al conocimiento de la litoestratigrafia y estrutura de Galicia Central.

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.

Ferreira, N., Iglésias, M., Noronha, F., Pereira, E., Ribeiro, A., Ribeiro, M.L., 1987. Granitóides da Zona Centro Ibérica e seu enquadramento geodinâmico. In: Bea F., Carnicero A., Gonzalo J.C. López Plaza M., Rodríguez Alonso M.D. (Eds.) Geologia

de los granitoides y rocas asociadas del Macizo Hespérico, Libro homenaje a L.C. Garcia de Figueirola, Ed. Rueda, Madrid, 37-51 pp.

Hammer, Sigmund, 1939. Terrain corrections for gravimeter stations: *Geophysics*, 4, 184-194 pp.

Hinze, W. J., Von Frese, R. R. B., e Saad, A. H., 2013. *Gravity and Magnetic Exploration: Principles, Practices, and Applications*. Cambridge University Press. 34 pp.

IAG (International Association of Geodesy), 1971. *Geodetic Reference System 1967*. Pub. Spec. No. 3 du Bulletin Géodésique.

Julivert, M., Fontboté, J., Ribeiro, A. & Conde, L. 1974 Memoria explicativa del Mapa Tectónico de la Península Ibérica y Baleares, escala 1:1000000, Inst. Geol. Min. España, Madrid.

Kearey, P., Brooks, M., 1991. *An Introduction To Geophysical Exploration*. 2nd Ed., 8-215 pp., Blackwell Science Ltd. Oxford.

Kearey, P., Brooks, M., Hill, I., 2002. *An Introduction To Geophysical Exploration*. 3rd Ed., 10 pp., Blackwell Science Ltd. Oxford.

LaFehr, T.R., 1991. Standardization in gravity reduction. *Geophysics*, 56 pp.

Loke, M., 2004. Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys, 33 pp.

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 pp.

Medeiros, A., Teixeira, C., Teixeira Lopes, J., 1975. *Notícia Explicativa da Folha 5-B Ponte da Barca na escala de 1:50000*, 1ª edição. Departamento de Geologia. Instituto Geológico e Mineiro, Lisboa.

Mezcua, J., Gil, A., Benarroch, R., 1996. *Anomalías gravimétricas bouguer de la Península Ibérica y Baleares*, Escala 1:1000000. Instituto Geográfico Nacional, Madrid.

Mickus, Kevin, 2003. *Gravity Method: Environmental and Engineering Applications*, Department of Geosciences, Southwest Missouri State University, Springfield, 2-13 pp.

Milson, J., 2003. *Field Geophysics*. 3rd Ed., 1-144 pp., Wiley Editorial Offices. England.

Musset, E., Kahn, A., M., Aftab, M., 2000. *Looking into the Earth. An Introduction to geological geophysics*. 1st Ed., 1-213 pp., Cambridge University Press. USA.

Nettleton, L.L., 1939. Determination of Density for Reduction of Gravimeter Observations. *Geophysics*, Vol. 4(3), 176-183 pp.

Noronha, F., Ramos, J.M.F., Rebelo, J. A., Ribeiro, A., Ribeiro, M. L., 1979, *Essai*

de corrélation des phases de déformation hercyniennes dans le Nord-Ouest Péninsulaire, LEIDSE GEOLOGISCHE MEDEDELINGEN, Deel 52. Aflevering 1, 87-91 pp.

Noronha, F., 1982. Rochas graníticas Gerês-Barroso-Cabreira. Suas relações com mineralizações em Sn e W-Mo. Publicações do Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico da Faculdade de Ciências do Porto, 93 pp.

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, 21-25 pp.

Reynolds, J.M., 1997. An Introduction to Applied and Environmental Geophysics. Wiley, Chichester.

Reynolds, J. M., 2011. An Introduction To Applied and Environmental Geophysics. 2nd Ed., 712 pp., JohnWiley & Sons, Ltd. UK.

Ribeiro, A., Pereira, E., Ribeiro, M., Casto, P., 2006. Unidades alóctones da região de Morais (Trás-os-Montes Oriental). Universidade de Évora.

Ribeiro, A., Silva, J., Dias, R., Araujo, A., Marques, F., Merino, H., Fonseca, P., 1989. Terranes in Variscan Foldbelt in Portugal. In: 28th Int. Geol. Congr. (Washington), Abstr. Vol. 2, 692-693 pp.

Sharma, P., 1997. *Environmental and engineering geophysics*. 1st ed. Cambridge, U.K.: Cambridge University Press, 1-10 pp.

Simões, P. P., 2000. Instalação, geocronologia e petrogénese de granitóides biotíticos sintectónicos associados ao cisalhamento Vigo-Régua (ZCI, Norte de Portugal). Tese de doutoramento, Universidade do Minho, Braga, 351 pp.

Anexos

Tabela A. 1 – Dados das estações gravimétricas e respetiva anomalia completa de Bouguer.

Ponto	Data	ETRS89 (Métricas)		ETRS89 (Decimais)		Altura (m)	Anomalia Completa de Bouguer (mGal)
		Longitude	Latitude	Longitude	Latitude		
2407	22/06/21	-22368.144	211765.747	-8.401311908	41.5749441	257.004	1.5233
2408	22/06/21	-22404.835	211822.93	-8.401753978	41.57545793	254.248	1.3858
2409	22/06/21	-22433.344	211869.501	-8.402097551	41.57587644	252.517	1.4984
2478	22/06/21	-22494.086	211773.654	-8.402822286	41.57501176	262.696	1.3783
2479	22/06/21	-22516.087	211815.244	-8.403087645	41.5753856	258.692	1.0636
2480	22/06/21	-22539.46	211866.439	-8.403369817	41.57584589	255.603	1.0842
2545	22/06/21	-22586.571	211761.546	-8.403930755	41.57490014	263.914	1.1984
2339	29/06/21	-22342.298	211925.15	-8.401007937	41.57638003	249.918	1.0798
2273	29/06/21	-22330.133	212112.793	-8.40086905	41.57806984	245.74	1.5736
2204	29/06/21	-22240.151	212238.715	-8.399794751	41.5792061	230.729	1.4891
2066	29/06/21	-22119.143	212370.564	-8.39834859	41.58039658	214.642	1.4356
1998	29/06/21	-22071.6	212466.415	-8.397782011	41.5812609	208.262	2.0752
1930	29/06/21	-22010.856	212523.121	-8.39705568	41.58177313	204.503	2.0844
1931	29/06/21	-22027.074	212579.84	-8.397252241	41.58228336	196.811	2.1444
2405	29/06/21	-22327.874	211700.506	-8.400826633	41.57435782	263.667	1.1298
2481	29/06/21	-22569.514	211909.467	-8.403731796	41.57623245	255.5	1.0032
2544	29/06/21	-22577.34	211726.457	-8.403818753	41.57458447	270.366	1.0701
2543	29/06/21	-22555.959	211677.353	-8.403560546	41.57414296	273.214	1.0124
2404	29/06/21	-22303.021	211655.119	-8.400526955	41.57394987	266.424	1.3119
2337	29/06/21	-22295.563	211837.896	-8.400444319	41.57559573	259.707	1.0735
2335	29/06/21	-22241.852	211750.345	-8.399797059	41.57480895	269.904	0.9756
2334	29/06/21	-22219.151	211715.594	-8.399523582	41.5744967	274.556	0.9473

2403	29/06/21	-22278.926	211605.884	-8.400236227	41.57350724	269.293	0.1255
2270	30/06/21	-22276.143	211979.834	-8.40021673	41.57687423	267.979	1.7510
2134	30/06/21	-22189.906	212278.616	-8.399193733	41.57956675	225.405	0.4254
2130	30/06/21	-22096.773	212072.45	-8.398069374	41.57771309	307.841	0.7987
1996	30/06/21	-21981.398	212366.517	-8.396696699	41.58036394	229.572	1.1298
1866	30/06/21	-22073.368	212809.329	-8.397815821	41.58434832	163.525	-28.3623
1725	30/06/21	-21798.045	212763.869	-8.394512484	41.58394657	129.997	-28.1809
1862	30/06/21	-21902.875	212623.119	-8.395764467	41.58267644	167.523	-28.3998
1858	30/06/21	-21816.115	212459.969	-8.394718135	41.58120987	154.193	-28.8684
2000	06/07/21	-22125.926	212539.584	-8.398436157	41.58191818	189.331	-28.8691
2138	06/07/21	-22260.112	212443.281	-8.400041689	41.58104738	190.565	-28.7803
2142	06/07/21	-22415.896	212622.591	-8.401916457	41.58265747	167.728	-28.3351
2004	06/07/21	-22243.917	212778.736	-8.399859918	41.58406814	155.913	-28.3161
2146	06/07/21	-22464.395	212749.233	-8.402502783	41.58379635	142.897	-28.6603
1593	06/07/21	-21654.637	213011.445	-8.392801671	41.58617955	118.757	-29.0465
1721	06/07/21	-21688.368	212530.345	-8.393188804	41.58184699	138.301	-29.3181
1717	06/07/21	-21613.088	212440.088	-8.392282828	41.58103638	148.02	-29.7046
1854	06/07/21	-21732.047	212264.943	-8.393702978	41.57945622	161.582	-29.0199
1850	06/07/21	-21665.78	212124.144	-8.39290328	41.57819031	177.583	-29.5320
1846	06/07/21	-21537.115	211931.59	-8.391353563	41.5764601	177.662	-30.3263
1713	06/07/21	-21466.874	212205.203	-8.390521114	41.5789255	174.013	-29.8527
1980(GPS0002)	06/07/21	-21568.643	211629.201	-8.391720742	41.57373665	222.434	-30.1206
1976	06/07/21	-21549.076	211458.119	-8.391479994	41.57219682	267.539	-30.2450
2549	07/07/21	-22713.452	211878.619	-8.405456523	41.57595063	229.08	2.1152
2413	07/07/21	-22523.42	212044.609	-8.403184173	41.57745051	225.355	1.7137
2541	07/07/21	-22469.861	211562.664	-8.402523927	41.57311277	270.866	1.0926
2537	07/07/21	-22431.498	211444.488	-8.402059543	41.57204983	257.576	0.9168
2650	07/07/21	-22570.513	211320.816	-8.403721653	41.57093242	241.627	1.5649
2266	07/07/21	-22199.35	211777.245	-8.399288442	41.57505233	280.72	0.8211

2262	07/07/21	-22073.403	211608.94	-8.397772111	41.57354046	287.766	0.6791
2118	07/07/21	-21808.045	211552.731	-8.394588416	41.57304165	272.254	0.4824
2401	07/07/21	-22190.222	211521.877	-8.399169559	41.57275334	271.278	0.7405
2397	07/07/21	-22121.58	211388.449	-8.398341635	41.5715539	276.494	0.5690
2533	07/07/21	-22314.797	211271.703	-8.400653906	41.5704974	250.702	1.2243
2646	07/07/21	-22516.588	211218.795	-8.403071292	41.57001538	227.723	1.2717
1972	07/07/21	-21396.281	211310.145	-8.389642741	41.57086861	276.447	1.7704
2114	07/07/21	-21701.511	211427.289	-8.393306545	41.57191511	290.001	2.4735
2258	07/07/21	-21959.153	211500.092	-8.396398269	41.57256357	295.638	2.7008
2110	07/07/21	-21553.008	211196.198	-8.39151774	41.56983847	255.083	2.6704
2246	07/07/21	-21639.667	210960.202	-8.392548225	41.5677113	239.229	2.3222
2106	07/07/21	-21497.136	211039.949	-8.390842279	41.56843316	237.654	2.2753
1830	07/07/21	-21160.803	211256.361	-8.386817569	41.57039063	257.012	2.2538
1968	07/07/21	-21296.608	211100.859	-8.388440286	41.56898694	242.616	1.8305
1826A	07/07/21	-21076.604	211074.652	-8.385801692	41.5687568	231.746	1.7731
1693	07/07/21	-20953.219	211355.253	-8.384332196	41.57128648	259.305	2.0358
1697	07/07/21	-21060.275	211510.718	-8.38562121	41.57268342	296.866	2.1397
1834	07/07/21	-21301.904	211383.161	-8.388513792	41.57152854	274.893	2.1550
1561	07/07/21	-20935.211	211674.473	-8.384127413	41.5741611	304.102	1.3400
1565	07/07/21	-20985.753	211807.825	-8.38473808	41.57536043	296.728	1.9106
1569	07/07/21	-21020.623	211926.337	-8.385160334	41.57642655	283.022	1.8675
1701	07/07/21	-21198.05	211696.667	-8.387279681	41.574354	263.664	1.9936
1838	07/07/21	-21344.405	211560.235	-8.389029658	41.57312172	260.605	1.9981
2385	08/07/21	-21876.786	210813.519	-8.395385696	41.56638417	279.196	4.9758
2517	08/07/21	-21881.308	210572.389	-8.395431128	41.564213	236.553	4.9796
2381	08/07/21	-21736.193	210626.647	-8.393693405	41.56470547	238.39	4.4511
2521	08/07/21	-22007.697	210713.767	-8.396951498	41.56548245	273.883	5.3106
2389	08/07/21	-21929.948	211002.107	-8.396029925	41.56808069	275.432	5.6196
2250	08/07/21	-21858.576	211150.831	-8.395179655	41.56942171	270.111	5.3668

2254	08/07/21	-21939.641	211274.791	-8.396156093	41.57053558	304.846	5.3980
2393	08/07/21	-22070.267	211199.899	-8.397719481	41.56985769	282.046	5.4832
2525	08/07/21	-22077.848	210893.274	-8.397799103	41.56709673	273.804	5.3186
2634	08/07/21	-22175.156	210618.501	-8.398955573	41.56462008	244.833	4.8518
2730	08/07/21	-22421.648	210663.813	-8.401912306	41.56502118	248.531	5.1932
2642	08/07/21	-22353.961	210985.54	-8.401112814	41.5679198	254.613	5.4261
2726	08/07/21	-22320.035	210529.025	-8.400689116	41.56381044	242.844	5.8802
2722	08/07/21	-22252.843	210344.716	-8.399876776	41.56215286	219.443	5.0704
2242	08/07/21	-21601.676	210784.104	-8.392086421	41.5661268	225.884	4.7318
2101	08/07/21	-21408.668	210892.082	-8.389776357	41.56710419	220.135	4.5547
2238	08/07/21	-21437.558	210562.32	-8.390110949	41.56413435	211.229	4.5675
2377	08/07/21	-21566.399	210515.112	-8.391653841	41.56370584	217.179	4.4303
2513	12/07/21	-21826.566	210389.831	-8.394768232	41.5625708	209.777	-10.2976
2630	12/07/21	-22076.614	210401.627	-8.397766245	41.56267015	239.738	-10.1045
2626	12/07/21	-21982.917	210281.183	-8.396638596	41.56158829	206.515	-9.5053
2718	12/07/21	-22144.457	210173.464	-8.398571142	41.56061397	202.073	-10.2853
2786	12/07/21	-22317.632	210073.122	-8.400643377	41.55970571	202.191	-10.0073
2782	12/07/21	-22216.68	209903.706	-8.399426954	41.55818316	192.728	-9.9077
2714	12/07/21	-22052.49	210009.121	-8.397462643	41.55913682	188.409	-10.1709
2622	12/07/21	-21879.323	210107.017	-8.395390387	41.560023	193.216	-10.5654
2509	12/07/21	-21699.945	210196.493	-8.393243316	41.56083349	196.877	-10.7766
2373	12/07/21	-21526.588	210326.616	-8.391169825	41.56200976	206.242	-10.3921
2778	12/07/21	-22131.704	209725.267	-8.398401759	41.55657891	179.59	-19.4365
2710	12/07/21	-21978.321	209816.88	-8.396566521	41.55740799	181.741	-10.4583
2618	12/07/21	-21727.646	209900.597	-8.39356469	41.55816859	183.02	-10.0453
2505	12/07/21	-21596.928	210044.054	-8.392002901	41.55946377	192.74	-9.9735
2369	12/07/21	-21493.056	210107.999	-8.390760028	41.56004231	190.043	-10.4176
2230	12/07/21	-21262.816	210226.828	-8.388004217	41.56111836	189.987	-10.1980
2090	12/07/21	-21086.398	210326.264	-8.385892849	41.56201831	189.962	-10.5491

1952	12/07/21	-20928.941	210452.301	-8.384009656	41.56315724	193.093	-10.3063
2094	12/07/21	-21196.152	210520.971	-8.38721544	41.56376849	196.527	-10.5358
2098	12/07/21	-21261.453	210676.396	-8.388003784	41.56516615	202.256	-10.8222
2818	14/07/21	-22209.285	209470.589	-8.399322307	41.55428372	177.136	-0.5821
2774	14/07/21	-22020.711	209556.455	-8.397065113	41.55506204	178.559	-0.3381
2814	14/07/21	-22104.69	209320.882	-8.398063076	41.55293871	180.852	-0.0026
2770	14/07/21	-21899.875	209357.409	-8.395609445	41.55327322	189.365	-0.5082
2702	14/07/21	-21736.423	209486.836	-8.39365494	41.55444299	190.926	-0.7099
2698	14/07/21	-21707.827	209253.234	-8.393303739	41.55234049	205.984	-0.9123
2810	14/07/21	-21994.746	209091.986	-8.396736888	41.55088083	188.322	-0.3567
2766	14/07/21	-21806.736	209185.883	-8.394486832	41.55173139	198.711	-1.0243
2706	14/07/21	-21817.448	209636.127	-8.394631566	41.55578495	185.014	-0.9460
2606	14/07/21	-21499.847	209436.695	-8.390817424	41.55399793	250.756	-0.9996
2610	14/07/21	-21541.481	209581.637	-8.391321661	41.55530182	238.446	-0.8644
2493	14/07/21	-21305.697	209519.627	-8.388493196	41.55474981	245.816	-1.1316
2497	14/07/21	-21416.458	209674.121	-8.389826345	41.55613787	245.375	-1.3401
2357	14/07/21	-21200.676	209584.854	-8.387236654	41.55533988	241.591	-0.8371
2501	14/07/21	-21533.771	209858.851	-8.391239174	41.55779797	213.472	-0.5467
2361	14/07/21	-21236.799	209780.548	-8.387676562	41.55710089	220.061	-0.4496
2222	14/07/21	-21059.602	209881.253	-8.385556027	41.55801229	222.812	-0.5869
2218	14/07/21	-21002.878	209766.572	-8.384872059	41.55698123	229.703	-0.8196
2082	14/07/21	-20906.062	210008.38	-8.383719937	41.55916092	219.092	-0.9013
2078	14/07/21	-20824.788	209850.411	-8.3827402	41.55774074	240.576	-1.2087
1944	14/07/21	-20763.241	210069.78	-8.382010006	41.55971747	243.5	-1.1878
1806	14/07/21	-20509.496	210164.929	-8.378971483	41.5605807	286.703	-1.6900
1940	14/07/21	-20685.786	209927.156	-8.381076605	41.55843533	266.639	-1.0495
1956	19/07/21	-21033.816	210664.029	-8.385274324	41.56506082	201.498	-10.8907
1818	19/07/21	-20856.584	210736.872	-8.383152108	41.56572131	202.063	-11.2540
1948	19/07/21	-20789.57	210273.063	-8.382332657	41.56154708	209.349	-10.5963

2226	19/07/21	-21152.2	210100.503	-8.386673733	41.5599839	191.632	-10.9447
2365	19/07/21	-21371.562	209873.661	-8.389295279	41.55793566	212.109	-10.6067
2086	19/07/21	-21007.847	210214.746	-8.384947288	41.56101631	190.711	-10.6927
1802	20/07/21	-20414.758	210068.463	-8.377832519	41.55971458	330.8	-11.1997
1665	20/07/21	-20289.202	210129.121	-8.376329463	41.56026391	313.526	-11.3555
1669	20/07/21	-20396.17	210283.378	-8.377616989	41.56165007	279.259	-11.2792
1529	20/07/21	-20180.441	210237.511	-8.375029318	41.56124257	289.95	-11.2906
1533	20/07/21	-20236.156	210458.607	-8.375704663	41.56323184	258.863	-11.2641
1394	20/07/21	-19930.279	210326.063	-8.372033365	41.56204614	254.291	-11.4285
1398	20/07/21	-20058.355	210482.318	-8.373573948	41.56344981	247.243	-11.4399
1537	20/07/21	-20289.874	210560.668	-8.376352089	41.56414941	240.874	-11.2318
1402	20/07/21	-20128.958	210677.117	-8.374426877	41.56520194	218.672	-11.5102
1541	20/07/21	-20383.971	210729.908	-8.377485896	41.56567079	217.137	-11.2285
1810	20/07/21	-20678.988	210325.846	-8.381008833	41.56202518	236.074	-11.0109
1673	20/07/21	-20447.946	210399.85	-8.378241636	41.56269743	249.157	-11.0254
1814	20/07/21	-20723.897	210499.962	-8.381553204	41.5635917	207.55	-10.7705
1677	20/07/21	-20545.95	210567.666	-8.379422251	41.56420588	208.384	-10.9762
1406	20/07/21	-20209.838	210800.582	-8.375400661	41.56631154	208.87	-11.3328
1268	20/07/21	-19964.303	210766.406	-8.372455873	41.56600999	208.571	-11.9947
1681	20/07/21	-20681.5	210854.747	-8.381057151	41.56678717	210.937	-10.9655
1545	20/07/21	-20505.956	210927.965	-8.378955086	41.56745092	211.524	-11.5390
1685	20/07/21	-20600.982	211103.091	-8.380100352	41.56902525	222.146	-11.4253
1549	20/07/21	-20773.916	210995.677	-8.382169982	41.56805366	216.897	-11.2135
1822	20/07/21	-20954.283	210896.804	-8.384328961	41.56715873	214.283	-11.1824
2234	20/07/21	-21378.163	210381.137	-8.389392458	41.56250463	214.761	-10.6438
1960	20/07/21	-21115.433	210786.173	-8.38625708	41.56615841	208.321	-10.8229
1964	20/07/21	-21193.431	210898.272	-8.387196129	41.56716565	212.743	-10.9821
1689	20/07/21	-20895.905	211163.427	-8.383638349	41.56956084	234.877	-11.0082
1553	20/07/21	-20706.947	211273.929	-8.38137668	41.57056068	241.832	-11.0405

1557	20/07/21	-20740.993	211407.934	-8.381789501	41.57176633	256.196	-11.0695
1418	20/07/21	-20492.188	211390.058	-8.378805786	41.5716118	250.151	-11.2019
1284	20/07/21	-20366.736	211475.138	-8.377304539	41.57238103	253.787	-11.9197
1280	20/07/21	-20274.271	211307.386	-8.376190235	41.570873	233.21	-11.7300
1414	20/07/21	-20440.692	211209.314	-8.378182214	41.56998576	224.815	-11.4771
998	21/07/21	-19524.653	210782.932	-8.367185588	41.56616964	231.256	-6.1217
863	21/07/21	-19245.416	210706.002	-8.363835432	41.56548375	273.357	-6.3911
994	21/07/21	-19355.953	210596.483	-8.365157086	41.56449501	268.64	-6.0565
1264	21/07/21	-19839.178	210625.993	-8.370951154	41.56474887	216.519	-5.2854
1127	21/07/21	-19678.59	210547.897	-8.369023396	41.56404969	226.155	-5.7597
1260	21/07/21	-19781.254	210381.139	-8.370248675	41.56254572	262.062	-5.4961
1131	21/07/21	-19667.184	210768.917	-8.368893892	41.56603996	221.042	-6.3100
867	21/07/21	-19385.303	210848.964	-8.365517092	41.56676756	249.994	-6.2922
1002	21/07/21	-19541.479	211003.931	-8.367394498	41.56815903	220.183	-6.4022
871	21/07/21	-19458.401	211103.713	-8.366401702	41.56905946	221.644	-5.9770
741	21/07/21	-19337.516	211182.833	-8.364954929	41.56977476	217.442	-6.1696
875	21/07/21	-19549.623	211266.557	-8.367500684	41.57052343	216.947	-6.4439
1007	21/07/21	-19723.921	211158.676	-8.36958689	41.56954782	215.64	-6.2912
1135	21/07/21	-19797.929	210900.588	-8.370465691	41.56722226	212.53	-5.8991
1139	21/07/21	-19860.122	211014.855	-8.371215094	41.56824954	220.992	-5.6665
1272	21/07/21	-20074.061	210938.446	-8.373777474	41.56755624	204.186	-4.8032
1276	21/07/21	-20149.151	211120.535	-8.374683832	41.56919382	215.401	-4.9505
1410	21/07/21	-20299.579	211030.113	-8.376484297	41.56837589	213.49	-4.7258
1147	21/07/21	-20071.082	211409.62	-8.373757502	41.5717986	238.585	-5.0718
1015	21/07/21	-19884.478	211459.475	-8.371521818	41.57225214	242.95	-4.9711
1011	21/07/21	-19811.016	211348.477	-8.37063736	41.57125458	228.212	-6.0816
883	21/07/21	-19757.458	211622.009	-8.370004217	41.57371869	236.245	-5.6787
753	21/07/21	-19588.195	211725.616	-8.367978115	41.5746557	235.568	-5.9943
757	21/07/21	-19646.644	211901.531	-8.36868469	41.57623814	237.348	-5.8816

749	21/07/21	-19488.633	211572.155	-8.366779359	41.57327642	235.89	-6.3155
745	21/07/21	-19395.788	211396.901	-8.365660486	41.57170075	223.909	-6.1368
879	21/07/21	-19655.354	211485.418	-8.368775509	41.57249139	222.857	-6.0281
479	26/07/21	-18846.198	211270.286	-8.359067074	41.57057389	249.973	-2.1640
607	26/07/21	-19001.327	211136.914	-8.360922779	41.56936938	257.915	-2.1316
737	26/07/21	-19182.695	211096.156	-8.363095953	41.56899808	261.755	-2.2427
603	26/07/21	-18894.405	210941.264	-8.359634705	41.56761034	311.523	-2.9354
611	26/07/21	-19208.242	211338.254	-8.363409984	41.57117723	220.184	-1.7252
615	26/07/21	-19237.953	211475.199	-8.363770594	41.57240953	223.489	-2.3004
487	26/07/21	-19060.765	211539.847	-8.361648185	41.57299584	229.082	-2.5479
483	26/07/21	-18915.267	211406.665	-8.359899473	41.57180017	231.475	-1.8584
351	26/07/21	-18639.108	211285.381	-8.35658463	41.57071465	270.819	-2.1464
347	26/07/21	-18564.107	211143.863	-8.355681028	41.56944221	314.625	-1.7135
221	26/07/21	-18493.222	211191.384	-8.354832628	41.56987172	299.96	-2.3584
225	26/07/21	-18485.804	211391.719	-8.354749856	41.57167564	256.903	-2.5251
355	26/07/21	-18735.599	211499.168	-8.357748183	41.57263726	236.886	-2.1860
233	26/07/21	-18637.375	211726.126	-8.356577529	41.57468301	249.224	-2.5266
229	26/07/21	-18527.888	211606.568	-8.355261059	41.57360909	244.841	-2.5475
103	26/07/21	-18453.572	211773.959	-8.354375147	41.57511794	253.928	-2.3050
9	26/07/21	-18257.151	211801.871	-8.352020834	41.57537376	258.75	-2.4378
95	26/07/21	-18176.704	211393.106	-8.351043869	41.57169521	320.769	-2.6656
99	26/07/21	-18295.671	211547.379	-8.352474952	41.57308152	277.759	-2.3501
1	26/07/21	-18131.658	211541.018	-8.350508244	41.57302798	286.607	-2.4622
5	26/07/21	-18220.83	211609.087	-8.351579481	41.57363883	259.282	-2.0980
13	26/07/21	-18349.931	211975.863	-8.353138622	41.57693821	271.791	-2.8820
107	26/07/21	-18633.65	211897.988	-8.356538198	41.57623048	271.81	-2.0940
363	27/07/21	-18890.01	211860.553	-8.359610924	41.57588742	266.14	3.9402
359	27/07/21	-18888.774	211699.769	-8.359591047	41.5744398	249.492	3.9474
111	27/07/21	-18600.522	212029.44	-8.356145046	41.57741481	290.085	4.0160

17	27/07/21	-18454.379	212142.208	-8.35439614	41.57843352	306.997	3.7189
241	27/07/21	-18910.356	212108.928	-8.359862705	41.57812322	298.198	3.9977
115	27/07/21	-18730.309	212160.467	-8.357705382	41.5785915	314.015	4.0609
245	27/07/21	-18947.837	212264.591	-8.360317049	41.57952387	344.729	3.7916
119	27/07/21	-18776.03	212314.878	-8.358258452	41.57998069	360.765	3.6899
21	27/07/21	-18565.804	212391.772	-8.355739953	41.58067793	380.16	3.4467
25	27/07/21	-18666.716	212521.348	-8.356954058	41.58184223	377.5	3.7062
29	27/07/21	-18745.463	212674.517	-8.357903144	41.58321947	362.155	4.1116
123	27/07/21	-18906.139	212570.094	-8.359826661	41.5822755	378.827	4.6281
127	27/07/21	-19014.043	212765.539	-8.361126803	41.58403266	340.845	3.9508
249	27/07/21	-19051.197	212494.959	-8.361563768	41.58159557	347.444	3.6227
491	27/07/21	-19076.436	211747.041	-8.361842661	41.57486097	241.067	5.0090
619	27/07/21	-19295.317	211650.847	-8.364464024	41.57398962	241.304	4.0858
623	27/07/21	-19428.452	211806.683	-8.366065375	41.57538949	264.174	4.0169
495	27/07/21	-19258.804	211883.902	-8.364033701	41.57608885	269.663	4.2810
499	27/07/21	-19313.276	212110.981	-8.364694153	41.57813208	302.445	3.6718
371	27/07/21	-19169.552	212208.734	-8.362973891	41.57901567	317.868	3.9686
367	27/07/21	-19058.614	212009.922	-8.361637313	41.57722829	282.585	4.0567
627	27/07/21	-19498.323	211965.002	-8.366908297	41.57681324	269.87	3.6429
631	27/07/21	-19573.723	212157.645	-8.367818674	41.57854589	258.304	3.9876
635	27/07/21	-19618.894	212269.391	-8.368363971	41.57955091	263.549	4.4676
503	27/07/21	-19453.239	212264.728	-8.36637742	41.57951297	273.835	4.8034
375	27/07/21	-19284.712	212397.243	-8.364360839	41.58071017	294.538	4.0901
379	27/07/21	-19405.474	212458.607	-8.365810928	41.58125975	303.274	4.4373
507	27/07/21	-19540.635	212408.068	-8.367430066	41.58080142	283.382	4.5214
639	27/07/21	-19794.224	212515.909	-8.370474512	41.58176615	267.19	5.2314
769	27/07/21	-20041.803	212339.772	-8.373437497	41.5801741	282.131	5.5507
899	27/07/21	-20190.251	212226.229	-8.375213763	41.57914807	309.275	5.1237
765	27/07/21	-19857.398	212273.801	-8.371224061	41.57958472	260.79	5.1779

891	27/07/21	-19864.973	212010.376	-8.371306179	41.57721275	260.099	5.0416
887	27/07/21	-19847.56	211814.704	-8.371090917	41.57545142	256.924	5.6199
761	27/07/21	-19736.32	212073.04	-8.369765593	41.57778014	242.182	4.6580
403	28/07/21	-19971.319	213629.829	-8.372635228	41.59179107	131.261	-25.3512
407	28/07/21	-20036.011	213758.742	-8.373415412	41.59295014	136.623	-25.2519
281	28/07/21	-19944.66	213897.748	-8.372324401	41.59420398	123.987	-25.0737
277	28/07/21	-19804.715	213770.65	-8.37064172	41.59306312	102.893	-25.1392
151	28/07/21	-19639.665	213793.346	-8.368662906	41.59327154	113.437	-25.3133
155	28/07/21	-19645	213972.959	-8.368732774	41.59488857	99.625	-25.0416
535	28/07/21	-20250.579	213582.407	-8.375982916	41.59135708	191.964	-25.8631
536	28/07/21	-20149.044	213466.16	-8.374761267	41.590313	193.738	-25.8584
527	28/07/21	-20098.139	213284.325	-8.374144665	41.5886771	185.699	-25.7293
523	28/07/21	-19968.691	213156.954	-8.372587974	41.58753355	187.421	-26.2030
651	28/07/21	-20065.37	212998.995	-8.373742131	41.58610892	234.315	-26.2830
777	28/07/21	-20120.377	212773.631	-8.374394242	41.58407844	260.189	-25.7415
399	28/07/21	-19856.989	213444.409	-8.371257882	41.59012447	120.779	-25.5627
273	28/07/21	-19655.174	213433.842	-8.368837141	41.59003431	145.264	-26.0381
147	28/07/21	-19506.146	213541.404	-8.367053326	41.59100641	166.908	-25.6975
143	28/07/21	-19460.331	213419.957	-8.366499914	41.58991407	183.979	-25.8076
135	28/07/21	-19337.836	213352.144	-8.365028634	41.58930647	223.901	-26.5254
265	28/07/21	-19433.649	213135.778	-8.366170712	41.58735607	241.35	-26.6437
139	28/07/21	-19243.253	213238.624	-8.363890661	41.58828666	247.572	-26.6505
387	28/07/21	-19591.528	212887.959	-8.368056007	41.58512094	253.015	-26.7753
515	28/07/21	-19705.937	212771.364	-8.369424196	41.58406835	278.957	-26.4998
1143	29/07/21	-20035.536	211221.017	-8.373325024	41.57010138	220.315	9.9203
1151	29/07/21	-20198.654	211610.665	-8.375293819	41.57360553	279.415	10.0044
1422	29/07/21	-20638.187	211560.36	-8.380562123	41.57314138	272.863	10.8492
1288	29/07/21	-20452.664	211644.885	-8.378340583	41.57390718	287.647	9.6958
1155	29/07/21	-20242.503	211692.723	-8.375822337	41.57434325	295.182	9.8712

1023	29/07/21	-20135.823	211841.449	-8.374548208	41.57568502	301.22	9.2517
1027	29/07/21	-20201.221	212014.594	-8.375338185	41.5772423	304.289	18.6663
895	29/07/21	-20064.511	212153.262	-8.373703563	41.57849426	296.809	9.5613
1031	29/07/21	-20322.984	212190.078	-8.376804154	41.57881921	307.948	9.6561
1163	29/07/21	-20465.688	212091.757	-8.378511972	41.57793033	309.202	10.4416
1296	29/07/21	-20674.335	212015.699	-8.381011212	41.57724016	292.074	11.0224
1430	29/07/21	-20855.298	211933.811	-8.383178249	41.57649817	288.098	11.2398
1426	29/07/21	-20710.504	211749.798	-8.381435735	41.57484515	302.941	11.0036
2286	30/07/21	-22671.51	212687.544	-8.404984163	41.58323507	130.298	-28.2525
2417	30/07/21	-22649.238	212205.373	-8.404698891	41.57889442	187.885	-28.4676
2278	30/07/21	-22515.845	212314.084	-8.403103448	41.57987698	212.272	-28.5925
2425	30/07/21	-22808.954	212554.394	-8.406627309	41.58203233	116.401	-28.4252
2421	30/07/21	-22751.112	212434.787	-8.405929158	41.58095709	147.113	-28.1774
1992	30/07/21	-21967.322	212293.224	-8.396525228	41.57970442	243.92	-38.5993
1458	30/07/21	-21538.001	213145.21	-8.391407727	41.58738707	106.288	-29.0794
1324	30/07/21	-21359.01	213271.306	-8.389265645	41.58852719	116.916	-29.2691
1059	30/07/21	-21058.58	213396.589	-8.385667037	41.58966316	160.196	-29.6693
1191	30/07/21	-21239.667	213293.059	-8.387835156	41.58872623	131.262	-29.6827
1187	30/07/21	-21137.014	213158.628	-8.386599318	41.58751858	165.855	-29.6183
1320	30/07/21	-21226.354	212981.349	-8.38766447	41.58592006	134.691	-29.4792
1316	30/07/21	-21153.281	212856.548	-8.386783756	41.58479833	148.184	-29.9438
1454	30/07/21	-21396.696	212948.596	-8.389706102	41.58562062	145.761	-29.9629
1179	30/07/21	-20939.449	212759.221	-8.384216058	41.58392767	180.709	-29.9258
1312	30/07/21	-21044.448	212698.959	-8.385473091	41.58338233	158.875	-29.7612
1308	30/07/21	-20906.492	212461.562	-8.383810472	41.58124852	181.015	-29.6412
1304	30/07/21	-20906.341	212366.268	-8.383805343	41.58039053	213.866	-29.6226
1175	30/07/21	-20894.982	212600.194	-8.383677275	41.58249701	183.389	-29.0693
1442	30/07/21	-21174.123	212429.52	-8.387018634	41.58095298	198.793	-28.7531
1438	30/07/21	-21003.702	212262.845	-8.384969212	41.57945679	249.415	-29.3560

1573	30/07/21	-21181.204	212214.412	-8.387095956	41.57901604	250.436	-28.6185
1577	30/07/21	-21318.913	212383.751	-8.388753247	41.58053704	192.8	-27.9713
1709	30/07/21	-21254.221	212100.492	-8.387967475	41.57798841	226.116	-28.5633
1705	30/07/21	-21195.719	211924.778	-8.387259783	41.57640789	238.001	-28.3325
1842	30/07/21	-21365.903	211753.751	-8.389294303	41.5748635	216.872	-30.5491
793	03/08/21	-20572.593	213439.566	-8.379840048	41.59006277	201.06	-11.4855
663	03/08/21	-20438.99	213637.821	-8.378244484	41.59185121	192.625	-15.3385
923	03/08/21	-20771.798	213348.544	-8.382225986	41.58923809	189.515	-13.8731
1051	03/08/21	-20836.572	213069.679	-8.382993136	41.5867256	229.017	-14.7447
1292	05/08/21	-20551.503	211858.973	-8.379533001	41.57583222	316.613	7.5103
1159	05/08/21	-20384.028	211932.3	-8.377527384	41.57649672	331.01	8.0350
1167	05/08/21	-20591.412	212234.677	-8.380024413	41.5792139	290.95	7.8971
1300	05/08/21	-20727.395	212180.524	-8.381653131	41.57872281	266.198	9.8289
1171	05/08/21	-20691.18	212368.514	-8.381225355	41.58041635	235.992	9.9709
1183	05/08/21	-21001.957	212998.325	-8.384974018	41.58607883	191.422	12.8825
1055	05/08/21	-20935.703	213263.976	-8.384188742	41.58847239	191.998	11.3224
659	05/08/21	-20225.876	213353.809	-8.375678939	41.58929949	201.431	12.6896

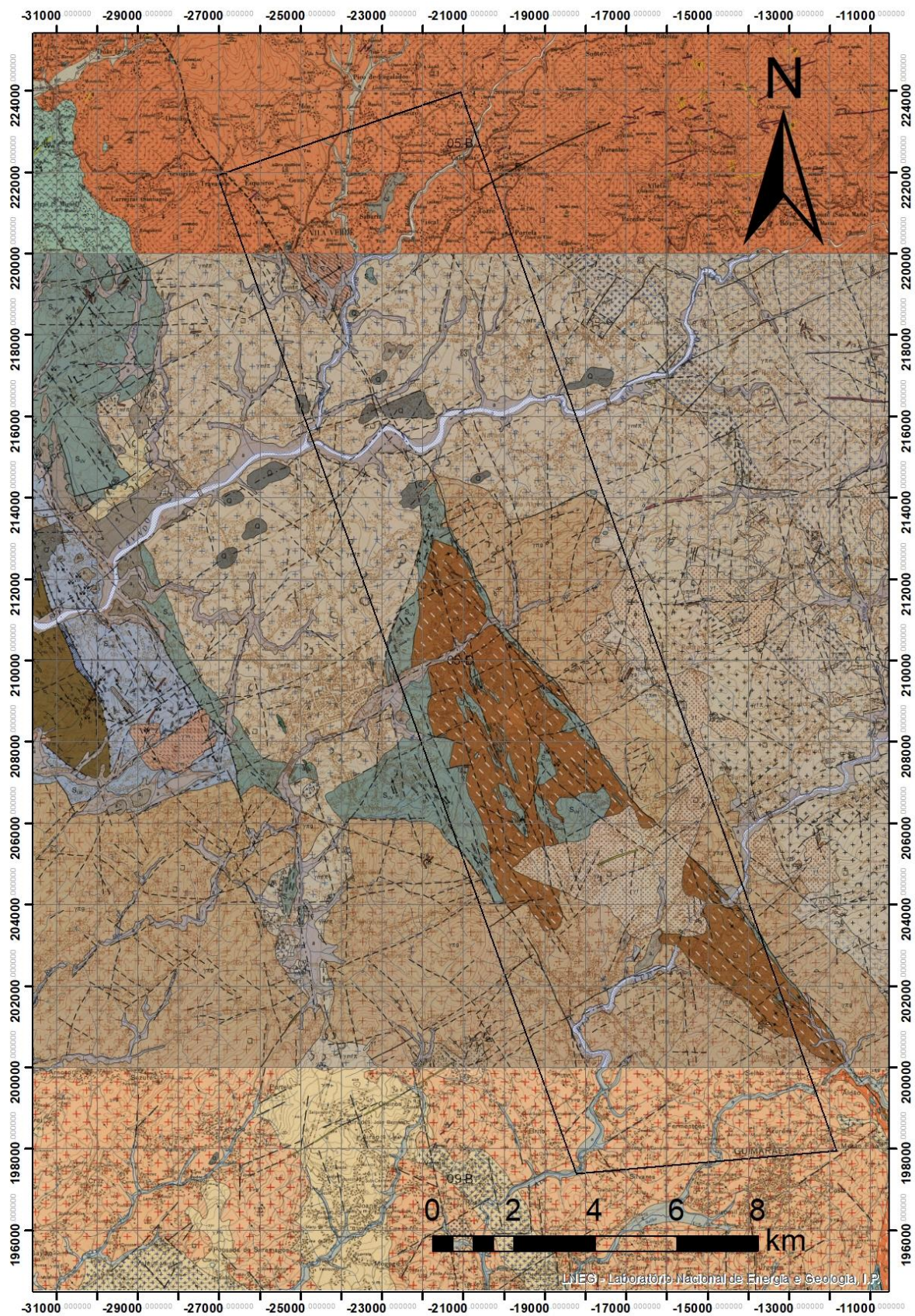
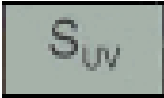
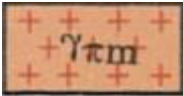
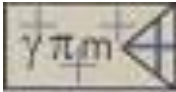
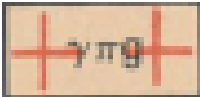
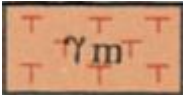
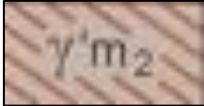


Figura A. 1 – Enquadramento geológico da área de estudo nas folhas 5-B (Ponte da Barca), 5-D (Braga) e 9-B (Guimarães), da Carta Geológica de Portugal.

Tabela A. 2 – Legenda do enquadramento geológico da área de estudo da Figura A. 1.

Legenda			
Folha 5B	Folha 5D	Folha 9B	Litologia
			Micaxistos
			Granito de Briteiros
			Granito de Gonça
			Granito de Braga
			Granito de Agrela
			Granito de Celeirós/Guimarães
			Granito de Sameiro
			Granito de Vila Verde