

Elaboração de Protocolo para a Calibração de Estações Sísmicas e Revisão da Escala de Magnitude Local para a Região dos Açores

Dissertação de Mestrado

João Pedro Maurício Couto

Mestrado em

**VULCANOLOGIA E RISCOS
GEOLÓGICOS**



Elaboração de Protocolo para a Calibração de Estações Sísmicas e Revisão da Escala de Magnitude Local para a Região dos Açores

Dissertação de Mestrado

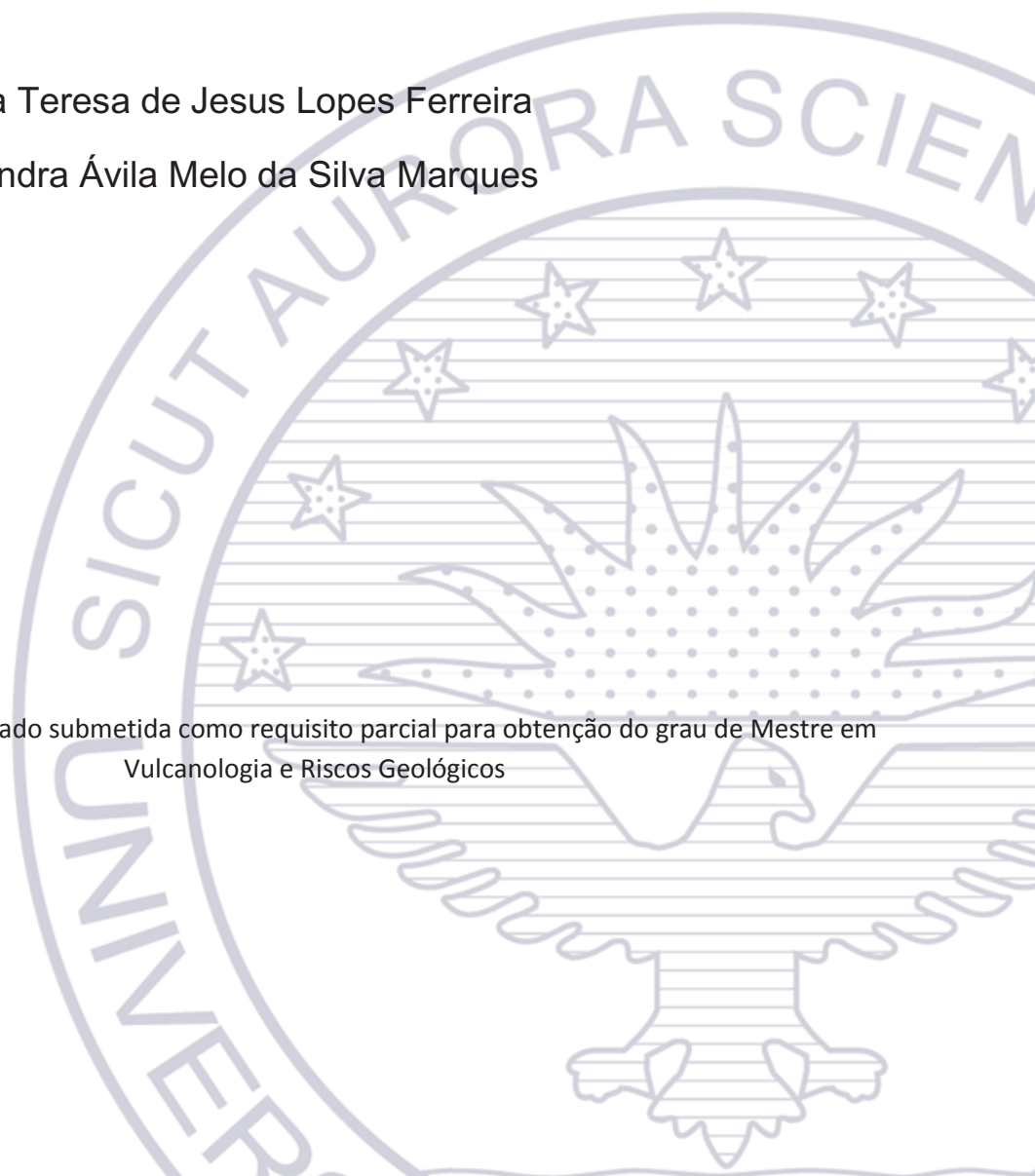
João Pedro Maurício Couto

Orientadores

Professora Doutora Teresa de Jesus Lopes Ferreira

Doutora Rita Alexandra Ávila Melo da Silva Marques

Dissertação de Mestrado submetida como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em
Vulcanologia e Riscos Geológicos



ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS.....	III
LISTA DE TABELAS.....	VI
LISTA DE ACRÓNIMOS.....	VII
AGRADECIMENTOS.....	IX
RESUMO	XI
ABSTRACT	XIII
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Enquadramento e Objetivos do Trabalho	2
2. SISMICIDADE REGIONAL.....	4
2.1. Enquadramento Geodinâmico	4
2.2. Sismicidade Histórica	7
2.3. Sismicidade Instrumental.....	9
2.4. Caracterização da Rede do CIVISA	10
3. INSTRUMENTAÇÃO SÍSMICA	13
3.1. Aquisição de Dados - Sismómetros	13
3.2. Transmissão de Dados Sísmicos	18
3.3. Registo de Sinal Sísmico	21
3.4. Resposta da Instrumentação.....	25
4. CALIBRAÇÃO DE ESTAÇÕES SÍSMICAS	28
4.1. Introdução	28
4.2. Metodologia	33
4.3. Resultados	45
4.4. Discussão	46
5. MAGNITUDE SÍSMICA	54
5.1. Magnitude Local (M_L)	55

5.1.1. Determinação da M_L (no CIVISA).....	59
5.2. Inversão da Escala de M_L	61
5.2.1. Metodologia	62
5.2.2. Seleção dos Dados para a Inversão	64
5.2.3. Inversão dos Dados	66
5.3. Resultados	67
5.4. Discussão	69
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	78
BIBLIOGRAFIA.....	81
ANEXOS.....	A
ANEXO I - Protocolo para a Calibração de Estações Sísmicas	A-1
ANEXO II – Ficha de Calibração.....	A-6
ANEXO III – Procedimento Executado no Programa DISPCAL.....	A-8
ANEXO IV – Novos Ficheiros de Resposta	A-15
ANEXO V – Novas Curvas de Resposta	A-20
ANEXO VI – Comparação do Cálculo da M_L Através dos Ficheiros de Resposta Novos e Anteriores	A-25

LISTA DE FIGURAS

- Figura 2.1.** Enquadramento tectónico do arquipélago dos Açores, encontrando-se representadas as principais estruturas morfotectónicas (adaptado de Hipólito *et al.*, 2010). Legenda: NA – placa Norte-Americana; EU – placa Eurasiática; NU – placa Núbia (Africana); CMA – Crista Média Atlântica; ZFK – Zona de Fratura Kurchatov; ZFNA – Zona de Fratura Norte dos Açores; ZFF – Zona de Fratura do Faial; ZFA – Zona de Fratura Açor; ZFPA – Zona de Fratura Princesa Alice; ZFP – Zona de Fratura do Pico; ZFEA – Zona de Fratura Este dos Açores; RT – *Rift* da Terceira; FG – Falha Gloria; FI – Flores; C – Corvo; G – Graciosa; T – Terceira; SJ – S. Jorge; FA – Faial; P – Pico; SMG – S. Miguel; SMA – Sta. Maria; FO – Ilhéus das Formigas; BPA – Banco Princesa Alice, BA – Banco Açor; BJC – Banco D. João de Castro; BM – Banco do Mónaco; BWG – Bacia Oeste da Graciosa; BEG – Bacia Este da Graciosa; FH – Fossa Hironnelle; BSM – Bacia de S. Miguel; DF – Desfiladeiro das Formigas. A área correspondente à PA está delimitada pela isóbata dos 2000 m. O RT (*s.l.*) compreende toda a faixa da região dos Açores. O RT (*s.s.*) corresponde ao alinhamento composto por BWG, G, BEG, T, BJC, FH, SMG, BSM, FO e DF. Batimetria do arquipélago adaptada de Lourenço *et al.* (1997) e dados da topografia e batimetria mundial de GEBCO_08 (2010). (*In Carmo, 2013*).5
- Figura 2.2.** Localização epicentral dos eventos sísmicos com maior destruição registados na história do arquipélago (Gaspar *et al.*, 2015).8
- Figura 2.3.** Localizações epicentrais entre os anos de 1997 e 2017 (CIVISA). Mapa apresentado com coordenadas geográficas, datum WGS84.10
- Figura 2.4.** Distribuição das estações sísmicas do CIVISA tendo em consideração o modelo de sismómetro presente. Mapa apresentado com coordenadas geográficas, datum WGS84.11
- Figura 3.1.** Princípio de funcionamento de um sismómetro. Uma massa magnética está suspensa numa mola e o seu movimento (velocidade) é detetado por uma bobina que gera uma tensão elétrica proporcional à velocidade da massa (adaptado de Havskov e Ottemöller, 2010).14
- Figura 3.2.** Exemplo da diferença operacional entre um sismómetro de banda larga e de curto período, onde é possível observar-se frequências de operação distintas entre eles (adaptado de Ortiz *et al.*, 2001).16
- Figura 3.3.** Sismómetros constituintes das estações do CIVISA: (a) LE-3Dlite com três componentes; (b) Mark L4 de uma componente vertical.17
- Figura 3.4.** Fosso da cave sísmica do Monte Escuro com uma profundidade de 6 m.18
- Figura 3.5.** VCO da marca Lennartz utilizado nas sísmicas do CIVISA.20
- Figura 3.6.** Esquema do funcionamento da comunicação entre estações sísmicas e o CAD.21
- Figura 3.7.** Sistema analógico de registo (em papel) no CAD.22
- Figura 3.8.** Esquema de registo do sinal digital (adaptado de Havskov e Alguacil, 2016).23
- Figura 3.9.** Exemplo de um sinal sísmico digital. É possível observar na forma de onda ampliada os pontos de amostragem e as ligações lineares entre eles (adaptado de Havskov e Alguacil, 2016).24

Figura 3.10. Parte dos discos rígidos que armazenam a informação sísmica no CAD. Cada unidade tem uma capacidade de 600 GB.	24
Figura 3.11. Exemplo do conteúdo de um ficheiro de resposta.	27
Figura 4.1. Desenho da mesa de calibração CT-EW1 (adaptado de Lennartz, 2006).....	31
Figura 4.2. Controlo remoto da mesa de calibração CT-EW1.	32
Figura 4.3. Sistema de nivelção de parafusos existente nos pés da mesa.	33
Figura 4.4. Posicionamento do sismómetro LE-3Dlite no topo da mesa de calibração.	35
Figura 4.5. Mapa com as estações calibradas durante a realização deste trabalho na ilha de São Miguel: PVER (Pico Vermelho); PMAT (Coroa da Mata); MESC (Monte Escuro); PCNG (Congro); PRCH (Ribeira Chã); VIF (Vila Franca); FRA1 (Furnas). Mapa apresentado com coordenadas geográficas, datum WGS84.	36
Figura 4.6. Mapa com as estações calibradas durante a realização deste trabalho na ilha Terceira: ASBA (Santa Bárbara); PPAD (Pico dos Padres); PBIS (Biscoitos); PVNV (Vila Nova); PRIB (Ribeirinha); PFAV (Pico das Favas). Mapa apresentado com coordenadas geográficas, datum WGS84.	37
Figura 4.7. Registo do teste na estação do Monte Escuro (MESC) em São Miguel, visualizado no <i>software</i> SEISAN.	37
Figura 4.8. Estrutura do ficheiro <i>dispcal.par</i> , com os parâmetros utilizados na calibração da estação de MESC.	40
Figura 4.9. Representação gráfica dos ficheiros: <i>Dispcal.dat</i> ; <i>Dispcal.vel</i> ; <i>Dispcal.str</i> ; <i>Dispcal.dis</i> ; <i>Dispcal.res</i> e <i>Dispcal.stp</i> através do programa WINPLOT para a estação de Vila Nova (PVNV).	41
Figura 4.10. Ficheiro de resposta para a estação ASBA no formato GSE com 5 pólos e 4 zeros.	44
Figura 4.11. Calibração da estação PBIS, onde é possível observar a anomalia no registo.	46
Figura 4.12. Curvas de resposta relativas à amplitude e fase, para as componentes verticais das estações MESC e ASBA com os novos ficheiros de resposta.	48
Figura 4.13. Curvas de resposta relativas à amplitude e fase, para a componente vertical da estação de ASBA com o ficheiro de resposta anterior.	49
Figura 4.14. Espectros de ruído de um intervalo de 60 segundos da componente vertical da estação de ASBA. O espectro da direita foi efetuado com recurso ao ficheiro anterior e o da esquerda com o atual. As linhas sólidas representam os modelos de ruído elevado (NHNM) e baixo (NLNM) de Peterson (1993).	49
Figura 4.15. Gráfico com comparação do cálculo da M_l para cada evento da estação VIF com recurso aos ficheiros de resposta anteriores e novos.	51

Figura 4.16. Gráfico com comparação do cálculo da M_L para cada evento da estação ASBA com recurso aos ficheiros de resposta anteriores e novos.	52
Figura 5.1. Observação do decaimento do logaritmo da amplitude em função da distância para eventos distintos (adaptado de Shearer, 2009).	54
Figura 5.2. Exemplo de marcação da amplitude máxima na componente vertical de um sismograma sem filtro e num sismograma com um filtro de Wood Anderson. EP marca a entrada da onda P e IAML é a sigla internacional definida pelo IASPEI onde IA significa <i>Internacional Amplitude-Measurement</i>	60
Figura 5.3. Número de amplitudes por estação a utilizar na inversão; Santa Maria (SMA), São Miguel (SMG), Terceira (TER), Graciosa (GRA), São Jorge (SJ), Pico (PI) e Faial (FA).	65
Figura 5.4. Mapa da sismicidade ocorrida entre 2010 e 2017, selecionada para a inversão dos parâmetros da equação de M_L	66
Figura 5.5. Percentagem de eventos com magnitudes corrigidas com a aplicação da nova equação da M_L e correções individuais por estação.	69
Figura 5.6. Comparação entre as escalas de M_L “proposta” neste trabalho, a “atual” e das regiões do sul da Califórnia (Hutton e Boore, 1987) e África do Sul (Saunders <i>et al.</i> , 2012).	71
Figura 5.7. Mapa com as localizações das estações nas ilhas de São Miguel e Santa Maria, com as respetivas correções individuais para cada estação. Mapa apresentado com coordenadas geográficas, datum WGS84.	74
Figura 5.8. Mapa com as localizações das estações nas ilhas Terceira, Graciosa, São Jorge, Pico e Faial e com as respetivas correções individuais para cada estação. Mapa apresentado com coordenadas geográficas, datum WGS84.	75
Figura 5.9. Comparação entre a M_L “atual” e a M_L “proposta”.	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1. Informações referentes à composição das estações sísmicas e aos testes efetuados para a sua calibração. *Encontravam-se com um ganho de 2^4	38
Tabela 4.2. Diferentes possibilidades de conexão entre equipamentos diferenciais e <i>single ended</i> (adaptado de Havskov e Alguacil, 2016).	42
Tabela 4.3. Valores de GC obtidos durante o processo de calibração aplicado para cada estação sísmica e erros associados.	45
Tabela 4.4. Diferença da média da M_L dos eventos sísmicos registados nas estações das ilhas de São Miguel e Terceira, tendo por base os ficheiros de resposta anteriores (FA) e os ficheiros de resposta novos (FN).	50
Tabela 5.1. Valores tabulados da função de calibração $-\log A_0$ de acordo com Richter (1958), originalmente definidos para a Califórnia.	56
Tabela 5.2. Comparação entre os parâmetros da equação atualmente em uso e os obtidos para a equação proposta neste trabalho.	67
Tabela 5.3. Valores de correção a serem aplicados durante o cálculo de M_L para cada estação.....	68
Tabela 5.4. Compilação de um conjunto de sismos para comparação do valor de M_L obtido através das duas equações e do M_b calculado pelo ISC (<i>International Seismological Center</i>) e GFZ (<i>Seismological Data Archive</i>).....	72

LISTA DE ACRÓNIMOS

AF – Africana
CAD – Centro de Aquisição de Dados
CIVISA – Centro de Informação e Vigilância Sismovulcânica dos Açores
CMA – Crista Média Atlântica
CP – Curto Período
EU – Eurasiática
FG – Falha Gloria
GC – *Generator Constant*
GFZ – *Seismological Data Archive*
IASPEI – *International Association of Seismology and Physics of the Earth's Interior*
ISC – *International Seismological Center*
 M_b – Magnitude de Ondas Volúmicas
 M_D – Magnitude de Duração
 M_L – Magnitude Local
 M_w – Magnitude de Momento
NA – Norte Americana
NHNM – *New High Noise Model*
NLNM – *New Low Noise Model*
RT – *Rift da Terceira*
RMS – *Root mean square*
SIVISA – Sistema de Vigilância Sismológica dos Açores
SRPCBA – Serviço Regional de Proteção Civil e Bombeiros dos Açores
VCO – *Voltage Controlled Oscillator*
WA – *Wood Anderson*
ZFAG – Zona de Fratura Açores-Gibraltar
ZFEA – Zona de Fratura Este dos Açores

Estações sísmicas

PSPR – Santo Espírito (Santa Maria)
PVPO – Vila do Porto (Santa Maria)
FRA1 – Furnas (São Miguel)
PCNG – Congro (São Miguel)
VIF – Vila Franca (São Miguel)
MESC – Monte Escuro (São Miguel)
PMAT – Coroa da Mata (São Miguel)
PRCH – Ribeira Chã (São Miguel)

PVER – Pico Vermelho (São Miguel)
PFAV – Pico das Favas (Terceira)
PVNV – Vila Nova (Terceira)
PRIB – Ribeirinha (Terceira)
PBIS – Biscoitos (Terceira)
PPAD – Pico dos Padres (Terceira)
ASBA – Santa Bárbara (Terceira)
PLUZ – Luz (Graciosa)
STGR – Santa Cruz da Graciosa (Graciosa)
PVIA – Vitória (Graciosa)
PAMA – Santo Amaro (S. Jorge)
PBOI – Pico dos Bois (Pico)
PTEI – Pico do Teixeira (Pico)
PCND – Candelária (Pico)
PMAD – Madalena (Pico)
PLGR – Lomba Grande (Faial)
PCUT – Cutelo (Faial)
PCTB – Castelo Branco (Faial)
PTCA – Capelo (Faial)

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho só foi possível graças ao apoio de inúmeras pessoas que me acompanharam ao longo desta caminhada e sempre acreditaram na sua conclusão. A todas estas pessoas dirijo o meu mais profundo agradecimento:

- ao Magnífico Reitor da Universidade dos Açores, Professor Doutor João Luís Gaspar, pelas facilidades concedidas, que tornaram possível a concretização deste trabalho;
- ao Professor Doutor Nicolau Wallenstein, Coordenador do curso de Mestrado, pela forma como acompanhou os mestrandos ao longo do curso;
- à Professora Doutora Teresa Ferreira, orientadora científica, por todo apoio e tempo que despendeu a acompanhar a realização deste trabalho, com a revisão científica de textos e troca de ideias;
- à Doutora Rita Marques, orientadora científica, por todo o tempo despendido com partilha de bibliografia, revisão científica dos textos e pelos seus conselhos e discussão de ideias;
- a todos os Docentes que partilharam o seu conhecimento empenhadamente ao longo do curso de Mestrado;
- ao Presidente do CIVISA, Doutor Rui Marques, por todas as facilidades concedidas, cruciais na realização deste trabalho;
- ao colega Sérgio Oliveira, pela sua incansável ajuda ao longo deste trabalho no esclarecimento de dúvidas e troca de opiniões;
- ao colega Arturo Montalvo, pela sua partilha de conhecimentos sobre a instrumentação sísmica e acompanhamento na campanha de calibração das estações da ilha Terceira;

- aos colegas Ernesto Sousa e Vítor Sousa por todo o apoio no campo e prontidão a ajudar;
- aos colegas do CAD e COE, Rogério Sousa, Sário Armas, Rodrigo Arruda, Adriano Pimentel, Rita Carmo, Joana Medeiros, Ana Rosa Medeiros, Bruno Coelho, Irina Araújo, Rafael Branco e Ana Cabral, por me terem acompanhado ao longo destes anos com a sua amizade e ajuda;
- aos colegas de Mestrado, Ana Oliveira, João Ferro, Simone Aguiar, Rui Silva, Nuno Ferreira e Sandro Matos pelo companheirismo e convívio ao longo do curso;
- a todos os colegas do CIVISA e IVAR que foram contribuindo de diversas formas;
- aos meus pais e irmão, por todo o apoio e compreensão que tiveram ao longo destes anos de percurso académico e que sempre acreditaram na finalização desta importante etapa;
- à minha esposa, por todo o carinho, amor, compreensão e apoio nos momentos mais complicados. Por ser a pessoa que mais me incentivou e acreditou em mim.

O presente trabalho foi realizado no âmbito do projeto VOLRISKMAC (MAC/3.5b/124), suportado pelo Programa INTERREG MAC 2014-2020.

RESUMO

A atividade sísmica que ocorre nos Açores, derivada do enquadramento geodinâmico do arquipélago, é monitorizada continuamente de forma a garantir uma resposta eficaz às autoridades de proteção civil. Uma das etapas mais importantes para a avaliação da perigosidade sísmica é o conhecimento da magnitude dos eventos sísmicos.

Em 2010 foi possível implementar o cálculo da magnitude local (M_L) considerando, para além dos sensores sísmicos calibrados, a influência do sistema de telemetria utilizado na resposta dos mesmos, através de uma calibração própria.

De forma a garantir a fiabilidade dos cálculos de magnitude local, em 2017 foi efetuada a calibração conjunta de sismómetros e da rede telemétrica, com recurso a uma mesa de calibração absoluta desenvolvida pela Lennartz, modelo CT-EW1, com uma precisão de 1%. Tal permitiu uma reavaliação integrada da resposta dos sensores sísmicos e da influência dos sistemas de telemetria utilizados e, conseqüentemente, a atualização dos ficheiros de resposta usados pelo *software* de análise sísmica SEISAN, com novos parâmetros mais adequados à realidade atual da rede sísmica.

Pela comparação dos resultados entre os ficheiros de resposta obtidos antes e depois da calibração de 2017, para um mesmo evento sísmico, verificaram-se ligeiras diferenças, sendo estas expectáveis considerando o espaço de tempo decorrido entre as duas calibrações.

Após a validação dos ficheiros de resposta, reavaliaram-se os parâmetros utilizados na equação para cálculo da M_L , utilizando uma base de dados mais alargada em relação à utilizada para obtenção do modelo em uso pelo CIVISA desde 2010. Este processo conduziu à definição de uma nova equação, mais adequada relativamente à equação antecessora.

Para além da equação proposta, são apresentadas novas correções por estação, que permitem atenuar discrepâncias que ocorram no cálculo da M_L , fruto de características locais das próprias estações. A amplificação local demonstrou não ser um fator

preponderante em 17 das 26 estações estudadas, tendo, no entanto, algumas estações apresentado correções superiores a 0,4.

De forma a permitir a deteção atempada de problemas e a adaptação da resposta a todas as alterações que possam ocorrer ao nível da instrumentação, é recomendável a aplicação deste método de calibração nos procedimentos de rotina de gestão e manutenção da rede sísmica. É recomendada também a aplicação da nova equação e valores de correção por estação nos procedimentos de análise de rotina do CIVISA.

ABSTRACT

The seismic activity that occurs in the Azores archipelago, result of its geodynamic setting, is continuously monitored in order to guarantee an effective response to the civil protection authorities. One of the most important steps for the seismic hazard assessment is the knowledge of each seismic event magnitude.

Since 2010, it has been made possible to implement the local magnitude (M_L) determination considering, in addition to calibrated seismic sensors, the influence of the existing telemetry system in the response signal of the sensors through a proper calibration.

In order to guarantee the calculations reliability of local magnitude, in 2017 the joint calibration of seismometers and telemetric network was carried out. An absolute calibration table, model CT-EW1 developed by Lennartz, with the precision of 1% was used, allowing an integrated reassessment of the response of the seismic sensors and the influence of the telemetry systems used and, consequently, the updating of the response files used by SEISAN seismic analysis software with new parameters, more adequate to the actual reality of the seismic network.

By comparing the results between the response files obtained before and after the 2017 calibration, for the same seismic event, slight differences were verified, these being expected considering the time elapsed between the two calibrations.

Following the validation of the response files, the parameters used in the determination of the M_L equation were re-evaluated using a broader database than the one used to obtain the current model used by CIVISA since 2010. This process led to the definition of a new equation, more appropriated when compared with the previous equation.

Furthermore, new corrections by station are presented, and allow to reduce the disparities that occurs when calculating the M_L , resulting from local characteristics from the stations. Local amplification is not a key factor on 17 of the 26 studied stations, nevertheless, some stations displayed corrections greater than 0.4.

In order to allow the early detection of problems and the adjustment of the response to all changes that may occur at an instrumentation level, it is strongly recommended to apply this calibration method to routine procedures in the management and maintenance of the seismic network. Moreover, the application of the new equation and correction values for each station is recommended in the daily procedures of CIVISA routine analysis.

1. INTRODUÇÃO

O estudo da Sismologia é responsável por grande parte do conhecimento que hoje existe sobre a estrutura interna da Terra e tectónica de placas. Este conhecimento em muito deve-se ao aumento exponencial do número de estações sísmicas instaladas ao longo das últimas décadas por todo o planeta e ao desenvolvimento tecnológico da instrumentação, o que permitiu o registo de milhões de sismos. Os dados sísmicos são cada vez mais processados e armazenados de forma contínua e em tempo real, permitindo de modo quase instantâneo o cálculo de localizações hipocentrais e de magnitude de eventos sísmicos.

Os avanços da Ciência, mais concretamente da área da Sismologia, têm permitido às organizações de proteção civil a tomada de decisões e de ações operacionais mais eficazes na mitigação do risco e face à ocorrência de catástrofes. Assim, realça-se a elevada importância da existência de uma rede sísmica em regiões como os Açores, onde se registam milhares de eventos sísmicos por ano em resultado do seu enquadramento geodinâmico.

Na gestão de uma rede sísmica, onde os recursos são limitados, é importante a otimização dos recursos existentes para que a recolha de dados seja a mais adequada face às necessidades requeridas. Assim, com alguma frequência, são realizadas adaptações no sistema de comunicações, nos equipamentos de deteção sísmica, no sistema de aquisição, processamento e armazenamento de dados. Algumas destas adaptações devem ser complementadas com reavaliações da resposta dos instrumentos sísmicos que compõem as estações sísmicas para que a análise dos dados sísmicas seja a adequada.

O cálculo da magnitude sísmica é uma tarefa base e essencial no tratamento dos dados de qualquer rede sísmica. O seu cálculo só é possível através da correta perceção da relação entre o registo no sismograma e o movimento do solo, conjuntamente com a existência de uma escala que permita estimar a sua dimensão

através de uma equação que, preferencialmente, reflita as especificidades geológicas regionais.

1.1. Enquadramento e Objetivos do Trabalho

O tema deste trabalho insere-se no âmbito do Mestrado em Vulcanologia e Riscos Geológicos, ministrado pela Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade dos Açores, tendo como ponto de partida as atividades efetuadas pelo Centro de Informação e Vigilância Sismovulcânica dos Açores (CIVISA) na área da monitorização sísmica.

Este trabalho tem como objetivos a elaboração de um protocolo de calibração e controlo de qualidade do registo sísmico, de modo a que as estações sísmicas pertencentes à rede de monitorização do CIVISA sejam regularmente calibradas, e a revisão da escala de magnitude local utilizada na rotina diária do CIVISA.

Numa primeira fase, este trabalho aborda de forma sucinta a geodinâmica do arquipélago, responsável pela sismicidade que caracteriza a região, e que justifica plenamente a elevada importância da realização de uma monitorização sísmica permanente. De seguida, no terceiro capítulo, é abordada a instrumentação sísmica, com ênfase na rede do CIVISA, objeto de estudo deste trabalho. É feita a descrição da instrumentação responsável pela deteção, envio e registo do sinal sísmico, e de como é realizada a sua análise no final do processo.

No quarto capítulo é descrita a calibração efetuada nas estações sísmicas das ilhas de São Miguel e Terceira, realizada entre junho e setembro de 2017, tendo por base o protocolo desenvolvido e anexado neste trabalho. Todo o processo de calibração e desenvolvimento de novos ficheiros de resposta é descrito, sendo apresentados todos os resultados obtidos e feita uma comparação entre os ficheiros anteriores e os produzidos neste trabalho.

No capítulo seguinte, aborda-se a magnitude dos eventos sísmicos, com o desenvolvimento de uma nova escala de magnitude local para a região dos Açores e de

novas correções individuais para cada estação sísmica do CIVISA. É feita a comparação com outras escalas e a avaliação do impacto que a substituição para a nova escala terá na base de dados.

Por fim, no capítulo seis, tecem-se considerações finais sobre o trabalho desenvolvido e a sua aplicabilidade, sendo dadas recomendações que devem ser aplicadas no futuro.