

Banco de dados para gestão de riscos de movimentos em massa no município de Coimbra e análise da influência dos principais condicionantes atmosféricos

Mass movement risk management database in the municipality of Coimbra and analysis of the influence of the main atmospheric conditions

Geórgia Jorge Pellegrina

Centro de Meteorologia de Bauru, Faculdade de Ciências, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
georgia@ipmet.unesp.br
<https://orcid.org/0000-0003-3987-1519>

Lúcio Cunha

Departamento de Geografia e Turismo; CEGOT, Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra
luciogeo@ci.uc.pt
<https://orcid.org/0000-0003-0086-7862>

Resumo

A instabilidade de vertentes está presente sobretudo em regiões montanhosas e serranas com declives elevados, mas o crescimento urbano desordenado em áreas suscetíveis, somado à falta de ordenamento do uso do solo, tem aumentado a ocorrência de desastres relacionados com estes processos também em espaços urbanos. O estudo climático torna-se necessário para acompanhamento e prevenção dos movimentos em massa, já que eles são, na maior parte dos casos e no contexto territorial em causa, deflagrados por eventos de precipitação extrema e/ou de longa duração. Um banco de dados é uma ferramenta importante para a contribuição destes estudos e para a gestão de riscos.

Palavras-chave: banco de dados, movimentos em massa, eventos severos, NAO, gestão de riscos.

Abstract

Slope instability is present in mountainous regions, and disorderly growth in urban susceptible areas, coupled with lack of land use planning, has increased the occurrence of these types of disasters in urban areas. The climatic study is necessary for the monitoring and prevention of mass movements, since they are triggered by events of extreme and / or long duration precipitation. A database is an important tool in the contribution of these studies and in risk management.

Keywords: database, mass movements, severe events, NAO, risk management.

1. Introdução

A instabilidade de vertentes diz respeito a um conjunto complexo de movimentos singulares ou em massa dos terrenos que as compõem em vertentes naturais e taludes artificiais e podem constituir diferentes modalidades “consoante as características dos declives, da vegetação, da coesão dos materiais rochosos, etc., mas também das características dos fenómenos climáticos ou outros em presença (Rebelo, 2001, p. 15). São fenómenos de escalas variadas, desde a queda de pequenos blocos com volumes da ordem do decímetro cúbico até deslizamentos profundos envolvendo milhões de metros cúbicos, passando por movimentos de dimensão média como os deslizamentos superficiais e os “debris-flows” (fluxos de

detritos) de grande dimensões, ambos com crescentes impactos ambientais e, quase sempre, também económicos e sociais.

O uso progressivo e desordenado de espaços naturais em áreas suscetíveis a movimentos em massa, somado à falta de planeamento e ordenamento do uso do solo e à ausência de técnicas adequadas de estabilização de vertentes, tem aumentado a ocorrência dos desastres relacionados com estes processos, particularmente em áreas urbanas.

Tendo em consideração que estes movimentos são, na maioria dos casos e no nosso contexto climático, deflagrados por eventos de precipitação extrema e/ou de longa duração, é necessário estudar a situação climática atual para o acompanhamento e prevenção da ocorrência de movimentos em massa.

Num clima de tipo mediterrânico, como o de Portugal, os anos com chuvas bem distribuídas no Inverno revezam-se com anos em que a pluviosidade aumenta e se concentra em quantidade e intensidade, ocasionando índices pluviométricos excepcionais, capazes de desencadear novos desequilíbrios nas vertentes.

Pelas suas características geológicas e geomorfológicas o concelho de Coimbra possui características geotécnicas favoráveis a episódios de instabilidades de vertentes (Cunha, Dimuccio, & Figueiredo, 2017; Cunha, Soares, Tavares, & Marques, 1997; Rebelo, 1985; Soares, 1985).

Com base nas notícias dos jornais locais (Diário de Coimbra e Jornal das Beiras) foi elaborado um banco de dados de movimentos em massa nas vertentes do município para o período de janeiro de 2000 a março de 2013 e realizadas pesquisas nos boletins meteorológicos do IPMA, acrescidas dos dados de precipitação cedidos pelo IGUC (Instituto Geofísico da Universidade de Coimbra) para o mesmo período.

Os eventos foram organizados temporalmente e espacializados com elaboração de mapas das ocorrências, tendo sido analisados os principais condicionantes atmosféricos associados a cada um deles. Além disso, foram elaborados diagramas de dispersão para os índices NAO (North Atlantic Oscillation: Oscilação do Atlântico Norte) relacionados com a precipitação dos invernos para associar os altos volumes de precipitação com os eventos de movimentos em massa ocorridos em Coimbra.

O dinamismo dos movimentos em massa deve ser observado num período relativamente extenso, para aferir da sua sazonalidade e distribuição interanual; estas observações relacionadas com a variabilidade climática serão um contributo importante para proporcionar uma relação entre as instabilidades das vertentes e a pluviosidade. Desta maneira, pretende-se que os mapas propostos neste trabalho possam representar uma importante ferramenta para a gestão de riscos com o objetivo principal de prevenir perdas de vidas e danos ambientais, económicos e sociais.

2. Movimentos em massa e seus fatores

O requisito básico para as ações mitigadoras dos riscos é o entendimento dos fatores condicionantes e deflagradores dos processos perigosos (Silva,

2006). As causas básicas dos movimentos em massa são bem conhecidas a partir de uma série de estudos de casos específicos. Entre os fatores condicionantes alguns são inerentes às características dos solos ou das rochas, pela sua composição ou estrutura, ao declive e forma das vertentes ou dos taludes artificiais ou ao tipo de utilização do solo e são relativamente constantes ou permanentes no tempo; outras causas são variáveis, como a distribuição da água subterrânea e da água da chuva e constituem os chamados fatores desencadeantes ou deflagradores. Em determinada área, a maioria dessas causas podem ser reconhecidas, mapeadas e correlacionadas umas com as outras e com eventos passados. No entanto, o objetivo deve ser sempre desenvolver o entendimento dos processos envolvidos, seus mecanismos e quando e onde eles ocorrem, o que permite avaliar a suscetibilidade de um ponto, um local ou grandes áreas (Ahrendt, 2005).

A Tabela 1 apresenta os principais fatores físicos (geologia, geomorfologia, clima) e antrópicos (ocupação desordenada e desmatamento) na deflagração da ocorrência dos movimentos de massa. Em Coimbra, destacam-se os agentes físicos meteorológicos como a chuva prolongada durante o inverno, os fatores geológicos e geomorfológicos, bem como as ações antrópicas (ocupação e uso do solo, escavações e aterros em taludes, construção de vias de tráfego), como agentes que influenciam os eventos de instabilização das vertentes, o que torna a área de estudo dinâmica e, por conseguinte, a ocorrência de movimentos de massa não dependente somente dos fatores naturais (Freiria, 2009).

De acordo com alguns autores, a água pode atuar de maneiras diferentes, influenciando a instabilização das vertentes. De entre eles, Souza (2006) refere que a água pode influenciar pela redução das tensões de sucção, causando a eliminação da coesão aparente pelo encontro da frente de saturação com o nível da água pré-existente no solo, mas também pela formação de fluxos subterrâneos entre as diferentes camadas de solo, das formações superficiais ou mesmo das rochas, além da sua acumulação e consequente aumento do peso da massa detritica e do preenchimento das fendas, alterando a pressão hidrostática em superfícies fraturadas. O autor ainda relata que para acontecer o movimento em massa, é necessário que o solo apresente uma condição de saturação hídrica favorável à sua rutura. As chuvas registadas nos dias que antecedem o evento desempe-

nam um papel fundamental, constituindo um agente preparatório para os movimentos em massa, pois, após o solo ter atingido certo grau de saturação, a pluviosidade passa a assumir a função de agente deflagrador, acionando num certo momento a rutura e iniciando o movimento, seja de desabamento, deslizamento ou fluxo.

Quadro I
Principais grupos de fatores que influenciam a ocorrência de movimentos em massa.

Agentes Geológicos	<ul style="list-style-type: none"> - Materiais alterados, enfraquecidos ou intemperizados - Materiais cisalhados, fissurados ou fraturados (descontinuidades) - Contrastes na permeabilidade - Contrastes na espessura (material espesso e denso sobreposto a materiais plásticos)
Agentes Morfológicos	<ul style="list-style-type: none"> - Tectonismo ou vulcanismo - Qualquer tipo de erosão - Deposição no topo ou na base da encosta - Remoção da vegetação
Agentes Físicos	<ul style="list-style-type: none"> - Chuva intensa ou excepcionalmente prolongada - Degelo repentino - Intemperismo por congelamento e degelo - Abalo sísmico - Erupção vulcânica - Intemperismo de material expansivo
Agentes Antrópicos	<ul style="list-style-type: none"> - Escavação da encosta ou da sua base (remoção do suporte) - Urbanização - Sobrecarga do topo ou na encosta - Diminuição do nível dos reservatórios - Desmatamento - Irrigação - Mineração - Vibração artificial - Vazamentos

Fonte: Cruden & Varnes (1996).

A água das chuvas é o principal deflagrador dos movimentos em massa e a combinação da pluviosidade com a ocupação desordenada nas vertentes urbanas pode resultar em inúmeras catástrofes. Há, por isso, uma grande importância em correlacionar os volumes pluviométricos com os movimentos em massa.

3. Coimbra e os movimentos em massa

As características geológicas e geomorfológicas assumem papel importante no grau de permeabilidade das rochas e nas ocorrências de movimentos de massa, assim como as características climáticas locais, em que as chuvas são as principais deflagradoras dos eventos (Tavares, 2004). Coimbra corresponde a uma região com características geotécnicas favoráveis a episódios de instabilidade de vertentes.

Segundo Tavares (1999), as características geomecânicas são favoráveis e, localmente, são observados movimentos de instabilidade sob a forma de deslizamentos, desprendimentos ou fluxos, nomeadamente associados às características geológicas, geomorfológicas e de uso do solo.

Segundo registos do projeto *Disaster* (2012), foram contabilizados no período de 1865 a 2010, 9 ocorrências de movimentos em massa nas vertentes do concelho de Coimbra, as quais foram responsáveis por 144 evacuados e 23 desalojados. O concelho totaliza 3,2% do conjunto de movimentos em massa em vertentes com efeitos perigosos registados em Portugal Continental, ocupando o 4º lugar do ranking nacional.

O município de Coimbra apresenta um clima mediterrâneo, em que no inverno as temperaturas variam entre 5°C e 15°C, podendo beirar os 0°C. No verão as temperaturas oscilam entre 16 e 29°C, podendo chegar aos 40°C. Entre os elementos climáticos, a precipitação possui um papel importante para a região de Coimbra e por toda Península Ibérica devido tanto à sua grande variabilidade sazonal e interanual como à frequente falta de recursos hídricos nesta região durante o verão. Devido ao efeito orográfico, às maiores altitudes correspondem, geralmente, os maiores quantitativos de precipitação. A disposição geográfica também interfere nos quantitativos de precipitação que nela se registam, devido à abertura às massas de ar húmidas com trajetórias oceano-continente (Louro, 2004). Segundo Cunha e Dimuccio (2002), a posição geográfica de Coimbra favorece a existência de tipos de solos diversificados e de uma morfologia contrastada, com declives acentuados, associados ao confronto entre as baixas terras litorâneas com as serras e planaltos. Essa posição geográfica influencia também a ocorrência e a intensificação de chuvas quando os ventos sopram de Oeste e Noroeste (Cunha & Dimuccio, 2002). Assim, Coimbra recebe em média 1018 mm de precipitação anual (141 dias de chuva; Ganho, 2009/10), concentrada essencialmente nos meses de novembro a março, que recebem 53% do total anual. Os meses de outubro a maio recebem no conjunto 87% da precipitação anual, deixando o período quente (junho a setembro) praticamente sem precipitação.

4. Metodologia

O trabalho foi iniciado por pesquisas realizadas nos boletins meteorológicos do Instituto Português do Mar e da Atmosfera - (IPMA) e nos dados de precipitação cedidos pelo Instituto Geofísico da Universidade de Coimbra (IGUC). Foi considerado para estudo o período de janeiro de 2000 a março de 2013.

As análises pluviométricas apontam os acumulados diários de precipitação (09h às 09h) do período em estudo em Coimbra, onde foram selecionados os conjuntos de dias consecutivos acumulando pelo menos 10 mm de chuva. Foram elaborados gráficos para cada ano (2000 a 2013) com os volumes pluviométricos mensais, as normais climatológicas e o número de ocorrência de movimentos em massa, a fim de correlacionar os volumes totais mensais acima da normal climatológica com ocorrências de movimentos em massa.

Para registo dos movimentos, foi elaborado um banco de dados provisório de movimentos em massa em Coimbra com base em notícias dos jornais locais. A pesquisa foi realizada no jornal “Diário de Coimbra”, com os dias pré-selecionados pela sequência de dias chuvosos dos dados de pluviosidade do IGUC. Os eventos foram organizados em tabelas contendo as datas dos eventos de movimentos em massa em Coimbra, com os horários, localização, tipo de ocorrência e os danos causados, para que fossem espacializados em Sistema de Informação Geográfica (SIG). A seguir, foram estabelecidas tabelas com os dados de precipitação acumulada do dia da ocorrência, e os volumes pluviométricos acumulados nos três, cinco, dez e quinze dias anteriores a cada evento. Esses valores auxiliam na identificação da saturação do solo, considerando que chuvas fracas e contínuas favorecem os eventos de movimentos em massa, tanto quanto as chuvas intensas, mas com duração mais curta. Também foram utilizados valores de acumulado mensal e o da normal climatológica do mês (1981-2010; IPMA), inseridos nas tabelas, para efeito de comparação com os meses em que choveu acima do valor médio normal.

Foram realizadas, também, análises dos condicionantes atmosféricos associados aos eventos, com o auxílio dos boletins meteorológicos, dados sinóticos e das caracterizações climáticas mensais e anuais do IPMA. Utilizando técnicas de estatística e programação em R (R Development Core Team, 2011),

foram elaborados gráficos de médias totais mensais, número mensal médio de dias chuvosos e distribuição de frequência cumulativa da precipitação diária em Coimbra, utilizando os dados da estação meteorológica do IGUC no período de 2000 a 2012. Além desses gráficos, foram elaborados diagramas de dispersão para índices NAO relacionados com a precipitação no inverno. Em adição a essas análises, considerando a importância da NAO na precipitação invernal em toda a Europa, quanto à sua variabilidade interanual, os dados de reanálises do ERA ínterim do *European Centre of the Medium Range Weather Forecast* (ECMWF) de pressão ao nível médio do mar (PNMM), assim como o índice NAO foram confrontados com os dados da precipitação em Coimbra. Os dados do ERA ínterim estão disponíveis no <http://www.ecmwf.int/en/research/climate-reanalysis/era-interim>, descritos em Dee et al. (2011). O índice NAO está disponível no Climate Prediction Center - CPC:

<<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/pna/norm.nao.monthly.b5001.current.ascii.table>>.

5. Resultados e discussão

5.1. Ocorrência de movimentos em massa em Coimbra

As ocorrências encontradas nas pesquisas realizadas no jornal Diário de Coimbra, foram espacializadas em *software* SIG - Sistema de Informação Geográfica (Câmara & Monteiro, 2004) - ArcGIS, conforme demonstrado nas Figuras 1 a 3.

A Figura 1 mostra a distribuição espacial do conjunto dos movimentos e a Figura 2 mostra que de entre os 87 movimentos que permitiram localização espacial, de entre os 127 registos recolhidos nos jornais, foram registados 1 abatimento (com deformação do pavimento de uma estrada, DNER, 1997), 22 desabamentos (quedas de pedras e blocos) e 64 deslizamentos e fluxos de terras e detritos.

A maior parte dos movimentos regista-se na metade oriental do município, mais montanhosa e com declives mais acentuados. Para além das vertentes dos vales dos rios Mondego e Ceira, a maioria dos movimentos em massa acompanha obras antrópicas responsáveis pela instabilização de vertentes,

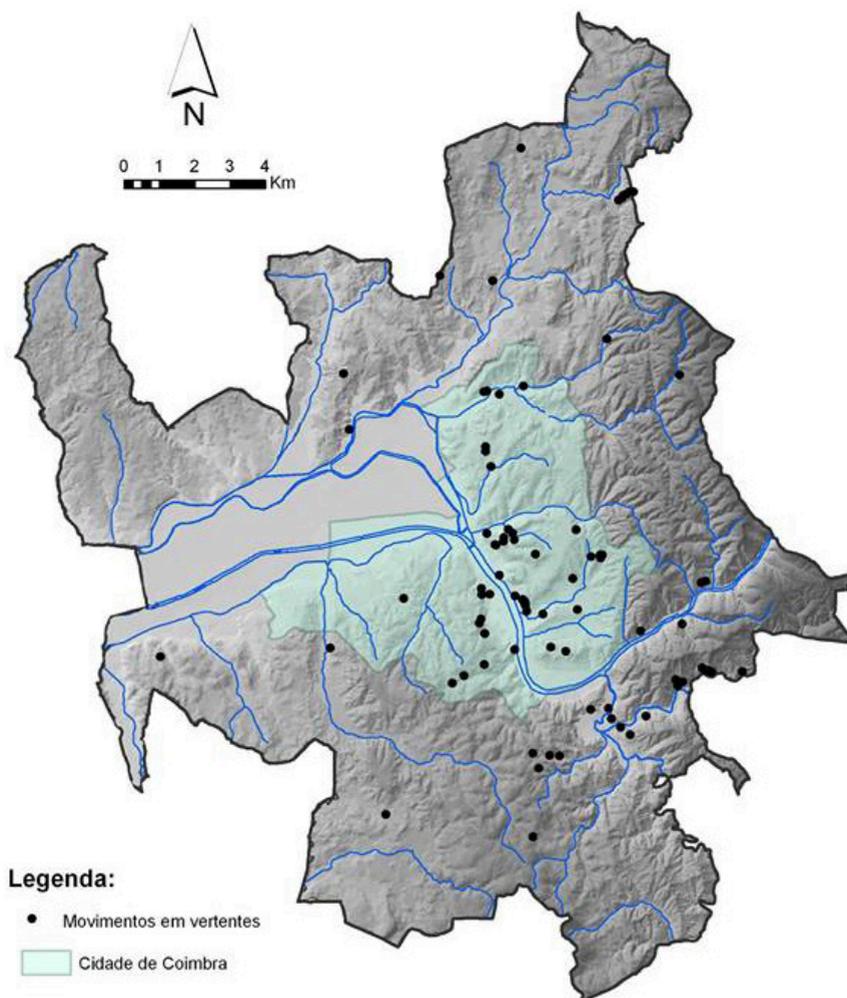


Figura 1
Movimentos em massa nas vertentes em Coimbra no período entre janeiro de 2000 a março de 2013.
Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados colhidos nos jornais Diário de Coimbra e As Beiras.

sobretudo na construção das estradas. A geologia local contribui para a preferência da ocorrência dos movimentos em xistos e depósitos superficiais quaternários.

Em termos temporais, destaca-se o inverno de 2000/2001, por ter apresentado o maior número de ocorrências de movimentos em massa de todo o período estudado (janeiro 2000 a março de 2013). Assim, a Figura 3 mostra que 42 movimentos (48%) dizem respeito ao Inverno de 2000/2001, o Inverno mais pluvioso dos últimos anos, com registo de inundações e muitos prejuízos em Coimbra. Os meses de novembro e dezembro de 2000 tiveram pluviosidade muito acima das normais climatológicas, com 181% e 253% do valor normal, resultando em ocorrên-

cias como quedas de barreiras, desabamentos, deslizamentos com danos em estradas, residências e automóveis que foram responsáveis por cerca de 40 pessoas desalojadas. A maioria das notificações foi registada no mês de janeiro de 2001, e vale a pena destacar que esse aumento nos registos esteve relacionado com o aumento significativo dos volumes de precipitação (248% acima dos valores normais de precipitação para este mês). O solo manteve-se muito saturado devido às fortes e constantes chuvas nos meses anteriores (novembro e dezembro), o que pode ter deflagrado as inúmeras ocorrências destacadas.

Para estudar a importância dos valores de precipitação na deflagração dos movimentos em massa, foi importante considerar tanto a precipita-

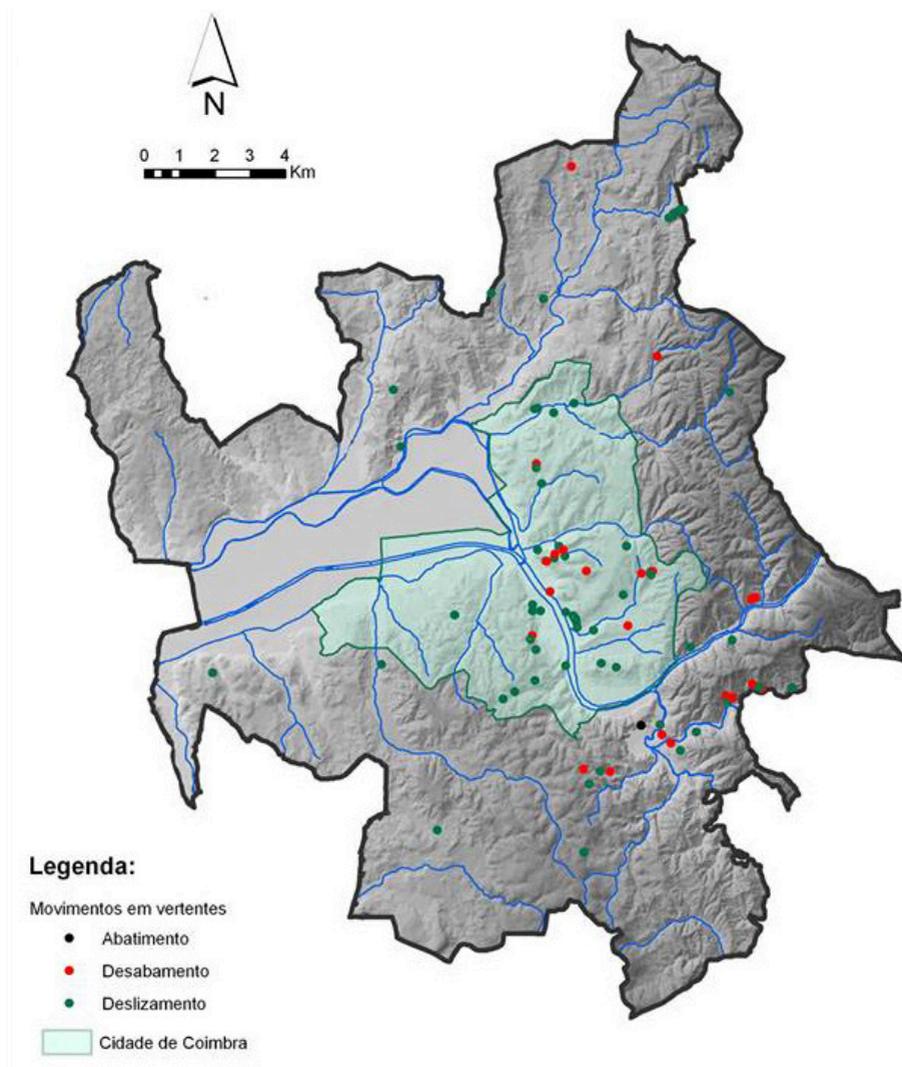


Figura 2
Tipologia dos movimentos em massa nas vertentes em Coimbra no período entre janeiro de 2000 a março de 2013.
Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados colhidos nos jornais Diário de Coimbra e As Beiras.

ção média mensal, quanto a sua distribuição temporal ao longo do período que antecedeu as ocorrências de movimentos. Assim, analisaram-se os volumes pluviométricos ocorridos no dia, nos três dias, e também nos cinco, dez e quinze dias anteriores aos eventos. Foram analisados também os totais mensais do mês da ocorrência e do mês anterior, para comparação com os totais mensais históricos (normais climatológicas).

5.2. Análise da precipitação em Coimbra no período 2000 a 2013

O maior número de ocorrências corresponde aos meses mais chuvosos (outubro a fevereiro, podendo estender-se a março). Para melhor entendimento do comportamento das chuvas em Coimbra, foram analisados os dados de precipitação do IGUC, tendo sido também utilizados, para efeito de comparação, os dados das normais climatológicas da precipitação para Coimbra no período de 1981 a 2010 fornecidos pelo IPMA. Para investigar a influência do NAO na precipitação sobre toda a Europa, seguiram-se estudos anteriores, por exemplo, Hurrell e Van

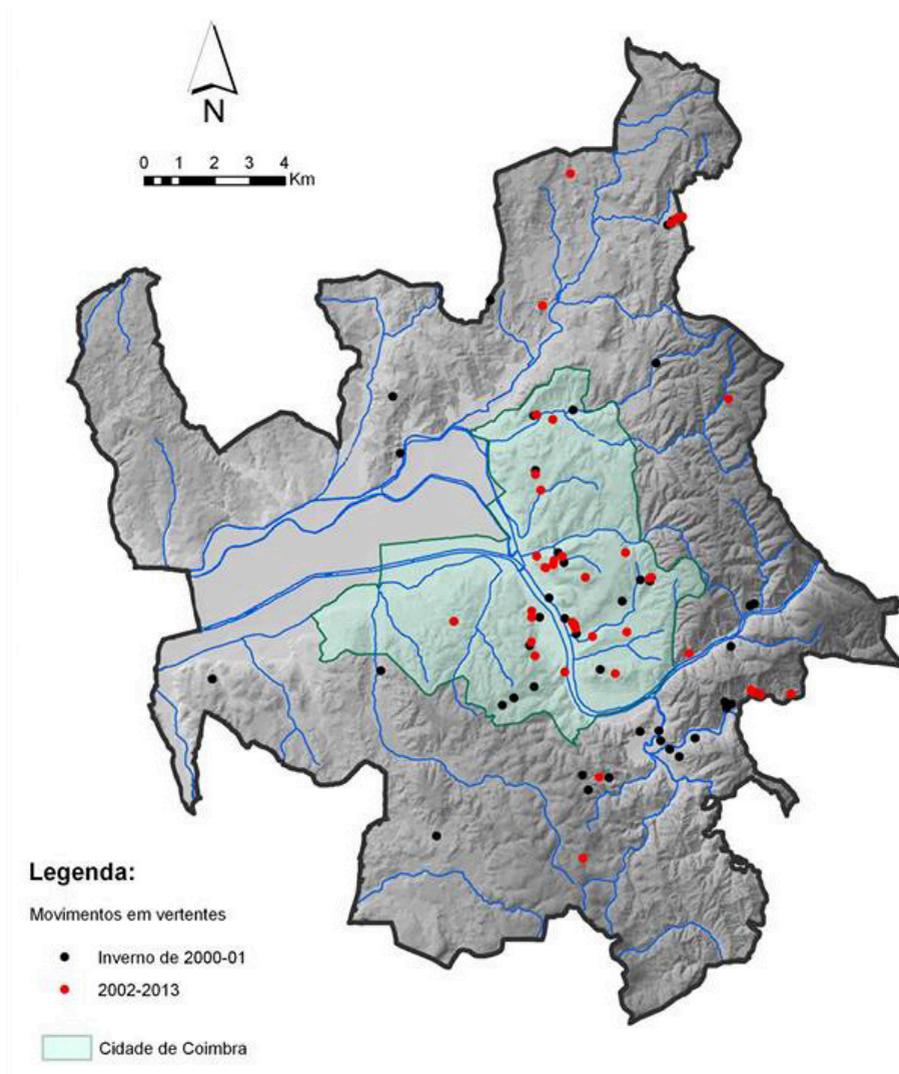


Figura 3

Movimentos em massa nas vertentes em Coimbra no período de 2000 a 2013.

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados colhidos nos jornais Diário de Coimbra e As Beiras.

Loon (1997). Anualmente, a maior parte da precipitação em Coimbra, ocorre no outono (setembro, outubro e novembro, SON) e inverno (dezembro, janeiro e fevereiro, DJF) do hemisfério Norte (cerca de 78%), podendo estender-se ao mês de março. A evolução anual da precipitação total mensal média, assim como o número de dias com precipitação (> 0.1mm), para o período 2000-2012, em Coimbra, é mostrada nas Figuras 4 e 5, respetivamente.

A distribuição de frequência acumulada de precipitação diária em Coimbra, para o período 2000-2012, é apresentada na Figura 6, para a primavera (MAM), verão (JJA), outono (SON) e inverno (DJF).

É fácil notar que a intensidade de precipitação diária varia com as estações do ano. A menor diferença ocorre entre outono e primavera. A precipitação no inverno é claramente mais intensa e no verão mais fraca e menos intensa, estando no nível intermediário a precipitação de outono e primavera. Assim, o inverno, além de apresentar maior volume de precipitação e de ter maior número de dias de chuva, apresenta também as maiores intensidades.

A variação fortemente sazonal da precipitação observada em Coimbra, com maior volume no inverno semestral (de outubro a março), principalmente nos meses de dezembro a fevereiro e com um verão

extremamente seco (junho a agosto), é comum para o clima do tipo mediterrâneo que predomina na Europa meridional (Rodríguez-Puebla, Encinas, Nietos, & Garmendia, 1998; Santos, Corte-Real, & Leite, 2005). A grande abrangência espacial deste regime pluviométrico se deve ao fato de a precipitação na região ser predominantemente de natureza frontal, associada aos ciclones transientes de origem no Atlântico Norte (Serrano, García, Mateos, Cancillo, & Garrido., 1998).

A frequência de perturbações da frente polar alcançando a região de Coimbra é fortemente influenciada pelo campo de pressão de grande escala ao nível do mar e, portanto, pelo transporte de ar marítimo húmido do Atlântico em direção à Europa Ocidental, sobretudo no inverno. Por exemplo, o inverno chuvoso na região de Coimbra está conectado com pressão atmosférica mais baixa que sua normal climatológica no Atlântico Nordeste que intensifica ventos de Oeste sobre o Sudoeste da Europa. Enquanto pressão mais alta que a normal climatológica tem contribuído para ocorrência de deficit de precipitação. As chuvas de verão que em geral são escassas, irregulares e localizadas, usualmente estão relacionadas com sistemas de mesoescala (Serrano et al., 1998). Portanto, a falta de chuva no inverno é decisiva no deficit de precipitação acumulada, podendo contribuir para situações de seca nos meses seguin-

tes. A variação da pressão atmosférica acima ou abaixo da normal climatológica no Atlântico Norte Leste, acima mencionada, é uma das características do fenómeno climático de grande escala conhecido como Oscilação do Atlântico Norte (*North Atlantic Oscillation - NAO*).

A NAO é o principal “motor” de variabilidade atmosférica sobre o Atlântico Norte no inverno do Hemisfério Norte (DJF) e exerce um importante papel nas variações do tempo e do clima sobre o Leste da América do Norte, Oceano Atlântico Norte e Eurásia, tendo sido exaustivamente investigado nas últimas décadas (Hurrell & Van Loon, 1997; Serreze, Carse, & Barry, 1997; Wanner et al., 2001). O fenómeno tem sido estudado na sua conexão com as precipitações de inverno na Europa (Andrade, Santos, Pinto, & Corte-Real, 2011; López-Moreno & Vicente-Serrano, 2008; Mateus & Cunha, 2013; Oliveira, 2013; Oliveira, Cunha, & Paiva, 2017; Santos et al., 2005, 2007; Trigo et al., 2004; Trigo, Zêzere, Rodrigues, & Trigo, 2005; Zêzere, Trigo, & Trigo, 2005), incluindo suas influências nos movimentos em massa nas vertentes (Trigo et al., 2005; Zêzere et al., 2005).

A intensidade e a fase da NAO são usualmente expressas pela diferença na pressão atmosférica entre a região do anticiclone subtropical perto de Açores e o sistema de baixa pressão subpolar da Islândia (Serreze et al., 1997). Então este índice é, de certa

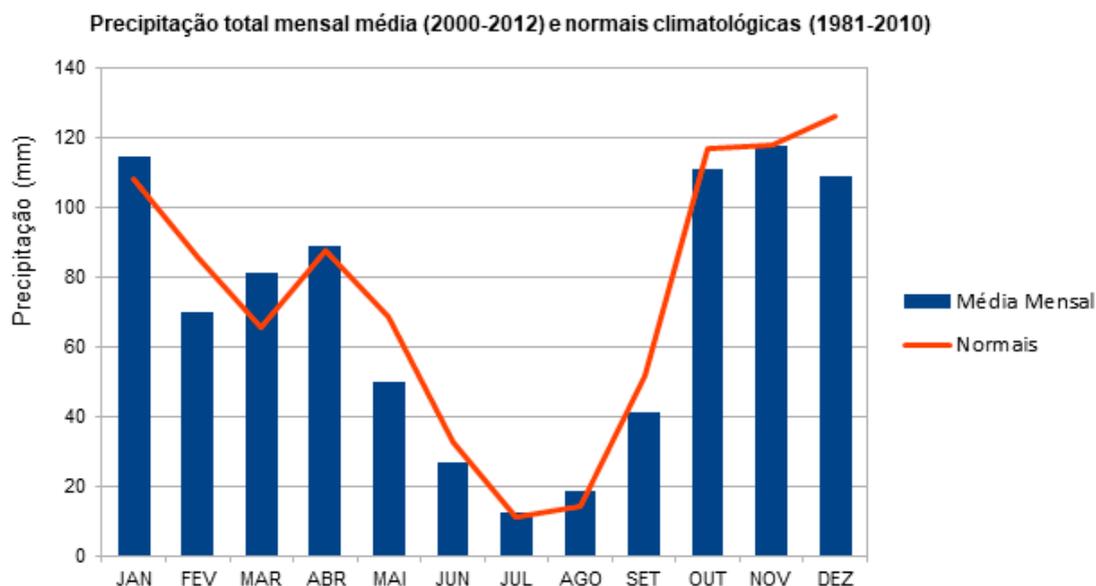


Figura 4
Precipitação total mensal média, para o período 2000-2012 e Normais Climatológicas (1981-2010), em Coimbra - Portugal.
Fonte: Estação meteorológica do IGUC e IPMA, elaborado pelos autores.

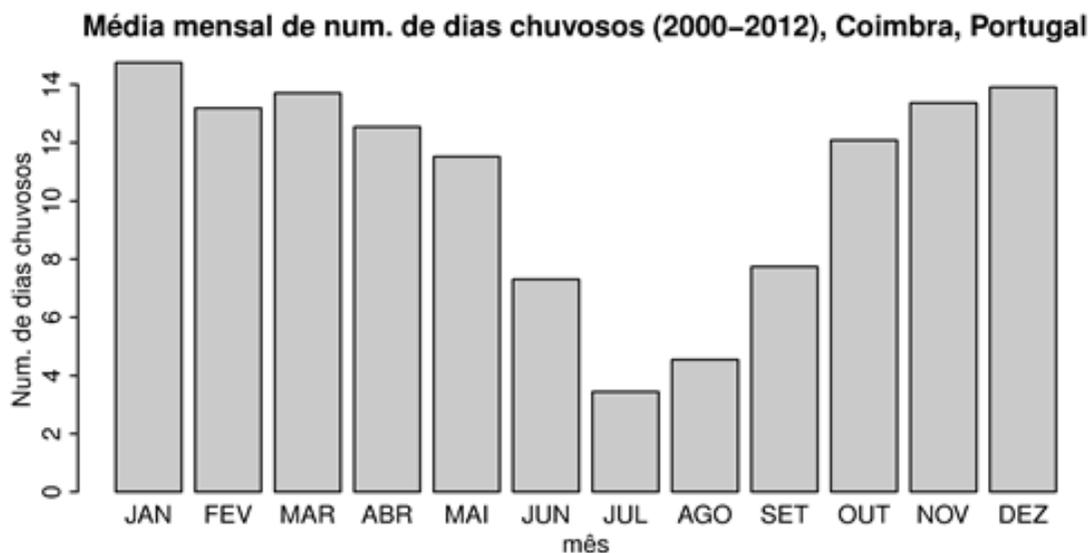


Figura 5
Número mensal médio de dias chuvosos (>0,1mm), para o período de 2000-2012, em Coimbra, Portugal.
Fonte: Estação meteorológica do IGUC.

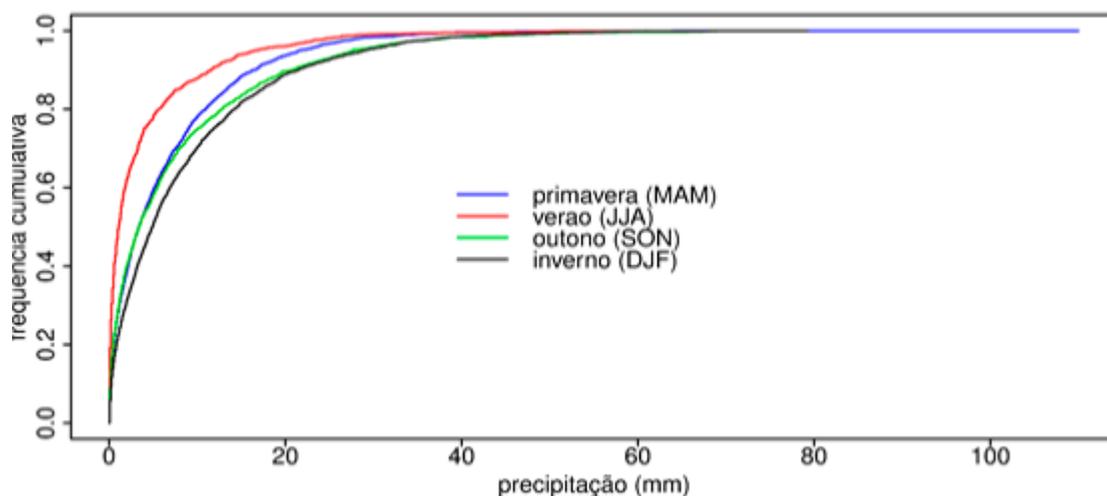


Figura 6
Distribuição de frequência cumulativa da precipitação diária em Coimbra, 2000-2012.
Fonte: Estação meteorológica do IGUC.

forma, também, uma medida da intensidade de escoamento (de ar) de oeste. Seu valor positivo indica vento forte de oeste (fase positiva do NAO ou NAO+) e reflete o fortalecimento da Alta subtropical e do sistema de baixa pressão da Islândia, isto é, pressão na Alta subtropical mais alta que o normal e pressão na região da Islândia mais baixa que o normal. Esta condição significa aumento de diferença na pressão

na direção sul-norte, o que favorece formação de ciclones cruzando o Atlântico Norte em número e intensidade numa rota mais ao norte do que o normal, pelo que a consequência climática no inverno sobre o Sul da Europa, que inclui Portugal, é de pouca precipitação, que, no entanto, é abundante no Norte da Europa.

O valor negativo do índice de NAO (fase negativa do NAO ou NAO-) reflete uma alta subtropical fraca e a baixa da Islândia menos baixa, o que diminui a diferença de pressão na direção sul-norte, pelo que a condição climática observada na Europa é inversa da observada durante a fase de NAO+ (Hurrell & Van Loon, 1997; López-Moreno & Vicente-Serrano, 2008), com precipitação acentuada na Europa meridional.

A Figura 7 mostra a série temporal mensal de índice de NAO, para o período 2000-2012 disponibilizada no Climate Prediction Center (CPC) dos Estados Unidos.

Exemplos de forte influência do NAO sobre a precipitação em Portugal são a seca severa no inverno de 2004/2005 (dezembro de 2004 a fevereiro de 2005) (Garcia-Herrera et al., 2007, Santos et al., 2007), associado a uma fase positiva da NAO, e precipitação bem acima da normal no inverno de 2009/2010 (Andrade et al., 2011), associado a uma fase negativa da NAO.

A existência da correlação entre a NAO e a precipitação em Coimbra pode ser vista no diagrama de dispersão apresentado na Figura 8. Nesta análise que considerou somente o período de inverno, foi escolhido o período de 1950 a 2012. Os dados de precipitação de Coimbra anteriores a 2000 foram obtidos do site www.eca.knmi.nl do European Climate

Assessment (Tank et al., 2002). A qualidade da série 1950-2012, especialmente quanto à homogeneidade da série, foi verificada seguindo procedimento de Sugahara, Porfírio da Rocha, Ynoue e Silveira (2014).

Ainda na Figura 8 nota-se que existe uma tendência para uma maior quantidade de precipitação quando o índice de NAO é negativo e vice-versa, corroborando os resultados obtidos anteriormente por outros autores (Trigo et al., 2004; Santos et al., 2007; Andrade et al., 2011; Mateus e Cunha, 2013; Oliveira et al., 2017). Contudo, é importante ressaltar que essa relação representa somente uma tendência. Por outras palavras, nem todos os casos de secas ou de precipitação excessiva podem ser associados a fases positivas e negativas da NAO. Há vários casos, como se pode notar na Figura 8, em que chuva abundante esteve relacionada com alto índice de NAO e vice-versa, indicando claramente a existência de outros fatores, regionais e locais, que controlam a precipitação em Coimbra.

Durante o período selecionado para o presente estudo, de 2000 a 2013, um caso extremo de NAO- e outro de NAO+ foram observados, respetivamente, nos invernos (dezembro/janeiro/fevereiro) de 2004/2005 e 2009/2010. Os campos médios de PNMM observados nesses invernos e os correspondentes campos de anomalias, baseados nos dados de reanáli-

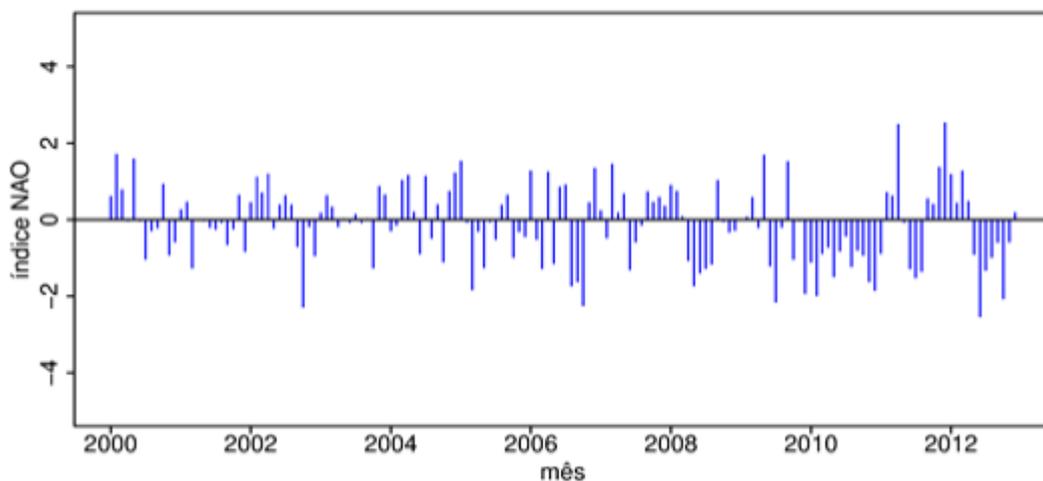


Figura 7
Série temporal mensal de índice de NAO
Fonte: CPC.

ses do ERA ínterim e analisados usando R, são apresentados nas Figuras 9 e 10.

Nota-se que no inverno de 2004/2005 o Sul da Europa esteve sob forte influência de alta pressão com anomalia positiva variando entre 4 e 6 hPa (Figura 9), uma condição climática que não favorece a passagem de sistemas meteorológicos que produzem chuva na região. A condição no inverno 2009/2010 (Figura 10) foi praticamente a oposta, com forte anomalia negativa de PNMM sobre a região.

Estes resultados são consistentes com a relação esperada entre as fases da NAO e os valores da precipitação em Portugal.

Se a relação entre os índices da NAO no Inverno e a precipitação, ainda que observável e sensível numa análise da Figura 8, não apresenta um significado estatístico que permita estabelecer relações inequívocas, quando procuramos relacionar a NAO com a distribuição temporal dos movimentos em massa, as dificuldades são ainda mais vincadas... No entanto, não podemos deixar de relacionar os valores negativos da NAO de alguns meses, com o número de movimentos que ocorreram nesses meses em

Coimbra. São exemplos nítidos que se acaba de afirmar, os meses de janeiro de 2001 (com 46 movimentos relatados nos jornais, ou seja 36% dos movimentos verificados no período em análise), de setembro a dezembro de 2002 (13 casos; 10%), de setembro a dezembro de 2006 (19 casos; 15%) e de janeiro de 2010 (7 casos; 6%).

6. Conclusão

Os resultados das análises da precipitação em Coimbra na presente investigação apontaram para que os valores mais elevados estivessem relacionados com as superfícies frontais com trajetórias predominantemente de oeste e com as regiões de depressão na Península Ibérica. Em altitude, as situações mais frequentes foram a circulação atmosférica ondulatória. Além destas situações sinóticas e da clara influência que a NAO nelas detém, também foram causa de grandes volumes de precipitação a oceanicidade, o relevo e a disposição da Bacia Hidrográfica do rio Mondego. A conjugação de longos períodos

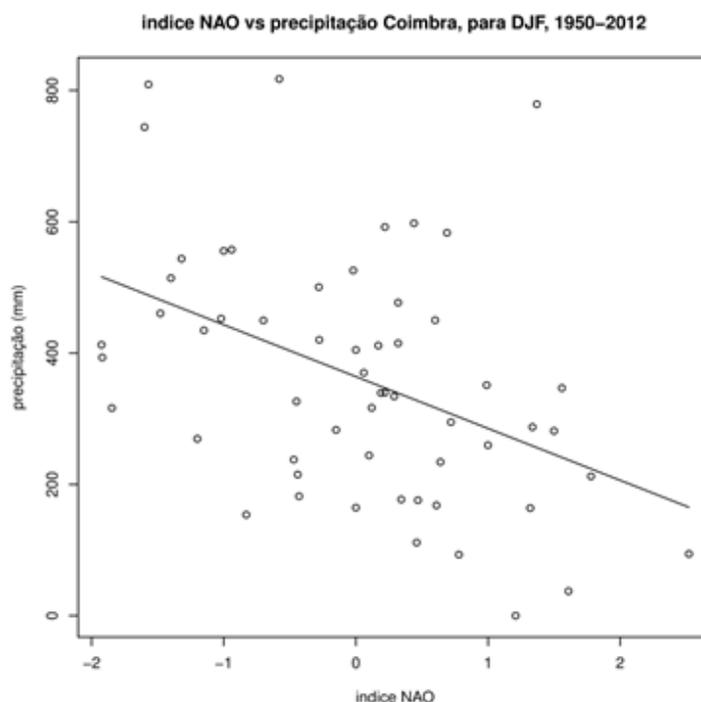


Figura 8

Diagrama de dispersão para índice NAO *versus* precipitação total de inverno (DJF) em Coimbra, para o período de 1950-2012, com a reta ajustada pelo método dos mínimos quadrados.

Fonte: Estação meteorológica do IGUC e CPC dos Estados Unidos, elaborado pelos autores.

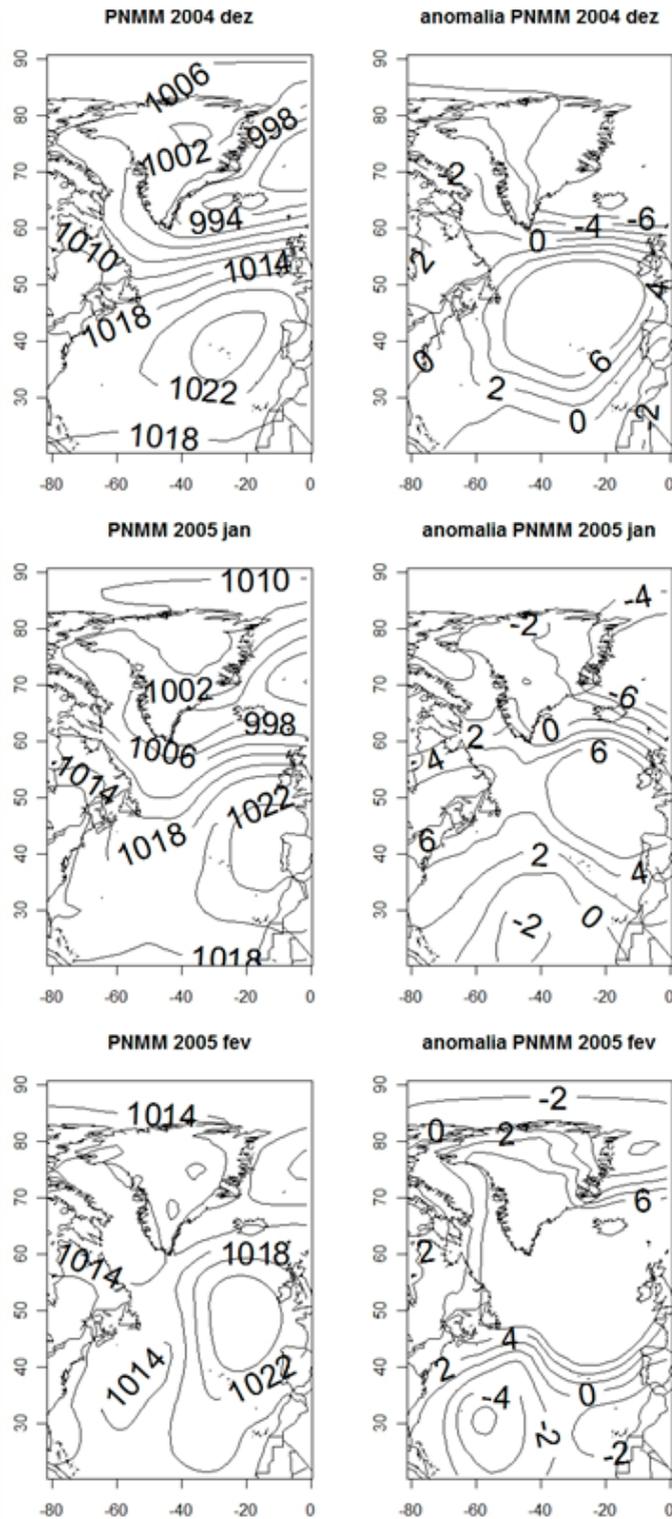


Figura 9
Campos médios de PNMM e desvio em relação à correspondente média climatológica, para inverno de 2004/2005, caracterizado como fase positiva da NAO. A unidade é em hPa.
Fonte: ECMWF, elaborado pelos autores.

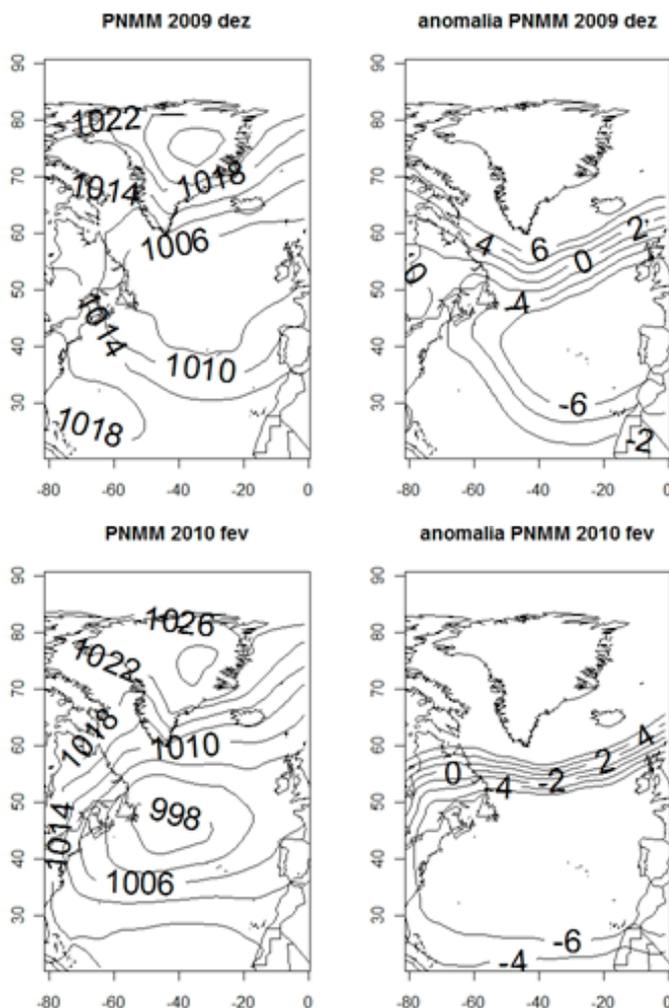


Figura 10 Campos médios de PNMM e desvio destes em relação à correspondente média climatológica, para inverno de 2009/2010 que foi caracterizado como fase negativa da Oscilação do Atlântico Norte. A unidade é em hPa. Fonte: ECMWF, elaborado pelos autores.

de chuva, com declividades acentuadas e litologias frágeis e argilosas, faz aumentar consideravelmente o número de movimentos em massa que podem provocar danos severos. Vale a pena enfatizar que tanto as regiões de baixa pressão atmosférica na Península Ibérica como as superfícies frontais são sistemas que produzem chuvas por um período que pode se estender a dias, podendo ocasionar a saturação do solo, deflagrando, assim, os movimentos em massa.

Devido à frequência e aos altos valores de precipitação no outono e inverno, por serem consecutivos e ressaltando a possibilidade de ocorrência de precipitação prolongada e contínua, existe um forte

contributo para ocorrência de movimentos em massa, desde que sejam atingidos valores próximos a 20 mm de chuva acumulada diária em Coimbra.

Quanto aos alertas para movimentos em massa em Coimbra, verifica-se atenção a valores diários de precipitação próximos dos 10 mm em três dias sequenciais de chuva e de 5 mm em cinco dias prolongados de chuva nos meses de outono e inverno. No verão, as ocorrências estiveram relacionadas com eventos de chuvas com altos valores de precipitação, acima de 20 mm diários, sem histórico de chuvas prolongadas. Já na primavera, os valores de precipitação no dia da ocorrência equivaleram a uma média de 15 mm de chuva acumulada diária, enquanto que

nos três dias que antecederam a ocorrência, a média foi de 20 mm e de 26 mm nos cinco dias consecutivos de chuva que antecederam o evento. Com exceção de janeiro de 2002 e 2004, fevereiro de 2009, abril de 2011, setembro de 2005 e outubro de 2004 e 2005, que acumularam apenas 8 registos de movimentos em massa (6 % dos registos verificados no período em análise), todos os eventos estiveram relacionados com valores mensais de precipitação acima das normais climatológicas. Essas exceções foram relacionadas com eventos severos de precipitação diária.

A maior parte dos movimentos estudados localiza-se na metade oriental do município de Coimbra, cuja característica predominante é a existência de áreas mais elevadas e com declives mais acentuados, a que se associam uma litologia relativamente frágil, quer pelas características intrínsecas dos xistos, quer pela presença de imensas fraturas e de alguns afloramentos de depósitos superficiais de vertente, bem como mudanças recentes na ocupação do solo e a abertura crescente de vias de comunicação, sem os convenientes cuidados geotécnicos. A grande maioria dos movimentos registados nos jornais locais terá sido influenciada por ações antrópicas responsáveis pela instabilização das vertentes, principalmente em estradas. E 46 % desses eventos ocorreram no Inverno de 2000/2001, o inverno mais chuvoso dos últimos anos registado em Coimbra e que foi responsável também por fortes inundações do rio Mondego.

Esta pesquisa mostrou que as análises das informações do banco de dados tornam-se uma ferramenta importante para estudar áreas de risco e eventualmente para poder proporcionar às autoridades competentes elementos para ações de prevenção e alerta.

Bibliografia

- Ahrendt, A. (2005). *Movimentos de Massa Gravitacionais - Proposta de um Sistema de Previsão: aplicação na área urbana de Campos do Jordão - SP* (Tese de Doutorado em Geotecnia). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- Andrade, C., Santos J. A., Pinto J. G., & Corte-Real J. (2011). Large-scale atmospheric dynamics of the wet winter 2009-2010 and its impact on hydrology in Portugal. *Climate Research*, 46(1), 29-41. doi:10.3354/cr00945
- Câmara, G., & Monteiro, A. M. U. (2004). Conceitos básicos em ciência da geoinformação. In G. Câmara et al. (Ed.), *Introdução à ciência da geoinformação*. São José dos Campos: INPE. Disponível em www.dpi.inpe.br/gilberto/livros.html.
- CPC. Climate Prediction Center dos Estados Unidos. Disponível em <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/pna/norm.nao.monthly.b5001.current.ascii.table>
- Cruden, D. M., & Varnes, D. J. (1996). Landslides: type and processes. In A. K. Turner, & R. L. Schuste (Eds.), *Landslides investigation and mitigation* (pp. 36-75). Washington: Transportation Research Board, National Research Council - Special Report.
- Cunha L., & Dimuccio, L. (2002). Considerações sobre riscos naturais num espaço de transição. Exercícios cartográficos numa área a Sul de Coimbra. *Revista Territorium*, 9, 37-51.
- Cunha, L., Dimuccio, L., & Figueiredo, R. F. (2017). ANALYSE MULTI-ALÉAS SUR LE TERRITOIRE DE LA MUNICIPALITÉ DE COIMBRA (CENTRE-OUEST DU PORTUGAL). L'omniprésence du climat et l'importance anthropique. *Geo-Eco-Trop.*, 41(3), 399-419.
- Cunha, L., Soares, A. F., Tavares A. O. & Marques, J. F. (1997). O «julgamento» geomorfológico de Coimbra. O testemunho dos depósitos quaternários. *Cadernos de Geografia, Número especial sobre o I Congresso da Geografia de Coimbra*, 14-26.
- Dee, D. P., Uppala, S. M., Simmons, A. J., Berrisford, P., Poli, P., Kobayashi, S., Andrae, U., Balmaseda, M. A., Balsamo, G., Bauer, P., Bechtold, P., Beljaars, A. C. M., van de Berg, L., Bidlot, J., Bormann, N., Delsol, C., Dragani, R., Fuentes, M., Geer, A. J., Haimberger, L., Healy, S.B., Hersbach, H., Hólm, E. V., Isaksen, I., Kållberg, P., Köhler, M., Matricardi, M., McNally, A. P., Monge-Sanz, B. M., Morcrette, J.-J., Park, B.-K., Peubey, C., de Rosnay, P., Tavolato, C., Thépaut, J.-N., & Vitart, F. (2011). The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 137, 553-597. doi:10.1002/qj.828
- DISASTER (2012) - *Desastres naturais de origem hidro-geomorfológica em Portugal: base de dados SIG para apoio à decisão no ordenamento do território e planeamento de emergência* (PTDC/CSGEO/103231/2008), financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia.
- Encyclopedia Britannica Online. Web. 17 Jul. 2014. North Atlantic Oscillation - NAO. Disponível em <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/661549/North-Atlantic-Oscillation-NAO>.
- Freiria, S. C. (2009). *Expansão Urbana e Riscos Naturais - O caso de Coimbra* (Dissertação de Mestrado). Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal.
- Ganho, N. (2009/10). Precipitação em Coimbra (Portugal): regimes médios e prováveis como instrumento

- fundamental de análise de riscos hidrogeomorfológicos e aplicação ao ordenamento urbano. *Cadernos de Geografia*, 28/29, 21-32.
- García-Herrera, R., Paredes, D., Trigo, R. M., Trigo, I. F., Hernández, E., Barriopedro, D., & Mendes, M. A. (2007). The Outstanding 2004-05 Drought in the Iberian Peninsula: Associated Atmospheric Circulation. *Journal of Hydrometeorology*, 8, 469-482. doi:10.1175/JHM578.1
- Hurrell, J. W., & Van Loon, H. (1997). Decadal variations in climate associated with the North Atlantic Oscillation. *Climatic Change*, 36, 301-326. doi:10.1023/A:1005314315270
- IPMA - INSTITUTO PORTUGUÊS DO MAR E DA ATMOSFERA. Boletins Climatológicos. Disponível em <https://www.ipma.pt/pt/publicacoes/boletins.jsp?cmbDep=cli&cmbTema=p-cl&idDep=cli&idTema=p-cl&curAno=-1>
- Tank, A. M. G. K., Wijngaard, J. B., Können, G. P., Böhm, R., Demarée, G., Gocheva, A., Mileta, M., Pashiardis, S., Hejkrlik, L., Kern-Hansen, C., Heino, R., Bessemoulin, P., Müller-Westermeier, G., Tzanakou, M., Szalai, S., Pálsdóttir, T., Fitzgerald, D., Rubin, S., Capaldo, M., Maugeri, M., Leitass, A., Bukantis, A., Aberfeld, R., van Engelen, A.F.V., Forland, E., Miletus, M., Coelho, F., Mares, C., Razuvaev, V., Nieplova, E., Cegnar, T., Antonio López, J., Dahlström, B., Moberg, A., Kirchhofer, W., Ceylan, A., Pachaliuk, O., Alexander, L. V., & Petrovic, P. (2002). Daily dataset of 20th-century surface air temperature and precipitation series for the European Climate Assessment. *International Journal of Climatology*, 22: 1441-1453. doi:10.1002/joc.773
- Lopez-Moreno J. I., & Vicente-Serrano S. M. (2008). Positive and negative phases of the wintertime north Atlantic oscillation and drought occurrence over Europe: a multitemporal-scale approach. *Journal of Climate*, 21, 1220-124. doi:10.1175/2007jcli1739.1
- Louro, S. M. G. (2004). *Condições meteorológicas com efeitos de inundação - O exemplo da Bacia do Mondego* (Dissertação de Mestrado em Geografia). Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Mateus, C., & Cunha, L. (2013). A oscilação do Atlântico Norte (NAO) e riscos climáticos em Coimbra durante o Inverno de 1950 a 2010. *Territorium*, 20, 37-47.
- Oliveira, W. (2013). *Impactos da Oscilação do Atlântico Norte (NAO) nos regimes fluviais dos rios Vouga e Mondego. Sua relevância na manifestação de situações hidrológicas extremas (Cheias e Inundações)* (Mestrado em Dinâmicas Sociais e riscos Naturais e Tecnológicos). Universidade de Coimbra.
- Oliveira, W., Cunha, L., & Paiva, I. (2017). A influência da Oscilação do Atlântico Norte nos caudais dos rios Vouga e Mondego - relevância na manifestação de cheias e inundações. *Revista de Geografia e Ordenamento do Território (GOT)*, 12 (dezembro), 255-279.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM (2011). *R: A Language and environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing. Vienna. Disponível em <http://www.R-project.org>.
- Rebelo, F. (1985). Nota sobre o conhecimento geomorfológico da área da região de Coimbra (Portugal). *Memórias e Notícias*, 100, 193-202.
- Rebelo, F. (2001). *Riscos Naturais e ação antrópica*. Coimbra: IUC..
- Ribeiro, L. T., & Gamito, T. (2012). *Projeto Plano de Gestão das Bacias Hidrográficas do Vouga, Mondego e Lis integradas na Região Hidrográfica 4*.
- Rodriguez-Puebla, C., Encinas, A.H., Nieto, S., & Garmendia, J. (1998). Spatial and temporal patterns of annual precipitation variability over the Iberian Peninsula *International Journal of Climatology*, 18, 299-316. doi:10.1002/(SICI)1097-0088(19980315)18:3<299::AID-JOC247>3.0.CO;2-L
- Santos, J., Corte-Real, J., & Leite, S. (2005). Weather regimes and their connection to the winter rainfall in Portugal. *International Journal of Climatology*, 25, 33-50.
- Santos, J., Corte-Real, J., & Leite, S. (2007) - Atmospheric large-scale dynamics during the 2004/2005 winter drought in Portugal. *International Journal of Climatology*, 27, 571-586.
- Serrano, A., García, J. A., Mateos, V. L., Cancillo, M. L., & Garrido, J. (1998). Monthly Modes of Variation of Precipitation over the Iberian Peninsula. *Journal of Climate*, 12, 2894-2919.
- Serreze, M. C., Carse, F., & Barry, R. G. (1997). Icelandic Low Cyclone Activity: Climatological Features, Linkages with the NAO, and Relationships with Recent Changes in the Northern Hemisphere Circulation. *Journal of Climate*, 10, 453-463.
- Silva, D. C. O. (2006). *Aplicação do Modelo Shalstab na Previsão de Deslizamentos em Petrópolis* (Dissertação de Mestrado). COPPE, UFRJ, Rio de Janeiro.
- Soares, A. F. (1985). Contribuição para o conhecimento geológico de Coimbra. *Memórias e Notícias*, 100, 41-71.
- Souza, L. B. (2006). *Percepção dos riscos de escorregamentos na Vila Mello Reis, Juiz de Fora (MG): contribuição ao planejamento e à gestão urbana* (Tese de Doutorado em Geografia). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Rio Claro.
- Sugahara, S., Porfírio da Rocha, R., Ynoue, R. Y., & Silveira, R. B. (2015). Statistical detection of spurious variations in daily raingauge data caused by changes in observation practices, as applied to records from various parts of world. *International Journal of Climatology*, 35, 2922-2933. doi:10.1002/joc.4183
- Tavares, A. (1999). *Condicionantes físicos ao planeamento: análise da suscetibilidade no espaço do Concelho de*

- Coimbra (Tese de Doutorado em Geografia). Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Tavares, A. (2004). *Geotechnical and natural hazard mapping on urban and other urban planning*. 57th Canadian Geotechnical Conference, 27-33.
- Trigo, R. M., Zêzere, J. L., Rodrigues, M. L., & Trigo, I. F. (2005). The influence of the North Atlantic Oscillation on rainfall triggering of landslides near Lisbon. *Natural Hazards*, 36, 331-354. doi:10.1007/s11069-005-1709-0
- Trigo, R. M., Pozo-Vázquez, D. O., Timothy, J., Castro-Díez, Y., Gámiz-Fortis, S., & Esteban-Parra, M. J. (2004). North Atlantic Oscillation influence on Precipitation River Flow and Water Resources in the Iberian Peninsula. *International Journal of Climatology*, 24, 925-944. doi:10.1002/joc.1048
- Wanner, H., Brönnimann, S., Casty, C., Gyalistras, D., Luterbacher, J., Schmutz, C., Stephenson, D. B., & Xoplaki, E. (2001). North Atlantic Oscillation - Concepts and Studies. *Surveys in Geophysics*, 22, 321-382. doi:10.1023/A:1014217317898
- Zêzere, J. L., Trigo, R. M., & Trigo, I. F. (2005). Shallow and deep landslides induced by rainfall in the Lisbon region (Portugal): assessment of relationships with the North Atlantic Oscillation. *Natural Hazards and Earth System Science*, 5, 331-344. doi:10.5194/nhess-5-331-2005, 2005