

O IMPACTO DOS FATORES DE RISCO AMBIENTAL DE MORTALIDADE POR DOENÇAS CARDIOVASCULARES E RESPIRATÓRIAS NA POPULAÇÃO IDOSA DA CALIFÓRNIA.

José Angel Riandes González¹ y Fabio Luiz Teixeira Gonçalves¹

1 Dept. de Ciências Atmosféricas, IAG, Universidade de São Paulo, Brasil.

E-mail: jose.gonzalez@iag.usp.br

1 Dept. de Ciências Atmosféricas, IAG, Universidade de São Paulo, Brasil.

E-mail: fabio.goncalves@iag.usp.br

Resumo

O presente trabalho tem como objetivo avaliar os impactos das ondas de calor no risco de mortalidade por doenças cardiovasculares (DCV) e respiratórias (RES) na população idosa (acima de 65 anos) da Califórnia, utilizando o emprego da modelagem estatística através da análise de coeficientes multivariada, em particular uso de um modelo aditivo generalizado de Poisson e análises de componentes principais. Para isso serão utilizados dados diários das estações meteorológicas dos condados (temperatura, pressão, umidade e velocidade do vento), de poluição do ar (NO₂, CO, SO₂ e O₃) e da mortalidade por DCV e RES, durante o período 1975-2015. A intensidade das ondas de calor será definida a partir do cálculo do índice de calor (IC), considerando quando o índice excede os percentis 97^o, 98^o ou 99^o durante 2 ou 4 dias consecutivos. Igualmente serão usados dados diários das variáveis temperatura e umidade relativa do ar em 2 grupos de clima futuro. O do futuro próximo (2020-2050) e do distante (2070-2100), baseado na previsão climática de 5 modelos climáticos globais CMIP5 (Fase 5 do Projeto de Interconexão de Modelos Acoplados) para os dois cenários mais impactantes na concentração do CO₂, os RCPs 6.0 e 8.5. Embora existam muitos trabalhos baseados no impacto das temperaturas extremas na mortalidade por DCV e RES, em geral poucos trabalhos fazem uma análise a longo prazo incluindo também os níveis de poluição. Além disso, a perspectiva desta pesquisa pretende mostrar como as diferenças sociais e econômicas entre os condados da Califórnia, geram impactos diferentes ante a ocorrência de episódios extremos de calor na população idosa, apesar das semelhanças no clima. Por outro lado, os resultados serviram à sociedade na tomada de decisões que objetivam mitigar os impactos negativos decorrentes das possíveis mudanças climáticas.

Abstract

The objective of this study was to evaluate the impact of heat waves on mortality risk due to cardiovascular diseases (CVD) and respiratory diseases (RD) in the elderly population (over 65 years) of California, using statistical modeling through analysis of multivariate coefficients, using a generalized additive model Poisson and principal components analysis. For that will be used daily data from meteorological stations counties (temperature, pressure, humidity and wind velocity) of air pollution (NO₂, CO, SO₂, O₃) and CVD mortality and RD during the period 1975-2015. The intensity of the heat waves will be defined from the calculation of the heat index (HI), considering when the index exceeds the 97th, 98th or 99th percentile for 2 or 4 consecutive days. Likewise, daily data of temperature and relative humidity will be used in 2 groups of future climates. The near future (2020-2050) and far (2070-2100), based on climate forecast five global climate models CMIP5 (Phase 5 of the Coupled Model Interconnection Project) for the two most impactful scenes in the concentration of CO₂, RCPs 6.0 and 8.5. Although there are many studies based on the impact of extreme temperatures on mortality due to CVD and RD, in general, few studies do a long-term analysis including also pollution levels. In addition, the perspective of this research intends to show how the social and economic differences between the counties of California, generate different impacts before the occurrence of extreme episodes of heat in the elderly population, despite the similarities in the climate. On the other hand, the results served the society in making decisions that aim to mitigate the negative impacts of possible climate change.

CAPÍTULO 1: CONSIDERAÇÕES INICIAIS

1.1 Introdução

O século XXI tem sido caracterizado por uma discussão significativa sobre as mudanças climáticas, suas origens e suas implicações sobre o ambiente e a humanidade. Neste sentido, no final de 2015 em Paris, no marco da 21ª Conferência do Clima, o grupo de representantes da União Europeia e das 19 maiores economias do mundo declarou que as mudanças climáticas representam um dos maiores desafios do nosso tempo.

Por sua vez, muitos cientistas afirmam que a tendência atual de aquecimento global é um ponto importante dentro deste assunto, já que a maior parte é causada pela influência antropogênica, e vem se amplificando a uma taxa sem precedentes nos últimos 1300 anos. O Painel Intergovernamental para as Mudanças Climáticas (IPCC, em inglês), relata que o aquecimento observado durante os últimos 50 anos provavelmente se deve ao aumento do efeito estufa (IPCC, 2007).

Por outro lado, as condições atmosféricas exercem forte influência sobre a sociedade e sobre as condições de saúde, sendo as doenças do ser humano uma das manifestações dessa interação. Mas as relações entre clima e saúde humana são complexas porque dependem da intensidade e duração da mudança de tempo (grau de contraste) e sensibilidade do receptor, sendo que esses fatores mudam continuamente de local, indivíduos e populações.

A capacidade de adaptação não é distribuída de modo uniforme em toda a sociedade, os maiores impactos tendem ser observados nos grupos mais vulneráveis, principalmente nos idosos. Devido a que fisiologicamente, emocionalmente e socioeconomicamente são menos capazes de lidar com os efeitos adversos das mudanças climáticas (Haq et al., 2008).

Do ponto de vista físico, uma pessoa idosa caracteriza-se como ‘envelhecida’ por apresentar uma degeneração gradual e progressiva dos órgãos, tecidos e metabolismo, perda de energia, alterações na aparência e condições psicológicas, acarretando debilidades nas funções orgânicas (Matsudo 1996).

Considerando seu aspecto fisiológico, tem sido reconhecido que estas alterações podem ter maiores impactos na sua capacidade de responder aos efeitos negativos, por exemplo, níveis elevados de poluentes, aumento da exposição à radiação solar, episódios de ondas de frio e de calor, que expõem indivíduos como os idosos a condições extremas, às quais não estão comumente adaptados e excedem suas capacidades de regulação (Sartori, 2000).

1.2. Influências climáticas na mortalidade de idosos

Diante deste contexto, a bibliografia dos impactos das variáveis meteorológicas na mortalidade de idosos é bastante vasta. A seguir são apresentados alguns dos trabalhos importantes.

Larsen (1990) avaliou a influência das flutuações mensais da temperatura na mortalidade, em seis estados dos EUA (Massachusetts, Michigan, Washington, Utah, Carolina do Norte e Mississippi) de 1921 a 1985, utilizando um modelo de defasagem. O autor mostrou que temperaturas acima do normal no verão e abaixo do normal no inverno estavam associadas ao aumento da mortalidade. Por exemplo, uma queda da temperatura de um grau na temperatura média em 1921 está associada a um aumento de mais de 3,5% na taxa de mortalidade de fevereiro em Mississippi e Carolina do Norte e um aumento de menos de 1% nos quatro outros estados examinados.

Hoshiko et al. (2010) estimaram o excesso de mortalidade devido às ondas de calor da Califórnia de 2006 nos meses de junho – agosto. Foram verificadas 655 mortes em excesso por

todas as causas, com um aumento de 6 % (intervalo de confiança de 95 %, 3-9 %), impactando diversas regiões geográficas.

Zanobetti et al. (2012) propôs que a variabilidade da temperatura (desvio padrão) durante o verão poderia ter relação com a sobrevivência de idosos internados em hospitais, em 135 cidades americanas, onde incluem os condados de Los Angeles e Orange. De modo geral, os resultados demonstram que o aumento no desvio padrão de 1°C aumentaria a causa de mortalidade em 5%, associado a um menor tempo de sobrevivência de idosos, especialmente com idade superior a 75 anos.

1.3. Índices de conforto térmico ou biometeorológicos

Os índices são modelos biometeorológicos os quais descrevem, a partir de observações experimentais ou empíricas, como o ambiente atmosférico atua sobre o organismo humano. Estes índices, que podem ser expressos em termos meteorológicos ou fisiológicos, têm ampla aplicação na arquitetura, onde, desde o século passado foram desenvolvidos centenas de índices, como o Índice de Desconforto (ID) (Thom, 1959), a Temperatura Aparente (TA) de Steadman (1979), o Índice Windchill (H) de Siple e Passel (1945), o Voto Previsto Médio (do inglês Predicted Mean Vote – PMV) de Fanger (1970); a TE de Giles et al. (1990), o atual índice adaptativo de Humphreys e Nicol (1998), que considera a capacidade adaptativa de uma determinada população em relação às alterações do clima. Uma revisão bastante completa sobre esses e outros índices foram apresentadas por Gobo (2018).

Também na medicina estes índices foram muito utilizados (Tromp, 1963a, 1963b, 1964; Munn, 1970; Jendritzky, 1977; Jendritzky e al., 1979) assim como na avaliação dos bioclimas regionais (Brazol, 1954; Wilson, 1963; Oyarzun, 1978; Hajek 1981; Hajek e Rubio, 1982). Em geral a bibliografia é bastante vasta, a seguir destacam-se alguns trabalhos importantes com enfoque em diversas partes do mundo, incluindo na Califórnia.

Smoyer (1998) realizou uma análise das ondas de calor em St. Louis, Missouri, nos anos 1980 e 1995, em associação com a mortalidade, para pessoas com mais de 64 anos. Neste trabalho as ondas de calor foram definidas nos dias onde a temperatura aparente excedeu os 40,6°C. Os resultados mostraram que a onda de calor de 1980 foi mais severa e teve maior associação com a mortalidade do que a onda de calor de 1995.

Lee (2015) mostrou que a variabilidade do dia-a-dia nas DCV está correlacionada com várias variáveis meteorológicas diferentes, que podem variar geograficamente. O artigo examina a relação entre a mortalidade por DCV em inverno e os tipos de clima para diferentes regiões climáticas dos EUA. Seus resultados indicam que, para todos os locais examinados, durante o

inverno, um clima seco e frio está significativamente relacionado ao aumento da mortalidade por DCV. Em contraste, o clima úmido e quente exibiu uma relação significativa e oposta à do frio e do seco. Esse resultado pode estar relacionado às diferenças climáticas entre as regiões.

Na Califórnia, destaca-se, o trabalho de Guo et al. (2011), que mostraram como apenas a queda da temperatura em mais de 3°C em Los Angeles, esteve significativamente associada à mortalidade cardiovascular. Outro exemplo, está discutido em Basu et al. (2008) que examinaram a associação entre a temperatura aparente diária média e a mortalidade não acidental em 9 condados em toda a Califórnia de maio a setembro de 1999-2003, onde um aumento de 10°F na média da temperatura aparente diária pode contribuir num aumento de 2,3 % na mortalidade.

1.4. Caracterização do problema e justificativa

A população idosa tem aumentado consideravelmente em todo o mundo. Somente no ano de 2015, o número aproximado de pessoas com 60 anos ou mais foi de 901 milhões, compreendendo 12% da população global. Estimativas das Nações Unidas (United Nations, 2015) preveem que o número de pessoas idosas no mundo deverá ser de 1,4 bilhão em 2030 e de 2,1 bilhões em 2050 e pode ascender a 3,2 bilhões em 2100.

Por outro lado, os idosos constituem uns dos grupos mais vulneráveis aos efeitos adversos das mudanças climáticas. Devido a serem fisiologicamente, financeiramente e emocionalmente menos capazes de se adaptar em curto prazo com variações ambientais que excedem suas capacidades de regulação. Neste sentido, o desenvolvimento de pesquisas relacionadas com as influências do clima na saúde desta faixa etária, tem despertado a atenção da comunidade acadêmica, principalmente em regiões como a Santa Bárbara e Orange na Califórnia, onde pouco se conhece ou se sabe dessas interações ambientais (variáveis de poluição do ar e meteorológicas) e seus efeitos na mortalidade.

1.5. Objetivos

O objetivo principal desta pesquisa é avaliar a influência das variáveis ambientais na mortalidade por DCV e RES nos condados da Califórnia: Santa Bárbara, Orange e Los Angeles, utilizando o emprego da modelagem estatística através da análise de coeficientes multivariada.

Com o fim de mostrar aparição das doenças RES e DCV em função dos poluentes do ar, variáveis meteorológicas e índices de conforto térmico (tais como temperaturas efetivas), tem-se como objetivos específicos: Analisar o efeito dos índices de conforto térmico, das variáveis meteorológicas e níveis de poluição atmosférica sobre a mortalidade por DCV e RES em

pessoas com mais de 65 anos, utilizando ferramentas estatísticas (Análise de correlação e Análise de componentes principais).

CAPÍTULO 2 – DADOS E METODOLOGIA

2.1. Características climáticas da Califórnia

O estado da Califórnia, localizado na região do Pacífico dos EUA, constitui o terceiro mais extenso por área depois do Alasca e do Texas, sendo o estado mais populoso do país com 39,5 milhões de habitantes de acordo com o US Census Bureau. Dada a sua grande extensão e sua diversidade geográfica, a Califórnia é caracterizada por uma grande variedade de climas. Diferentes regiões possuem diferentes condições climáticas, e isto varia de acordo com a latitude, distância em relação ao oceano, altitude e presença de obstáculos geográficos (como serras e cadeias de montanhas).

A temperatura média da Califórnia no verão é de 25°C. As menores temperaturas médias são registradas nas regiões de maior altitude, no Nordeste e ao longo do litoral. Nestas regiões, a temperatura média é inferior a 20°C. Estas regiões possuem mínimas variando entre 6°C e 18°C, e máximas variando entre 20°C e 34°C. Já o Leste e particularmente o Sudeste possuem altas temperaturas médias no verão com valores superiores aos 33°C. Nestas regiões semidesérticas as mínimas podem chegar até 2°C, e as máximas podem atingir os 50°C (LaDochy et al 2007).

No entanto, a maior parte do estado possui um clima temperado mediterrâneo, com apenas duas estações bem definidas, com invernos chuvosos e verões secos especialmente no Sul e ao longo do litoral. A proximidade do Oceano Pacífico torna os verões mais frios e os invernos mais amenos. Por sua vez, no interior do Estado caracteriza-se por ter verões muito quentes e invernos frios (McADie, 1902; Gershunov e Guirguis, 2012).

2.2. Descrição dos dados

2.2.1 Dados de mortalidade

Os dados de mortalidade dos condados de Los Angeles, Orange e Santa Bárbara foram fornecidos pelo Centro Nacional de Estatísticas de Saúde dos respectivos condados, para o período 1975-2005. Na base de dados final são mantidos apenas os registros de óbitos cujas iniciais na Classificação Internacional de Doenças (CID-9 e CID-10) correspondem a cada uma das duas causas, DCV (CID10 “I”, CID9: 390-459) e doenças RES (CID10 “J”, CID-9: 460-519). As alterações do código em 1999 também estão incluídas nesta análise. Além disso, para manter a mortalidade apenas de idosos foram considerados óbitos de pessoas com 65 anos ou mais.

2.2.2 Dados meteorológicos

Foram utilizados dados diários das seguintes variáveis: temperatura do ar (média diária, máxima e mínima), temperatura do ponto de orvalho (média diária, máxima e mínima), umidade relativa (média diária, máxima e mínima), umidade específica (média diária, máxima e mínima), pressão atmosférica e velocidade do vento, para o período de 1975-2005. A seguir na tabela 2.1 (anexo) é dada uma lista das estações meteorológicas onde foram coletados os dados.

Nesta análise a umidade relativa (**UR**) foi calculada como a razão entre a pressão parcial de vapor d'água (e) e a pressão de saturação do vapor d'água (e_s).

$$UR = \frac{e}{e_s} 100 \quad (2.1)$$

Por sua vez, a umidade específica (**q**) foi calculada a partir da pressão parcial do vapor d'água (e) e da pressão atmosférica (P):

$$q = \frac{\epsilon e}{P - e(1 - \epsilon)} \quad (2.2)$$

Onde $\epsilon = 0.622$ é uma constante que expressa a razão entre o peso molecular da água e o peso molecular do ar seco.

Os dados de e_s foram obtidos a partir da integração da equação de Clausius-Clapeyron, a qual estabelece uma relação direta entre e_s e a temperatura ($e_s = f(T)$), (Bolton, 1980):

$$e_s = 6.11 \exp\left(\frac{17,67 T}{T + 243,5}\right) \quad (2.3)$$

Onde T é a temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$).

A equação 2.3 também foi usada para o cálculo de e , já que em um mesmo nível isobárico

$e(T) = e_s(T_d)$. Logo:

$$e = 6.11 \exp\left(\frac{17,67 T_d}{T_d + 243,5}\right) \quad (2.4)$$

Onde T_d é a temperatura de ponto de orvalho ($^{\circ}\text{C}$).

2.2.3 Dados dos poluentes atmosféricos

Foram estudadas as concentrações máximas diárias dos gases O_3 , NO_2 e CO , e as médias diárias de SO_2 coletados em diversas estações fixas espalhadas pelos três condados de interesse (tabela 2.3 no anexo). Com o propósito de reduzir o banco de dados a um valor diário para cada poluente por condado, foi calculado o coeficiente de correlação linear (de Pearson) entre as estações de cada condado. No caso onde observou-se correlação ($> 0,70$) foram feitas as médias entre estas estações.

2.3. Métodos adotados nas análises

2.3.1. Padronização dos dados

O conjunto de dados (poluentes, parâmetros meteorológicos e mortalidade), por possuírem unidades físicas (escalas) diferentes, foram normalizados, com a finalidade de remover a influência da localização e extensão deste conjunto. Neste processo, as unidades físicas do conjunto de dados são canceladas, tornando-as quantidades adimensionais. Com esse fim, foi utilizada a seguinte equação:

$$z_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{s(x_j)}, \quad i = 1, 2, \dots, p \quad e \quad j = 1, 2, \dots, p \quad (2.5)$$

onde, \bar{x}_j e $s(x_j)$ são, respectivamente, a estimativa da média e o desvio padrão da característica j.

2.3.2. Coeficiente de correlação de Pearson

O coeficiente de correlação é o resultado da divisão da covariância amostral de X e Y, pela raiz quadrada do produto das variâncias amostrais de X e Y, ou:

$$r = \frac{\sum(X - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(X - \bar{X})^2 \sum(Y - \bar{Y})^2}} \quad (2.6)$$

onde X e Y são variáveis (Bunchaft e Kellner, 1999).

O coeficiente mede o grau de dependência linear entre duas variáveis da amostra, pode variar entre -1 (correlação negativa perfeita) e +1 (correlação positiva perfeita). Se existe relação direta, é positivo. Se a relação é inversa, é negativo. Um valor de $r = 0$ representa ausência de correlação.

2.3.2.1. Metodologia de bootstrap

Para determinar a existência de correlações significativamente diferente de zero, foram analisadas as variáveis usando a metodologia de bootstrap (Efron, 1979). O objetivo da aplicação do método neste trabalho é realizar contrastes de hipóteses sobre o parâmetros de interesse (o coeficiente de correlação) ré-amostrando da própria amostra observada.

2.3.4. Análise das componentes principais

A análise das componentes principais (ACP) é uma técnica da estatística multivariada introduzido por Karl Pearson (1901), com o objetivo principal de captar a estrutura de variância-

covariância de um vetor aleatório, através da construção de combinações lineares das variáveis originais.

Neste trabalho, o objetivo da ACP consiste em transformar p variáveis originais correlacionadas (mortalidade, parâmetros meteorológicos e poluentes) em k componentes ortogonais (não correlacionadas), sendo estas componentes combinações lineares das variáveis originais, conservando-se a variância original.

Os componentes principais foram determinados resolvendo-se a equação característica da matriz ($\det(R - \lambda I)v = 0$). A partir das raízes da equação característica (os autovalores λ_i , onde $\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3 \dots, \lambda_i$), obteve-se os autovetores v_i os quais são normalizados, isto é, a soma dos quadrados dos coeficientes é igual a 1, e ainda são ortogonais entre si, logo o i-ésimo componente principal foi dado por:

$$Y = a_{i1}X_1 + a_{i2}X_2 + \dots + a_{ip}X_p \quad (2.7)$$

O peso dos fatores (factor loadings), uma das mais importantes informações da ACP, foi obtido a partir da correlação entre cada X_j e o componente Y_i :

$$\text{corr}(Y_i, [X_1, \dots, X_p]) = \sqrt{\frac{\lambda_i}{s_p}} v_i \quad (2.8)$$

onde s_p é a variância das variáveis originais (igual a 1 quando utilizamos a matriz de correlação) (Jackson, 1991).

2.3.5. Estrutura de defasagem (“lag”)

As manifestações biológicas dos efeitos da poluição e das variáveis meteorológicas sobre a saúde, aparentemente, apresentam um comportamento que mostra uma defasagem em relação à exposição do indivíduo a estes agentes.

Optou-se por utilizar dois diferentes tipos de defasagem: 1) médias móveis para todas as variáveis, variando de 2 até 5 dias; e 2) adiantando as doenças RES e DCV para o dia anterior, também variando até 5 dias.

2.4. Cálculo dos índices de conforto térmico

O conforto térmico foi definido por Hensen (1991), como “um estado em que não há impulsos de condução para corrigir o ambiente pelo comportamento”, a Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado (ASHRAE) a definiu como “a condição da mente em que a satisfação é expressa com o ambiente térmico”, muitos autores expressam que há "conforto térmico" quando as pessoas não experimentam uma sensação de

calor ou frio; isto é, quando as condições de temperatura, umidade e movimentos do ar são favoráveis à atividade que desenvolvem.

Neste trabalho foram calculados seguindo as referências oito índices de estresse térmico como se mostra na tabela 2.4

Tabela 2.4 - Índices de estresse térmico selecionados neste estudo

Índice de Esstresse Térmico	Referência
Índice de desconforto (ID)	Thom (1959)
Índice de Kawamura (ID _K)	Ono and Kawamura (1991)
Índice de Temperatura Efetiva (TE)	Missenard (1937)
Índice Temperatura Efetiva dependendo do Vento (TE _V), Temperatura Aparente (AP)	Suping et al. (1992)
Índice de Calor (IC)	Steadman (1984)
Índice de temperatura e resfriamento pelo o vento “Windchill” (H)	Steadman (1979)
	Siple and Passel (1945)
	Court (1948)

CAPÍTULO 3 – RESULTADOS

3.1. Panorama geral da mortalidade por DCV e RES nos condados de Orange, Los Angeles e Santa Bárbara.

As séries temporais das DCV e RES durante o período 1975-2005 nos condados de Los Angeles, Orange e Santa Bárbara são mostradas nas figuras 3.1, 3.2 e 3.3 (no anexo), respectivamente. Observa-se como a mortalidade por DCV e RES no condado de Los Angeles refletem tendências opostas. Enquanto as doenças RES têm um aumento bastante lento, cerca de 1 caso por década, as DCV apresentam uma diminuição constante, 14 casos por década.

A tendência de diminuição das DCV ao longo das últimas décadas é provavelmente devido a processos de adaptação, existe um conjunto de fatores influentes desta queda, por exemplo, melhores cuidados da saúde a partir da adoção de políticas de prevenção, o desenvolvimento da tecnologia e a criação de fármacos mais eficazes (Jemal et al., 2005). Neste sentido o relatório

global da Organização Mundial da Saúde (OMS) em 2005 estima que, de 1970 a 2000, 14 milhões de mortes por DCV foram evitadas apenas nos EUA. Além disso, existe uma maior conscientização da população sobre os impactos biofísicos da exposição tanto do frio quanto ao calor (Davis et al., 2003).

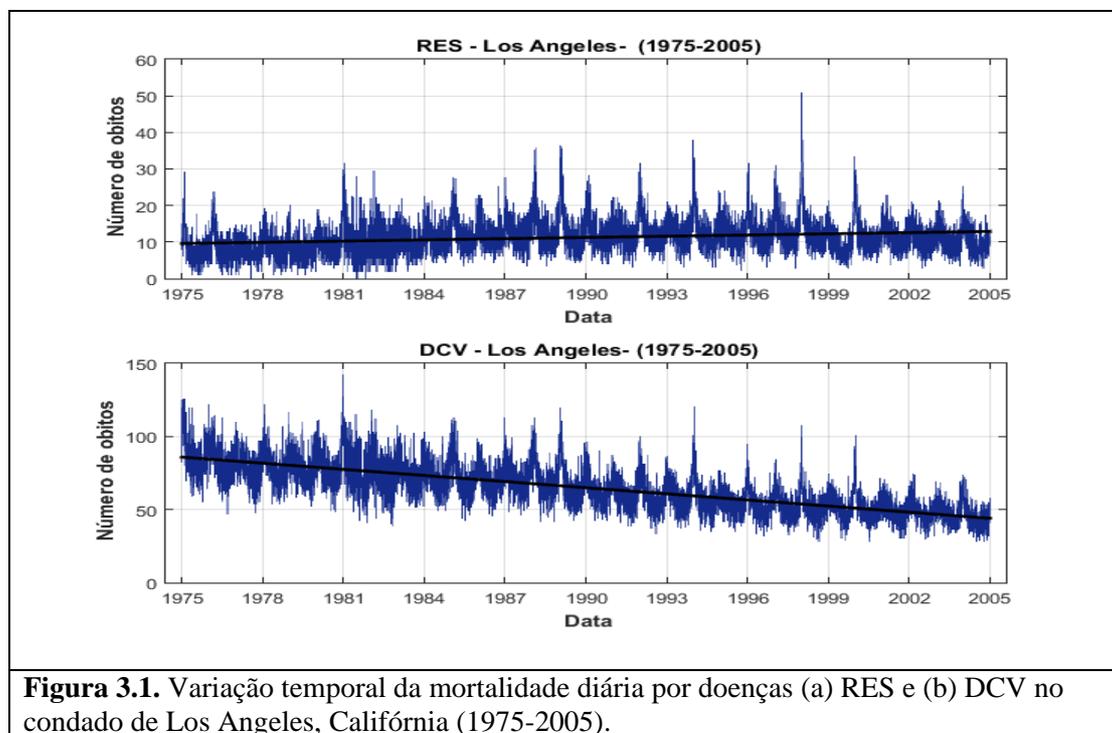


Figura 3.1. Variação temporal da mortalidade diária por doenças (a) RES e (b) DCV no condado de Los Angeles, Califórnia (1975-2005).

Por sua parte, o ligeiro aumento de mortalidade por doenças RES nos 30 anos de estudo pode ser devido tanto a diferentes fatores sociais quanto ambientais. Um exemplo é o aumento do tabagismo, a qual constitui primeira causa de doenças no aparato respiratório, câncer de pulmão, obstruções pulmonares crônicas, assim como também um auge de doenças infecciosas (tuberculoses, pneumonia), também as enfermidades que diminuem o sistema imunológico, tudo isso pode ter sido acompanhado por variações das condições climáticas. (OMS, 2012; Gutierrez, 2011).

3.2 Análises de correlação

A seguir são apresentados os resultados obtidos na análise de correlação, como uma primeira análise exploratória, entre as variáveis estudadas (mortalidade por DCV e RES, parâmetros meteorológicos, níveis de poluição e índices de conforto), inclusive utilizando as estruturas de defasagem (“lag”), para cada um dos condados de interesse. Para cada conjunto de variável da análise foi aplicado a metodologia de bootstrap, com o objetivo de determinar a existência de correlações significativamente diferente de zero.

Neste caso são apresentados os resultados das correlações entre variáveis meteorológicas e Índices de estresse térmico com as DCV para o condado de Los Angeles (tabela 3.1).

Tabela 3.1 – Correlações entre as DCV e as variáveis analisadas* para vários dias com atraso e sem atraso no condado de Los Angeles. Valores das variáveis estatisticamente significativos para $p < 0,05$. Em negrito os valores estatisticamente não significativos.

Variáveis	Sem atraso	1 dia atraso	2 dias atraso	3 dias atraso	4 dias atraso	5 dias atraso
CO	0,446	0,445	0,443	0,446	0,435	0,435
O ₃	-0,015	-0,015	-0,018	-0,041	-0,054	-0,058
NO ₂	0,380	0,372	0,360	0,347	0,332	0,333
SO ₂	0,109	0,109	0,108	0,107	0,106	0,105
P	0,226	0,237	0,245	0,239	0,237	0,241
T _{MAX}	-0,099	-0,111	-0,133	-0,144	-0,153	-0,156
T _{MIN}	-0,349	-0,364	-0,375	-0,375	-0,372	-0,372
T	-0,268	-0,279	-0,295	-0,305	-0,307	-0,308
T _d	-0,364	-0,382	-0,389	-0,387	-0,382	-0,385
UR	-0,273	-0,289	-0,287	-0,279	-0,273	-0,274
q	-0,384	-0,400	-0,407	-0,406	-0,403	-0,405
V	-0,064	-0,054	-0,044	-0,035	-0,026	-0,031
ID	-0,295	-0,305	-0,320	-0,327	-0,328	-0,329
ID _{MAX}	-0,172	-0,186	-0,206	-0,213	-0,222	-0,225
ID _{MIN}	-0,340	-0,352	-0,362	-0,362	-0,359	-0,360
ID _K	-0,339	-0,354	-0,368	-0,375	-0,374	-0,375
ID _K _{MIN}	-0,373	-0,389	-0,399	-0,399	-0,395	-0,396
ID _K _{MAX}	-0,223	-0,240	-0,261	-0,269	-0,275	-0,278
TE	-0,312	-0,323	-0,338	-0,345	-0,346	-0,347
TE _{MAX}	-0,173	-0,188	-0,209	-0,217	-0,225	-0,228
TE _{MIN}	-0,357	-0,371	-0,380	-0,380	-0,377	-0,377
TA	-0,315	-0,327	-0,343	-0,351	-0,351	-0,352
TA _{MAX}	-0,173	-0,188	-0,209	-0,219	-0,226	-0,229
IC	0,072	0,069	0,053	0,042	0,032	0,033
TE _V	-0,246	-0,254	-0,270	-0,280	-0,282	-0,283
TE _V _{MAX}	-0,111	-0,123	-0,144	-0,154	-0,163	-0,165
TE _V _{MIN}	-0,320	-0,331	-0,343	-0,345	-0,343	-0,342
H	0,225	0,238	0,257	0,269	0,273	0,273
H _{MIN}	0,312	0,328	0,343	0,346	0,346	0,345

*Onde: P (Pressão atmosférica), T (Temperatura), UR (Umidade relativa), q (Umidade específica), V (Velocidade do vento), Índices: MAX (Máxima) e MIN (Mínima).

3.3 Análises de componentes principais (ACP)

3.3.1 ACP aplicada aos Índices de conforto térmico

Com o objetivo de encontrar associações entre as doenças e o desconforto das pessoas durante condições adversas foi aplicada a ACP para os três condados durante o período de estudo.

Tabela 3.4 – Pesos das componentes principais após a rotação VARIMAX incluindo os índices de conforto térmico na análise da mortalidade por DCV e RES, para o condado de Los Angeles.

Variável	Fator1	Fator2	Fator3	Variável	Fator1	Fator2	Fator3
DCV	-0,32	0,64	0,15	RES	-0,47	0,18	0,61
CO	-0,04	0,83	-0,38	CO	-0,43	0,78	0,09
O3	0,29	0,15	0,85	O ₃	0,61	0,23	-0,35
NO2	0,15	0,88	0,08	NO ₂	-0,06	0,90	-0,20
SO2	0,07	0,84	0,08	SO ₂	-0,12	0,84	-0,23
ID	0,90	-0,13	0,36	ID	0,96	0,13	0,15
IC	0,70	0,29	-0,18	IC	0,44	0,44	0,50
TEv	0,73	-0,36	0,47	TEv	0,93	-0,14	0,02
H	-0,90	0,00	-0,31	H	-0,89	-0,27	-0,14
Autovalor	3,50	2,73	0,84	Autovalor	3,55	2,53	0,89
Var expl.	38,92	30,30	9,30	Var expl.	39,45	28,13	9,85

Quanto à mortalidade por doenças RES, verificou-se uma sazonalidade menos marcada do que no caso das DCV. Por outro lado, na tabela 3.4, mostrasse como o primeiro fator reflete as características do inverno no condado, onde as correlações inversas entre os índices de conforto térmico e a mortalidade indicam que uma diminuição das temperaturas pode trazer consigo aumentos do número de óbitos por doenças RES. O segundo fator, também como no caso das DCV, mostrou fortes correlações entre os poluentes CO, NO₂ e SO₂, mas seu impacto nas doenças RES não é estatisticamente claro. Entretanto o terceiro fator estabeleceu uma relação positiva entre a mortalidade por doenças RES e o IC, sendo um indicador do clima do verão em Los Angeles, em que as altas temperaturas podem incidir no aumento da mortalidade, mas de maneira menos pronunciada, refletida na menor explicação da variância deste fator. Ou seja, quando as pessoas sentem estresse devido ao calor, por exemplo, pode aumentar o número de mortes por doenças RES. Concluindo-se a mortalidade por doenças RES está mais associada neste condado às variações meteorológicas do que às concentrações de poluentes.

No condado de **Orange** na ACP (tabela 3.5) note-se que o comportamento da mortalidade por DCV não tem uma sazonalidade tão marcada como no caso de Los Angeles. No primeiro fator estabelece relações típicas de inverno onde o aumento da mortalidade por DCV estão associadas com o estresse por frio e a umidade (via índices de conforto ID) ou vento (via índice H), ou seja,

uma queda das temperaturas pode ocasionar um crescimento na mortalidade por DCV. Entretanto o segundo fator apresenta associações positivas entre os poluentes (exceto o O₃) e a mortalidade, embora com baixos valores. Comparado com Los Angeles as baixas associações podem ser devidas ao fato de que a contaminação por poluentes no condado é muito menor, por exemplo, as concentrações médias de CO, NO₂ e SO₂ neste condado são de 2,50 ppm, 0,046 ppm e 0,0028 ppm, respectivamente, entretanto em Los Angeles são de 5,55 ppm, 0,070 ppm e 0,0044 ppm, respectivamente. Por último o fator 3 relaciona às DCV com o estresse por calor (através do IC), por exemplo, em episódios de ondas de calor a população fica mais exposta e acrescenta o número de óbitos por DCV. É importante destacar que o maior peso das DCV foi para este fator, diferentemente ao condado de Los Angeles. Ou seja, as DCV em Orange estão mais associadas com os índices de conforto (principalmente o IC) que com os níveis de poluição, embora com menor variância explicada.

Tabela 3.5 – Pesos das componentes principais após a rotação VARIMAX incluindo os índices de conforto térmico na análise da mortalidade por DCV e RES, para o condado de Orange.

Variável	Fator1	Fator2	Fator3	Variável	Fator1	Fator2	Fator3
DCV	-0,35	0,20	0,50	RES	-0,34	-0,01	0,65
CO	-0,31	0,84	0,11	CO	-0,30	0,85	0,11
O ₃	0,71	0,18	-0,03	O ₃	0,70	0,17	-0,03
NO ₂	-0,08	0,88	0,01	NO ₂	-0,09	0,88	0,05
SO ₂	0,11	0,80	0,02	SO ₂	0,11	0,80	-0,09
ID	0,94	-0,22	-0,01	ID	0,94	-0,23	-0,04
IC	0,23	-0,04	0,87	IC	0,29	0,04	0,76
TEv	0,96	-0,17	0,03	TEv	0,96	-0,18	0,00
H	-0,94	0,11	-0,05	H	-0,94	0,12	-0,03
Autovalor	3,79	2,02	0,99	Autovalor	3,76	2,01	1,02
Var expl.	42,16	22,44	10,97	Var expl.	41,70	22,40	11,36

No caso das doenças RES reflete-se o comportamento obtido para o condado de Los Angeles. O primeiro fator estabelece as relações inverniais expostas anteriormente, ou seja, uma queda de temperatura pode aumentar o estresse por frio e consigo um aumento da mortalidade por doenças RES. O fator 2 está associado aos poluentes (exceto O₃) e sua correlação com as doenças RES é praticamente inexistente. Por último o fator três estabelece a relação direta entre o número de óbitos por doenças RES e o IC, logo devido ao um aumento da temperatura, o qual pode acontecer também com uma onda de calor, pode aumentar a mortalidade. Logo no condado de Orange a mortalidade por RES também pode ser mais condicionada devido as influências do tempo sobre a população idosa do que devido à contaminação do ar.

Em geral os resultados da ACP utilizando os índices de conforto térmico no condado de **Santa Bárbara** (tabela 3.6) mostraram que tantos episódios de frio quanto de calor podem não causar impactos claros na população idosa, com respeito a ambos os grupos de doenças. Neste sentido observou-se que o número de óbitos por DCV pode estar mais associado com correlações positivas entre os poluentes, embora as correlações sejam mais baixas do que nos condados anteriores, devido possivelmente aos níveis de poluição ser mais baixos em Santa Bárbara. O mais relevante deste condado é que apesar das concentrações de SO₂ sejam as mais baixas das estudadas (média de 0,29 ppb), apresentou boas correlações positivas principalmente com as DCV.

Tabela 3.6 – Pesos das componentes principais após a rotação VARIMAX incluindo os índices de conforto térmico na análise da mortalidade por DCV, considerando a) dias sim atraso e b) 5 dias de atraso para o condado de Santa Bárbara.

Variável	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4	Variável	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4
DCV	0,16	-0,25	0,82	-0,47	RES	0,15	-0,05	0,93	-0,31
CO	0,32	-0,72	0,00	0,19	CO	0,31	-0,72	-0,10	-0,15
O ₃	-0,35	-0,46	0,05	0,05	O ₃	-0,36	-0,45	-0,07	-0,06
NO ₂	0,17	-0,82	-0,02	0,24	NO ₂	0,16	-0,83	-0,10	-0,18
SO ₂	0,02	-0,39	0,53	0,75	SO ₂	0,02	-0,40	0,30	0,87
ID	-0,97	0,04	0,05	-0,03	ID	-0,97	0,05	0,03	-0,01
IC	-0,51	-0,37	-0,03	0,15	IC	-0,51	-0,37	0,05	-0,13
TEv	-0,98	-0,02	0,04	-0,02	TEv	-0,98	0,00	0,03	-0,01
H	0,94	0,09	-0,03	0,03	H	0,94	0,08	-0,04	0,00
Autovalor	3,33	1,75	0,97	0,91	Autovalor	3,33	1,73	0,98	0,93
Var expl.	36,95	19,47	10,82	10,12	Var expl.	36,98	19,17	10,94	10,29

Contudo observou-se que no caso do condado de Los Angeles as DCV apresentaram altos pesos positivos com as concentrações de poluentes. Por outro lado, as doenças RES apresentaram associações com os índices de conforto térmico, no primeiro fator as correlações inversas entre eles indicam que a diminuição de temperatura aumenta o número de óbitos por doenças RES, e o terceiro fator embora com menor variância explicada segurem associações positivas entre o número de óbitos e o IC. Para o condado de Orange tanto as DCV quanto as doenças RES mostraram associações com os índices de conforto, principalmente associações positivas com o IC no fator 3, com maior peso e variância explicada para as doenças RES neste fator comparado com as DCV. Por último no caso de Santa Bárbara os resultados foram diferentes em relação aos outros dois condados, mostrando apenas associações positivas entre os níveis de SO₂ e o número de óbitos por DCV.

4. CONCLUSÕES

Verificou-se uma variação sazonal significativa tanto para as doenças RES quanto para as DCV, nos três condados: Los Angeles, Santa Bárbara e Orange no período 1975-2005. Com uma queda da mortalidade nos meses de verão e um aumento nos meses de inverno.

As distribuições temporais dos níveis de poluição (CO, SO₂, NO₂ e O₃) durante o período de estudo (1980-2005) mostraram uma queda generalizada e acentuada nos três condados.

Com respeito aos eventos extremos de poluição, o condado de Los Angeles ultrapassou os padrões nacionais de qualidade do ar para o poluente CO (20 ppm) 136 vezes no período, para o NO₂ (0,19 ppm) 154 vezes, para o O₃ (0,09 ppm) 1443 vezes e para o SO₂ (0,04 ppm) duas vezes. Por sua vez o condado de Orange teve uma ultrapassagem para o CO, 43 para o NO₂ e 771 para o O₃. Entretanto o condado de Santa Bárbara apresentou apenas violações do padrão de qualidade do ar para o O₃ com 114.

A partir dos índices de conforto térmico notou-se que o condado mais estressante devido ao calor foi Los Angeles, comparado com Orange e Santa Bárbara. Por exemplo, considerando o índice de desconforto de Thom (ID) e o índice de desconforto de Kawamura (ID_K) houve 74 dias acima do limite crítico de 29°C para ID e 65 dias com valores superiores a 80°C para ID_K. Usando a temperatura aparente (TA) o intervalo de forte estresse (valores entre 35°C e 40°C) foi atingido 22 vezes no condado de Los Angeles, majoritariamente no mês de setembro (9), 15 vezes em Santa Bárbara e 17 vezes em Orange, principalmente no mês de julho (5 e 7 vezes respectivamente). Quando foi usado o índice de calor (IC) observou-se 6 dias durante todo o período de extremo perigo para o calor (maior que 54°C), 3 dias no condado de Los Angeles (18 de Junho de 1981, 5 de setembro de 1988 e 4 de maio de 2004) e 3 dias no condado de Santa Bárbara (2, 3 de novembro e 7 de julho de 1992).

Com base na análise de correlação entre as variáveis, observaram-se as melhores correlações entre as variáveis e as doenças tanto RES quanto DCV no condado de Los Angeles, assim como as correlações mais baixas para o condado de Santa Bárbara.

Para o condado de Los Angeles verificou-se melhores associações entre os poluentes CO e NO₂ com as DCV principalmente considerando o próprio dia em questão ($r=0,446$ e $r=0,380$). Por sua vez as variáveis meteorológicas estiveram mais bem correlacionadas para o segundo dia (temperatura mínima ($r=-0,375$), temperatura de ponto de orvalho ($r=-0,389$) e umidade específica ($r=-0,407$)). Entretanto os índices mostraram melhores associações para o quinto dia, exceto quando são calculados usando a temperatura mínima, neste caso as correlações estão no segundo e terceiro dia (ID_{K_MIN} ($r=0,399$)). Com respeito às doenças RES verificou-se melhores correlações embora negativas com a temperatura mínima ($r=-0,409$), os índices ID e ID_K quando

são calculados a partir da temperatura mínima ID_{MIN} ($r=-0,401$) e $ID_{K_{MIN}}$ ($r=-0,410$) para o quinto dia de atraso.

Na ACP para os condados mostrasse que o condado de Los Angeles as DCV apresentaram altos pesos positivos com as concentrações de poluentes. Além disso, o primeiro fator mostrou relações inversas com os índices de conforto térmico ID, IC e TEv (que a maioria dos autores associam com estresse por) assim como uma relação positiva com H (indicador de estresse por frio), logo com o decaimento das temperaturas as pessoas são mais susceptíveis a mortalidade por DCV.

Por outro lado, as doenças RES apresentaram associações com os índices de conforto térmico, no primeiro fator (variância explicada de 39,45 %) as correlações inversas entre eles indicam que a diminuição de temperatura aumenta o número de óbitos por doenças RES, e o terceiro fator com maior peso das doenças RES (0,61 contra -0,41) segurem associações positivas entre o número de óbitos e o IC, sendo um indicador do clima do verão em Los Angeles, onde as altas temperaturas podem incidir no aumento da mortalidade, mas de maneira menos pronunciada, na menor explicação da variância deste fator (9,85 %). Contudo a mortalidade por doenças RES está mais associada neste condado às variações meteorológicas do que às concentrações de poluentes, como no caso das DCV, ainda que com menos explicação da variância.

Para o condado de Orange tanto as DCV quanto as doenças RES mostraram associações com os índices de conforto, no primeiro fator (variância explicada de 42,16 % e 41,54 % para as DCV e RES, respectivamente) estabeleceram as características invernais do condado, onde uma queda da temperatura aumenta o estresse por frio e consigo um aumento da mortalidade. Igualmente foram observadas no terceiro fator relações positivas da mortalidade com o estresse por calor (através do IC), principalmente para as doenças RES tanto em peso (0,66 contra 0,55) quanto em variância explicada (11,20 % contra 10,97 %). Igualmente comparado com Los Angeles, as doenças RES também mostraram maior variância explicada neste fator associado com IC. Por outro lado, a mortalidade em Orange tanto por DCV quanto por doenças RES esteve fracamente associada aos níveis de poluição.

Para o condado de Santa Bárbara, os resultados da ACP utilizando os índices de conforto térmico foram muito diferentes, comparados com os obtidos nos condados de Los Angeles e Orange. Já que tanto episódios de frio quanto de calor não mostraram impactos claros na população idosa, com respeito a ambos os grupos de doenças. O mais relevante deste condado é que apesar das concentrações de SO_2 sejam as mais baixas das estudadas (média de 0,29 ppb), apresentou boas correlações positivas principalmente com as DCV.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARB, 2011. Air Resources Board. Disponível em: <http://www.arb.ca.gov/research/aaqs/no2-rs>.
- Basu, R.; Feng, W. F e Ostro, B.; 2008. Characterizing temperature and mortality in nine California counties. *Epidemiology*, 19 (1): 138-145.
- Bunchaft e Kellner, 1999 Estatística sem mistérios. 1999.
- Bureau de Censo dos Estados Unidos: disponível em: <https://www.census.gov/>
- Efron, B.; 1979. Bootstrap Methods: Another Look at the Jackknife. *Ann. Statist.*, 7 (1): 1-26.
- Fanger, P. O.; 1970: Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering. New York, McGraw-Hill Book Company. 244p.
- Gershunov, A e Guirguis, K; 2012. California Heat Waves in the present and future. *Geophysical Research Letters*, 39(18).
- Giles, B. D. et al.; 1990: Too hot for comfort. The heat waves in Greece in 1987 and 1988. *Int J Biometeorol*, 34: 98-104.
- Gobo, 2018. Bioclimatologia Subtropical e Modelização do Conforto Humano: De Escala Local á Regional. *Tese de Doutorado*. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Departamento de Geografia USP, SP.
- Guo, Y.; Barnett A.G.; Yu, W.; Pan, X.; Ye. X.; Huang, C.; Tong, S.; 2011: A large change in temperature between neighbouring days increases the risk of mortality. *PLoS One* 6 (2): 16511.
- Haq, G; Whitelegg, L.; Kohler, M.; 2008. Growing old in a changing climate. New York: Stockholm Environment Institute.
- Hensen, J. L. M. (1991). On the thermal interaction of building structure and heating and ventilating system Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven.
- Hoshiko, S.; English, S. P.; Smith, D. e Trent, R.; 2010. A simple method for estimating excess mortality due to heat waves, as applied to the 2006 California heat wave. *International journal of public health* 55(2): 133-137.
- Humphreys, M. A.; Nicol, J. F., 1998: Understanding the adaptive approach to thermal comfort. ASHRAE Transactions; Atlanta 104: 991.
- Karl Pearson 1901. LIII. On lines and planes of closest fit to systems of points in space. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*. Series 6, 2 (11): 559-572.
- Larsen, U.; 1990: The effects of monthly temperature fluctuations on mortality in the United States from 1921 to 1985. *Int J Biometeorol*. 34 (3): 136-145.
- Lee, C. C.; 2015: A systematic evaluation of the lagged effects of spatiotemporally relative surface weather types on wintertime cardiovascular-related mortality across 19 US cities. – *Int. J. Biometeor.* 59: 1633-1645.

- Matsudo, S. M.; Matsudo, V. K. R. e Barros Neto, T. L.; 1996. Atividade física e envelhecimento: aspectos epidemiológicos. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, 7 (1).
- McAdie, A.; 1902. Climatology of California. *Trans Am Climatol Assoc*, 18: 103-112.
- Sartori, M. G. B.; 2000: Clima e Percepção. (vol. 1 e 2). *Tese de doutorado*. Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, SP.
- Siple, P.A. e Passel, C. F.; 1945: Measurements of dry atmospheric cooling in subfreezing temperatures. *Proc. Am. Philos. Soc.*, 89: 177-99.
- Smoyer, K. E.; 1998: A comparative analysis of heat waves and associated mortality in St.Louis, Missouri – 1980 and 1995. *Int. J. Biometeorol.*, 42: 44-50.
- Steadman, R.G.; 1979. The assessment of sultriness. Part I: a temperature-humidity index based on human physiology and clothing science. *J. Appl. Meteorol.*, 18: 861-873.
- Thom, E. C.; 1959. The discomfort index. *Weatherwise* 12: 57-60.
- Tromp, S.W.; 1963a. Medical Biometeorology. *Elsevier*. Amsterdam.
- Tromp, S.W., 1963b. Human Biometeorology. *Int. J. Biometeor.* 7: 154-158.
- Tromp, S.W.; 1964. A simple water bath test for estimating the thermoregulation efficiency of man. *Int. J. Biometeor.*, 7 (3): 291–296.
- United Nations, 2015. World Population Prospects: The 2015 Revision, Key Findings and Advance Tables. *Department of Economic and Social Affairs, Population Division*, Working Paper No. ESA/P/WP.241.
- Zanobetti, A; O'Neill, M. S.; Gronlund, C. J. e Schwartz, J. D.; 2012: Summer temperature variability and long-term survival among elderly people with chronic disease. *Proc Natl Acad Sci USA*, 109 (17): 6608–6613.

ANEXOS

Tabela 2.1 – Estações meteorológicas utilizadas para o período 1975-2005, nos condados de Califórnia: Los Angeles, Orange e Santa Bárbara.

Condado	Estação	Latitude	Longitude
Los Angeles	722950 - Aeroporto Internacional de Los Angeles	33.93	-118.38
Orange	722977 - Aeroporto Internacional John Wayne NewPort	33.68 33.62	-117.86 -117.94
Santa Bárbara	723925 - Aeroporto Municipal de Santa Bárbara	34.42	-119.84

Tabela 2.2 – Estações onde foram medidos os poluentes atmosféricos para o período 1980-2004, nos condados da Califórnia: Los Angeles, Orange e Santa Bárbara.

Condado	Estação	Latitude	Longitude
Los Angeles	Lynwood LA-North Main Street WLA-Robertson	33.92 34.06 34.05	-118.21 -118.22 -118.38
Orange	La Habra El Toro Costa Mesa	33.92 33.62 33.67	-117.95 -117.69 -117.92
Santa Bárbara	Goleta-Fairview Lompoc-S H Street	34.44 34.63	-119.82 -120.45