

LUCIANA CRISTINA POMPEO FERREIRA DA SILVA VIEIRA

O custo das mortes prematuras associadas à exposição ao material particulado:
o caso de São José dos Campos, SP

Luciana Cristina Pompeo Ferreira da Silva Vieira

O custo das mortes prematuras associadas à exposição ao material particulado:

o caso de São José dos Campos, SP

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia do
Campus de Guaratinguetá, Universidade
Estadual Paulista, para obtenção do título de
Doutor em Engenharia Mecânica na área de
Energia – Gestão Ambiental e Sustentabilidade.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Fernando Costa
Nascimento

V658c	Vieira, Luciana Cristina Pompeo Ferreira da Silva O Custo das mortes prematuras associadas à exposição ao material particulado: o caso de São José dos Campos, SP / Luciana Cristina Pompeo Ferreira da Silva Vieira – Guaratinguetá, 2020 66 f. : il. Bibliografia: f. 60-66 Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2020. Orientador: Prof. Dr. Luiz Fernando Costa Nascimento 1. Ar - poluição. 2. Sistema cardiovascular – doenças. 3. Mortalidade infantil. I. Título. CDU 614.71(043)
-------	--

Luciana Máximo

Bibliotecária-CRB-8/3595

LUCIANA CRISTINA POMPEO FERREIRA DA SILVA VIEIRA

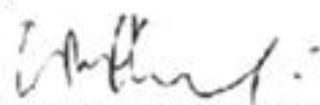
**ESTA TESE FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
“DOUTOR EM ENGENHARIA MECÂNICA”**

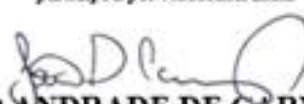
**PROGRAMA: ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO: DOUTORADO**

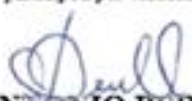
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO

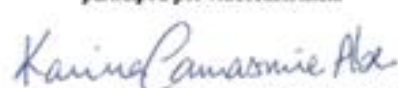

Prof. Dr. Ivonete Ávila
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. LUIZ FERNANDO COSTA NASCIMENTO
Orientador / UNESP/FEG
participou por videoconferência


Prof. Dr. JOÃO ANDRADE DE CARVALHO JÚNIOR
UNESP/FEG
participou por videoconferência


Prof. Dr. JOSÉ ANTONIO PERRELLA BALESTIERI
UNESP/FEG
participou por videoconferência


Profa Dra. KARINA CASMAMIE ABE
UNIFESP
participou por videoconferência


Prof. Dr. LUIZ FELIPE SILVA
UNIFEI
participou por videoconferência

Novembro de 2020

DADOS CURRICULARES

LUCIANA CRISTINA POMPEO FERREIRA DA SILVA VIEIRA

NASCIMENTO 10.01.1983 – Guaratinguetá / SP

FILIAÇÃO Ariovaldo Ferreira da Silva
Maria Leticia Pompeo Ferreira da Silva

2001 / 2004 Curso de Graduação
Licenciatura em Matemática
Centro Universitário Salesiano de São Paulo
Campus de Lorena - UNISAL

2013 / 2015 Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, nível de Mestrado
Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

Dedico essa tese a minha filha Isabella, luz da minha vida, e ao meu marido Nilson, meu grande incentivador e colaborador.

AGRADECIMENTOS

À Deus, em primeiro lugar, que permitiu que tudo isso acontecesse, por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades;

Ao Professor Doutor Luiz Fernando Costa Nascimento, pela confiança a mim depositada e pelo incentivo;

Aos professores João Andrade de Carvalho Junior, Ivonete Ávila, Teófilo Miguel de Souza pelos conhecimentos e competências transmitidas em meu percurso acadêmico;

Ao meu querido marido e amigo Nilson por sempre estar ao meu lado, pelo carinho, compreensão e cumplicidade;

A minha querida filha Isabella, pelo amor que me move;

Ao meu pai Ariovaldo e minha mãe Maria Letícia que com muito carinho e apoio não mediram esforços para que eu chegasse até aqui;

Ao meu irmão Ariovaldo Junior e sua família pela compreensão de minha ausência;

A Universidade Estadual Paulista – UNESP / FEG pela oportunidade;

Ao CCI “Pingo de Gente” da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, UNESP, que cuidaram com carinho e dedicação da Isabella enquanto eu desenvolvia essa pesquisa.

A minha amiga Professora Claudete Aparecida da Silva Guedes que prontamente se dispôs a me auxiliar;

E a todos amigos e colegas que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação.

RESUMO

A poluição atmosférica contribui para o aumento das taxas de morbidade e mortalidade como tem sido relatado em vários estudos. Poucos são os estudos em cidades de médio porte que quantificam os anos perdidos, ou vividos com incapacidade, associados à exposição à poluição do ar, ou valoram os anos perdidos por essa exposição. O objetivo desta tese é quantificar os anos de vida perdidos (YLL) ou anos vividos com incapacidade (YLD), por doenças cardiovasculares, associados à exposição ao PM_{10} , utilizando o método DALY, e estimar o custo da mortalidade prematura, utilizando o indicador VOLY, para a cidade de São José dos Campos – SP, para os anos de 2016, 2017 e 2018. A população de estudo foram os residentes em São José dos Campos, com idade igual ou superior a 40 anos, de ambos os sexos. Para uma média diária de $21 \mu g/m^3$ de PM_{10} , e um $RR = 1.081$ (IC 95% 1.012 - 1.155), com um $RAP = 0,075$, os resultados obtidos foram 196,19 anos de vida perdidos prematuramente para o sexo masculino e 177,46 anos para o sexo feminino, e para os anos vividos com incapacidade foram 1419,11 e 926,60 anos para o sexo masculino e feminino respectivamente, o que resulta em um DALY total de 2756,35 anos perdidos ou vividos com incapacidade para ambos os sexos e um valor de aproximados US \$ 21.400.000 em anos perdidos prematuramente devido à exposição ao PM_{10} . Esses resultados confirmam que o DALY fornece uma estratégia complementar para avaliar e estimar os anos perdidos ou vividos com incapacidade sobre o efeito da exposição ao poluente do ar PM_{10} , fortalecendo a necessidade de políticas públicas que contemplem a redução da emissão de poluentes na atmosfera, contribuindo assim com a economia local.

PALAVRAS-CHAVE: Poluição do ar. Anos de vida vividos com incapacidade. Anos de vida perdidos. Doenças cardiovasculares. DALY. VOLY.

ABSTRACT

Air pollution contributes to the increase in morbidity and mortality rates as has been reported in several studies. Few studies in medium-sized cities quantify the years lost, or lived with a disability, associated with exposure to air pollution, or value the years lost by this exposure. The objective of this thesis is to quantify the years of life lost (YLL) or years lived with disability (YLD), due to cardiovascular diseases, associated with exposure to PM₁₀, using the DALY method, and to estimate the cost of premature mortality, using the VOLY indicator, for the city of São José dos Campos - SP, for the years 2016, 2017 and 2018. The study population were residents in São José dos Campos, aged 40 years or over, of both sexes. For a daily average of 21 µg / m³ of PM₁₀, and an RR = 1,081 (95% CI 1,012 - 1,155), with a RAP = 0,075, the results obtained were 196,19 years of life prematurely lost for males and 177,46 years for females, and for years lived with disability were 1419,11 and 926,60 years for males and females respectively, which results in a total DALY of 2756,35 years lost or lived with disability for both sexes and an approximate value of US \$ 21.400.000 in years lost prematurely due to exposure to PM₁₀. These results confirm that DALY provides a complementary strategy to assess and estimate the years lost or lived with disability on the effect of exposure to the PM₁₀ air pollutant, strengthening the need for public policies that include reducing the emission of pollutants into the atmosphere, contributing so with the local economy.

KEYWORDS: Air pollution. Years of life lived with disability. Years of life lost. Cardiovascular diseases. DALY. VOLY.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Vale de Meuse, Bélgica.....	15
Figura 2	Uma fábrica em Donora, na Pensilvânia, emitindo nuvens de fumaça em 1948.....	16
Figura 3	Grande Nevoeiro de 1952 em Londres.....	17
Figura 4	Mapa do município de São José dos Campos – SP.....	27
Figura 5	Portal DATASUS.....	29
Figura 6	Caminho para acesso aos arquivos do DATASUS.....	30
Figura 7	Caminho para obter a planilha DATASUS.....	30
Figura 8	Arquivo para baixar planilhas DATASUS.....	31
Figura 9	Arquivos para downloads para obter planilha DATASUS.....	32
Figura 10	Planilha fornecida pelo DATASUS.....	33
Figura 11	Planilha filtrada.....	33
Figura 12	Portal da CETESB.....	34
Figura 13	Acesso ao Sistema.....	34
Figura 14	Acesso aos relatórios da CETESB.....	35
Figura 15	Acesso aos Relatórios – Valores Diários.....	35
Figura 16	Planilha do Relatório e Valores Diários.....	36
Figura 17	Expectativa de vida ao nascer – Brasil.....	37
Figura 18	Distribuição diária das concentrações de PM ₁₀ (µg/m ³) para o ano de 2016 em São José dos Campos – SP.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Critérios para episódios agudos de poluição do ar (Decreto Estadual nº 59113 de 23/04/2013).....	19
Tabela 2	Estrutura do índice de qualidade do ar, segundo concentrações dos poluentes divulgado pela CETESB, 2014.....	20
Tabela 3	Qualidade do ar e efeitos à saúde.....	21
Tabela 4	Anos potenciais de vida perdidos.....	37
Tabela 5	Peso da incapacidade.....	45
Tabela 6	Valores médio, desvio padrão, mínimo e máximo da variável PM ₁₀ para o ano de 2016 em São José dos Campos – SP.....	46
Tabela 7	Médias do PM ₁₀ (µg/m ³) nas cidades de: Campinas, Cubatão, Santos, São José dos Campos, São José do Rio Preto, Santo André e Ribeirão Preto.....	48
Tabela 8	Anos de vida perdidos e seu risco atribuível proporcional.....	49
Tabela 9	Anos de vida perdidos para o sexo masculino.....	50
Tabela 10	Anos de vida perdidos para o sexo feminino.....	50
Tabela 11	Anos de vida vividos com incapacidade e seu risco atribuível proporcional.....	50
Tabela 12	Anos de vida vividos com incapacidade para o sexo masculino.....	51
Tabela 13	Anos de vida vividos com incapacidade para o sexo feminino.....	51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AVE	Acidente Vascular Encefálico
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CO	Monóxido Carbono
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COV	Compostos Orgânicos Voláteis
OMS	Organização Mundial de Saúde
DALY	<i>Disability Adjusted Life Years</i>
DATASUS	Departamento de Informações e Informática do Sistema Único de Saúde
FMC	Fumaça
GBD	<i>Global Burden of Disease and injury Series</i>
IHME	<i>Institute for Health Metrics and Evaluation</i>
NO	Óxido de Nitrogênio
O	Ozônio
PIB	Produto Interno Bruto
PM	Material Particulado
PTS	Partículas Totais em Suspensão
RR	Risco Relativo
SO ₂	Dióxido de Enxofre
VOLY	<i>Value of Life Year</i>
YLD	<i>Years Lived with Disability</i>
YLL	<i>Years of Life Lost</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1	BREVE HISTÓRICO DA POLUIÇÃO PELO MUNDO.....	15
2.2	POLUENTES ATMOSFÉRICOS.....	17
2.3	EFEITOS DOS POLUENTES ATMOSFÉRICOS NA SAÚDE.....	22
2.4	O CUSTO DA POLUIÇÃO.....	24
3	MATERIAL E MÉTODO.....	27
3.1	TIPO DE ESTUDO.....	27
3.2	LOCAL DE ESTUDO.....	27
3.3	DADOS DE MORTALIDADE E MORBIDADE.....	28
3.4	DADOS DE EXPECTATIVA DE VIDA.....	36
3.5	<i>DISABILITY ADJUSTED LIFE YEARS</i>	38
3.6	<i>GLOBAL BURDEN OF DISEASE AND INJURY SERIES</i>	38
3.7	COMPONENTE YLL.....	39
3.8	COMPONENTE YLD.....	41
3.9	DADOS DE RISCO RELATIVO.....	42
3.10	<i>VALUE OF LIFE YEAR</i>	44
3.11	APLICAÇÃO DO <i>DALY</i>	44
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	46
4.1	POLUENTE PM ₁₀	46
4.2	ANOS DE VIDA PERDIDOS (YLL).....	49
4.3	ANOS DE VIDA VIVIDOS COM INCAPACIDADE (YLD).....	50
4.4	DALY.....	51
4.5	VOLY.....	52
5	CONCLUSÃO.....	59
	REFERÊNCIAS.....	60

1 INTRODUÇÃO

Os efeitos nocivos à saúde relacionados à exposição à poluição atmosférica têm sido foco de estudos epidemiológicos em todo o mundo e, de modo geral, os resultados indicam associação entre essa exposição e a mortalidade e morbidade por diferentes causas, com destaque para as doenças cardiovasculares e respiratórias.

As emissões atmosféricas que contaminam o ar podem ser provenientes de fontes fixas (indústria e usinas termoelétricas) e móveis (veículos automotores), impactando diretamente na qualidade do ar local, regional e global, afetando a saúde pública. Em 2012 a Organização Mundial da Saúde (OMS) estimou cerca de sete milhões de mortes no mundo decorrentes da poluição do ar a partir de fontes urbanas e rurais (MIRAGLIA, 2014).

Segundo a OMS (WHO, 2014), os altos níveis de poluição do ar são muitas vezes consequências de políticas insustentáveis em setores como o de transportes. Essas ações políticas, em sua grande maioria, não se utilizam de estratégias mais sustentáveis, por serem economicamente inviáveis no momento presente, mas, que, a longo prazo, gerariam uma redução dos custos de cuidado com a saúde.

A poluição do ar está associada a fontes naturais e antropogênicas. As fontes naturais são as erupções vulcânicas, os incêndios florestais não criminosos e as tempestades de areia, e as fontes antropogênicas são a queima de lixos, indústrias e a queima de combustível pela frota veicular. No ano de 2018 no Brasil, a fonte antropogênica que se destacou foi a da queima de combustível pela frota veicular, que totalizava um pouco mais de 100 milhões de veículos, e 41,1% desta frota está concentrada nas regiões metropolitanas de São Paulo, Belo Horizonte, Salvador, Vitória, Curitiba, Campinas, Rio de Janeiro e Baixada Santista segundo o Ministério da Infraestrutura (BRASIL a, 2018).

No mesmo ano, ocorreram cerca de 1,1 milhão de internações por doenças do aparelho circulatório no Brasil, sendo que no estado de São Paulo foram cerca de 250 mil. O custo dessas internações no Brasil foi de aproximados R\$ 2,5 bilhões e no estado de São Paulo foi de pouco mais de R\$ 630 milhões (BRASIL b, 2018).

Estudos como o de Abe e Miraglia (2016), Amâncio e Nascimento (2012), Negrisoli e Nascimento (2013), Tuan, Venâncio e Nascimento (2016), entre outros, demonstram que intervenções governamentais para a redução da poluição atmosférica possuem benefício direto na qualidade do ar e nos efeitos para a saúde, reduzindo a mortalidade e a morbidade cardiorrespiratória. Os efeitos observados excederam as previsões derivadas dos estudos de série temporal.

A forma de avaliação pela utilidade de bens mercantis e pelo uso como principal meio de troca para diversos bens e serviços é a grande motivação do emprego de unidades monetárias como métrica para variações de risco e estado de saúde, sendo que o cálculo da perda de produtividade avaliada por meio da variação da produção, do rendimento e do consumo e a estimativa do valor monetário atribuído à redução do risco de morte são métodos que dizem respeito à valoração da mortalidade.

Ostro e Chestnut (1998) calcularam que a diminuição nas concentrações de material particulado fino ($PM_{2,5}$) nos Estados Unidos poderia gerar uma economia anual de US \$ 55 bilhões.

Os efeitos da diminuição das concentrações dos poluentes do ar podem ser traduzidos numa redução no número de internações ou óbitos (AMÂNCIO; NASCIMENTO, 2012; TUAN, VENÂNCIO; NASCIMENTO, 2016; CÉSAR et al., 2016). No trabalho desenvolvido por Amâncio e Nascimento, a exposição ao dióxido de enxofre (SO_2) foi significativamente associada à mortalidade por doença circulatória; foram considerados indivíduos com mais de 50 anos e residentes em São José dos Campos – SP, sugerindo que os residentes em cidades brasileiras de porte médio com características semelhantes às de São José dos Campos provavelmente têm problemas de saúde devido à exposição a poluentes atmosféricos.

No Brasil, a metodologia *DALY*, utilizada por Miraglia et al. (2005), revelou que os custos da morte prematura em decorrência à exposição a poluentes do ar se situam em uma faixa entre 1,7 e 3,5 bilhões de dólares. Essa estimativa refere-se às crianças e à população idosa para a cidade de São Paulo. Abe e Miraglia (2016) avaliaram o impacto na saúde da poluição do ar na cidade de São Paulo para os anos de 2009 a 2011 e concluíram que, com a redução de $PM_{2,5}$ de $5 \mu g/m^3$, cerca de 1724 mortes seriam evitadas, resultando em um ganho de US \$4,96 bilhões anualmente.

A justificativa desta tese é a escassez de estudos nacionais em cidades de médio porte quantificando o custo de uma morte prematura. É essencial quantificar esse custo para estabelecer prioridades de atendimento, pesquisas em saúde e investir em políticas públicas para a diminuição de emissões de poluentes atmosféricos.

Assim, o objetivo desta tese é buscar a associação entre o poluente PM_{10} e as internações e óbitos por doenças vasculares tomando a cidade de São José dos Campos – SP como base de dados para a validação desta hipótese, estimar os custos financeiros destas mortes prematuras, considerando os anos potenciais de vida perdidos, por doenças cardiovasculares associadas à exposição ao poluente do ar material particulado (PM_{10}) utilizando-se do estudo de método

Disability Adjusted Life Years (DALY) ou Anos de Vida Perdidos e Vividos com Incapacidades e o indicador *Value of Life Year (VOLY)* para os anos de 2016 a 2019.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

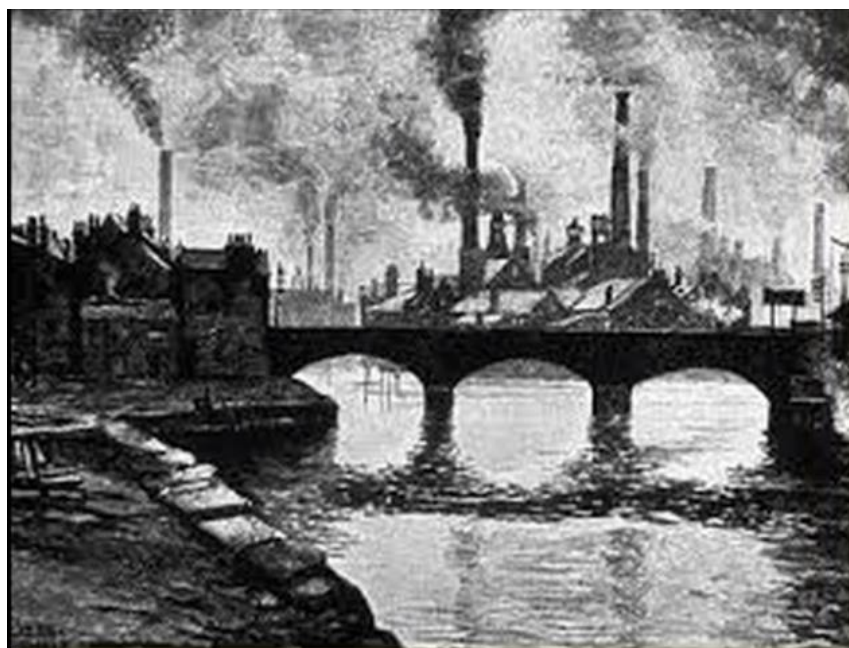
2.1 BREVE HISTÓRICO DA POLUIÇÃO PELO MUNDO

A poluição do ar tornou-se um risco à população a partir de meados do século XIX, com a Revolução Industrial. Com isso, as cidades ficaram maiores e mais populosas, a frota veicular aumentou e as indústrias tornaram-se as grandes contribuidoras para a emissão de poluentes no ar. A modernidade, expressa com o surgimento do motor a combustão, das indústrias siderúrgicas e de produtos químicos e a queima de combustíveis fósseis, injetaram e injetam até hoje, inúmeras partículas todos os dias na atmosfera. As políticas públicas para a diminuição de emissões na atmosfera não acompanharam no mesmo ritmo toda essa modernidade.

Muitos fatos foram registrados, nesse período, sobre as consequências da poluição do ar na saúde (RUSSO 2014; BRAGA 2001):

- Em 1930 na Bélgica, no Vale de Meuse (zona de grande concentração industrial), no início de dezembro, uma névoa espessa cobriu toda essa região, e a ausência de ventos impediu a dispersão dos poluentes atmosféricos; a população, em contato com esse ar, apresentou dores no peito, tosse, dificuldade de respiração, irritação do nariz e dos olhos, mais de 60 pessoas morreram nesse episódio (Figura 1).

Figura 1: Vale de Meuse, Bélgica, em 1930.



Fonte: Grande impacto ambiental. (2018).

- Em 1948, na Pensilvânia, na cidade de Donora, ocorreram 18 mortes a mais do que o esperado nessas ocorrências, que eram de duas mortes, devido aos poluentes gerados da combustão das indústrias e uma inversão térmica concomitante (Figura 2).

Figura 2: Uma fábrica em Donora, na Pensilvânia, emitindo nuvens de fumaça em 1948.



Fonte: Hamil (2008).

- Em 1952, em Londres, uma névoa de poluentes gerados pelos aquecedores domiciliares, que queimavam carvão de baixa qualidade, e os poluentes gerados pelas indústrias, ficou estacionada por três dias sobre a cidade, ocasionando quatro mil mortes a mais do que em períodos semelhantes (Figura 3).

Figura 3: Grande Nevoeiro de 1952 em Londres.



Fonte: Martinez (2020).

Outros acontecimentos com índices elevados de poluição atmosférica vêm se repetindo em grandes centros urbanos pelo mundo. Assim, observou-se a importância de realizar estudos para controlar a emissão de poluentes do ar.

2.2 POLUENTES ATMOSFÉRICOS

Poluente atmosférico é toda e qualquer substância presente no ar com intensidade e em quantidade de tal maneira que possa se tornar impróprio à saúde, à fauna, à flora e ao bem-estar público (SÃO PAULO, 2017).

O monitoramento da qualidade do ar começou em 1972 na Região Metropolitana de São Paulo, com 14 estações medindo os níveis de dióxido de enxofre (SO_2) e fumaça preta. A população tinha acesso a esses dados através da imprensa que recebia os boletins diariamente. A partir de 1981, iniciou-se o monitoramento automático e foram instaladas novas estações, medindo dióxido de enxofre (SO_2), material particulado (PM_{10}), ozônio (O_3), óxidos de nitrogênio (NO , NO_2), direção e velocidade do vento, temperatura e umidade relativa do ar e os boletins passaram a ser horários (SÃO PAULO, 2017).

Segundo a CETESB (SÃO PAULO, 2017), as definições para os poluentes citados anteriormente seguem descritos abaixo:

- dióxido de enxofre (SO_2): resulta da queima dos combustíveis que contêm enxofre, como por exemplo o óleo diesel, óleo combustível industrial e a gasolina.

Esse poluente é também um dos principais formadores da chuva ácida. Quando associado a outras substâncias presentes na atmosfera é responsável pelas nuvens espessas que diminuem a visibilidade.

- material particulado (PM₁₀): são partículas que possuem o diâmetro aerodinâmico menor ou igual a 10 µg. Quando a partícula tem seu tamanho maior fica retida na parte superior do trato respiratório, e quando a partícula tem menor diâmetro, denominada de PM_{2,5} (partícula ≤ 2,5 µg), pode chegar às partes inferiores do trato respiratório, chegando até aos alvéolos.
- ozônio (O₃): é classificado como oxidante fotoquímico, ele é um poluente secundário, que se forma a partir de reações químicas na atmosfera entre os óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis com a presença de luz solar. O ozônio ao nível do solo é tóxico aos seres vivos, mas na estratosfera tem a função importante de proteger a Terra dos raios ultravioletas emitidos pelo sol.
- óxidos de nitrogênio (NO, NO₂): é formado durante o processo da queima (combustão), os maiores geradores dos óxidos de nitrogênio são os veículos automotores e as indústrias. O óxido de nitrogênio sob a ação da luz solar se transforma em dióxido de nitrogênio, que por sua vez contribui para a formação do ozônio. Em grandes quantidades o dióxido de nitrogênio causa prejuízos à saúde.

Os poluentes podem ser de origem natural, como erupções vulcânicas e incêndios florestais não criminosos ou antropogênicos, apresentados pelas indústrias, frota veicular e queimadas, e categorizados segundo o Centro Tecnológico de Saneamento Básico (CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) em primários e secundários (SÃO PAULO, 2017).

- Poluentes primários são os emitidos diretamente pelas fontes de emissão.
- Poluentes secundários são formados na atmosfera através de reações químicas entre poluentes primários e componentes naturais da atmosfera.

As fontes de emissão dos poluentes podem ser fixas ou móveis.

- Fontes fixas: incineradores de resíduos, indústrias e usinas termoeletricas; existem também as fontes fixas naturais como os vulcões e os mares.
- Fontes móveis: embarcações, trens, veículos automotores e aviões.

Os poluentes adotados universalmente para serem utilizados como indicadores de qualidade do ar são: material particulado (PM), partículas totais em suspensão (PTS), partículas inaláveis (PM₁₀), partículas inaláveis finas (PM_{2,5}), fumaça (FMC), dióxido de enxofre (SO₂), monóxido de carbono (CO), ozônio (O₃), compostos orgânicos voláteis (COV_s), óxido de nitrogênio (NO_x) e chumbo.

Segundo o Decreto Estadual nº 59113 de 23/04/2013 (SÃO PAULO, 2017), os padrões nacionais de qualidade do ar podem determinar três critérios para a poluição do ar: atenção, alerta e emergência (Tabela 1). Para cada poluente medido é calculado um índice adimensional. Dependendo do índice obtido, o ar recebe uma qualificação, que é uma nota para a qualidade do ar, conforme apresentado na Tabela 2. Esta qualificação do ar está associada a efeitos à saúde, portanto independe do padrão de qualidade em vigor, e será sempre realizada conforme a Tabela 3.

Tabela 1 - Critérios para episódios agudos de poluição do ar (Decreto Estadual nº 59113 de 23/04/2013)

Parâmetros	Atenção	Alerta	Emergência
partículas inaláveis finas (µg/m ³) - 24h	125	210	250
partículas inaláveis (µg/m ³) - 24h	250	420	500
dióxido de enxofre (µg/m ³) - 24h	800	1600	2100
dióxido de nitrogênio (µg/m ³) - 1h	1130	2260	3000
monóxido de carbono (ppm) - 8h	15	30	40
ozônio (µg/m ³) - 8h	200	400	600

Fonte: Cetesb (2018).

Tabela 2: Estrutura do índice de qualidade do ar, segundo concentrações dos poluentes divulgado pela CETESB (SÃO PAULO, 2017).

Qualidade	Índice	PM₁₀ (µg/m³) 24h	PM_{2,5} (µg/m³) 24h	O₃ (µg/m³) 8h	CO (ppm) 8h	NO₂ (µg/m³) 1h	SO₂ (µg/m³) 24h
N1 - Boa	0 - 40	0 - 50	0 - 25	0 - 100	0 - 9	0 - 200	0 - 20
N2 - Moderada	41 - 80	>50 - 100	>25 - 50	>100 - 130	>9 - 11	>200 - 240	>20 - 40
N3 - Ruim	81 - 120	>100 - 150	>50 - 75	>130 - 160	>11 - 13	>240 - 320	>40 - 365
N4 - Muito Ruim	121 - 200	>150 - 250	>75 - 125	>160 - 200	>13 - 15	>320 - 1130	>365 - 800
N5 - Péssima	>200	>250	>125	>200	>15	>1130	>800

Fonte: SÃO PAULO (2017).

Tabela 3: Qualidade do ar e efeitos à saúde, segundo relatório da CETESB - 2017.

Qualidade	Índice	Significado
N1 - Boa	0 - 40	
N2 - Moderada	41 - 80	Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas) podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço. A população, em geral, não é afetada.
N3 - Ruim	81 - 120	Toda a população pode apresentar sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta. Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas) podem apresentar efeitos mais sérios na saúde.
N4 - Muito Ruim	121 - 200	Toda a população pode apresentar agravamento dos sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta e ainda falta de ar e respiração ofegante. Efeitos ainda mais graves à saúde de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas).
N5 - Péssima	>200	Toda a população pode apresentar sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares. Aumento de mortes prematuras em pessoas de grupos sensíveis.

Fonte: SÃO PAULO (2017).

Mesmo quando a qualidade do ar apresenta um índice moderado, (por exemplo, quando o PM_{10} está presente na atmosfera com uma concentração acima de 50 μg e abaixo de 100 μg em 24 horas seu índice é considerado moderado), ele pode gerar efeitos na saúde da população, principalmente nos grupos mais sensíveis (crianças e idosos) e que já possuem alguma enfermidade (respiratória ou cardíaca).

2.3 EFEITOS DOS POLUENTES ATMOSFÉRICOS NA SAÚDE

Muitos estudos têm sido desenvolvidos na área da Epidemiologia para analisar os efeitos dos poluentes na saúde. Esses estudos têm mostrado que mesmo quando os níveis de poluentes estão abaixo dos índices de qualidade do ar (Tabela 2), eles são capazes de provocar efeitos na saúde (Tabela 3). As populações mais suscetíveis diante do aumento dos poluentes atmosféricos são as crianças, os idosos, pessoas com histórico de doença respiratória e cardíacas pregressa, como outras doenças do pulmão, diabetes e outras (MIRAGLIA, 2002).

Os poluentes atmosféricos não só causam efeitos na saúde como geram também impactos negativos na perspectiva econômica e social. Queda da produtividade agrícola, aumento de custos dos sistemas de saúde, maior vulnerabilidade das populações carentes, podem ser vistos como exemplos de problemas causados pela contaminação do ar (INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE, 2014).

Ainda não são totalmente conhecidos os mecanismos pelos os quais os poluentes atmosféricos interferem na saúde das pessoas. Por isso são de significativa importância os estudos epidemiológicos que analisam essa questão, considerando-se comprovada morbidade respiratória e o efeito negativo que determinados poluentes são capazes de causar na qualidade de vida da população, sendo as hospitalizações apenas um dos efeitos gerados pela degradação do ar (NEGRISOLI; NASCIMENTO, 2013).

No trabalho realizado por Martins et al. (2001) em São Paulo – SP, concluiu-se que o monóxido de carbono e o dióxido de enxofre estão associados às internações por infecções de vias aéreas superiores em idosos. Eles verificaram que o aumento das concentrações de ozônio e o dióxido de enxofre contribuem para um acréscimo nas internações por pneumonia e gripe em idosos de respectivamente 8,07% e 14,51% na cidade de São Paulo – SP.

Pandya et al. (2002) relataram em seu estudo que partículas de exaustão de diesel e de escape de diesel (DEPs) comprometem as vias aéreas superiores e inferiores, causando asma e doença alérgica, e constataram que crianças que moram nas proximidades das rodovias têm um risco maior de desenvolver doenças respiratórias.

Um estudo realizado no Vale do Paraíba por Nascimento, Módolo e Carvalho (2004) confirmou uma correlação positiva entre os poluentes atmosféricos e as internações por doenças respiratórias em crianças, com um aumento de 25% no risco de internações causadas por poluentes material particulado e dióxido de enxofre.

No trabalho realizado por Freitas et al. (2004) em São Paulo – SP identificou-se associação entre internações e óbitos e poluição atmosférica; estes autores encontraram um incremento nas internações por doenças respiratórias em menores de 15 anos para PM_{10} um aumento de 10% nas internações (%RR=10,0), para CO um aumento de 6,1% nas internações (%RR=6,1) e para O_3 um aumento de 2,5% nas internações (%RR=2,5) e para óbitos em idosos maiores de 64 anos para PM_{10} um aumento de 8,1% (%RR=8,1) e para CO um aumento de 7,9% (%RR=7,9).

Gouveia et al. (2006) realizaram um estudo na cidade de São Paulo – SP com o objetivo de contribuir para a produção de novas medidas para a diminuição dos riscos à saúde, analisando a associação entre a exposição aos poluentes do ar e as internações hospitalares em crianças e idosos, utilizando regressão de Poisson, constataram que com um aumento de $10 \mu g/m^3$ de material particulado corresponde um acréscimo nas hospitalizações de 4,6% por asma em crianças, 4,3% em doença pulmonar obstrutiva crônica e de 1,5% em doenças isquêmicas do coração, ambas em idosos.

Moraes et al. (2010) estudaram a relação da dispersão dos poluentes atmosféricos emitidos por um polo petroquímico e os relatos de sibilância que é um som agudo, semelhante a um assobio, que ocorre quando a pessoa respira (em crianças e adolescentes que moravam nas proximidades desse polo, em Guamaré – RN, e concluíram que existe uma associação à exposição desses poluentes e aos relatos de sibilância.

Amâncio e Nascimento (2012) estimaram o risco de internação por asma após a exposição aos poluentes do ar, na cidade de São José dos Campos – SP, encontrando uma forte correlação entre as internações e os poluentes e concluindo que, com o aumento nas concentrações do material particulado e do dióxido de enxofre, o risco nas internações aumentaria entre 8% e 19%.

Nascimento e Francisco (2013) estimaram os efeitos da poluição ambiental na saúde, especificamente nas internações por hipertensão arterial. A cidade de estudo foi São José dos Campos – SP. Eles identificaram que o material particulado está associado às internações por hipertensão arterial, com os riscos variando entre 1.009 e 1.019, e um aumento desse poluente de $10 \mu g/m^3$ aumentaria as internações em até 13%.

Gavinier e Nascimento (2014) estimaram a associação entre a exposição aos poluentes do ar e às internações por acidente vascular encefálico (AVE) na cidade de Sorocaba, comprovando uma associação entre as internações e a exposição ao dióxido de nitrogênio por AVE e concluindo que com o aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de dióxido de nitrogênio aumentaria 4% no risco de internações por AVE.

2.4 O CUSTO DA POLUIÇÃO

A Organização das Nações Unidas (ONU) produziu um relatório divulgando o custo de poluição do ar para a economia global que foi de US\$ 5,3 trilhões o equivalente a 7,2% do PIB mundial. Esse valor se refere aos gastos com impactos ambientais, saúde e à perda de produtividade decorrente de doenças relacionadas à poluição. Se não forem tomadas medidas para conter a má qualidade do ar, a previsão é de que a mortalidade decorrente dessa sujeira custe à sociedade US\$ 25 trilhões, até 2060 (CAETANO, 2017).

Na China, especialistas afirmam que a poluição impõe um custo anual elevado, de 3% a 3,5% do Produto Interno Bruto (PIB), ou até mais. Um montante entre US\$ 330 bilhões e US\$ 385 bilhões, se considerados os dados da economia em 2015, o equivalente a cerca de US\$ 1 bilhão por dia (OSWALD, 2017).

Segundo relatório divulgado por André (2017), o Instituto Saúde e Sustentabilidade, em 25/04/2017, fez uma avaliação e valoração dos impactos da poluição do ar na saúde, da população decorrente da substituição da matriz energética do transporte público na cidade de São Paulo, mantendo-se o padrão das políticas adotadas para toda a frota em 2017, durante 33 anos, entre 2017 a 2050, contabilizam-se 178.155 mortes atribuíveis à poluição do ar devido ao $\text{PM}_{2,5}$ no município de São Paulo. Considerando a perda de produtividade, estima-se o custo destas mortes precoces em aproximadamente R\$ 54 bilhões em valores de 2015 (ANDRÉ, VORMITTAG; SALDIVA, 2017).

Knight e Young (2006) mensuraram monetariamente o quanto que se perde com a poluição do ar pelo PM_{10} na Região Metropolitana de São Paulo devido à utilização do óleo diesel como combustível no transporte coletivo e encontraram, para uma redução de $6,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} , 1.306 internações a menos, chegando a uma economia de mais de R\$ 700 mil nos custos destas internações.

Fernandez, Abdallah e Menezes (2010), calcularam o custo das doenças respiratórias associadas à poluição atmosférica para o ano de 2009, chegando a um valor de aproximados R\$ 15 milhões para a cidade do Rio Grande localizada no estado do Rio Grande do Sul.

O Instituto Saúde e Sustentabilidade, em uma avaliação do impacto da poluição atmosférica no Estado de São Paulo sob a visão da saúde para o ano de 2011, verificou para o Estado, cerca de 70 mil internações públicas atribuíveis à poluição, e um comprometimento de 160 mil anos estimados pelo modelo *DALY*. O gasto público de internações por doenças cardiovasculares, pulmonares e câncer de pulmão atribuíveis à poluição na cidade de São Paulo, em 2011, foi em torno de R\$ 31 milhões, correspondendo a 0,51% do orçamento para aquele ano. Os gastos públicos e (suplementar) privados de internações pelas mesmas doenças descritas no Estado de São Paulo, em 2011, foram respectivamente, em torno R\$ 80 milhões e R\$ 170 milhões, totalizando os gastos em R\$ 250 milhões no Estado (ANDRÉ, VORMITTAG e SALDIVA, 2017).

Miraglia e Gouveia (2014) avaliaram o impacto econômico de eventos de saúde associados com a poluição do ar em regiões metropolitanas brasileiras. Foi feita uma estimativa de mortalidade associada com a exposição ao material particulado (PM) resultando em 20.050 óbitos; também foram calculados os custos gerados associados a esses óbitos por meio da metodologia *DALY*, resultando em US\$ 1,7 bilhão anualmente.

Abe e Miraglia (2016) avaliaram o impacto na saúde pela poluição do ar em São Paulo, e concluíram que com a diminuição de $PM_{2,5}$ de acordo com os padrões definidos pela OMS ($10 \mu g/m^3$), seriam evitadas 5012 mortes prematuras, o que significa 266.486 anos de vida, gerando uma economia de US \$ 15,1 bilhões anuais.

Abe et al. (2018) estimaram os efeitos e realizaram uma avaliação econômica devido à exposição do PM_{10} para as doenças respiratórias e cardiovasculares na cidade de São Paulo, verificando uma associação positiva entre PM_{10} e mortalidade, totalizando em 23.1691,8 anos de vida perdidos (YLL), gerando uma perda para a economia de US \$ 14,1 bilhões.

Os anos de vida perdidos relacionados com a exposição aos poluentes do ar também foram estimados por Yang et. al (2016), calculando o YLL de mortalidade cardiovascular durante três anos, na cidade Guangzhou na China. Concluíram que pode ser estabelecida uma correlação linear positiva entre a poluição do ar e os anos de vida perdidos (YLL) devido à doença cardiovascular. Com o aumento de $10 \mu g/m^3$ de NO_2 , SO_2 e PM_{10} a média diária de YLL seria de 248 para doenças cardiovasculares, 87,5 para acidente vascular cerebral e 73,7 para doença cardíaca isquêmica.

Martinez et. al (2018) avaliaram os impactos na saúde causados pela exposição à poluição do ar, e os custos econômicos gerados por essa exposição na cidade de Skopje (capital da Macedônia do Norte). Em 2012, a exposição a longo prazo ao $PM_{2,5}$ ($49,3 \mu g/m^3$) causou cerca de 1199 mortes prematuras, um custo estimado entre 570 a 1470 milhões de euros, 547

internações hospitalares por doenças cardiovasculares e 937 internações por doenças respiratórias, e com a redução de $PM_{2,5}$ para $25 \mu g/m^3$ seriam evitados 45% da mortalidade.

3 MATERIAL E MÉTODO

3.1 TIPO DE ESTUDO

Neste estudo, do tipo transversal, onde a unidade de análise é um grupo de pessoas, a atribuição de valores monetários ao impacto na saúde da poluição atmosférica foi realizada utilizando-se da metodologia *DALY*, utilizando-se do indicador *Value of Life Year (VOLY)* para os anos 2016, 2017 e 2018, adotando *VOLY* de 50 mil euros.

3.2 LOCAL DE ESTUDO

São José dos Campos é um município do interior do estado de São Paulo, localizado cerca de 94 km de distância da capital do estado (latitude sul: 23°10'47" e longitude oeste: 45° 53' 14"). São José dos Campos possui importantes rodovias: Norte: Rodovia SP-50 (sul de Minas Gerais), e Campos do Jordão Sul: Rodovia dos Tamoios (SP-99), Costa Norte Paulista, e Rodovia Carvalho Pinto (SP-70), Leste e oeste: BR-116 (Rodovia Presidente Dutra), todas essas rodovias possuem tráfego intenso (Figura 4).

Figura 4 – Mapa do município de São José dos Campos – SP e suas principais rodovias.



Fonte: Google Maps (2020).

Em 2017 sua população foi estimada em cerca de 700 mil habitantes e sua frota veicular estimada em cerca de 400 mil veículos em 2016 (IBGE, 2019).

A agricultura desenvolveu-se durante o século XIX, mas somente na segunda metade do século XX que a indústria se fortaleceu na cidade dando partida para a área da tecnologia. O município é a sede de importantes empresas, como: Panasonic, Johnson & Johnson, Ericsson, Philips, General Motors, Petrobras, Embraer, entre outras. Possui também relevantes centros de ensino e pesquisas, como o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), a UNESP (Universidade Estadual Paulista), o ITA (Instituto Tecnológico de Aeronáutica), a FATEC (Faculdade de Tecnologia Estadual), a UNIVAP (Universidade do Vale do Paraíba), entre outros, sendo um importante tecnopolo de material bélico, metalúrgico e sede do maior complexo aeroespacial da América Latina. O Parque Tecnológico de São José dos Campos, o maior do tipo no país, sedia unidades de pesquisa de grandes empresas, sendo a única cidade do mundo com centros de pesquisas das três maiores fabricantes mundiais de aeronaves, a Embraer, a Boeing e a Airbus. A partir da instalação do ITA e do CTA (Centro Técnico Aeroespacial), o processo de industrialização foi impulsionado.

Todos esses citados, mais o tráfego, principalmente de veículos pesados de carga, os ônibus, que circulam não só nas rodovias que cortam a cidade, mas também dentro da cidade (na área urbana), a indústria automobilística e petroquímica, são fontes poluidoras do ar atmosférico, contribuindo para a morbidade e mortalidade precoce de sua população.

3.3 DADOS DE MORTALIDADE E MORBIDADE

Os dados de mortalidade e morbidade utilizados neste estudo são relativos às doenças cardiovasculares cujos diagnósticos compõem o capítulo IX da Classificação Internacional de Doenças 10ª revisão (CID 10) de códigos I20 à I25 (angina pectoris, infarto agudo do miocárdio, infarto do miocárdio recorrente, algumas complicações atuais subsequentes ao infarto agudo do miocárdio, outras doenças isquêmicas agudas do coração e doença isquêmica crônica do coração), I50 (insuficiência cardíaca), I60 à I64 (hemorragia subaracnóide, hemorragia intracerebral, outras hemorragias intracranianas não – traumáticas, infarto cerebral e acidente vascular cerebral, não especificado como hemorrágico ou isquêmico).

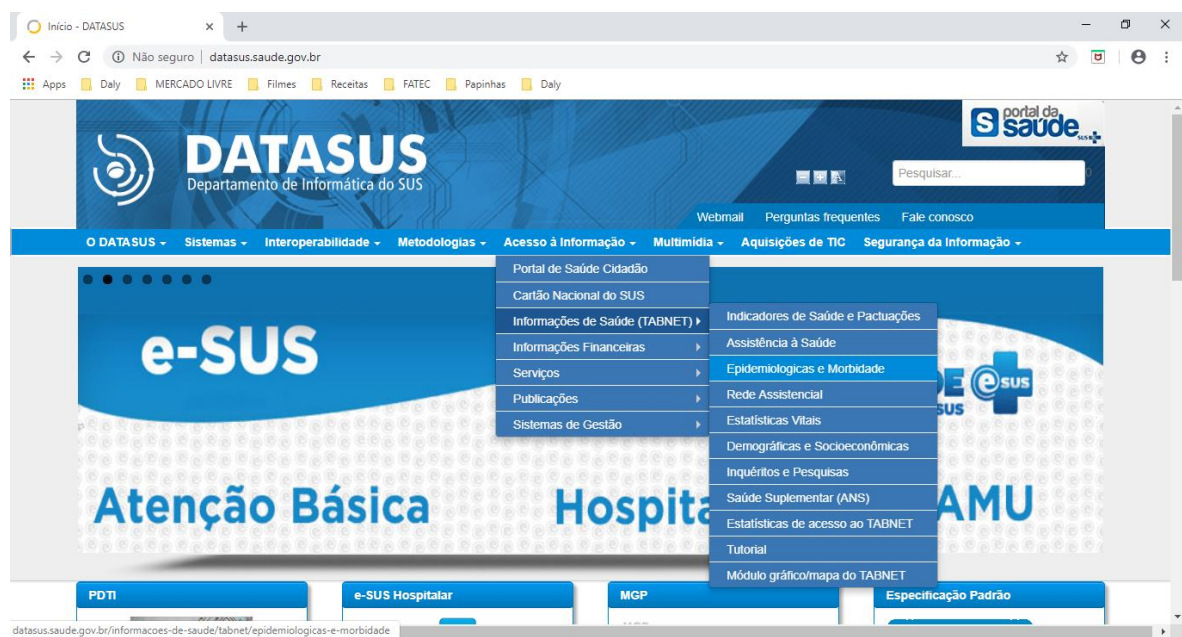
O grupo de população utilizado para esse estudo foi de residentes em São José dos Campos - SP, de ambos os sexos e maiores de 40 anos.

Os dados diários de internação e de óbitos se referem àqueles de 01 de janeiro de 2016 a 31 de dezembro de 2018. Esses dados foram obtidos do Departamento de Informações e

Informática do Sistema Único de Saúde – DATASUS, constantes no Sistema de Informações Hospitalares do SUS (SIHSUS) disponível no portal <http://www2.datasus.gov.br/DATASUS/index.php?area=0901>. Data de acesso: 05/01/2019

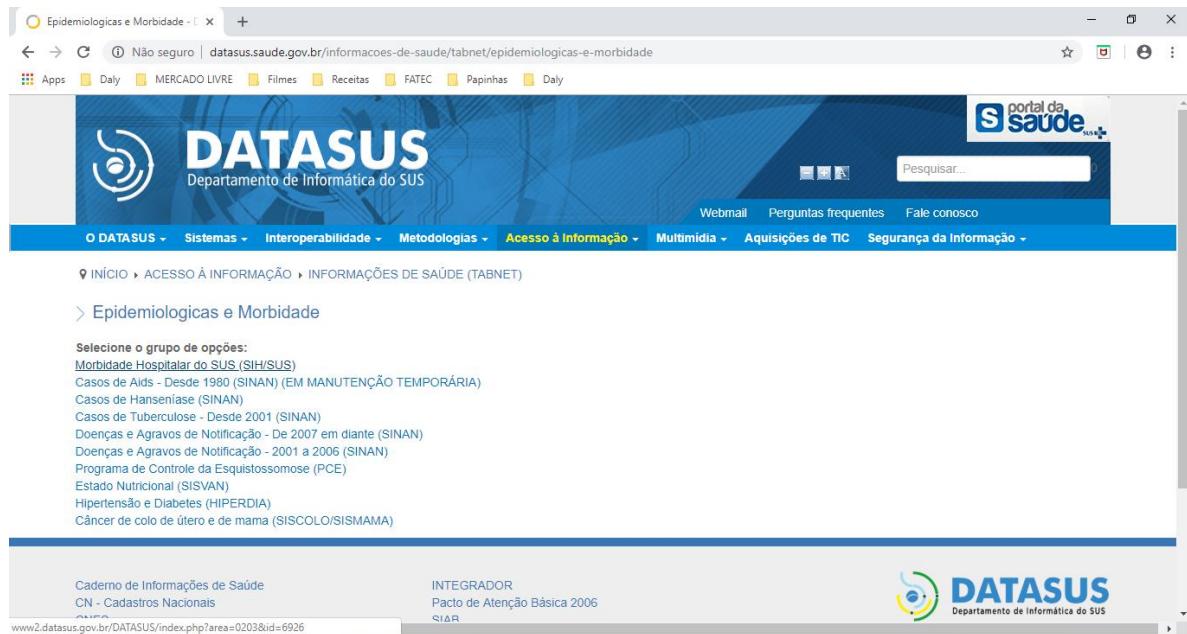
Para obter a planilha foi realizado o seguinte caminho: no portal do DATASUS foi selecionado o campo Acesso à Informação, Informações de Saúde (TABNET) e Epidemiológicas e Morbidade (Figura 5), na página seguinte selecionar Morbidade Hospitalar do SUS (SIH/SUS) (Figura 6), optou-se pelo banco do SIH/SUS por apresentar um número mais relevante de óbitos que os demais bancos de dados.

Figura 5: Portal DATASUS.



Fonte: DATASUS (2019).

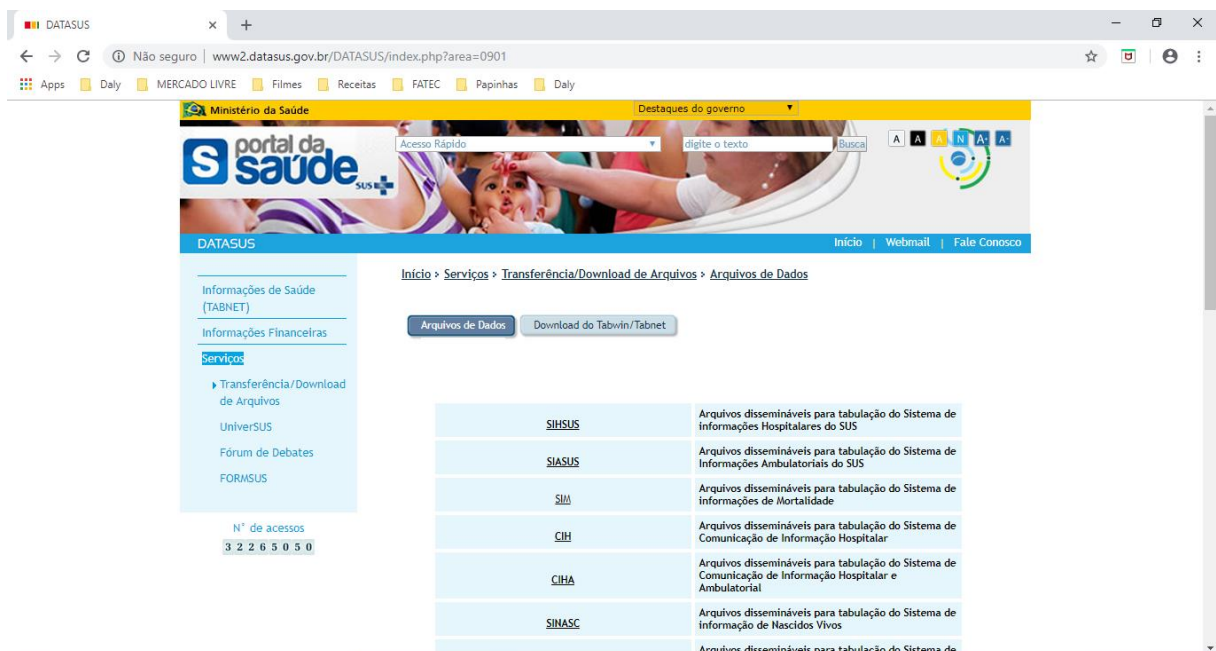
Figura 6: Caminho para acesso aos arquivos do DATASUS.



Fonte: DATASUS (2019).

Em seguida selecionar Serviços, Transferência/Download de Arquivos e SIHSUS (Figura 7).

Figura 7: Caminho para obter a planilha DATASUS



Fonte: DATASUS (2019).

Em seguida selecionar: dados, RD – AIH Reduzida, 2016, SP, selecionar todos os meses, enviar (Figura 8).

Figura 8: Arquivo para baixar planilhas DATASUS.

The screenshot shows the DATASUS query interface. At the top, there is a blue header with a right-pointing arrow and the word "CONSULTA". Below this, the text "SIHSUS" is displayed. The main section is titled "Selecione uma ou mais modalidades de Arquivos para Download:". It contains two dropdown menus. The first dropdown is labeled "Arquivos Auxiliares de Tabulação" and has three options: "Dados" (selected), "Documentação", and "Documentação". The second dropdown is labeled "Selecione um ou mais tipos de Arquivo" and has four options: "RD - AIH Reduzida" (selected), "RJ - AIH Rejeitadas", "SP - Serviços Profissionais", and "ER - AIH Rejeitadas com código de erro". Below these, there is a section "Selecione o Ano:" with a dropdown menu showing the years "2018", "2017" (selected), "2016", and "2015". To the right of this, there is a section "Selecione uma ou mais UF" with a dropdown menu showing the states "RN", "RO", "RR", "RS", "SC", "SE", "SP" (selected), and "TO". To the right of that, there is a section "Selecione um ou mais Meses" with a dropdown menu showing the months "Junho", "Julho", "Agosto", "Setembro", "Outubro", "Novembro", and "Dezembro". At the bottom, there is a button labeled "Enviar".

Fonte: DATASUS (2019).

Em seguida aparecerão os *links* de parte dos arquivos para *downloads* (Figura 9).

Figura 9 – Arquivos para downloads para obter planilha DATASUS.

Arquivos para Download

☐ Marcar Todos

Baixar

Selecionados:

Digitar o nome do arquivo para compactação com a extensão (.zip ou .rar):

	Mês/Ano	Arquivo	Data Últ. Atualização	Tamanho
☐	11/16	RDSP1611.dbc	08/01/18	14,50 MB
☐	10/16	RDSP1610.dbc	08/01/18	14,76 MB
☐	09/16	RDSP1609.dbc	08/01/18	15,03 MB
☐	05/16	RDSP1605.dbc	08/01/18	15,34 MB
☐	07/16	RDSP1607.dbc	08/01/18	15,39 MB
☐	08/16	RDSP1608.dbc	08/01/18	15,45 MB
☐	06/16	RDSP1606.dbc	08/01/18	15,74 MB
☐	12/16	RDSP1612.dbc	05/02/18	14,55 MB
☐	01/16	RDSP1601.dbc	10/04/17	14,13 MB
☐	02/16	RDSP1602.dbc	10/04/17	14,19 MB
☐	03/16	RDSP1603.dbc	05/05/17	15,36 MB
☐	04/16	RDSP1604.dbc	05/06/17	15,25 MB

☐ Marcar Todos

Baixar

Selecionados:

Tamanho Total: 179,69 MB

Nº Arquivos: 12

Fonte: DATASUS (2019).

Os arquivos vêm compactados em (.dbc) e são expandidos utilizando o programa TabWin (também disponível no mesmo portal) para (.dbf).

A planilha DATASUS possui 114 colunas (Figura 10). Foram selecionadas para esse projeto as informações referentes ao ano de competência, município de residência, sexo, data de internação, data de saída, diagnóstico principal, idade e morte (Figura 11).

Figura 10: Planilha fornecida pelo DATASUS.

The screenshot shows an Excel spreadsheet titled 'RDSP1601 - Excel'. The interface includes the 'Página Inicial' (Home) tab with various formatting options. The spreadsheet contains a table with columns labeled A through Z. The data rows start from row 1 and go down to row 22. The columns contain various numerical and categorical data points, including dates, IDs, and counts.

Fonte: DATASUS (2019).

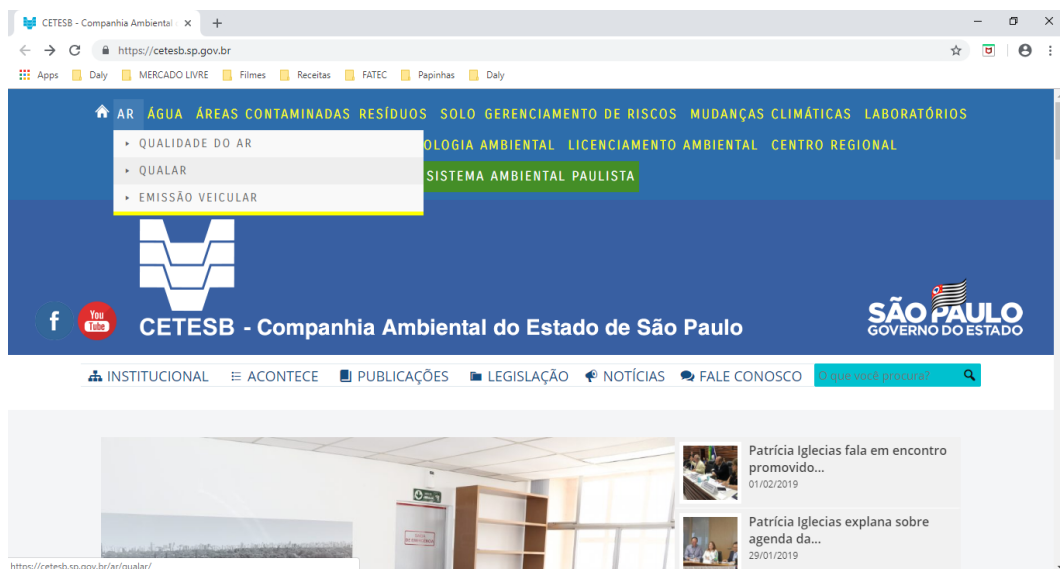
Figura 11: Planilha filtrada.

The screenshot shows an Excel spreadsheet titled 'RDSP1601'. The interface includes the 'Página Inicial' (Home) tab. The spreadsheet contains a table with columns labeled A through N. The data rows start from row 1 and go down to row 19. The columns contain various numerical and categorical data points, including dates, IDs, and counts. The data appears to be filtered based on specific criteria.

Fonte: DATASUS (2019).

Também foram coletados os dados estimados dos níveis do poluente ambiental partículas inaláveis (PM₁₀), dados esses obtidos da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB (Figura 12), onde é selecionado o campo Ar e depois o campo QUALAR.

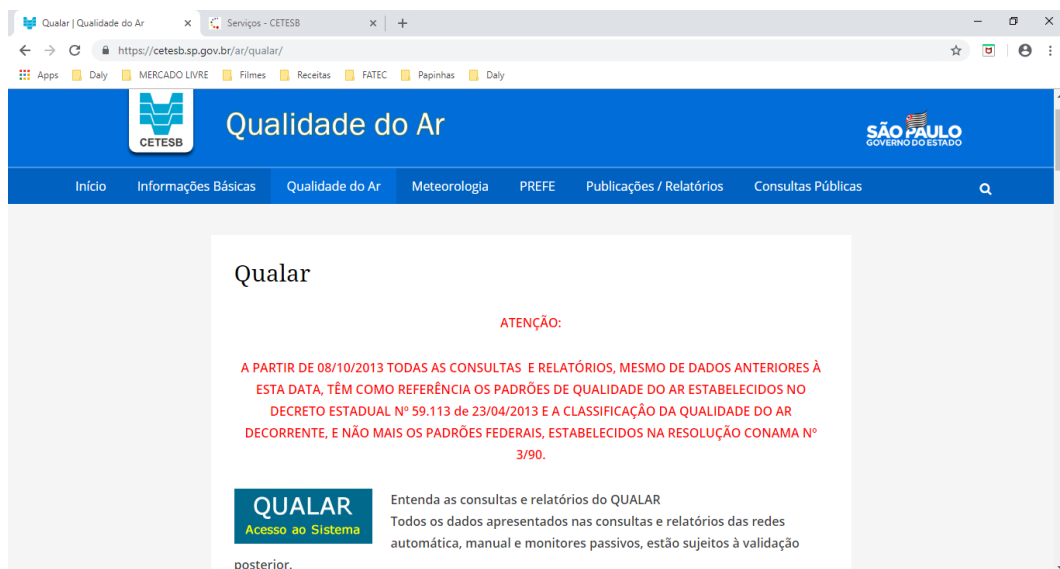
Figura 12: Portal da CETESB.



Fonte: SÃO PAULO (2017).

Na próxima página clicar em QUALAR Acesso ao Sistema (Figura 13).

Figura 13: Acesso ao Sistema.



Fonte: SÃO PAULO (2017).

Em seguida é preciso fazer um cadastro para ter acesso ao sistema, após o cadastro selecionar Relatórios e Valores Diários (Figura 14).

Figura 14: Acesso aos relatórios da CETESB.

SISTEMA DE INFORMAÇÕES DA QUALIDADE DO AR	
ESTAÇÃO	
PARÂMETRO	
ENTRADA DE DADOS	
CONSULTAS	
RELATÓRIOS	Valores Diários Mensal Dados Horários Distribuição da Qualidade Médias Mensais Ultrapassagens Representatividade Concentração - Rede Manual Caracterização das Estações Índice Ventilação Anual Distribuição de Frequência Frequência Inversão Térmica Gerar Gráfico de Parâmetro Gerar Gráfico Comparativo
SAIR	

Fonte: SÃO PAULO (2017).

Na próxima página selecionar a Data Inicial, Data Final, Região, Poluente e a estação medidora (Figura 15), obtendo a planilha com o Relatório e os Valores Diários (Figura 16). São José dos Campos possui duas estações medidoras. Optou-se pela estação São José dos Campos – Jardim Satélite, por estar mais completo seu banco de dados.

Figura 15: Acesso aos Relatórios – Valores Diários.

Relatórios - Valores Diários eira da
Silva Vieira▼

VALORES DIÁRIOS

Tipo de Rede: ☒ Automática ☐ Manual

Data Inicial*: 01/01/2016 Data Final*: 31/12/2016

UGRHI: 2 - PARAIBA DO SUL ▼

Parâmetro: MP10 (Partículas Inaláveis) ▼

☐ Realizar Representatividade

☐ Utilizar maior média móvel do dia

Valores diários
 MP10, MP2,5, SO2, PTS, fumaça, VV e PRESS: Médias diárias
 NO2: Máxima média de 1h do dia.
 O3 e CO: Máximas médias de 8 horas do dia.
 TEMP, RADG e RADUV: Máximas do dia.
 UR: Mínima do dia.

ESTAÇÕES	
	Nome
☐	Guaratinguetá
☐	Jacareí
☐	S.José Campos
☒	S.José Campos-Jd.Satelite
☐	Taubaté

Fonte: SÃO PAULO (2017).

Figura 16: Planilha do Relatório e Valores Diários.



Sistema de Informações de Qualidade do Ar

RELATÓRIO DE VALORES DIÁRIOS

Tipo de Rede: Automático

Data Inicial: 01/01/2016

Data Final: 31/12/2016

Realizar Representatividade: N

Utilizar maior média móvel do dia: N

UGRHI: 2 - PARAIBA DO SUL

Estação: S.José Campos-Jd.Satelite

Unidade de $\mu\text{g}/\text{m}^3$

PQAR: 120,0

Parâmetro: 12 - MP10 (Partículas Inaláveis)

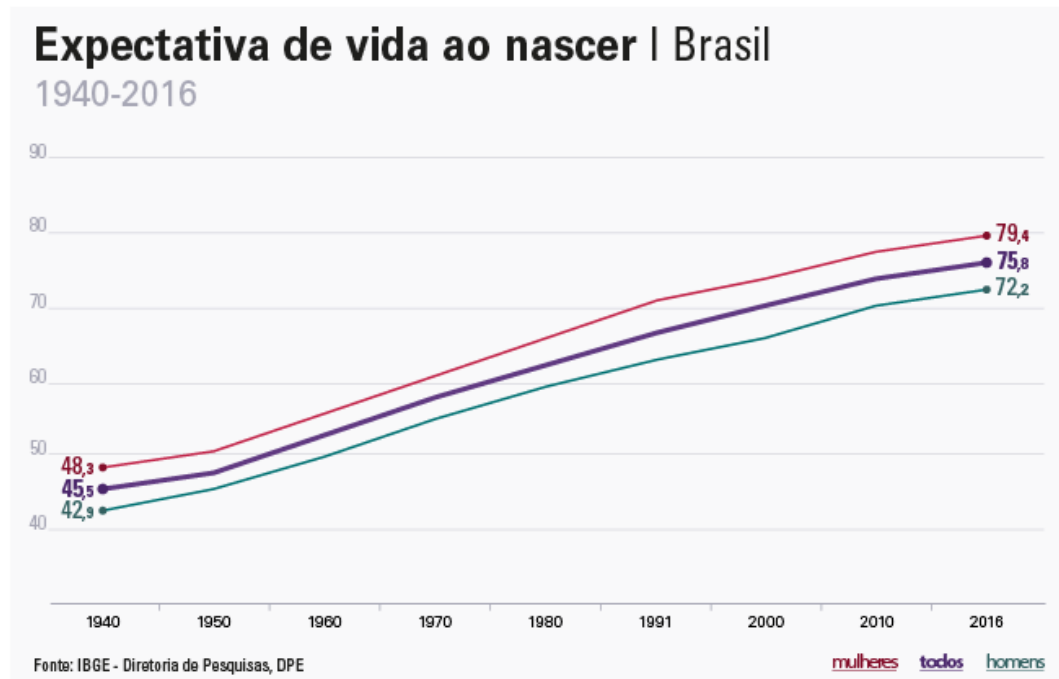
Data	Valor Diário	Horário de Ocorrência	Número de Amostras	Qualidade do Ar
01/01/2016	20	24:00	24	N1 - BOA
02/01/2016	10	24:00	24	N1 - BOA
03/01/2016	7	24:00	24	N1 - BOA
04/01/2016	11	24:00	24	N1 - BOA
05/01/2016	16	24:00	24	N1 - BOA
06/01/2016	23	24:00	24	N1 - BOA
07/01/2016	22	24:00	24	N1 - BOA
08/01/2016	30	24:00	24	N1 - BOA
09/01/2016	18	24:00	24	N1 - BOA
10/01/2016	10	24:00	24	N1 - BOA
11/01/2016	11	24:00	24	N1 - BOA
12/01/2016	9	24:00	24	N1 - BOA
13/01/2016	13	24:00	24	N1 - BOA
14/01/2016	9	24:00	24	N1 - BOA
15/01/2016	9	24:00	24	N1 - BOA
16/01/2016	14	24:00	24	N1 - BOA
17/01/2016	16	24:00	24	N1 - BOA
18/01/2016	10	24:00	24	N1 - BOA
19/01/2016	14	24:00	24	N1 - BOA
20/01/2016	8	24:00	24	N1 - BOA
21/01/2016	15	24:00	24	N1 - BOA

Fonte: SÃO PAULO (2017).

3.4 DADOS DE EXPECTATIVA DE VIDA

A expectativa de vida ou esperança de vida é uma medida de projeção da idade estimada de óbito, realizada a partir de dados de mortalidade da população em um certo período (MIRAGLIA 2002). A expectativa de vida está diretamente associada às condições sociais e econômicas de uma população. Esses dados foram obtidos do IBGE (BRASIL a, 2018) e estão representados na Figura 17. É um indicador referente ao ano de 2016, foi considerado para esse estudo a expectativa de vida média entre homens e mulheres (75 anos).

Figura 17: Expectativa de vida ao nascer – Brasil.



Fonte: IBGE (2019).

Para a obtenção dos anos potenciais de vida perdidos foram utilizados os valores correspondentes a idade do óbito, conforme a Tabela 4.

Tabela 4: Anos potenciais de vida perdidos.

IDADE	HOMEM	MULHER	MÉDIA
0	72,2	79,4	75,8
1	72,3	79,3	75,8
5	68,5	75,5	72,0
10	63,6	70,6	67,0
15	58,7	65,7	62,1
20	54,1	60,8	57,5
25	49,8	56,0	52,9
30	45,3	51,1	48,3
35	40,9	46,4	43,7
40	36,5	41,6	39,1
45	32,2	37,0	34,7
50	28,0	32,5	30,3
55	24,1	28,2	26,2
60	20,3	24,0	22,3
65	16,8	20,0	18,5
70	13,6	16,3	15,1
75	10,8	13,0	12,1
80 anos ou mais	8,5	10,2	9,5

Fonte: IBGE (2019).

3.5 DALY (DISABILITY ADJUSTED LIFE YEARS OU ANOS DE VIDA PERDIDOS E VIVOS COM INCAPACIDADES)

Segundo Miraglia (2002), o método *DALY* é um indicador padrão que proporciona uma única medida de saúde e possui duas componentes: a YLL (*Years of Life Lost* ou Anos de Vida Perdidos), que é o tempo perdido devido à morte prematura, e a YLD (*Years Lived with Disability* ou Anos Vivos com Incapacidade), que é o tempo vivido em uma condição de saúde diferente da saúde perfeita.

A concepção do *DALY* foi realizada em três etapas diferentes. A primeira etapa era acessar a significância para a saúde pública de doenças individuais (ou grupos de doenças relacionadas), e sobre o custo e efetividade das intervenções relevantes para o seu controle, introduzindo assim o *DALY*, e estabelecer padrões importantes para guiar as estimativas de número de mortes por causa. A segunda etapa foi uma tentativa para proporcionar um compreensivo rol de estimativas para o número de mortes por causa e o total de ônus de doença e o ônus da incapacidade gerada pelos fatores de risco. Na terceira etapa, que foi a preparação e publicação de *Global Burden of Disease and Injury Series* (GBD), foi realizada com a intenção de informar uma política de análise. A metodologia *DALY* permite estabelecer padrões de mortalidade por causa, mesmo em locais onde não há sistematização de registro de óbitos (MIRAGLIA, 2002).

3.6 GLOBAL BURDEN OF DISEASE AND INJURY SERIES (GBD)

A Carga Global de Doenças ou *Global Burden of Disease* (GBD) avalia a incapacidade e a morte de inúmeras doenças em todo o mundo, medindo sistematicamente os problemas de saúde no mundo, quantificando os níveis e tendências em saúde. O estudo da Carga Global de Doenças é realizado pelo *Institute for Health Metrics and Evaluation* (IHME) ou Instituto de Métricas e Avaliação de Saúde, da Universidade de Washington, com mais de 3600 pesquisadores em mais de 145 países. (MURRAY; LOPEZ, 1996).

As informações do GBD disponibilizam dados para comparar o crescimento da saúde em diversos países para entender as causas principais de perda de saúde, engloba a prevalência ou fator de risco de uma determinada doença, permitindo a comparação dos efeitos em diversas doenças.

O IHME, com o objetivo de tornar os resultados mais acessíveis, organizou as informações em um conjunto de visualizações interativas, facilitando assim o acesso a mais de 1 bilhão de dados gerados. Com os dados analisados pelos pesquisadores, são registradas as

mortes prematuras e a incapacidade de mais de 350 doenças e enfermidades desde 1990, possibilitando assim a comparação ao passar do tempo.

No estudo de Salomom et al. (2015) foram estimados os pesos de incapacidade para o estudo do GBD 2013, com dados de pesquisas baseados na web de participantes entre 18 e 65 anos, em quatro países europeus. Utilizou-se uma comparação emparelhada dos dados coletados no estudo de medição de pesos por deficiência do GBD 2010. Os entrevistados consideraram dois indivíduos com estados de saúde diferentes e especificaram qual pessoa eles consideravam mais saudável que o outro. Essas pesquisas cobriram 183 estados de saúde pertinentes ao GBD 2013; destes estados, 30 foram apresentados com descrições revisadas de versões anteriores e 18 eram novos para GBD 2013. Os resultados para o peso da incapacidade variam entre 0 (sem perda de saúde) e 1 (perda equivalente à morte).

3.7 COMPONENTE YLL (*YEARS OF LIFE LOST* OU ANOS DE VIDA PERDIDOS)

A equação para o cálculo de ônus em termos de YLLs está representada pela equação 1 (Murray; Lopez, 2016):

$$YLLs = \frac{KCe^{ra}}{(r+\beta)^2} \left[e^{-(r+\beta)(L+a)} [-(r+\beta)(L+a) - 1] - e^{-(r+\beta)a} [-(r+\beta)a - 1] \right] + \frac{1-K}{r} (1 - e^{-rL}) \quad (1)$$

Sendo:

r = taxa de desconto

K = fator de modulação peso-idade

C = constante

a = idade do evento do óbito

L = padrão de expectativa de vida na idade a

β = parâmetro da função peso-idade

O parâmetro “ r ”, ou taxa de desconto, possui o mesmo significado da matemática financeira, adaptado, porém para expressar anos de vida. Descontar anos de vida altera o valor agregado à morte em diferentes idades. Dois valores de r são habitualmente utilizados como taxas de desconto: 3 % e 10 %. O GBD sugere utilizar o valor de 3 % como mais representativo para o valor presente dos benefícios e custos futuros descontados. O fator de modulação peso-

idade (K) refere-se à diferenciação dos indivíduos pela sua idade. Esse fator está relacionado à preferência dos indivíduos em prevenir o evento da morte em diferentes idades. A padronização proposta pelo GBD sugere a utilização de $K = 1$. Se o K for 0, então os YLLs serão calculados com pesos-idade uniformes. As preferências dos indivíduos dependentes do valor de vida em diferentes idades são chamadas de peso-idade. A explicação dos motivos dos indivíduos para o peso-idade são:

- I) diferente valoração dos indivíduos dos anos vividos
- II) diferente capacidade produtiva no transcorrer dos anos vividos
- II) contribuição social e psicológica para o bem-estar de outros no transcorrer dos anos vividos.

O fator β determina a importância de pesos-idade e é escolhido arbitrariamente; C é uma constante de ajuste escolhida, a fim de introduzir pesos-idade que não alterem o número total de números de anos de vida perdidos. A metodologia desenvolvida no GBD sugere utilizar os valores de $\beta = 0,04$ e $C = 0,1658$.

Finalmente, a variável “a” refere-se à idade do indivíduo no evento do óbito, enquanto a variável “L” refere-se ao padrão de expectativa de vida na idade “a”. Essas duas variáveis consistem nos dados dos eventos analisados necessários a serem introduzidos para estimar o número de anos de vida perdidos devido a uma dada doença. Essa equação foi programada e desenvolvida numa planilha Excel onde o banco de dados original foi agregado para então se proceder ao cálculo. Uma implementação foi introduzida de modo a realizar as comparações das expectativas de vida na idade do óbito considerando-se o mesmo arquivo de planilha, proporcionando-se uma saída única. Essa saída consiste em cada cálculo individual de YLL para cada evento. A obtenção do total de YLLs é feita através da somatória dos resultados individuais YLLs devido à mortalidade por doenças atribuíveis à poluição, isto é, a parte de YLLs devido aos efeitos da poluição atmosférica dos desfechos, através do cálculo apresentado na fórmula do YLL.

Desse modo, o YLL devido à poluição foi obtido pela equação (2):

$$YLL_{pol} = \Sigma YLL * RR \quad (2)$$

Sendo:

YLL_{pol} = YLL atribuível à poluição atmosférica

ΣYLL = somatória de todos os YLLs individuais do banco de dados analisado

RR = risco relativo de mortalidade devido ao desfecho analisado

3.8 COMPONENTE YLD (*YEARS OF LIFE LIVED WITH DISABILITY* OU ANOS VIVIDOS COM INCAPACIDADE)

A equação para o cálculo de ônus em termos de YLDs está representada pela equação 3 (Murray e Lopez, 2016):

$$YLDs = D \left\{ \frac{KCe^{ra}}{(r+\beta)^2} \left[e^{-(r+\beta)(L+a)} [-(r+\beta)(L+a) - 1] - e^{-(r+\beta)a} [-(r+\beta)a - 1] \right] + \frac{1-K}{r} (1 - e^{-rL}) \right\} \quad (3)$$

Sendo:

r = taxa de desconto

K = fator de modulação peso-idade

C = constante

a = idade do evento da incapacidade

L = padrão de expectativa de vida na idade a

β = parâmetro da função peso-idade

D = peso da incapacidade

A indisponibilidade de dados de morbidade é muito frequente, fato que ocorre não apenas no Brasil como também em outros países, independentemente do nível de desenvolvimento. Conforme observado acima, não se dispõe de dados relativos à morbidade de doenças cardiovasculares que permitisse considerar as variáveis de idade do indivíduo no momento do acometimento da incapacidade (a) e o tempo de duração da incapacidade (L). Esses dados são comumente obtíveis na realização de estudos de corte e de censos de saúde que viabilizam a sistematização desse tipo de informação de forma confiável.

Os dados de população utilizados para as estimativas de total de casos a partir das prevalências foram o número de habitantes de acordo com a faixa etária para o município de São José dos Campos (IBGE, 2018). O número de YLDs - total de casos foi obtido a partir da média da faixa de peso de incapacidade. Dessa maneira, os YLDs devidos à poluição atmosférica foram definidos aplicando-se os respectivos riscos relativos para a ocorrência de cada desfecho, analogamente ao realizado com o cálculo do YLL atribuível à poluição do ar (YLL_{pol}).

Assim, o YLD devido à poluição foi obtido por meio de equação (4):

$$YLD_{pol} = \Sigma YLD * RR \quad (4)$$

Sendo:

YLD_{pol} = YLD atribuível à poluição atmosférica

ΣYLD = somatória de todos os YLDs individuais a partir das prevalências e níveis de incapacidade obtidos através da fórmula do YLD

RR = risco relativo de morbidade devido ao desfecho analisado

3.9 DADOS DE RISCO RELATIVO

O risco relativo é utilizado para relacionar a probabilidade de um evento acontecer em um grupo exposto contra um grupo não exposto (grupo de controle). Alguns estudos como citados abaixo calcularam o risco relativo de mortalidade por doenças cardiovasculares para o município de São José dos Campos – SP.

No estudo realizado por Nascimento (2011), foi estimada a contribuição dos poluentes atmosféricos para as internações por doenças cardiovasculares para residentes na cidade de São José dos Campos – SP. Foi constatado que a exposição ao PM_{10} está associada às internações, apresentando um risco relativo de 1,006 e um acréscimo de $16 \mu g/m^3$ do poluente acarretaria em um aumento de 10% nas internações.

Nascimento et. al (2012) estimaram os efeitos da poluição ambiental às internações por acidente vascular cerebral (AVC), no município de São José dos Campos – SP. Foi concluído que a exposição aos poluentes material particulado, dióxido de enxofre e ozônio estão associados com as internações por AVC com um risco relativo de 1,013 e que um aumento de $10 \mu g/m^3$ do poluente PM_{10} aumentaria em 12% as internações.

Amâncio e Nascimento (2014) estimaram a associação entre exposição a alguns poluentes do ar e risco de morte por acidente vascular cerebral no período de 01 de janeiro de 2005 a 31 de dezembro de 2009. Dados sobre mortes por acidente vascular cerebral em indivíduos de todas as idades que vivem em São José dos Campos e sobre material particulado, dióxido de enxofre e ozônio foram utilizados. A análise estatística utilizou modelo aditivo generalizado de regressão de Poisson com o *software* Statistica, em modelos “*unipollutant*” e “*multipollutant*”. Foi calculado o percentual de aumento no risco para o aumento da diferença interquartil. O aumento do risco foi de 10% e 7%, respectivamente para material particulado e dióxido de enxofre.

O estudo realizado por Tuan, Venâncio e Nascimento (2016) estimou a associação entre exposição a poluentes do ar e internações por infarto agudo do miocárdio (IAM) segundo gêneros, entre 01 de janeiro de 2012 e 31 de dezembro de 2013, em São José dos Campos – SP. Foi um estudo ecológico de série temporal com dados diários de internações por IAM dos poluentes CO, O₃, PM₁₀, SO₂, NO₂, segundo gêneros. Utilizou-se modelo linear generalizado da Regressão de Poisson para estimar os riscos relativos para internações com defasagens de 0 a 5 dias, ajustados por temperatura, umidade, sazonalidade e dias da semana. O aumento do risco foi de 7% para ambos os sexos para CO e 5% para ambos os sexos para SO₂.

Tendo em vista vários valores para o risco relativo para a exposição ao PM₁₀, considerando internações ou óbitos por doenças do aparelho cardiovascular, e apresentados em estudos realizados na cidade de São José dos Campos – SP, citados anteriormente, optou-se, para essa tese, em fazer um novo risco relativo. Então, foi desenvolvido um estudo ecológico de série temporal com dados sobre hospitalização por doenças cardiovasculares (CID-10 Cap IX) em residentes de São José dos Campos, SP, com 40 anos ou mais e de ambos os sexos, com informações obtidas no portal DATASUS durante todo o ano de 2016, para quantificar o risco relativo (RR) da exposição aos poluentes, para estas internações.

As variáveis independentes foram concentrações de poluentes NO₂, PM₁₀, O₃, temperatura mínima e umidade relativa obtidas na Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), que possui três estações de monitoramento. A análise utilizou regressão binomial negativa para evitar superdispersão devido a possíveis diferenças significativas entre o valor médio das hospitalizações e sua variação. O modelo foi ajustado pela temperatura e umidade relativa e controlado por dia da semana e tendência de longo prazo.

Os coeficientes de regressão binomial negativa (β_i) com seus respectivos desvios-padrão foram transformados em risco relativo (RR) para hospitalização com intervalo de confiança de 95%, para defasagens entre exposição e de zero a cinco dias, pois os efeitos dessa exposição podem ser evidente no mesmo dia ou dias após a exposição (*lag 0 a lag 5*).

A análise utilizou os modelos unipolvente e multipolvente e o programa computacional utilizado foi o StataTM v10.

3.10 VOLY (VALUE OF LIFE YEAR OU VALOR DE UM ANO DE VIDA)

O número total de mortes prematuras causadas pela exposição aos poluentes do ar não pode ser determinado. Uma das razões é que a poluição não pode ser identificada como causa de qualquer morte, ela apenas contribui para o óbito, ou seja, não é uma causa primária de morte, logo ela contribui para a perda da expectativa de vida, e para avaliar essa perda é necessário o valor de um ano de vida *VOLY*. A mortalidade por poluição não interrompe alguns meses de sofrimento no final da vida, mas causa “envelhecimento acelerado”. Com base na ExtenE adotou-se um *VOLY* de € 50.000 (BICKEL; FRIEDRICH, 2005).

3.11 APLICAÇÃO DO DALY

O *DALY* é uma medida sumária de saúde expressa por um indicador padrão em unidade de tempo (anos), obtido pela soma de dois componentes: *YLL – Years of Life Lost* ou Anos de Vida Perdidos, em função de uma morte prematura (associada a um desfecho específico) correlacionada à expectativa de vida estimada e o *YLD – Years Lived with Disability* ou Anos Vividos com Incapacidades, ou seja, o tempo vivido em condições de saúde não condizentes às ideais devido a desfechos como doenças, lesões ou a fatores de risco.

O *DALY* é expresso pela equação (5) que é a somatória das equações (1) e (3):

$$DALY = YLL + YLD \quad (5)$$

Conforme as informações do item 3.3 para o cálculo do *Daly* foram considerados os seguintes valores para as variáveis:

$K = 1$; é fator de ponderação da idade

$C = 0,1658$; é uma constante

$e = 2,718282$;

$r = 0,03$; é a taxa de desconto

$\beta = 0,04$; é o parâmetro da função peso – idade

a = idade da morte ou idade de início da deficiência;

L = expectativa de vida (75);

D = peso da incapacidade (Tabela 5).

A expectativa de vida adotada para a modelagem foi o menor valor para cada classe; assim, para um indivíduo com 53 anos de idade, foi adotada a expectativa de vida correspondente à idade de 50 anos.

Os pesos de incapacidade utilizados neste estudo foram baseados naqueles apresentados na Tabela 5, segundo GBD.

Tabela 5 – Peso da incapacidade

Doenças cardiovasculares (CID 10) ^a	Pesos das incapacidades ^b
Doenças reumáticas do coração (I01 a I09)	0,25
Doenças isquêmicas do coração (I20 a I25)	0,44
Doenças cerebrovasculares (I60 a I69)	0,92
Doenças inflamatórias do coração (I30, I33, I38, I40, I42)	0,25
Doença cardíaca hipertensiva (I10 a I13)	0,25
Embolia pulmonar (I26)	0,12
Aneurisma e dissecação da aorta (I71)	0,44
Demais códigos	0,12

Fonte: a) Códigos da classificação estatística internacional de doenças e problemas relacionados a saúde – 10^a revisão (CID – 10); b) Murray e Lopez (1996).

Como a estimativa dos efeitos à saúde causados pela exposição a poluentes atmosféricos foi determinada a partir do cálculo da mortalidade atribuída, a análise da valoração dos efeitos também está focada apenas nesse desfecho. Assim, serão estimados os *DALY* relacionados à mortalidade atribuível à exposição à poluição do ar e na sequência os *DALY* serão valorados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos anos de 2016, 2017 e 2018 ocorreram 3232, 3480 e 3567 internações por doenças do aparelho circulatório respectivamente, do capítulo IX da CID X, na cidade de São José dos Campos – SP, ou seja, no decorrer dos anos, as internações por essas doenças aumentaram respectivamente. Dessas internações 321 (9,93%), 345 (9,91%) e 373 (10,46%) indivíduos foram a óbito respectivamente para os mesmos anos (consultado em 18/11/2019), todos residentes em São José dos Campos – SP, para as doenças específicas com códigos na CID X de: I20 à I25 (doenças isquêmicas), I50 (insuficiência cardíaca), I60 à I64 (acidente vascular cerebral isquêmico, hemorrágico e não identificado) foram respectivamente 2048 (63,37%), 2289 (65,78%) e 2121 (59,46%) internações com 184 (8,98%), 215 (9,39%) e 202 (9,52%) óbitos, é possível notar que as mortes por doenças do aparelho circulatório têm aumentado com o passar dos anos.

4.1 POLUENTE PM₁₀

A análise descritiva dos valores médios da concentração do poluente estudado, o desvio padrão, o valor de mínimo e o valor de máximo para PM₁₀ para os anos de 2016, 2017 e 2018 encontram-se na Tabela 6.

Tabela 6 – Valores médios e respectivos desvios padrão, mínimos e máximos da variável PM₁₀ (µg/m³) para os anos de 2016, 2017 e 2018 em São José dos Campos – SP.

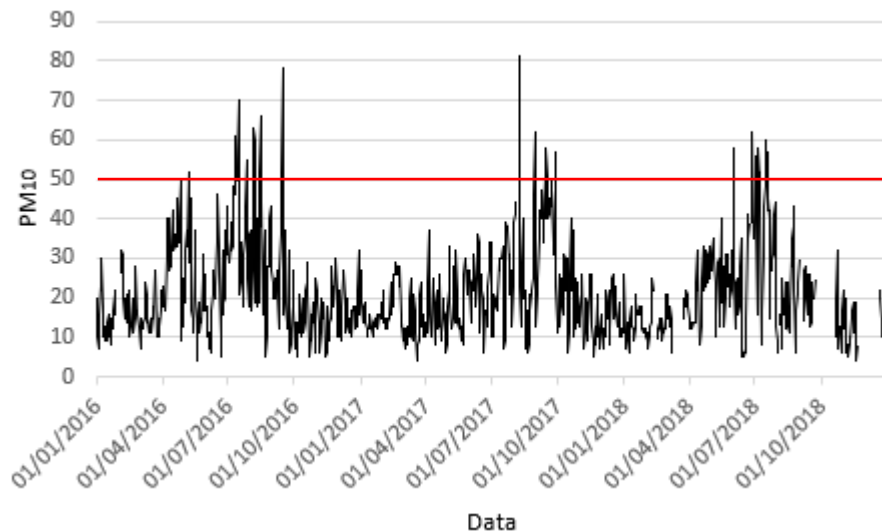
	Média	DP	Mínimo	Máximo
PM ₁₀ – 2016	22	12,4	4	78
PM ₁₀ – 2017	21	11,0	4	81
PM ₁₀ – 2018	21	11,7	4	62

Fonte: Produção do próprio autor.

Pode-se observar que os valores médios estão de acordo com os padrões estabelecidos pela CETESB, mas em alguns dias os valores atingiram picos altos em relação ao valor considerado aceitável de 50 µg/m³, sendo que no ano de 2017 foi registrado a maior concentração de PM₁₀, com 81 µg/m³.

Na Figura 18 pode-se observar a série temporal da concentração de PM₁₀ durante o ano de 2016, 2017 e 2018 em São José dos Campos – SP.

Figura 18: Distribuição diária das concentrações de PM_{10} ($\mu g/m^3$) para o ano de 2016, 2017 e 2018 em São José dos Campos – SP.



Fonte: Produção do próprio autor.

Para o ano de 2016, segundo os critérios estabelecidos pela CETESB, a qualidade do ar ultrapassou, em 17 dias, o valor considerado aceitável de $50 \mu g/m^3$ (sugerido pela OMS). No restante dos dias a qualidade do ar foi boa, porém, isso significa que em 4,64% do ano, o poluente PM_{10} esteve acima de $50 \mu g/m^3$. Para o ano de 2017 e 2018, foram 9 dias para cada ano em que a concentração do poluente PM_{10} esteve acima do valor aceitável, o que representa 2,47% do ano, tanto para 2017 quanto para 2018.

Os resultados desta tese (média de $21 \mu g/m^3$) estão bem abaixo dos valores do artigo de Carneseca et al. (2012), que encontraram $41,3 \mu g/m^3$ de PM_{10} , com picos chegando até $95,8 \mu g/m^3$, para a cidade de Ribeirão Preto – SP, uma cidade como São José dos Campos, de médio porte, com aproximados 600 mil habitantes. Possivelmente esses valores se devem ao fato de que a cidade tem como fonte econômica a agricultura, sendo uma das mais importantes áreas agrícolas do estado de São Paulo. O município é um grande produtor da cana-de-açúcar e álcool, e por causa da queima dos canaviais o índice de poluição atmosférica da cidade é alto, há também uma cultura entre os moradores de eliminar seu lixo de folhas, galhos e ervas daninhas através da queima, o que contribui para emissão de poluentes. No trabalho de Carneseca et al., o objetivo foi analisar os efeitos da exposição a partículas inaláveis PM_{10} sobre o número de procedimentos de inalação/nebulização, e concluíram que o PM_{10} tem uma associação positiva ao número de inalações/nebulizações.

Na cidade de São José do Rio Preto – SP, David et al. (2018) encontraram uma média de $36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} . Os resultados desta tese representam aproximadamente 58% da média encontrada em São José do Rio Preto, um número muito significativo, tendo em vista que a cidade estudada por David et al., é acometida pela queima da palha de cana-de-açúcar, explicando assim sua média em relação ao poluente PM_{10} ser mais elevada em relação à média encontrada nesse estudo, já que ambas as cidades são do interior do estado de São Paulo, mas com economias diferentes, uma com perfil agroindustrial e a outra com perfil industrial. David et al. estimaram o número de internações de crianças por doenças respiratórias com um modelo computacional, baseando-se nos poluentes atmosféricos e nos dados climáticos da cidade, obtendo um resultado eficaz com a ferramenta.

Cirino (2018) analisou os poluentes atmosféricos de seis municípios sobre a saúde de crianças, os municípios envolvidos foram Campinas, Cubatão, Santos, São José dos Campos, São José do Rio Preto e Santo André. Na Tabela 7 é possível comparar a média da concentração do poluente PM_{10} encontrado por Cirino, David e Carneseca com a média encontrada nessa tese.

Tabela 7: Médias do PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nas cidades de: Campinas, Cubatão, Santos, São José dos Campos, São José do Rio Preto, Santo André e Ribeirão Preto.

Cidades	PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Campinas (Cirino, 2018)	32,4
Cubatão (Cirino, 2018)	65,1
Santos (Cirino, 2018)	38,6
São José dos Campos (Cirino, 2018)	24,9
São José do Rio Preto (Cirino, 2018)	37,7
Santo André (Cirino, 2018)	35,1
Ribeirão Preto (Carneseca, 2012)	41,3
São José do Rio Preto (David, 2018)	36,0
São José dos Campos (nosso estudo)	21,5

Fonte: Produção do próprio autor.

É possível observar que com o passar dos anos a cidade de São José do Rio Preto e São José dos Campos apresentaram uma menor concentração. Vários fatores podem ter ocorrido para essa pequena queda na concentração do poluente. Possivelmente uma das causas poderia ser a renovação da frota veicular, com carros mais novos e bem regulados a emissão de poluentes é menor, outra possível causa poderia ser a pressão que as indústrias vêm passando para diminuir a quantidade de poluentes emitidos na atmosfera. Outro ponto que se pode observar é que a concentração do poluente PM_{10} nessa tese é a menor, o que é uma boa notícia,

pois com o passar dos anos políticas públicas foram aplicadas, como por exemplo em forma de multas. Logo as indústrias vêm trabalhando, se conscientizando e utilizando – se de novos maquinários para cada vez mais emitir menos poluentes.

4.2 ANOS DE VIDA PERDIDOS (YLL)

O resultado encontrado para os anos de vida perdidos (YLL) são mostrados na tabela 8.

Segundo a análise binomial negativa só foi possível identificar exposição significativa ao PM_{10} no *lag* 3 (valor $P = 0,021$) no modelo multipolvente. O risco relativo associado a esta exposição com o aumento da concentração de PM_{10} de $10 \mu g / m^3$ foi de $RR = 1,081$ (IC 95% 1,012 – 1,155), isso representa um risco excedente de cerca de 8,1%.

A razão atribuível proporcional (RAP) fornecido pela equação $RAP = 1 - \frac{1}{RR}$, resultou em $RAP = 0,075$; a fração atribuível proporcional FAP é dada pela expressão $FAP = RAP * N$, onde N é a população do estudo.

Tabela 8: Anos de vida perdidos e seu risco atribuível proporcional.

ANOS	YLL	FAP
2016	1690,6	126,80
2017	1690,0	126,75
2018	1650,9	123,37

Fonte: Produção do próprio autor.

Aplicando o modelo de anos de vida perdidos (YLL), para toda a população de São José dos Campos, com 40 anos ou mais que apresentam doenças cardiovasculares, os danos causados pela poluição atmosférica possivelmente resultou 1690,6 YLLs em 2016, atribuindo-se um risco atribuível proporcional (RAP) de 7,5%, resultaram no YLL de 126,80 anos de vida perdidos devido à exposição ao PM_{10} . Para o ano de 2017 foram 1690 YLLs, e devido à exposição ao poluente PM_{10} foram 126,75 e, por fim para o ano de 2018 foram contabilizados 1650,9 YLLs perdidos, e associados ao poluente PM_{10} foram 123,37 anos de vida perdidos. No decorrer dos três anos, foram mais de 5031 anos de vida perdidos, e associados ao PM_{10} foram mais de 377 anos de vida perdidos devido à exposição ao PM_{10} .

O modelo foi aplicado separadamente para os sexos masculino e feminino, e os resultados obtidos estão nas Tabelas 9 e 10.

Tabela 9: Anos de vida perdidos para o sexo masculino.

ANOS	YLL	Associados a exposição ao PM₁₀
2016	866,86	65,01
2017	814,31	61,07
2018	934,75	70,11

Fonte: Produção do próprio autor.

Tabela 10: Anos de vida perdidos para o sexo feminino.

ANOS	YLL	Associados a exposição ao PM₁₀
2016	809,26	60,69
2017	864,34	64,83
2018	692,54	51,94

Fonte: Produção do próprio autor.

Pode-se observar que para os anos de 2016 e 2018 houve mais anos de vida perdidos para o sexo masculino, o que se inverteu para o ano de 2017. Isso significa que os homens são mais suscetíveis à exposição ao poluente PM₁₀. É possível notar também que os anos de vida perdidos se mantiveram na média, ou seja, não houve uma grande variação, já que a média do poluente também se manteve quase a mesma para os três anos estudados. Os anos de vida perdidos associados à exposição ao poluente estudado representam 7,5% do total de YLL, o que representa um total de 196,19 anos perdidos para o sexo masculino e 177,46 anos de vida perdidos para o sexo feminino.

4.3 ANOS DE VIDA VIVIDOS COM INCAPACIDADE (YLD)

Aplicando o modelo de anos vividos com incapacidade (YLD), para toda a população de São José dos Campos, com 40 anos ou mais, que apresentam doenças cardiovasculares, os danos causados pela poluição atmosférica estão representados na Tabela 11.

Tabela 11: Anos de vividos com incapacidade e seu risco atribuível proporcional.

ANOS	YLD	RAP
2016	10051,63	753,87
2017	11217,63	841,32
2018	10450,49	783,79

Fonte: Produção do próprio autor.

Para os três anos juntos, foram vividos com incapacidade mais de 31 mil anos de vida, e associados a exposição ao PM_{10} foram mais de 2 mil anos de vida vividos com incapacidade. Foi aplicado o modelo YLD separado por sexo, masculino e feminino, e os resultados estão nas Tabelas 12 e 13 respectivamente.

Tabela 12: Anos de vida vividos com incapacidade para o sexo masculino.

ANOS	YLD	Associados a exposição ao PM_{10}
2016	6215,07	466,13
2017	6588,80	494,16
2018	6117,64	458,82

Fonte: Produção do próprio autor.

Tabela 13: Anos de vida vividos com incapacidade para o sexo feminino.

ANOS	YLD	Associados a exposição ao PM_{10}
2016	3682,81	276,21
2017	4484,48	336,34
2018	4187,28	314,05

Fonte: Produção do próprio autor.

Esses resultados mostram como os homens são mais suscetíveis à exposição ao poluente PM_{10} , uma vez que nos três anos o número de anos vividos com incapacidade para o sexo masculino superou o sexo feminino. Os anos vividos com incapacidade associados à exposição ao poluente estudado representam 7,5% do total de YLD, o que representa um total de 1419,11 e 926,60 anos de vida vividos com incapacidade para os sexos masculino e feminino respectivamente.

4.4 DALY

O *DALY* (*Disability Adjusted Life Years* ou Anos de Vida Perdidos e Vividos com Incapacidades) referente ao período considerado foi obtido através da equação 5 (apresentada no item 3.11):

$$DALY = YLL + YLD$$

$$DALY = 377,37 + 2378,98 = 2756,35$$

O ônus ambiental total de doenças relacionadas à poluição atmosférica no município de São José dos Campos – SP é de um pouco mais de 2700 anos de vida perdidos e vividos com incapacidade para três anos consecutivos 2016, 2017 e 2018 nos níveis correntes de concentração de poluentes do atmosféricos.

Para o sexo masculino o *DALY* total para os três anos foi de 1615,30 anos de vida perdidos e vividos com incapacidade devido à exposição ao PM_{10} , e para o sexo feminino foram 1104,06 anos de vida perdidos ou vividos com incapacidade. Os resultados, quando somados, apresentam uma pequena diferença quando feito sem a separação dos sexos. Isso se dá ao fato de algumas informações sobre o sexo do paciente não constarem no banco de dados, logo, se explica essa pequena diferença.

O ônus expresso em *DALY* pode ser aplicado em diversas populações, em diversos períodos associados a inúmeros fatores ou doenças. Esse resultado apresentado demonstra o enorme impacto da poluição do ar na economia em uma cidade de médio porte do Vale do Paraíba. Os Anos de Vida Perdidos e Vividos com Incapacidades custaram mais de 2388 anos em uma idade ainda produtiva, avaliando poucas doenças associadas, ou seja, o impacto é maior ainda visto que outras doenças como por exemplo as respiratórias, não foram contempladas nesse estudo.

Pode-se notar que o YLD representa cerca de 86,31% do *DALY* para esse grupo pesquisado, ou seja, uma parcela bem maior do que o YLL. Mais pessoas convivem com os danos causados pela exposição ao poluente PM_{10} , trazendo uma má qualidade de vida, tendo em vista uma faixa etária mais suscetível a essas doenças e sendo agravado pela exposição ao poluente. A exposição ao poluente atmosférico funciona como um acelerador da morte: quanto mais o indivíduo se expõe, mais debilitado ele fica e com isso as chances de vir a óbito aumentam.

4.5 *VOLY*

O *VOLY* (valor de um ano de vida) utilizado para transformar o YLL em perda econômica foi de € 50.000, convertendo para dólar americano (o fator de conversão utilizado foi de 1.1339, consultado em 07 de fevereiro de 2019) significou um perda para a economia da ordem de aproximados US \$ 21 milhões para o YLL nos três anos, de 2016, 2017 e 2018. Foi utilizado o valor europeu *VOLY* por não ter um valor nacional. Esse valor nacional poderia ser menor, mas sempre é considerado o de maior valor, o que seria o valor europeu.

Esse é o primeiro estudo que se tem conhecimento em uma cidade de médio porte do Brasil utilizando a metodologia *DALY*. A maioria dos estudos, que abordam a exposição à poluição atmosférica e seus efeitos na saúde, geralmente tratam sobre o aumento do risco de internação ou óbito associados a determinado poluente e utilizam-se de outras metodologias. Com o estudo de Nascimento (2011), para a mesma cidade, São José dos Campos - SP, foi constatado que a exposição ao PM_{10} está significativamente associada às internações por doenças cardiovasculares, e que um acréscimo de $16 \mu g/m^3$ do PM_{10} na atmosfera acarretaria um aumento no risco de internações de 10%, por outro lado esse trabalho não quantificou o quanto seria a perda econômica para esse acréscimo.

Com os resultados do estudo é possível deduzir que doenças cardiovasculares como doenças isquêmicas, insuficiência cardíaca, acidente vascular cerebral isquêmico, acidente vascular cerebral hemorrágico e acidente vascular cerebral não identificado, estão associadas à exposição ao poluente atmosférico PM_{10} , causando incapacidade e morte, não só em uma cidade de médio porte, mas em todas as cidades com índices de poluição do ar acima dos recomendados. Também é possível concluir resultados separados por sexo, onde pode-se observar que os homens são mais suscetíveis à exposição à poluição. As mulheres cuidam mais da saúde, indo com mais frequência a consultas médicas do que os homens, e também esse resultado, provavelmente, se deve ao fato de que existe ainda, nos dias de hoje, uma discriminação em relação às mulheres em ocupar determinados cargos, como por exemplo, a maioria dos trabalhadores de uma indústria são do sexo masculino, assim, possivelmente, se explica um número maior de morbidade e mortalidade para o sexo masculino.

A importância econômica da poluição atmosférica é representada pelo resultado apresentado de um pouco mais de 2700 anos de vida perdidos e vividos com incapacidade, uma média de pouco mais de 900 anos anualmente perdidos para a cidade de São José dos Campos.

Para o sexo masculino, a morbidade e mortalidade ocorridas custaram cerca de 1615 anos de vida para uma faixa etária no auge da produção, pois, a partir dos 40 anos, o indivíduo está em seu momento de maior produção e rendimento, anos esses que foram interrompidos prematuramente devido à exposição ao poluente. A parcela do YLD masculino representou 51,49% do total do *DALY*, um número bem significativo, enquanto o YLL representou 7,12%. Esse resultado se refere ao prejuízo provocado somente pelas doenças cardiovasculares, dado em que os estudos similares relacionam os efeitos da exposição aos poluentes com as doenças aqui estudadas.

O custo para o sexo feminino da morbidade e mortalidade foram de aproximados 1104 anos de vida. A comparação ao custo dos anos perdidos e vividos com incapacidade para o sexo

masculino é menor, visto que o número de homens na frente de trabalho é maior do que o números de mulheres. O YLD do sexo feminino obteve a mesma proporção que o sexo masculino, ou seja, para o sexo masculino a parcela do YLD foi maior que a parcela do YLL, para o sexo feminino ocorreu o mesmo, a parcela do YLD também foi maior que a parcela do YLL com 33,62 % e 6,44 % respectivamente do total do DALY. Pode-se concluir que, para esse grupo em questão, a exposição ao poluente atua incentivando que o óbito aconteça de forma mais rápida e não proporcionando a enfermidade.

A maior parcela presente no cálculo do DALY foi da componente YLD, com cerca de 86,31 %, enquanto a YLL representou cerca de apenas 13,69 %. Isso significa que os efeitos causados à exposição ao PM_{10} são mais significativos para provocar ou agravar enfermidades do que propiciar mortes. É importante salientar que os resultados do YLL e do YLD atribuídos à exposição ao poluente representam 7,5 % dos resultados totais dos YLL e YLD, um valor bem significativo para uma cidade de médio porte.

O YLD total resultou em 2378,98 anos de vida vividos com incapacidade, apontando a influência da exposição ao poluente atmosférico, em uma faixa etária não tão passível em relação às doenças relacionadas nesse estudo.

Geralmente os estudos abordam uma população de crianças e idosos, pois são as mais suscetíveis às doenças, mas nossos resultados chamam a atenção para uma faixa etária pouco estudada, que é a partir dos 40 anos de idade, em um momento em que o indivíduo está economicamente ativo. Comparações desse estudo com outros se tornam difíceis, uma vez que diferentes grupos são estudados, e inúmeras variáveis são utilizadas, como métodos, morbidade, poluentes, população entre outros, porém o método DALY. Por utilizar anos de vida como unidade, possibilita correlações com outros estudos, mesmo que utilizem de outros métodos, mas que abordem anos de vida como unidade. É possível também comparar valores monetários, já que o método DALY nos permite converter os anos de vida perdidos em valores monetários. Em seguida será apresentado um breve comentário de alguns estudos que apresentam variáveis que vêm ao encontro das variáveis desse trabalho.

Um método utilizado é Anos Potenciais de Vida Perdidos (APVP), que é uma forma de quantificar a média de anos que uma pessoa viveria se não tivesse morrido prematuramente, onde o indivíduo com menos idade tem um peso maior. É um método bem mais simples que o *DALY*, uma vez que se define uma idade limite superior (expectativa de vida). Os anos potenciais de vida perdidos são calculados subtraindo a idade do indivíduo no óbito da idade superior definida anteriormente. Já o *DALY* é composto por duas componentes, o *YLL* (anos de vida perdidos) e *YLD* (anos de vida vividos com incapacidade) o que permite, além de calcular

esses anos de vida perdidos e vividos com incapacidade, também quantificar o custo desses anos de vida perdidos e até mesmo vividos com incapacidade.

Um estudo similar a esse foi realizado na cidade de Skopje, capital da antiga República Iugoslava da Macedônia, com pouco mais de 600 mil habitantes. Nessa cidade com o número aproximado de habitantes de São José dos Campos, e com os índices de poluição atmosférica acima do recomendado pela OMS, foram documentados altos níveis de poluição atmosférica. O estudo avaliou os impactos na saúde associados à exposição ao $PM_{2,5}$, calculando o ônus atribuível ao PM e o custo social devido à mortalidade atribuível, no ano de 2012. A exposição a longo prazo ao $PM_{2,5}$ ($49,2 \mu g / m^3$), uma concentração 3,7 vezes maior que a de São José dos Campos, causou um número estimado de 1200 mortes prematuras. O custo social da mortalidade prematura prevista em 2012 devido à poluição do ar foi estimado entre 570 e 1470 milhões de euros. Além disso, o $PM_{2,5}$ também foi estimado como responsável por 547 internações hospitalares de doenças cardiovasculares e 937 internações por doença respiratória naquele ano. A redução dos níveis de $PM_{2,5}$ para o limite da UE ($25 \mu g / m^3$) poderia ter evitado cerca de 45% da mortalidade atribuível à PM, ao mesmo tempo que, se alcançassem as Diretrizes da Qualidade do Ar da OMS ($10 \mu g / m^3$), poderiam ter evitado cerca de 77% da mortalidade atribuível ao PM. (MARTINEZ, 2018).

Em um outro estudo, também similar a esse, mas com a utilização de um outro método, avaliou-se o impacto na saúde dos moradores da cidade de São Paulo associados com a poluição do ar (ABE, 2018), que analisou a redução de partículas de PM e ozônio, efeitos na saúde e os custos, concluíram que, se cidade de São Paulo pudesse diminuir em $5 \mu g / m^3$ a média de $PM_{2,5}$, poderia evitar mais de 5012 mortes prematuras, economizando US \$ 15,1 bilhões anualmente e cerca de 1724 mortes seriam evitadas, resultando em um ganho de US \$ 4,96 bilhões por ano. É importante lembrar que a cidade de São Paulo possui um número de habitantes em torno de 17 vezes maior que a cidade da São José dos Campos, e a concentração do poluente PM_{10} é de 1,9 vezes maior, quase o dobro que a concentração desse mesmo poluente na cidade de São José dos Campos.

Um estudo semelhante realizado por Yang et. al (2016), em Guangzhou, capital da província de Guangdong na China, estimou o YLL da mortalidade cardiovascular associado à exposição à poluição do ar, onde obtiveram uma correlação linear significativa entre a exposição à poluição do ar e a doença cardiovascular. Foi utilizado um modelo aditivo generalizado para avaliar o YLL ao aumento de $10 \mu g / m^3$ de PM_{10} , NO_2 e SO_2 e encontraram a média diária de YLL de 248 para mortes devido à doença cardiovascular, 87,5 para acidente vascular cerebral e 73,7 para doença cardíaca isquêmica. Esse estudo identificou valores bem

mais altos para a média diária de YLL em relação aos nossos resultados, mas a concentração do poluente PM_{10} era bem maior do que a registrada em São José dos Campos. Visto que a cidade de Guangzhou possui o quinto maior porto do mundo em volume de carga, possui também o aeroporto com maior trânsito de passageiros, e abriga o maior Centro de Convenções da Ásia, o Complexo Pazhou, segundo maior do mundo, um dos principais centros industriais e comerciais da China, é uma cidade com altas concentrações de poluentes na atmosfera.

No trabalho de Zeng et al. (2020) foi construído um novo indicador para o índice de qualidade do ar para avaliar e prever essa qualidade e os efeitos na saúde causados pela exposição aos poluentes atmosféricos, na cidade de Tianjin, China, entre 2014 e 2017. E utilizaram da mesma metodologia desse trabalho, o YLL. Porém tal trabalho comparou esse novo indicador de índice de qualidade do ar com o antigo, e os autores perceberam que o novo indicador obteve um YLL diário de 32.797 enquanto o velho indicador obteve 22.367 YLL diário. Concluiu-se, assim, que o novo indicador avalia e prevê de uma forma mais abrangente a qualidade do ar e os efeitos na saúde causados pela poluição do ar. Nosso trabalho utilizou o índice de qualidade do ar estabelecido pela CETESB.

Vienneau et al. (2015) também utilizaram do YLL para calcular os riscos à saúde na Suíça em 2010, porém foi utilizado uma outra variável além da poluição do ar, a exposição crônica ao ruído relacionado ao transporte, e associaram a doenças cardiorrespiratórias. Concluíram que para a exposição ao PM_{10} de $4,4 \mu g / m^3$, $0,54 \mu g / m^3$ e $0,12 \mu g / m^3$ para o ano de 2010 foram estimados 14 mil YLL devido à exposição à poluição do ar gerado pelos transportes (rodoviário, ferroviário e de aeronaves), um número bem maior que o encontrado em nosso trabalho, visto que a população da Suíça é por volta de 15 vezes maior que a população de São José dos Campos.

Na Espanha foi avaliado o impacto na saúde humana de poluentes atmosféricos, por meio da integração de diferentes técnicas, uma delas é o *DALY*. O estudo foi realizado entre os anos de 2005 e 2017, em termos gerais a qualidade do ar era boa de acordo com os padrões europeus, mas não de acordo com os padrões da OMS para os poluentes O_3 , PM_{10} e $PM_{2,5}$. Concluíram que, com a diminuição do poluente $PM_{2,5}$ para o nível sugerido pela OMS, a mortalidade de adultos seria reduzida para 23 a 297 casos por ano, para a cidade de Tarragona, o que significaria entre 0,5% e 7% da mortalidade na cidade, para as doenças câncer de pulmão, cardiopatia isquêmica, acidente vascular cerebral e doença pulmonar obstrutiva crônica, o *DALY* resultou em 240 anos perdidos e vividos com incapacidade, isso para os níveis atuais, ou seja, acima do sugerido pela OMS. (Rovira et al. 2020).

Em Hong Kong, entre 2011 e 2015, Haiqing et al. (2018) realizaram um estudo para avaliar os efeitos do material particulado fino ($PM_{2,5}$) na mortalidade e no YLL por infarto agudo do miocárdio, e explorar os possíveis modificadores de efeito, incluindo sexo e idade por análise de subgrupos. Constatou-se que um incremento de $10 \mu g/m^3$ na concentração de $PM_{2,5}$ com duração de dois dias (lag01) foi associado a um aumento de 2,35% na contagem diária de mortalidade e a 1,69 anos de aumento no YLL por infarto agudo do miocárdio. A associação entre $PM_{2,5}$ e contagem de mortalidade por infarto agudo do miocárdio foi mais forte entre mulheres e idosos. No comparativo com nosso estudo, ocorreu o contrário e os homens tiveram uma maior associação à exposição ao poluente, lembrando que as variáveis do nosso estudo e desse trabalho são diferentes, mas ambas abordam a exposição ao poluente PM e doenças cardiovasculares. Por fim, o trabalho realizado em Hong Kong concluiu que a exposição ao $PM_{2,5}$ pode aumentar o risco de mortalidade e YLL por infarto agudo do miocárdio e esse resultado pode ser modificado por idade e sexo.

Miraglia e Gouveia (2014), calcularam os custos associados à mortalidade em relação à exposição ao poluente PM_{10} . As cidades estudadas foram São Paulo, Belo Horizonte, Salvador, Vitória, Curitiba, Rio de Janeiro e Baixada Santista e o número de óbitos no período estudado foi de 20050. Essas mortes prematuras contabilizaram em torno de US\$ 1,7 bilhão por ano, é importante destacar que são cidades metropolitanas, sendo seis delas capitais, com populações mais numerosas que São José dos Campos.

Um recente estudo realizado por Abe et al. (2018) encontrou um YLL de 231.691,8 anos, associando a poluição do ar com as doenças cardiovasculares e respiratórias para a cidade de São Paulo, chegando ao custo de US\$ 14,1 bilhões. Para as doenças cardiovasculares entre os anos de 2000 e 2011, foram mais de 260 mil mortes. Comparando com nosso estudo em que ocorreram 1039 morte em três anos. Isso representa 1,5 % de mortes por ano, relacionando a cidade de São José dos Campo com a cidade de São Paulo, uma porcentagem bem significativa, tendo em vista que a cidade de São Paulo é a capital do estado, com mais de 12 milhões de habitantes.

Na China, na província de Ningbo, He et al. (2016) avaliaram a carga da poluição do ar no YLL (por mortes não acidentais), dentre as variáveis utilizadas estavam as condições meteorológicas e os poluentes PM_{10} , $PM_{2,5}$, SO_2 , NO_2 , no período de 2009 a 2013. A concentração média do PM_{10} foi de $84 \mu g / m^3$, 68% acima do nível recomendado pela OMS. Concluíram que um aumento de $10 \mu g / m^3$ foi associado a 4,27 YLL, e 0,53% em aumento na contagem diária de óbitos, sendo mais relevante para a população idosa.

Enfim, utilizar o método DALY é uma boa opção quando se quer quantificar os anos perdidos ou vividos com incapacidade. Como citado anteriormente, é uma ferramenta que pode ser utilizada para fazer comparações com outros estudos, quando esses utilizam de anos perdidos como unidade de contagem. O DALY pode ser aplicado em qualquer cidade do mundo, como foi citado nos trabalhos acima, desde que essas cidades tenham os dados necessários para a aplicação do método, como dados de internações e de mortalidade. Esse método pode ser utilizado para qualquer tipo de morbidade e para inúmeras discussões, relacionando com o que é de interesse de cada estudo.

Existem também algumas limitações para a realização desse trabalho, como o uso de dados secundários, onde foram encontradas algumas lacunas na base de dados. É possível que o indivíduo em estudo não more na cidade estudada (onde foi internado), mas em uma cidade vizinha, ou também pode ocorrer um equívoco no diagnóstico, o que são causas que limitam os estudos, subestimando os resultados. Houve também a dificuldade de não se ter um *VOLY* como na Europa.

Por outro lado, esse estudo mostra o impacto que pode ocorrer na economia se não forem tomadas decisões para a diminuição da emissão de poluentes na atmosfera, tanto para as indústrias como para a frota veicular e as demais fontes de emissão. Um indivíduo que adoece deixa de trabalhar, e utiliza o auxílio-doença do governo; e o indivíduo que vem a óbito, deixa de contribuir, consumir, e ainda a família recebe a pensão. Por isso, nota-se a importância de realizar estudos como esse que mostram o quanto se gasta em dinheiro por uma exposição a um determinado poluente que tem a concentração acima da média recomendada. Assim é possível prever uma grande economia para os cofres públicos se medidas foram tomadas para essa diminuição de emissão de poluentes.

5 CONCLUSÃO

Utilizando o indicador *DALY* foi possível calcular o ônus da poluição do ar na saúde da população do município de São José dos Campos – SP, e foi estimado em 2756,35 anos de vida perdidos e vividos com incapacidade para três anos consecutivos 2016, 2017 e 2018. Para esse resultado foi considerada a mortalidade e morbidade causadas por doenças cardiovasculares para uma população acima ou igual a 40 anos de idade.

Realizou-se também o cálculo do ônus da poluição na saúde separado por sexo, e pode-se concluir que o sexo masculino adoece mais que o sexo feminino e, consequentemente, os números da mortalidade para o sexo masculino é maior. Sendo assim, o sexo feminino vive mais que o sexo masculino. Para dois dos três anos estudados a mortalidade do sexo masculino foi maior que a mortalidade do sexo feminino.

Estimou-se o custo dessas mortes prematuras para a economia, e que resultou em pouco mais de US \$ 21 milhões para os três anos, o que representa uma perda de cerca de US \$ 7 milhões anualmente.

Com a avaliação apresentada neste trabalho, o gestor público, de posse dessas informações, perceberá a importância de se desenvolver políticas públicas para contribuir com a redução de emissão de poluentes na atmosfera e com isso diminuir o impacto negativo nos cofres públicos, gerando economia para o município.

REFERÊNCIAS

- ABE, K.; MIRAGLIA, S. Health impact assessment of air pollution in São Paulo, Brazil. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, Basel, v. 13, n.7, p. 694, 2016.
- ABE, K. C. *et al.* PM₁₀ exposure and cardiorespiratory mortality: estimating the effects and economic losses in São Paulo, Brazil. **Aerosol and Air Quality Research**, Taoyuan, v. 18, p. 3127-3133, 2018.
- AMÂNCIO, C. T.; NASCIMENTO, L. F. Asma e poluentes ambientais: um estudo de séries temporais. **Revista da Associação Médica Brasileira**, São Paulo, v. 58, n. 3, p. 302-307, 2012.
- AMÂNCIO, C. T.; NASCIMENTO, L. F. Environmental pollution and deaths due to stroke in a city with low levels of air pollution: ecological time series study. **São Paulo Medical Journal**, São Paulo, v. 132, n. 6, p. 353-358, 2014.
- ANDRÉ, P. A.; VORMITTAG, E. M. P. A. A.; SALDIVA, P. H. N. **Avaliação e valoração dos impactos da poluição do ar na saúde da população decorrente da substituição da matriz energética no transporte público na cidade de São Paulo**. Instituto Saúde e Sustentabilidade, 2017. Disponível em: <https://www.saudeesustentabilidade.org.br/publicacao/pesquisa-avaliacao-e-valoracao-dos-impactos-da-poluicao-do-ar-na-saude-da-populacao-decorrente-da-substituicao-da-matriz-energetica-no-transporte-publico-na-cidade-de-sao-paulo/>. Acesso em: 21 nov. 2019.
- BICKEL, P.; FRIEDRICH, R. EUROPEAN COMMISSION. **ExternE externalities of energy methodology 2005 update**. Peter Bickel and Rainer Friedrich (ed.). Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung - IER Universität Stuttgart, Germany, 2004. 270 p. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/232075838_ExternE_Externalities_of_Energy_Methodology_2005_Update Acesso em 02 mar. 2017.
- BRAGA, A. *et al.* Poluição atmosférica e saúde humana. **Revista USP**, São Paulo, n. 51, p. 58-71, 2001.
- BRASIL. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/>. Acesso em: 09 dez. 2018a.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Departamento de Informática do SUS: DATASUS**. Portal da Saúde. Disponível em: www2.datasus.gov.br/. Acesso em: 18 maio 2018b.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução Conama 03/90**: estabelece critérios de classificação da balneabilidade. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama>. Acesso em: 14 nov. 2018c

CAETANO, R. O custo da poluição. **Isto é dinheiro**. São Paulo, 08 dez. 2017. Disponível em: <https://www.istoedinheiro.com.br/o-custo-da-poluicao/>. Acesso em: 15 dez. 2018.

CARNESECA, E. C.; ACHCAR, J. A.; MARTINEZ, E. Z. Association between particulate matter air pollution and monthly inhalation and nebulization procedures in Ribeirão Preto, São Paulo State, Brazil. **Caderno de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 28, n. 8, p. 1591-1598, ago. 2012.

CESAR, A. C. G. *et al.* Material particulado fino estimado por modelo matemático e internações por pneumonia e asma em crianças. **Revista Paulista de Pediatria**, São Paulo, v. 34, n. 1, p. 18-23, mar. 2016.

CIRINO, F. DOS S. **Efeitos da poluição atmosférica sobre a saúde de crianças em seis municípios com diferentes perfis de fontes de poluentes**. 2018. 92 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

DAPPER, S. N.; SPOHR, C.; ZANINI, R. R. Poluição do ar como fator de risco para a saúde: uma revisão sistemática no estado de São Paulo. **Estudos Avançados**. São Paulo, v. 30, n. 86, p. 83-97, 2016.

DAVID, G. S.; RIZOL, P. M. S. R.; NASCIMENTO, L. F. C. Modelos computacionais Fuzzy para avaliar efeitos da poluição do ar em crianças. **Revista Paulista de Pediatria**, São Paulo, v. 36, n. 1, p. 10-16, mar. 2018.

FERNANDEZ, R. N.; ABDALLAH, P. R.; MENEZES, G. Custo das doenças respiratórias associadas à poluição atmosférica: um estudo de caso para a cidade do Rio Grande – RS. **Economia e Desenvolvimento**, Santa Maria, n. 22, 2010.
DOI:<http://dx.doi.org/10.5902/red.v0i22.3407>. Disponível em:
<https://periodicos.ufsm.br/eed/article/view/3407>. Acesso em: 13 mar. 2019.

FREITAS, C. *et al.* Internações e óbitos e sua relação com a poluição atmosférica em São Paulo, 1993 a 1997. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 38, n. 6, p. 751-757, 2004.

GAVINIER, S.; NASCIMENTO, L. F. C. Poluentes atmosféricos e internações por acidente vascular encefálico. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 9, n. 3, p. 390-401, 2014.

GOOGLE MAPS. **Mapa da cidade de São José dos Campos** – SP. Disponível em:
<https://www.google.com.br/maps/place/S%C3%A3o+Jos%C3%A9+dos+Campos,+SP/@-23.1891287,-46.0031001,11z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x94cc4bb3858cc2e7:0xba25a33168f8c1!8m2!3d-23.223701!4d-45.9009074?hl=pt-BR>. Acesso em: 08 fev. 2020.

GOUVEIA, N. *et al.* Hospitalizações por causas respiratórias e cardiovasculares associadas à contaminação atmosférica no Município de São Paulo, Brasil. **Caderno de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 12, p. 2669-2677, 2006.

GRANDE IMPACTO AMBIENTAL. Disponível em:
<https://www.youtube.com/watch?v=blyN42zpAYM>. Acesso em: 10 dez. 2018.

ANDRÉ, P. A.; VORMITTAG, E. M. P. A. A.; SALDIVA, P. H. N. **Avaliação e valoração dos impactos da poluição do ar na saúde da população decorrente da substituição da matriz energética no transporte público na cidade de São Paulo**. Instituto Saúde e Sustentabilidade, 2017. Disponível em: <https://www.saudeesustentabilidade.org.br/publicacao/pesquisa-avaliacao-e-valoracao-dos-impactos-da-poluicao-do-ar-na-saude-da-populacao-decorrente-da-substituicao-da-matriz-energetica-no-transporte-publico-na-cidade-de-sao-paulo/>. Acesso em: 25 nov. 2018.

HAMIL, S. D. Unveiling a Museum, a Pennsylvania Town Remembers the Smog That Killed 20. **The New York Times**, New York, 1 nov. 2008. Disponível em: <https://www.nytimes.com/2008/11/02/us/02smog.html>. Acesso em: 10 dez. 2018.

HE, TIANFENG *et al.* Ambient air pollution and years of life lost in Ningbo, China. **Scientific Reports**, London, v. 6, n. artigo. 22485, 2016.

INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE. **1º Diagnóstico da rede de monitoramento da qualidade do ar no Brasil**. 2014. Disponível em: http://www.forumclima.pr.gov.br/arquivos/File/Rosana/Diagnostico_Qualidade_do_Ar_Versao_Final_Std.pdf. Acesso em: 13 dez. 2018.

KNIGHT, V. M.; YOUNG, C. E. F. Custo da poluição gerada pelos ônibus urbanos na RMSP. In: Associação Nacional dos Centros de Pós-Graduação em Economia, 34., 2006, Salvador. **Anais eletrônicos**. Salvador: ANPEC, 2006. Disponível em: <http://www.anpec.org.br/encontro2006/artigos/A06A069.pdf>. Acesso em: 15 maio 2017.

HAIQING, L.; HONG, Q ; LINWEI, T. Short-term effects of fine particulate matter on acute myocardial infraction mortality and years of life lost: a time series study in Hong Kong. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 615, n. 15, p. 558-563, fev. 2018.

LI, J. *et al.* Short term effect of PM_(2.5) on cardiovascular mortality in residents in Changping district, Beijing. **Chinese Journal of Epidemiology**. v.40, n. 3, p. 331-334, fev. 2019.

MARTINS, L. C. *et al.* Relação entre poluição atmosférica e atendimentos por infecção de vias aéreas superiores no município de São Paulo: avaliação do rodízio de veículos. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, São Paulo, v. 4, n. 3, p. 220-229, 2001.

MARTINEZ, G. S. *et al.* health impacts and economic costs of air pollution in the metropolitan area of Skopje. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, Basel, v. 15, n. 4, p. 626, 2018.

MARTINEZ, J. **Great smog of London**. Disponível em: <https://www.britannica.com/event/Great-Smog-of-London>. Acesso em: 10 dez. 2018.

MIRAGLIA, S. G. El K. **O ônus da poluição atmosférica sobre a população do município de São Paulo: uma aplicação do método DALY; estimativa em anos de vida perdidos e vividos com incapacidades**. 2002. 136 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

MIRAGLIA, S. G. E. K.; SALDIVA, P. H. N.; BÖHM, G. M. An evaluation of air pollution health impacts and costs in São Paulo, Brazil. **Environmental Management**, Jeffersonville, v. 35, p. 667-676, 2005.

MIRAGLIA, S. G. El K.; GOUVEIA, N. Custos da poluição atmosférica nas regiões metropolitanas brasileiras. **Ciência e Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 10, p. 4141-4147, 2014.

MORAES, A. C. L. *et al.* Sibilância em crianças e adolescentes vizinhos a uma indústria petroquímica no Rio Grande do Norte, Brasil. **Jornal de Pediatria**, Porto Alegre, v. 86, n. 4, p. 337-344, 2010.

MUKAI, A. O.; ALVES, K. S. C.; NASCIMENTO, L. F. C. Análise espacial das internações por pneumonia na região do Vale do Paraíba (SP). **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, São Paulo, v. 35, n. 8, p. 753-758, 2009.

MURRAY, C. J. L., LOPEZ, A. D. **The global burden of disease: a comprehensive assessment of mortality and disability from diseases, injuries, and risk factors in 1990 and projected to 2020**. Boston: Harvard School of Public Health; 1996.

NASCIMENTO, L.F.C. Air pollution and cardiovascular hospital admissions in a medium-sized city in São Paulo State, Brazil. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, Ribeirão Preto, v. 44, n. 7, p. 720-724, jul. 2011.

NASCIMENTO, L. F. C. *et al.* Environmental pollutants and stroke-related hospital admissions. **Caderno de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 28, n. 7, p. 1319-1324, 2012.

NASCIMENTO, L. F. C.; FRANCISCO, J. B. Particulate matter and hospital admission due to arterial hypertension in a medium-sized Brazilian city. **Caderno de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 29, n. 8, p. 1565-1571, 2013.

NASCIMENTO, L. F. C.; MODOLO, M. C. C.; CARVALHO JR., J. A. Atmospheric pollution effects on childhood health: an environmental study in the Paraíba Valley. **Revista Brasileira de Saúde Materno Infantil**, Recife, v. 4, n. 4, p. 367-374, 2004.

NEGRISOLI, J.; NASCIMENTO, L. F. C. Poluentes atmosféricos e internações por pneumonia em crianças. **Revista Paulista de Pediatria**, São Paulo, v. 31, n. 4, p. 501-506, 2013.

OMS. **Organização Mundial de Saúde**. Disponível em: <https://www.who.int/eportuguese/countries/bra/pt/>. Acesso em: 23 jan. 2017.

OSTRO, B.; CHESTNUT, L. Assessing the health benefits of reducing particulate matter air pollution in the United States. **Environmental Research**, Maryland Heights, v. 76, p. 94-106, 1998.

OSWALD, V. Poluição já custa à China US\$ 1 bilhão por dia. **O Globo**, Rio de Janeiro, 05 jan. 2017. Disponível em: <https://oglobo.globo.com/economia/poluicao-ja-custa-china-us-1-bilhao-por-dia-20729984>. Acesso em: 15 dez. 2018.

PANDYA, R. J. *et al.* Diesel exhaust and asthma: hypotheses and molecular mechanism of action. **Environmental Health Perspectives**, North Carolina, v. 110, suppl 1, p. 103-112, 2002.

ROVIRA, J.; DOMINGO, J. L.; SCHUHMACHER, M. Air quality, health impacts and burden of disease due to air pollution (PM₁₀, PM_{2.5}, NO₂ and O₃): Application of AirQ+ model to the Camp de Tarragona County (Catalonia, Spain). **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 703, n. 10, p. 135538, fev. 2020.

RUSSO, P. R. Poluição atmosférica: refletindo sobre a qualidade ambiental em áreas urbanas. **Revista Educação Pública**, Rio de Janeiro, v. 2, n.1, 2002. Disponível em: <https://educacaopublica.cecierj.edu.br/artigos/2/1/poluicao-atmosferica-refletindo-sobre-a-qualidade-ambiental-em-areas-urbanas> 2014. Acesso em: 9 out. 2018.

SALOMON, J. A. *et al.* Disability weights for the global burden of disease 2013 study. **The Lancet Global Health**, London, v. 3, p. 712–723, nov. 2015.

SÃO PAULO. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB. **Relatório de qualidade do ar. 2017**. Disponível em: <http://ar.cetesb.sp.gov.br/publicacoes-relatorios/>. Acesso em: 14 nov. 2018.

TUAN, T. S.; VENÂNCIO, T. S.; NASCIMENTO, L. F. C. Efeitos da exposição a poluentes do ar no infarto agudo do miocárdio, segundo gêneros. **Arquivos Brasileiros de Cardiologia**, São Paulo, v. 107, n. 3, p. 216-222, set. 2016.

VIENNEAU, D. *et al.* Years of life lost and morbidity cases attributable to transportation noise and air pollution: a comparative health risk assessment for Switzerland in 2010. Citation Data. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, Muenchen, v. 218, n. 6, p. 514-521, 2015.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **7 million premature deaths annually linked to air pollution**. WHO. 2005 Disponível em: <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-pollution/en/>. Acesso em: 15 dez. 2018.

YANG, JUN *et al.* Estimating years of life lost from cardiovascular mortality related to air pollution in Guangzhou, China. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 573, n. 15, p. 1566-1572, dez. 2016.

ZENG QIANG *et al.* Construction of AQHI based on the exposure relationship between air pollution and YLL in northern China. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 710, n. 25, p. 136264, mar. 2020.