

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA E RELAÇÕES INTERNACIONAIS**

MARINA CAREGNATO GARCIA

**VALORAÇÃO DOS IMPACTOS DA POLUIÇÃO DO AR NO BRASIL EM
2016: UMA ANÁLISE PARA OS CUSTOS DA MORTALIDADE**

**Porto Alegre
2018**

MARINA CAREGNATO GARCIA

**VALORAÇÃO DOS IMPACTOS DA POLUIÇÃO DO AR NO BRASIL EM
2016: UMA ANÁLISE PARA OS CUSTOS DA MORTALIDADE**

Trabalho de conclusão submetido ao Curso de Graduação em Ciências Econômicas da Faculdade de Ciências Econômicas da UFRGS, como requisito parcial para obtenção do título Bacharel em Economia.

Orientador: Prof. Dr. Stefano Florissi

**Porto Alegre
2018**

CIP - Catalogação na Publicação

Caregnato Garcia, Marina
VALORAÇÃO DOS IMPACTOS DA POLUIÇÃO DO AR NO
BRASIL EM 2016: UMA ANÁLISE PARA OS CUSTOS DA
MORTALIDADE / Marina Caregnato Garcia. -- 2018.
67 f.
Orientador: Stefano Florissi.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade
de Ciências Econômicas, Curso de Ciências Econômicas,
Porto Alegre, BR-RS, 2018.

1. Economia Urbana. 2. Poluição do ar. 3.
Externalidades. I. Florissi, Stefano, orient. II.
Título.

MARINA CAREGNATO GARCIA

**VALORAÇÃO DOS IMPACTOS DA POLUIÇÃO DO AR NO BRASIL EM
2016: UMA ANÁLISE PARA OS CUSTOS DA MORTALIDADE**

Trabalho de conclusão submetido ao Curso de Graduação em Ciências Econômicas da Faculdade de Ciências Econômicas da UFRGS, como requisito parcial para obtenção do título Bacharel em Economia.

Orientador: Prof. Dr. Stefano Florissi

Aprovada em: Porto Alegre, 5 de dezembro de 2018.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Stefano Florissi – Orientador
UFRGS

Prof. Dr. Sabino Porto Júnior
UFRGS

Me. Luana Priscila Betti
WRI Brasil

RESUMO

A poluição do ar é um dos maiores desafios ambientais da atualidade. Ela é a causa de milhões de doenças fatais e não fatais no mundo. Além disto, ela também impacta em áreas tais como agricultura, produtividade, preservação arquitetônica e bem-estar. A valoração destas consequências não é uma tarefa trivial, porém é necessária para a formulação de políticas públicas mais eficazes. Dentre as metodologias de valoração da poluição do ar, existem duas abordagens que se destacam: a abordagem financeira e a abordagem do bem-estar. A abordagem financeira visa abarcar custos contábeis, tais como o valor das internações causadas por doenças ligadas à poluição do ar. A abordagem do bem-estar busca tratar dos custos mais subjetivos desta externalidade, tais como a redução no lazer e no bem-estar causada por doenças. Os custos da poluição do ar atrelados às mortes, em específico, apresentam um arcabouço teórico-empírico bastante aceito academicamente: na abordagem financeira, utiliza-se o Valor Presente da Produção Futura (VPPF), metodologia baseada na Teoria do Capital Humano; e, referente à abordagem de bem-estar, utiliza-se o Valor Estatístico da Vida (VSL), baseada no pensamento utilitarista. Ambas metodologias apresentam pressupostos teóricos e processos de obtenção empírica bastante distintos. O presente trabalho utilizou as duas metodologias para valorar os custos das mortes vinculadas à poluição do ar no Brasil em 2016. Segundo a abordagem financeira, as mortes geraram perdas no montante de R\$ 423.851.643,61, para uma taxa de desconto de 3%, e R\$ 396.879.266,29, para uma taxa de desconto de 10%, representando, respectivamente, cerca de 0,006764% e 0,00633% do PIB brasileiro para o mesmo ano. Segundo a abordagem do bem-estar, essas mesmas mortes geraram um custo social de R\$ 227.937.169.450,00, cerca de 3,64% do PIB brasileiro para o ano de 2016. Esses resultados estão em consonância com outras publicações na área e reforçam a necessidade do tratamento e mitigação das emissões de poluentes a nível nacional.

Palavras-chave: poluição do ar; impactos; valoração econômica e financeira; valor estatístico da vida; valor presente da produção futura.

ABSTRACT

Air pollution is currently one of the greatest environmental challenges. It is the cause of millions of fatal and nonfatal diseases in the world. In addition, it also impacts on areas such as agriculture, productivity, architectural preservation and individual well-being. The valuation of these consequences is not a trivial task, but it is necessary for the formulation of more effective public policies. Among the methodologies for assessing the costs of air pollution, there are two approaches that stand out: the financial approach and the welfare approach. The financial approach is intended to cover accounting costs, such as the value of hospitalizations caused by diseases associated with air pollution. The welfare approach seeks to address more subjective costs of this externality, such as the reduction in leisure and well-being caused by diseases. The costs of air pollution linked to deaths, in particular, present a theoretical-empirical framework that is widely academically accepted: the financial approach uses the Forgone Output methodology, based on the Human Capital Theory; and the welfare approach uses the Value of Statistical Life (VSL), based on utilitarian assumptions. Both methodologies present quite different theoretical frameworks and empirical processes. The present study used both methodologies to assess the costs of deaths linked to air pollution in Brazil in 2016. According to the financial approach, deaths generated losses in the amount of R\$ 423,851,643.61, for a discount rate of 3%, and R\$ 396,879,266.29, for a discount rate of 10%, representing, respectively, around 0.006764% and 0.00633% of Brazilian GDP for the same year. According to the welfare approach, these same deaths generated a social cost of R\$ 227,937,169,450.00, about 3.64% of the Brazilian GDP for the year of 2016. These results are in line with other publications in the field and reinforce the need for treatment and mitigation of pollutant emissions at national level.

Keywords: air pollution; impacts; economic and financial valuation; value of statistical life; forgone output methodology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Porcentagem da mortalidade devido à poluição do ar em relação à mortalidade total por renda, 2013	13
Figura 2- Perda de rendimento do trabalho em função da mortalidade causada pela poluição do ar por região, 2013.....	18
Figura 3- Perda de bem-estar em função da mortalidade causada pela poluição do ar por região, 2013.....	19
Figura 4- Etapas do processo de estimação dos impactos da poluição do ar	36
Figura 5- Número de mortes por 100 mil habitantes no Brasil em função da poluição do Ar (2016).....	38
Figura 6- Valor Presente da Produção Futura para 2016 por faixa etária ($r=0,03$ e $r=0,1$) e número de mortes por faixa etária.....	43
Figura 7- O custo da mortalidade no Brasil de acordo com o approach de bem-estar por faixa etária (2016).....	44

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Impactos econômicos da poluição do ar de acordo com a tipologia de custos	21
Quadro 2- Número de mortes causadas pelo MP2.5 no Brasil em 2016.....	37
Quadro 3- Valor presente da produção futura por faixa etária	42
Quadro 4- Valor estatístico da vida para o Brasil em 2016.....	43

LISTA DE ABREVIATURAS

Cetesb	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CID 10	Código Internacional de Doenças – 10ª edição
Conama	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DALY	Disability-adjusted Life Years
DAP	Disposições a pagar individuais
GBD 2016	Global Burden of Disease 2016
IMHE	Instituto de Métricas e Avaliação da Saúde
MP	material particulado
MP2.5	Material Particulado de diâmetro 2.5µm/m ³
NOX	óxido de nitrogênio
O3	ozônio
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
PIB	produto interno bruto
SO2	óxido de enxofre
SP	stated preference methods
SUS	Sistema Único de Saúde
Unesco	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
VLS	Valor Estatístico da Vida
VPPF	Valor Presente da Produção Futura
YLD	Years Lost due to Disability
YLL	Years of Life Lost
EPA	United States Environmental Agency

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OS IMPACTOS DA POLUIÇÃO DO AR	16
2.1 OS IMPACTOS DA POLUIÇÃO DO AR NO MUNDO: EVIDÊNCIA EMPÍRICA	16
2.2 IMPACTOS DA POLUIÇÃO DO AR NO BRASIL.....	19
2.3 IMPACTOS DA POLUIÇÃO DO AR NA ECONOMIA: EVIDÊNCIA EMPÍRICA	21
3.1 VALORAÇÃO DOS IMPACTOS DA POLUIÇÃO DO AR: TIPOLOGIA DOS CUSTOS.....	26
3.2 ALICERCES TEÓRICOS DAS DUAS ABORDAGENS.....	28
3.2.1 Abordagem baseada no bem-estar (<i>Welfare-based approach</i>).....	28
3.2.2 Abordagem baseada na renda (<i>Income-based approach</i>)	33
3.3 POLUIÇÃO DO AR E A VALORAÇÃO DA MORTALIDADE	35
3.3.1 Valoração da mortalidade a partir da abordagem baseada no bem-estar: valor estatístico da vida e valor estatístico de um ano de vida.....	36
3.3.2 Valoração da mortalidade a partir da abordagem baseada na renda: valor presente da produção futura	39
3.3.3 Valor Estatístico da Vida x Valor Presente da Produção Futura: duas proposições econômicas diferentes.....	40
4 VALORAÇÃO DOS CUSTOS DA MORTALIDADE CAUSADOS PELA POLUIÇÃO DO AR NO BRASIL EM 2016.....	42
4.1 METODOLOGIA	42
4.2 VALORAÇÃO DA MORTALIDADE A PARTIR DO VALOR PRESENTE DA PRODUÇÃO FUTURA.....	45
4.3 VALORAÇÃO DA MORTALIDADE A PARTIR DO VALOR ESTATÍSTICO DA VIDA	46
4.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	48
4.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	51
5 CONCLUSÃO	54

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58
ANEXO A- TÁBUA COMPLETA DE MORTALIDADE PARA O BRASIL, 2016	63
ANEXO B- PESSOAS DE 14 ANOS OU MAIS DE IDADE, TOTAL, NA FORÇA DE TRABALHO, OCUPADAS, DESOCUPADAS, FORA DA FORÇA DE TRABALHO, E RESPECTIVAS TAXAS E NÍVEIS, POR GRUPO DE IDADE.....	65
ANEXO C- PESSOAS DE 14 ANOS OU MAIS DE IDADE, TOTAL, NA FORÇA DE TRABALHO, OCUPADAS, DESOCUPADAS, FORA DA FORÇA DE TRABALHO, E RESPECTIVAS TAXAS E NÍVEIS, POR GRUPO DE IDADE.....	66
ANEXO D- VALOR PRESENTE DA PRODUÇÃO FUTURA EM 2016 POR IDADE E PARA TAXA DE DESCONTO DE 3% E 10%	67

1 INTRODUÇÃO

A poluição do ar destaca-se como um dos problemas ambientais mais urgentes da atualidade. Ela é fruto da contaminação do ar por uma série de elementos sólidos e gasosos – os chamados poluentes – que modificam as características naturais do ambiente (OMS, 2016). Dentre os poluentes mais emitidos por fontes antrópicas, podem-se elencar o material particulado (MP), ozônio (O₃), óxido de enxofre (SO₂) e óxido de nitrogênio (NO_x). Evidências epidemiológicas apontam que a presença desses poluentes é capaz de afetar as mais diversas esferas da vida de um indivíduo, desde a sua saúde, seu bem-estar, e até mesmo a preservação material de sua casa. Os impactos na mortalidade são os mais notórios. Desde o início do século XXI, a poluição do ar já acarretou mais de 80 milhões de mortes no mundo e uma soma de cerca de 2 bilhões de anos de vida perdidos (IHME, 2017). Além disto, ela também foi a causa de mais de 200 bilhões de anos vividos com desabilidade (YLD)¹ (IHME, 2017). Impactos em outras áreas não são menos alarmantes. No que concerne a agricultura, por exemplo, apenas o ozônio gera uma perda anual de cerca de 11% no cultivo da soja, 10% no cultivo do trigo e 4% no cultivo de milho (UNECE, 2018). Aliados a essas consequências negativas, e agravando ainda mais o cenário social, os impactos da poluição do ar são distribuídos de forma desigual entre a população, afetando, em especial, regiões de renda média e baixa. A nível nacional, a poluição do ar não somente representa um problema de saúde pública nacional, como também gera altos custos para governos, uma vez que esses têm de arcar, muitas vezes, com os gastos defensivos das consequências da poluição do ar.

Apesar de ampla evidência científica, que começa a ser encontrada no início no século XX (MARCÍLIO; GOUVEIA, 2007), e de uma tentativa contínua de conscientização mundial por parte de organismos internacionais, pouco reconhecimento ainda é dado ao fato de que a poluição do ar é uma externalidade a ser combatida via projetos e políticas públicas. Pelo contrário, diversos governos nacionais continuam adotando padrões de crescimento econômico que deterioram severamente a qualidade do ar, como é o caso do Brasil. Essa realidade contrapõe-se ao fato de que as formas

¹ O índice *Years Lost due to Disability* (YLD), ou Anos Perdidos devido à Desabilidade, representa o somatório dos anos de vida em que um indivíduo viveu em uma condição de saúde debilitada devido a alguma doença em particular (OMS, 2018).

mais efetivas de combate e mitigação da poluição do ar recentes advêm, principalmente, de medidas públicas tomadas a nível nacional.

Entre as experiências bem sucedidas, podem-se elencar o sistema de monitoramento e melhoria da qualidade do ar no Reino Unido (MINISTRY OF HOUSING, COMMUNITIES AND LOCAL GOVERNMENT OF THE UNITED KINGDOM, 2018), e a criação do *United States Environmental Agency* (EPA) em 1970 (EPA, 2011) que realiza relatórios técnicos e estudos epidemiológicos referentes à poluição do ar no país para auxiliar a tomada de decisão do governo nacional. Os dois países diminuíram significativamente suas emissões nos últimos anos. Salienta-se, porém, que, como nos casos do Reino Unido e Estados Unidos, para haver a implementação de políticas efetivas por parte do governo, é imprescindível a realização de estudos de impacto da poluição do ar, especialmente no âmbito econômico. Tal esforço é útil para o convencimento não apenas do gestor público, mas da sociedade como um todo acerca da gravidade do problema. Também serve de instrumento para adoção de políticas mais eficazes tanto em termos sociais quanto em termos econômicos.

Em função dessa realidade, importantes esforços têm sido realizados no sentido de desenvolver metodologias que busquem estimar os custos das consequências da poluição do ar. Em suma, atualmente, a valoração dos impactos da poluição do ar dá-se através de duas abordagens (NARAIN; SALL, 2014): a financeira, cujo objetivo central é estimar os custos puramente contábeis, como o gasto com internações hospitalares causadas pela má qualidade do ar; e a abordagem do bem-estar, que busca estimar perdas mais subjetivas, ligadas, por exemplo, à perda de lazer em função de doença. Cada uma dessas perspectivas baseia-se em pressupostos econômicos bastante distintos, porém igualmente interessantes para a mensuração monetária dos impactos de externalidades negativas, tais como a poluição do ar. Dentro dos espectros dos impactos da poluição do ar, as metodologias de valoração dos custos atrelados à mortalidade são as mais aceitas e comumente utilizadas por pesquisadores e gestores. A análise financeira utiliza o valor presente da produção futura (VPPF) para estimar os custos financeiros das mortes, e sua base teórica liga-se à teoria do capital humano. Já a abordagem de bem-estar utiliza o valor estatístico da vida (VSL), cujos pressupostos teóricos estão calcados na teoria utilitarista.

O Brasil é um país destacadamente problemático no reconhecimento e tratamento da poluição do ar. Apesar de o país apresentar uma ampla literatura

epidemiológica que aponta, especialmente, os impactos da qualidade do ar na saúde, tais estudos centram-se majoritariamente no estado de São Paulo, região que possui maior disponibilidade de dados de monitoramento da concentração de poluentes. A escassez de estações de monitoramento desses dados tais concentrações no resto do país, aliada à uma legislação de padrões de qualidade do ar branda em relação à recomendada pela Organização Mundial da Saúde (OMS), levou o país a tomar pouquíssimas medidas no sentido de combater a emissão de poluentes de forma continuada. É fundamental, portanto, a realização de uma análise mais profunda, a nível nacional, dos impactos da poluição do ar sobre as diferentes esferas da vida do brasileiro e da brasileira.

A partir desta realidade, este trabalho buscará mensurar os custos financeiros e de bem-estar causados pela poluição do ar em função da mortalidade no Brasil em 2016. Para tanto, foram utilizadas duas metodologias de valoração: o Valor Presente da Produção Futura e o Valor Estatístico da Vida. A hipótese é que, anualmente, a população brasileira incorre em altos custos de bem-estar, assim como perdas financeiras em função das mortes dado o nível de poluição do ar no país. Espera-se demonstrar que os montantes encontrados para 2016 representam uma parcela significativa do produto interno bruto (PIB) para o ano. Portanto, políticas nacionais de melhoria da qualidade do ar poderiam ser um caminho importante a ser seguido no sentido de reduzir não apenas os custos financeiros de tal externalidade, como também aumentar o bem-estar do povo brasileiro. Os dados de monitoramento da concentração de poluentes e qualidade do ar no Brasil, responsabilidade dos governos estaduais, são bastante limitados². Sendo assim, toda a valoração é feita a partir de resultados do estudo Global Burden of Disease 2016 (GBD 2016), publicado em 2017 pelo Instituto de Métricas e Avaliação da Saúde (IHME).

Além desta introdução, este trabalho estrutura-se da seguinte forma: no capítulo 2, são abordadas as evidências empíricas mais recentes dos impactos da poluição do ar em diversas áreas, tanto a nível nacional, quanto a nível internacional. Também são demonstradas as evidências dos impactos na economia no mundo. No capítulo 3, são tratados os alicerces teóricos sobre os quais as duas metodologias de valoração da mortalidade se baseiam, quais sejam: a abordagem do bem-estar e a abordagem financeira. No capítulo 5, é apresentada a metodologia, assim como a análise dos

² A Resolução nº03/1990 do Conama estabelece que os estados são responsáveis pelo monitoramento da qualidade do ar. Apesar da obrigatoriedade, porém, menos de 50% das Unidades Federativas o cumprem (INSTITUTO SAÚDE E SUSTENTABILIDADE, 2014).

resultados dos impactos de bem-estar e financeiros da poluição do ar no Brasil em função da mortalidade em 2016. Por fim, no capítulo 5, são apresentadas as principais conclusões do trabalho.

2 OS IMPACTOS DA POLUIÇÃO DO AR

A poluição do ar é resultante tanto de processos naturais quanto antrópicos. Antes da Revolução Industrial, as principais fontes emissoras, como o uso doméstico de combustíveis vegetais e minerais e as emissões vulcânicas (ARBEX et al., 2012), não representavam um problema social endêmico. Desde o século XVIII e XIX, entretanto, com o desenvolvimento e utilização de fontes de energia a carvão em fábricas e, posteriormente, com a invenção de veículos automotores, a poluição do ar passou a ser um problema ambiental mundial. Essa externalidade negativa – fruto do crescimento econômico dos últimos séculos – impacta não só a saúde dos indivíduos, mas a própria continuidade deste crescimento.

Na primeira seção deste capítulo, são abordadas as evidências empíricas dos impactos da poluição do ar no mundo atualmente, assim como a distribuição desses impactos por diferentes regiões. Após, na seção 2.2, busca-se demonstrar o estado da arte das evidências no Brasil. Por fim, na seção 2.3, são apresentados números das consequências econômicas da poluição do ar e a tipologia dos custos abordados neste trabalho.

2.1 OS IMPACTOS DA POLUIÇÃO DO AR NO MUNDO: EVIDÊNCIA EMPÍRICA

A poluição do ar é um dos maiores desafios ambientais da atualidade. Segundo a OMS, 1 em 9 mortes no mundo são causadas por ela, fazendo com que a poluição do ar represente o maior risco ambiental à saúde global da atualidade (OMS, 2017). Diferentemente do que comumente se acredita, a poluição do ar não é um mal que afeta igualmente a sociedade (LAURENT, 2014). Ela impacta, em especial, populações de países de renda média e baixa. Tal desigualdade vem aumentando significativamente nos últimos anos: 97% das cidades com mais de 100 mil habitantes em países de renda média e baixa apresentam níveis de qualidade do ar abaixo dos padrões recomendados pela OMS. Nos países de renda alta, apesar do número ainda ser alto, a taxa cai para 49% (OMS, 2018). Para entender como esses impactos são distribuídos, é necessário entender suas fontes. De acordo com a OMS (2018), classificam-se as fontes da poluição do ar em duas grandes áreas:

(i) Fontes domésticas, advindas principalmente do cozimento com combustíveis sólidos, tais como madeira, resíduos agrícolas e carvão. Tal prática é encontrada, em especial, em países de renda média e baixa, onde as pessoas ainda utilizam formas de cozimento ineficiente e que emitem altos níveis de poluentes. A exposição aos poluentes desta fonte é maior em crianças e mulheres, uma vez que são o grupo que passam mais tempo em seus lares. Anualmente, as fontes domésticas de poluição do ar matam cerca de 3,8 milhões de pessoas em função de doenças como pneumonia, doenças cardiovasculares, doenças obstrutivas do pulmão e câncer (OMS, 2018).

(ii) Fontes externas, advindas principalmente de veículos automotores, indústrias de transformação e mineração e geração de energia³. São particularmente severas em países que apresentam rápido desenvolvimento urbano onde o crescimento da atividade econômica contribui para o aumento de poluentes, como é o caso do Brasil. 4,2 milhões de pessoas morrem anualmente em função da poluição do ar advinda de fontes externas, sendo 91% delas proveniente de países de renda média e baixa (OMS, 2018).

O Gráfico 1 expõe os impactos da poluição do ar na saúde, evidenciando o caráter desigual das suas consequências. Em 2013, os maiores números de mortes em função da poluição do ar, segundo Banco Mundial e IHME (2016), concentraram-se em países de renda baixa, renda média baixa e renda média alta⁴. Nesses países, cerca de 9,1%, 11,7% e 12,9%, respectivamente, do total de mortes são causados pela poluição do ar. Para países de renda alta, membros ou não membros da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), o número de mortes em função da poluição do ar não chega a 6% do número total de mortes.

Os impactos da poluição do ar na morbidade são igualmente alarmantes e as maiores vítimas são idosos e crianças (OLMO, et al., 2011). Segundo a American Academy of Pediatrics (2004), há evidências de que a poluição do ar aumenta significativamente a internação de crianças devido a doenças como asma, pneumonia e bronquite. Ela também gera efeitos negativos no desenvolvimento cognitivo infantil. Como demonstrado por Sunyer et al. (2015), crianças que frequentam escolas em áreas altamente poluídas apresentam desenvolvimento cognitivo menor do que aquelas que

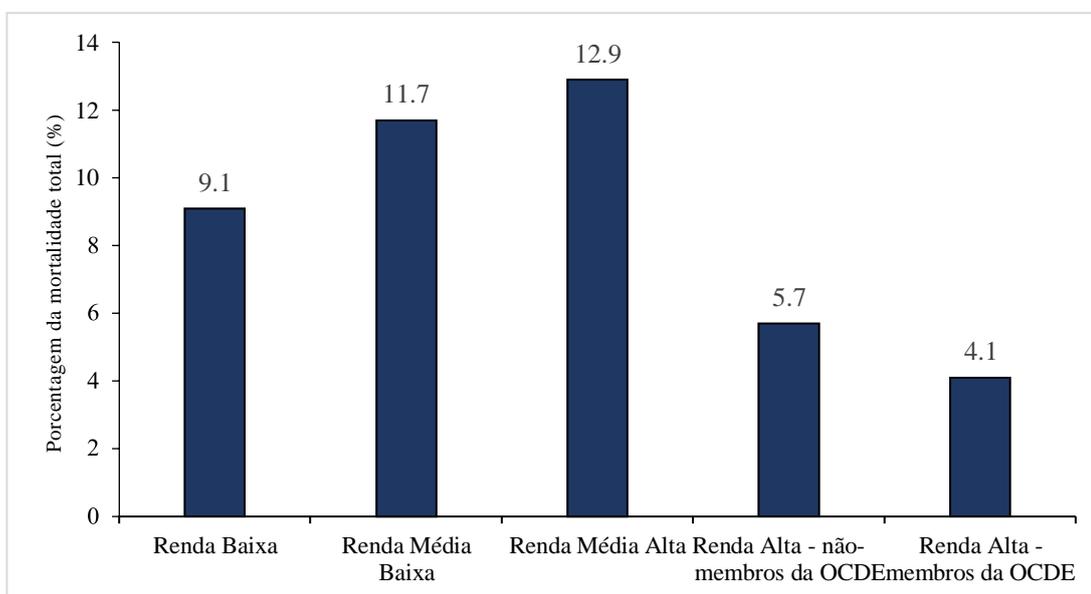
³ Segundo a OMS, a poluição do ar externa pode ter origem natural ou antropogênica (vinda de atividades humanas). A contribuição da última é muito maior se comparada a natural, tendo dentre as principais fontes o combustível fóssil de motores, geração de energia através de petróleo e carvão, instalações industriais e mal gestão do lixo.

⁴ Classificação dos países segundo PIB per capita de acordo com o Banco Mundial: países de renda baixa (< US\$1,005), países de renda média baixa (entre US\$ 1.006 e 3.955), países de renda média alta (entre US\$ 3.956 e 12.235) e países de renda alta (US\$ > 12.235).

frequentam escolas similares em áreas menos poluídas. Em idosos, não somente as doenças respiratórias em função da poluição do ar geram milhares de internações por ano (BENTAYEB; et. al, 2013), como também doenças cardiovasculares, entre elas acidentes vasculares e aumento da pressão arterial (BROOK et al., 2004).

Segundo medida bastante utilizada pela OMS para estimar os impactos da mortalidade e morbidade de doenças – o DALY⁵ – as mortes e doenças em função da poluição do ar em 2015 geraram 103,1 milhões de DALYs, representando 4,2% dos DALYs globais, com uma concentração de 59% no leste e sul asiáticos (COHEN et al., 2017).

Gráfico 1 - Porcentagem da mortalidade devido à poluição do ar em relação à mortalidade total por renda, 2013



Fonte: Elaboração própria utilizando dados do Banco Mundial e IHME (2016)

Os impactos da poluição do ar, todavia, não se resumem à mortalidade e à morbidade. Para além desses fenômenos, numerosos estudos evidenciam que a poluição do ar é capaz de gerar a degradação de prédios e monumentos históricos, prejudicar as produções agrícolas, gerar impactos negativos no turismo e na produtividade, além de ter consequências deletérias sobre a biodiversidade, solo e água (ALBERINI et al., 2016). Estudo realizado por Chang et al. (2012) com empacotadores de frutas comprovou a relação entre aumento na poluição do ar e diminuição no número de frutas

⁵ Um DALY (*Disability-adjusted Life Years* ou anos vividos com desabilidade) representa a perda de um ano de vida idealmente saudável. Ele representa a soma entre o *Years of Life Lost* (YLL) ou anos de vida perdidos devido à mortalidade prematura; e o *Years Lives with Disability* (YLD) ou anos vividos com desabilidade para pessoas vivendo com más condições de saúde (OMS, 2018).

empacotadas. Em 2016, quando esse estudo foi replicado com trabalhadores de *call centers* (CHANG et al., 2016), foi encontrada evidência de que o aumento da poluição do ar reduz o número de chamadas que os trabalhadores fazem ou recebem, em função do aumento no número de intervalos feitos ao longo do dia. Sendo assim, a poluição do ar não afeta unicamente trabalhos manuais, mas também funções que exigem mão de obra com maior qualificação (NEIDELL, 2017).

Apesar de haver poucos estudos que tratem da relação entre poluição do ar e arquitetura, evidências sugerem que a evolução da degradação de monumentos históricos em função da poluição do ar por região corrobora a tendência de aumento da desigualdade dos impactos entre regiões (OMS, 2018). Na Europa, houve melhoria significativa na conservação de monumentos históricos graças à redução na poluição do ar. Entre 1980 e 2010, vários patrimônios tombados pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (Unesco) estavam ameaçados pela poluição do ar. Entre eles, 91% dos monumentos de calcário, 54% dos monumentos de cobre e 1% dos monumentos de bronze se encontravam sob a ameaça de degradação. Essas proporções caíram para zero em 2015 (DI TURO et al., 2016). Dos 51 patrimônios naturais ou culturais da Unesco que estão atualmente sob ameaça da poluição do ar, apenas três deles estão em países de renda alta, estando os demais localizados, principalmente, na América Latina, África e Oriente Médio (UNESCO, 2018).

Os dados elencados acima reforçam a evidência científica dos impactos alarmantes da poluição do ar em diversas áreas. Salienta-se, porém, que, de acordo com a OCDE (2016), como ambas as fontes de emissões de poluentes e as consequências da poluição do ar na saúde e economia são distribuídas de maneira bastante desigual entre diferentes regiões, políticas que reduzam os níveis de poluição do ar, protegendo, ao mesmo tempo, grupos populacionais vulneráveis, devem estar no centro dos debates sobre o assunto.

2.2 IMPACTOS DA POLUIÇÃO DO AR NO BRASIL

O Brasil apresenta duas características que o tornam bastante propício para discutir os impactos, e, mais especificamente, os custos da poluição do ar. Primeiro, é um país de renda média que apresentou forte crescimento econômico real entre 2002 e

2013 (cerca de 3,6%⁶), baseado na expansão da demanda interna (MEDEIROS, 2015)⁷. De acordo com o Inventário Nacional de Emissões (2017), publicado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicação, os maiores emissores de gases de efeito estufa no Brasil são os setores de energia (33%), agropecuária (31%) e a mudança de uso de terra e florestas (cerca de 25%). A segunda característica refere-se à legislação nacional de padrões da qualidade do ar, que é antiga e bastante permissiva se comparada aos padrões recomendados pela OMS (DE FREITAS et al., 2017). Os padrões brasileiros foram estabelecidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama), ligado ao Ministério do Meio Ambiente, segundo a Resolução nº 3 de 1990. Apesar de não haver limites seguros para a concentração de poluentes no sentido de anular todo e qualquer impacto na saúde dos indivíduos (POPE; DOCKERY, 2006 apud OLMO et al., 2011), as medidas tomadas para combater a poluição do ar nacional estão em descompasso com evidências científicas de seus impactos (OLMO et al., 2011).

No Brasil, as maiores evidências das consequências da poluição do ar concentram-se fortemente na área da saúde: mortalidade, morbidade e produtividade (faltas no trabalho em função da doença). Entre as doenças elencadas destacam-se, principalmente, doenças respiratórias (CID 10⁸ – Grupo J) e doenças cardiovasculares (CID 10 – Grupo I). Existem poucos estudos acerca dos impactos da poluição no turismo, em prédios e na agricultura. Além disto, os estudos estão majoritariamente centrados no estado de São Paulo. Isso ocorre não apenas em função de ser o estado com o maior número de centros urbanos com baixa qualidade do ar, mas também por apresentar bastante dados acerca do monitoramento da qualidade do ar⁹.

A OMS estima que, no Brasil, o número de mortes devido a fontes externas de poluição do ar é de cerca de 52 mil casos (dados para o ano de 2016). Outras evidências sugerem que a poluição do ar, externa e doméstica, mata, anualmente, 20.050 pessoas nas 29 regiões metropolitanas do país (MIRAGLIA; GOUVEIA, 2014)¹¹. Além disso,

⁶ Dados retirados do *site* do Banco Central do Brasil.

⁷ Salienta-se, porém, que apesar da desaceleração recente do crescimento e em meio à pior recessão da história, o Brasil aumentou em 9% suas emissões de gases do efeito estufa em 2016 em relação ao ano anterior (OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2017).

⁸ Código Internacional de Doenças – 10ª edição.

⁹ No estado de São Paulo, o órgão responsável pelo monitoramento é a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb).

¹¹ O estudo compreendeu as regiões metropolitanas de Agreste, Aracaju, Baixada Santista, Belém, Belo Horizonte, Campina Grande, Campinas, Carbonífera, Cariri, Curitiba, Florianópolis, Fortaleza, Goiânia, Grande São Luís, João Pessoa, Londrina, Macapá, Maceió, Maringá, Mato Grosso, Natal, Porto Alegre, Recife, Rio de Janeiro, Salvador, São Paulo, Sudeste Maranhense, Vale do Itajaí e Vitória.

internações hospitalares entre crianças (menores de 5 anos) e idosos (maior de 65 anos) – que são as maiores vítimas – devido a doenças respiratórias em função da poluição do ar somam cerca de 2.819 e 1.762 casos, respectivamente, por ano entre a população urbana nacional (MARCÍLIO; GOUVEIA, 2007). Se apenas São Paulo adotasse os padrões de qualidade do ar da OMS, seria possível evitar 5.012 mortes prematuras, somando 266.486 de anos de vida ganhos (ABE; MIRAGLIA, 2016). Além dessas evidências, estudos brasileiros também sugerem o impacto da poluição do ar no gênero de bebês (MIRAGLIA et al., 2013; LICHTENFELS et al., 2007), em abortos (LIN et al., 2007) e no peso de recém-nascidos (GOUVEIA et al., 2004). Cabe lembrar que as morbidades atreladas à poluição do ar geram altos dispêndios públicos. Entre 2000 e 2009, foram gastos aproximadamente R\$ 18 milhões em internações e remédios em função da poluição do ar no Sistema Único de Saúde (SUS) (TAYRAL et al., 2012). No que concerne os impactos na produtividade, de acordo com Rodrigues-Silva et al. (2012), entre 2000 e 2007, dentro da população economicamente ativa do Brasil, a poluição do ar resultou em 129.832 faltas por ano no trabalho e um custo de US\$ 6.472.686 a cada 3.555.237 trabalhadores.

Estudos epidemiológicos nacionais demonstram que a população brasileira arca com severas consequências na saúde e na economia devido à poluição do ar. Agravando este cenário, o Brasil é o 11º país mais desigual do mundo (BANCO MUNDIAL, 2018), fazendo com que os aspectos distributivos da poluição sejam um grande desafio de política pública atual. A camada mais pobre da população é duplamente afetada. Primeiro, porque reside, normalmente, em regiões com menor infraestrutura e saneamento e em locais onde a poluição do ar é mais alta, como regiões metropolitanas, por exemplo. Segundo, porque mesmo que o nível de consumo da camada mais pobre não seja a principal fonte de degradação do meio ambiente, os mais pobres tendem a arcar com a maior parte dos impactos da degradação devido a sua baixa capacidade de incorrer em gastos defensivos (DA MOTTA, 2002). Assim sendo, fica claro que a poluição do ar apresenta papel importante na perda de saúde e qualidade de vida da população brasileira, assim como contribui para o aumento da desigualdade social.

2.3 IMPACTOS DA POLUIÇÃO DO AR NA ECONOMIA: EVIDÊNCIA EMPÍRICA

As consequências econômicas dos impactos da poluição do ar são enormes para o desenvolvimento econômico e social. Como explicitado por Pearce et al. (1996), porém, a poluição do ar é um dos maiores exemplos de externalidade, cujo preço não é exato – não tangível, sendo muito difícil estimar, precisamente, todos os custos que a sociedade incorre em função dela. Existe um problema adicional na mensuração dos impactos da poluição do ar sobre o crescimento econômico. Como a poluição do ar está correlacionada com o crescimento econômico, mas também impacta negativamente sobre ele, é difícil saber o que é causa e o que é consequência (HAO et al., 2018). De qualquer forma, há uma vasta literatura que comprova os efeitos econômicos dessa externalidade nas mais diversas áreas econômicas, como produtividade, agricultura e saúde pública.

Comumente, calcula-se o impacto da poluição do ar na economia de duas formas: através dos impactos financeiros, como a degradação de prédios e gastos com reparação; e através dos impactos econômicos que são valorados pelo ser humano, como o sofrimento causado por doenças. Isolar os custos financeiros advindos da poluição do ar, tais como custos com internações e perda de salário por faltas no trabalho, entre outros, já é uma tarefa difícil. O problema torna-se ainda mais complexo quando se pretende estimar, em termos monetários, a perda de bem-estar (entendidos também como custos econômicos) em função da poluição do ar representada por sofrimento, perda de lazer, entre outros malefícios que acarreta na vida dos indivíduos afetados. Ambos os cálculos, apesar de complexos e muitos controversos, são necessários por dois motivos.

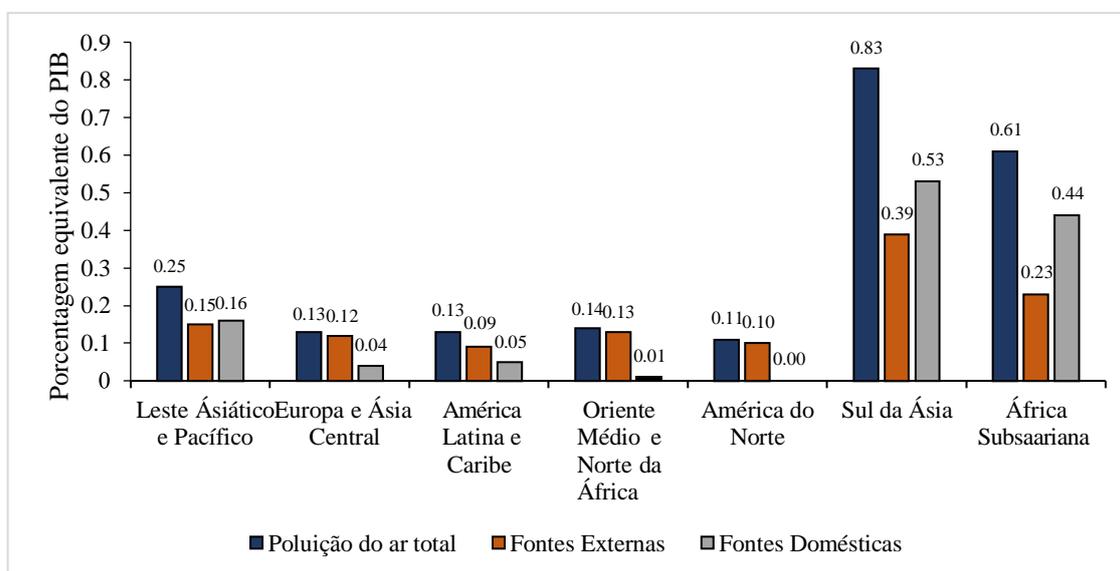
(i) Custo da inação como argumento financeiro: Trata-se do convencimento da necessidade de implementação de políticas públicas de redução da poluição do ar, mesmo que estas gerem certos custos em curto prazo. Negligenciar os níveis de concentração de poluentes gera altos custos não somente à população, mas também aos Estados. Internações em hospitais públicos e gastos com remédios são apenas algumas das externalidades financeiras da poluição do ar que acometem o orçamento público.

(ii) Análise de custo-benefício e análise de custo-efetividade para a realização de políticas de combate aos emissores: A avaliação econômica do tamanho dos impactos da poluição do ar proporciona fundamentos para os tomadores de decisão avaliarem diferentes alternativas de investimento (MIRAGLIA; GOUVEIA, 2014), não apenas em função do custo financeiro, como também em áreas referentes ao bem-estar subjetivo da população.

Dentre os diferentes impactos causados pela poluição do ar, a mortalidade destaca-se por apresentar o maior custo financeiro e de bem-estar (OCDE, 2016). Segundo o Banco Mundial e o IHME (2016), apenas em 2013, a poluição do ar foi responsável pela perda de US\$ 25 bilhões em rendimento do trabalho. Isso significa que as 5,5 milhões de mortes devido à poluição do ar em 2013 geraram uma perda de rendimento do trabalho no montante de US\$ 25 milhões. Para o cálculo da perda de rendimento do trabalho, iguala-se o custo financeiro das mortes prematuras com o valor presente de ganhos futuros (BANCO MUNDIAL; IHME, 2016). Nesse sentido, ele representa o somatório dos anos entre a morte e a expectativa de vida padrão¹² e o rendimento médio do trabalho por ano em cada país.

O Gráfico 2 demonstra que as maiores perdas de rendimento do trabalho estão no Sul da Ásia e na África Subsaariana. Isso se deve à faixa etária predominante dos casos. Como o Sul da Ásia e, em especial, a África Subsaariana apresentam maior mortalidade entre crianças, e como crianças contariam com mais anos de vidas restantes economicamente ativos, o impacto é maior (BANCO MUNDIAL; IHME, 2016).

Gráfico 2 - Perda de rendimento do trabalho em função da mortalidade causada pela poluição do ar por região, 2013

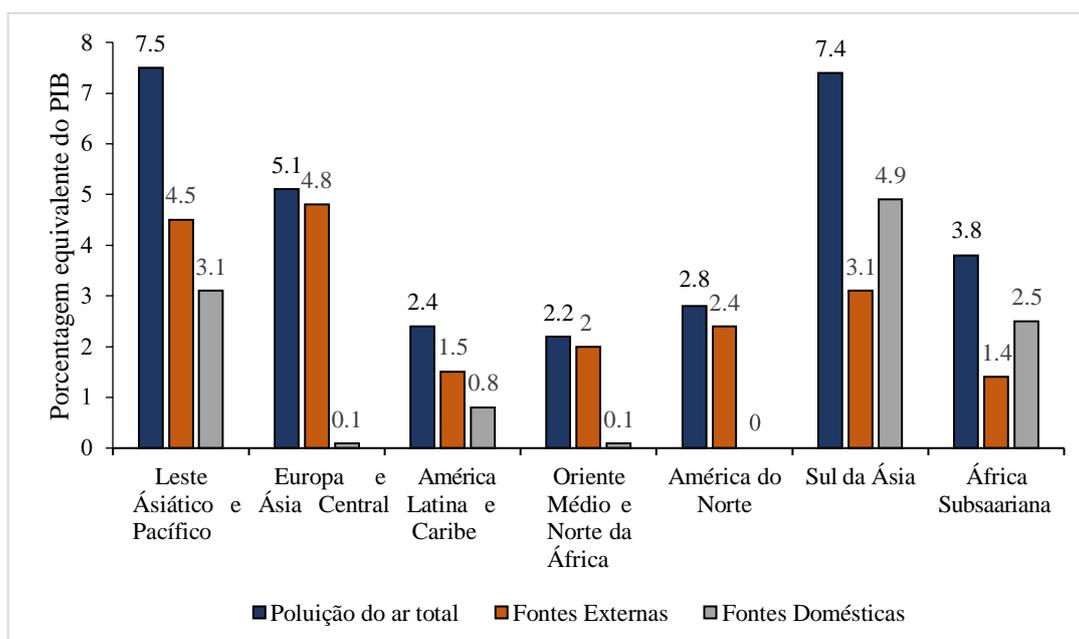


Fonte: elaboração própria a partir de dados do Banco Mundial e IHME (2016)

¹² O Banco Mundial e a Organização Mundial da Saúde utilizam expectativas de vida formuladas pelo Instituto de Métrica e Avaliação para Saúde (IHME) nas publicações do Global Burden Disease.

O montante de perda de bem-estar em função da mortalidade causada pela poluição do ar é significativamente maior do que a perda de rendimento do trabalho (Gráfico 3). Em 2013, a perda de bem-estar somou US\$ 5,11 trilhões. Os maiores montantes concentram-se no Leste Asiático e Pacífico, Europa e Ásia Central e Sul da Ásia. O significado do bem-estar referido será melhor tratado no próximo capítulo. Por ora, basta compreender que o Gráfico 3 busca demonstrar, em termos monetários, o custo da perda daquilo que os seres humanos valorizam (OCDE, 2014). No caso da mortalidade, a valoração refere-se à própria vida. O gráfico representa, pois, o somatório das perdas de bem-estar individuais causadas pela mortalidade devido à poluição do ar entre as populações representadas.

Gráfico 3 - Perda de bem-estar* em função da mortalidade causada pela poluição do ar por região, 2013



*Valores calculados a partir de valoração contingencial e métodos de transferência
Fonte: elaboração própria a partir de dados do Banco Mundial e IHME (2016)

De acordo com a mesma publicação, em 2013, o Brasil incorreu, devido à poluição do ar, em custos¹³ na proporção de cerca de US\$ 6.029 milhões de perda de rendimento de trabalho (0,39% do PIB de 2013) e em torno de 82.612 milhões de perda de bem-estar (2,66% do PIB de 2013).

¹³ A preços de 2018.

Fica evidente a grande diferença quantitativa entre os custos financeiros e de bem-estar causados pela poluição do ar em 2013, tanto no Brasil como no mundo. Os gráficos também demonstram que as próprias tendências de impacto econômico regional da poluição do ar mudam. O que está por trás dessa diferença vincula-se a um dos maiores debates econômicos da história. As diferentes interpretações de renda e riqueza que economistas vêm discutindo desde o século XVIII (OMS; OCDE, 2015) são de suma importância para mensurar os impactos econômicos da poluição do ar na atualidade.

Discussões teóricas a parte, ambos os gráficos demonstram que, dada a magnitude dos impactos da poluição do ar na economia, faz-se necessária uma mensuração desses custos, a fim de convencer gestores públicos e a sociedade da necessidade de políticas públicas voltadas à qualidade do ar. Pode-se, assim, fornecer evidências e dados que tornem tais políticas mais eficazes.

3 VALORAÇÃO DOS IMPACTOS DA POLUIÇÃO DO AR: TEORIA E PRÁTICA

Este capítulo busca analisar os alicerces teóricos por trás das metodologias de valoração dos impactos da poluição do ar. Estudos que isolam os efeitos da poluição do ar exploram seu impacto sobre as mais diversas áreas da vida humana. As evidências do campo da economia mostram que a poluição do ar não apenas traz custos financeiros e de mercado, mas também custos sociais e de bem-estar para a população (OMS; OCDE, 2015).

A mensuração desses custos está calcada em suposições teóricas cuja compreensão é imprescindível para a realização do estudo prático e para a própria interpretação dos resultados. A tipologia e a conceituação dos diferentes custos segundo o estado da arte da valoração econômica dos impactos da poluição do ar é apresentada na seção 3.1. A seção 3.2 busca fazer uma análise das teorias por trás das duas formas comumente utilizadas para a valoração dos impactos na economia da mortalidade em função da poluição do ar: a abordagem do bem-estar (*Welfare-based approach*) e a abordagem baseada na renda (*Income-based approach*). Foco especial é dado à conceituação de valoração ligada à mortalidade. A seção 3.3 trata das metodologias de cálculo de cada uma das abordagens para as estimações financeiras e econômicas da mortalidade. Elas são utilizadas no estudo empírico para estimar os custos no Brasil: Valor Estatístico da Vida (*Value of Statistical Life*) e Valor Presente da Produção Futura (*Forgone output approach/Human Capital Approach*).

3.1 VALORAÇÃO DOS IMPACTOS DA POLUIÇÃO DO AR: TIPOLOGIA DOS CUSTOS

No presente trabalho, realiza-se uma classificação dos custos segundo abrangência, proposta por publicação do Banco Mundial em 2016. Essa divisão é amplamente utilizada na literatura e é aplicável para todo o escopo de prejuízos advindos da poluição do ar. Em suma, divide-se a mensuração econômica dos impactos da qualidade do ar a partir de duas perspectivas (NARAIN; SALL, 2016): abordagem baseada no bem-estar (*Welfare-based approach*) e a abordagem baseada na renda (*Income-based approach*).

A abordagem de bem-estar analisa os custos econômicos não tangíveis dos impactos da poluição do ar, como, por exemplo, a dor, o sofrimento e a perda de lazer causados por doenças. Não deve ser encarada, portanto, como uma medida financeira. Tal *approach* é bastante utilizado nas análises de custo-benefício¹⁴ de políticas públicas. A base teórica dessa abordagem está calcada na filosofia utilitarista e em seu conceito de utilidade, cuja origem e interpretação são melhores explicitados na próxima seção. Em suma, a abordagem do bem-estar assume que os indivíduos atribuem valores para diferentes coisas e, a partir desta valoração, realizam *trade-offs* para fazer escolhas. Segundo a OCDE (2015), o trabalho do economista consiste em agregar, em nível social, essas milhões de valorações individuais. Logo, o que será agregado e mensurado na etapa prática deste estudo são as avaliações feitas por indivíduos sobre o montante de valor que, para eles, é perdido em função da poluição do ar. Mais especificamente, o valor atribuído à mortalidade em função da poluição do ar. O *welfare-based approach* abarca, pois, questões mais complexas e sutis, inerentes aos indivíduos.

A abordagem baseada na renda analisa os custos financeiros da poluição do ar. Os custos financeiros podem ser divididos entre custos diretos, como internações hospitalares devido a doenças, e indiretos, como perda de produtividade em função de faltas no trabalho. Tal abordagem está relacionada à contabilidade e análise dos impactos da poluição do ar sobre o PIB e as contas públicas de diferentes países e/ou regiões. Com relação à valoração da mortalidade, esta abordagem baseia-se na teoria do capital humano, que é melhor desenvolvida na seção 3.2. Salienta-se que o trabalho de contabilidade é bastante relevante, porém a economia não se restringe a ele (OCDE, OMS, 2015). Além de requerer menor custo para ser implantado, o *financial-based approach* possui outra qualidade importante: é de fácil entendimento para o gestor público, principal ator que utilizará tal mensuração para a realização de políticas de mitigação. É importante ter em mente, porém, que os custos puramente financeiros subestimam o real impacto da poluição do ar sobre a vida dos cidadãos.

A Tabela 1, a seguir, ilustra exemplos de indicadores dos diferentes custos.

¹⁴ Suas suposições teóricas baseiam-se na ideia de que os benefícios de uma política são definidos enquanto aumento no bem-estar (utilidade) e custos são definidos como redução neste bem-estar (PEARCE et al., 2006). A ideia é que se implante uma política se seus benefícios excederem seus custos.

Tabela 1 – Impactos econômicos da poluição do ar de acordo com a tipologia de custos

Categoria de Impacto	Custos tangíveis	Custos intangíveis
Morbidade	Gastos com hospitalização e remédios.	Dor gerada em função da doença.
Produtividade	Perda de produtividade e perda salarial em função da falta no trabalho.	Sufrimento dada a perda salarial.
Monumentos Históricos	Gastos com reparação e manutenção.	Perda de lazer pela degradação de bens culturais.

Fonte: Elaboração própria com base na OCDE (2015, p. 22).

Como o objetivo do presente trabalho é valorar economicamente e financeiramente o custo das mortes prematuras, foco especial será dado à valoração na área da saúde. Como explicitado pela OCDE (2014),

Qualquer relatório ou estudo sobre o “custo econômico” dos impactos na saúde humana, seja da poluição do ar ou de qualquer outra fonte, envolvendo questões de “valoração” da vida ou saúde, deve explicar, da maneira mais clara possível, o que precisamente quer dizer “valor” e “custo”. Esta não é uma tarefa trivial, uma vez que seu uso é facilmente mal interpretado¹⁵ (OCDE, OMS; 2015, p. 16).

Sendo assim, o entendimento dos conceitos sobre valor e custo em relação à vida humana são cruciais para o trabalho empírico abordado no capítulo 4. A interpretação teórica dessas terminologias de acordo com as duas abordagens (baseada no bem-estar e baseada na renda) auxilia no entendimento acerca da diferença do montante entre os dois, assim como facilita a análise e interpretação econômica.

3.2 ALICERCES TEÓRICOS DAS DUAS ABORDAGENS

3.2.1 Abordagem baseada no bem-estar (*Welfare-based approach*)

Para compreender os alicerces teóricos da abordagem baseada no bem-estar, há que se revisitar os séculos XVII e XVIII, mais especificamente o iluminismo franco-

¹⁵ “Any report on the ‘economic cost’ of impacts on human health, be it from air pollution or any other source, involving as it does a ‘valuation’ of life and of health, needs to explain as clearly as possible what precisely is meant by the terms ‘value’ and ‘cost’. This is a non-trivial task. For the use of these terms is frequently misunderstood” (tradução nossa).

escocês (OMS; OCDE, 2015) e as discussões acerca da origem da riqueza e do entendimento do que é valor. A revolução intelectual, que começou no século XVII e estabeleceu os novos fundamentos da “ciência moral” moderna (TAYLOR, O, 1960, p. 1), também foi crucial para mudança no pensamento econômico.

A fisiocracia, escola de pensamento econômico francês da metade do século XVIII, tendo como seu principal representante François Quesnay (1694-1774), foi um dos primeiros movimentos a realizar uma crítica ferrenha ao pensamento mercantilista (séculos XV a XVIII) no que concerne o entendimento sobre riqueza. Para os fisiocratas, riqueza não consistia em ouro ou outra forma de dinheiro (OMS; OCDE, 2015), mas tinha sua origem na agricultura¹⁶ (HUNT, 1989), único setor “não estéril” da economia, capaz de gerar excedente – ou valor. O equívoco dos fisiocratas em elencar apenas o setor agrícola enquanto capaz de trazer desenvolvimento econômico e gerar riqueza foi, quase que concomitantemente, levantado por Adam Smith (1723-1790).

Para Smith, existiam duas formas de valor, quais sejam o valor de uso e o valor de troca (STIGLER, 1950). Segundo ele,

A palavra VALOR, como observada, possui dois significados diferentes; algumas vezes, expressa a utilidade de algum objeto particular e, algumas vezes, o poder de compra de outros bens que a posse deste objeto confere¹⁷ (SMITH, 1776 apud STIGLER; 1950, p. 307).

Essa dualidade ficou conhecida como o Paradoxo do Valor¹⁸, cuja explicação não foi aprofundada por Smith. O filósofo, neste sentido, focou sua análise nos determinantes do valor de troca. Segundo Kaushil (1973), para Smith, o conforto e a liberdade sacrificados por um trabalhador médio durante um certo período de tempo – expressando uma *des-utilidade* subjetiva – para produzir um bem permanece os mesmos, independente do tempo e espaço. Sendo assim,

Unicamente o trabalho, nunca variando em seu próprio valor, é o verdadeiro e último padrão pelo qual o valor de todas as *commodities* pode, em qualquer lugar e a qualquer tempo, ser estimado e comparado. É seu verdadeiro preço; dinheiro é somente seu preço nominal¹⁹ (SMITH, 1776 apud KAUSHIL, 1973, p. 62).

¹⁶ Mais especificamente, na terra.

¹⁷ “The word VALUE, it is to be observed, has two different meanings, and sometimes expresses the utility of some particular object, and sometimes the power of purchasing other goods which the possession of that object conveys” (Tradução nossa).

¹⁸ Cunhado por economistas que defendiam uma teoria de valor baseada na utilidade (HUNT, E. K., 1989).

¹⁹ “Labour alone, therefore, never varying in its own value is alone the ultimate and real standard by which the value of all commodities can at all times and places be estimated and compared. It is their real price; money is their nominal price only” (Tradução nossa).

Sendo assim, pode-se dizer que, se um produto x possuir maior tempo de trabalho socialmente necessário²⁰ para ser produzido em relação a outro produto y, o produto x apresenta maior valor.

Apesar de divergirem acerca da origem do valor, o que ambos, fisiocratas e Adam Smith, tinham em comum, era a rejeição de que a riqueza e o valor advinham do ouro ou de outra forma dinheiro. Esses bens nada mais representariam do que uma unidade de medida. Neste sentido,

O dinheiro torna-se não a coisa sendo mensurada, mas sim o instrumento com o qual se mensura riqueza e valor; um instrumento imperfeito com o qual se podem mensurar fenômenos não monetários²¹ (OMS; OCDE, 2015, p. 14).

Salienta-se que as contribuições dos fisiocratas e de Adam Smith para a mensuração econômica dos impactos da poluição do ar – a partir de uma abordagem de bem estar – referem-se à aceitação do dinheiro como unidade de medida e, mais que isso, como unidade de medida capaz de mensurar bens intangíveis. Apesar de Adam Smith iniciar uma discussão acerca dos prazeres abdicados em função das horas de trabalho imputadas nos bens – a *des-utilidade* –, os primeiros intelectuais a, de fato, desenvolverem tal conceito de forma aprofundada foram Jeremy Bentham (1748-1832) e John Stuart Mill (1806-1873).

O filósofo e economista britânico Jeremy Bentham introduziu a base da filosofia social utilitarista (HUNT, 1989) e trouxe para o centro das discussões econômicas (STIGLER, 1950) no século XIX a ideia de valor-utilidade. Segundo ele, “a natureza pôs a humanidade sobre a governança de dois mestres soberanos, a dor e o prazer”²² (BENTHAM, 1789, p. 6). Nesse sentido, a utilidade significa a propriedade de algo em produzir benefícios e, portanto, prazer, ou reduzir malefícios e, logo, dor e sofrimento (BENTHAM, 1789 apud HUNT, 1989). A maximização da utilidade seria o princípio de toda e qualquer motivação humana. Na publicação “*Introduction to the Principles of Morals and Legislation*”, Bentham (1789) sugere duas hipóteses para a construção da sua teoria da utilidade (READ, 2004): (a) para um determinado indivíduo, existem quatro dimensões de prazer e dor que devem ser consideradas: a intensidade, duração,

²⁰ O trabalho socialmente necessário leva em consideração o nível médio de tecnologia e habilidade na sociedade.

²¹ “Money becomes not the thing being measured but, at best, the instrument with which to measure it; an imperfect instrument with which to measure non-monetary phenomena” (Tradução nossa).

²² “Nature has placed mankind under the governance of two sovereign masters, pain and pleasure” (Tradução nossa).

certeza e proximidade (BENTHAM, 1789, p. 22) – se multiplicarmos a intensidade dos seus sentimentos pela duração, será obtido o valor de algo para o indivíduo; (b) o somatório do valor dado por cada indivíduo dentro de uma sociedade reflete uma medida do bem social.

Como afirma Hunt (1989), ao reduzir os motivos humanos ao princípio único da utilidade, Bentham acreditou poder elaborar uma ciência do bem-estar ou da felicidade humana que pudesse ser expressada de forma matemática. Por conseguinte, e, essencial para o iniciar o entendimento da valoração econômica prática dos impactos da poluição do ar,

Os termos riqueza e valor se explicam mutuamente. Um artigo só entra na composição de uma riqueza se possui algum valor. A riqueza se mede de acordo com os graus deste valor. Todo valor baseia-se na utilidade... Onde não há utilidade, não pode haver valor algum (BENTHAM, 1789 apud HUNT, 1989).

Salienta-se que Bentham chegou a tratar, ainda que de forma bastante introdutória, não apenas das utilidades totais individuais – todo prazer que algo tem o poder de produzir – mas também das utilidades marginais individuais – o prazer que uma unidade adicional de algo pode trazer –, posteriormente muito utilizadas pela economia neoclássica.

Apesar de Bentham ter sofrido críticas principalmente em referência às dificuldades de mensuração prática das utilidades individuais que propunha, as implicações de suas proposições – em especial a teoria do valor-utilidade – têm amplo impacto na análise econômica atual. No que concerne a valoração dos impactos da poluição do ar proposta pelo *approach* de bem-estar, Bentham forneceu as bases filosóficas para o estudo dos impactos de externalidades negativas, como a poluição do ar, para além dos custos observáveis e puramente financeiros.

As ideias de Bentham tiveram forte influência no pensamento econômico do século XIX e abriram as portas para a escola marginalista. Os seus três expoentes, William Stanley Jevons (1835-1882), Carl Menger (1840-1921) e Léon Walras (1834- 1910)²³, formularam, concomitantemente, as principais suposições sobre as quais a teoria do bem-estar baseia-se hoje. As contribuições dessa escola para o presente trabalho referem-se às suas proposições matemáticas acerca da formulação concreta do valor a partir das utilidades marginais. Segundo Read (2004), o conceito de utilidade

²³ Além destes, destaca-se a contribuição do matemático Daniel Bernoulli (1700 – 1782), um dos primeiros estudiosos a cunhar e desenvolver o conceito de utilidade marginal.

total enquanto o total de prazer e dores que as escolhas individuais trazem continuou sendo central para o pensamento econômico normativo. A utilidade marginal, ou seja, a quantidade de prazer ou dor agregada por uma unidade adicional de algo foi introduzida como centro da análise econômica. Algebricamente, podemos verificar tal conceitualização a partir de Read (2004):

$$\frac{MU_1}{p_1} = \frac{MU_2}{p_2} = \dots = \frac{MU_i}{p_i}$$

onde, para todo i , MU_i é a utilidade marginal de um bem i e p_i é o seu preço. Sendo assim, os indivíduos distribuem sua renda entre vários “pequenos prazeres”, de modo que o último montante de dinheiro gasto em cada bem representa a mesma quantidade de prazer para o indivíduo. Sendo assim, não haveria mais sentido em buscar calcular o prazer ou dor total trazido por um bem ou serviço, mas sim a adição de uma unidade de cada um deles. Os marginalistas contribuíram tanto para a mensuração das funções de bem-estar (utilidade) individuais, como para a comparabilidade entre elas.

A revolução ordinalista do início do século XX trouxe outra perspectiva para o conceito de utilidades individuais. Entre os expoentes, estão Lionel Robbins (1868-1984), John Hicks (1904-1989), e Paul Samuelson (1915-2009) (RILEY, 2008). Os ordinalistas abandonaram a perspectiva hedonista de utilidade trazendo para o centro da análise econômica a perspectiva comportamental. Foi dado destaque para o papel das tomadas de decisões individuais como cruciais para a valoração das utilidades. A utilidade, segundo eles, trataria de uma representação numérica de preferência revelada por uma escolha comportamental racional e observável (RILEY, 2008). Além disso, fundamental para entender a perspectiva agregada dos custos de bem-estar (utilidades individuais) sobre a população brasileira em função da mortalidade da poluição do ar é o pressuposto ordinalista de que os níveis de utilidade individuais que representam preferências reveladas ordenadas podem ser comparadas.

A partir das contribuições de tais economistas e vertentes do pensamento econômico, podemos entender a aplicação empírica da valoração econômica da mortalidade sob a ótica do bem-estar utilizada por governos atualmente. Ela foi desenvolvida e publicada em 1968 pelo economista Thomas Schelling, que cunhou pela primeira vez o termo “valor estatístico da vida” (VSL) em seu artigo “*The Life You Save May Be Your Own*”. A contribuição fundamental de Schelling foi desenvolver uma alternativa ao propósito de valorar a vida humana diretamente, como muitos pesquisadores tentaram. Ele propôs que economistas valorassem a redução no risco (ou

o aumento no risco) de morrer em função de diferentes ações de políticas públicas. Apesar de pessoas tipicamente não aceitarem pagamento em troca da perda de sua vida, indivíduos aceitam pagamento como compensação por aumentos no risco de morrer (BOSWORTH; HUNTER; KIBRIA, 2017). Schelling percebeu, pois, que as pessoas podem estar dispostas a “trocar” bens, serviços ou poupanças por um programa público para reduzir o risco de morrer. Obviamente, as pessoas não “pagam” diretamente por programas ou determinadas políticas públicas. Entretanto, saber o montante que um indivíduo estaria disposto a pagar para viabilizar políticas que reduzam o seu risco de morrer é crucial. O agregado das disposições a pagar (DAP) para a redução desse risco é, em suma, denominado de valor estatístico da vida (BOSWORTH; HUNTER; KIBRIA, 2017), e é a maneira mais utilizada para mensurar os impactos econômicos da poluição do ar na mortalidade.

A partir dessas perspectivas teóricas, torna-se mais claro o objeto de análise da abordagem de bem-estar dos custos econômicos da poluição do ar: busca-se mensurar todas as perdas não tangíveis que o indivíduo incorre valoradas a partir de preferências reveladas ou declaradas.

3.2.2 Abordagem baseada na renda (*Income-based approach*)

A segunda abordagem de valoração possui bases teóricas bastante distintas à anterior. Ela envolve o cálculo de todos os custos financeiros diretos e indiretos das consequências da poluição do ar, tais como elencadas na seção 3.1. É uma abordagem mais simples e exclui, portanto, questões subjetivas como angústia e sofrimento. O cálculo financeiro da mortalidade (denominado pela literatura de *Human Capital Approach*, *Forgone Output Approach*) em função da poluição do ar, porém, exige algumas considerações teóricas cujas primeiras formulações datam do século XVII. Dessa forma, esta seção trata dos pressupostos sobre a valoração financeira unicamente da mortalidade, que é posta em prática no próximo capítulo.

O economista William Petty (1623-1687) foi o primeiro a cunhar o termo *capital humano* (CZAJKOWSKI et al., 2014). Segundo Folloni e Vittadini (2010), Petty buscou analisar o papel político e socioeconômico do capital humano na Inglaterra seiscentista, uma vez que ele acreditava que o trabalho era o “pai da riqueza” e que seu valor devia ser incluído nas estimativas de riqueza nacional. Salienta-se que, entre o período de 1642 e 1651, a Inglaterra viveu a Guerra Civil Inglesa, cujas mortes, segundo

estimativas, chegaram somar o número de 190 mil em uma população de 5 milhões de habitantes. Sendo assim, Petty estava interessado em estimar o “estoque” de capital humano perdido em função das vítimas da guerra e em função da migração.

Após Petty, o economista e filósofo Adam Smith voltou a discutir a conceptualização de capital humano. Smith estava interessado, diferentemente de Petty, em entender as razões das diferentes remunerações entre diferentes ocupações (FOLLONI; VITTADINI, 2010). O economista foi o primeiro a incluir as habilidades obtidas pelos trabalhadores sob a ideia de capital. De acordo com ele, a experiência, associada à especialização da economia e à educação nas escolas, explicava as fontes do capital humano.

Muitas das discussões sobre o conceito de capital humano à época centravam-se em aspectos morais acerca do tratamento de seres humanos como recursos, cujo valor poderia ser mensurado em termos monetários. John Stuart Mill e Alfred Marshall adotaram opiniões similares sobre a questão, afirmando que não é possível calcular o valor da vida humana em si. Porém, considerando que as habilidades adquiridas por seres humanos são custosas e levam à maior produtividade do homem, entendiam que elas devem ser tratadas como capital (FOLLONI; VITTADINI, 2010).

O termo *capital humano* saiu da esfera econômica por algumas décadas e voltou a ser tratado a partir dos estudos dos economistas Jacob Mincer (1922-2006), Theodore Schultz (1902-1998) e Gary Stanley Becker (1930-2014). Segundo Mincer,

a análise de capital humano lida com as capacidades adquiridas que são desenvolvidas através da educação formal e informal na escola e em casa, e através de treinamento, experiência e mobilidade no mercado de trabalho. A ideia central da teoria do capital humano é que, deliberada ou não, essas atividades envolvem custos e benefícios e podem, portanto, ser analisadas como decisões econômicas, privadas ou públicas (MINCER, 1981, p.3).

Para Becker, as formas tangíveis de capital não são o único tipo de capital. A aprendizagem, por exemplo, também pode ser considerada uma forma de capital, uma vez que aumenta os ganhos dos indivíduos (BECKER; KEVIN; TAMURA, 1990). A partir de argumentação similar, Schultz afirma que

Embora seja óbvio que as pessoas adquiram habilidades e conhecimentos úteis, não é óbvio que essas habilidades e conhecimentos sejam uma forma de capital e que esse capital é, em parte, um produto de investimento

deliberado, que ele cresceu nas sociedades ocidentais [...]”²⁴ (SCHULTZ, 1961, p. 1).

Para esses economistas, pois, indivíduos portadores de conhecimento e habilidades, capazes de, através de otimização da produtividade, gerar mais riqueza, são a fonte do desenvolvimento econômico. Dessa maneira, a perda de uma vida representaria, segunda essa abordagem, a perda dessas propriedades atreladas a habilidades individuais.

Em 1967, Dorothy Rice (1922-2017) desenvolveu a aplicação empírica da técnica do *approach* de capital humano para mensurar a mortalidade no seu artigo intitulado “*Estimating the Cost of Illness*” (1967). Rice utilizou como *proxy* para o capital humano perdido em função da mortalidade o valor presente de ganhos futuros do indivíduo a partir do momento da sua morte. Tal metodologia, denominada *valor presente da produção futura*, é melhor explicada na seção 3.1. O *approach* baseado na renda realiza uma avaliação das consequências da poluição do ar limitadas às contribuições econômicas dos indivíduos a partir da esfera do mercado de trabalho. A utilização da remuneração do trabalho enquanto *proxy* para valoração da mortalidade abarca certas questões intangíveis como habilidade e talento, porém, não é capaz de estimar o sofrimento humano incorrido com a perda da vida e outras questões mais subjetivas, como pretende a abordagem de bem-estar.

3.3 POLUIÇÃO DO AR E A VALORAÇÃO DA MORTALIDADE

Este trabalho foca na valoração da mortalidade em função de duas questões (WORLD BANK; IHME, 2016): primeiro, a mortalidade prematura representa o maior custo econômico dentro da área dos impactos na saúde; segundo, o cálculo das consequências econômicas da mortalidade é bastante consolidado e aceito por diversos pesquisadores da área da economia da saúde. Existem três formas de se valorar economicamente os impactos da mortalidade (NARAIN; SALL, 2016), sendo duas a partir da abordagem de bem-estar e uma a partir da abordagem baseada na renda.

Segundo o *approach* de bem-estar, o custo econômico dos óbitos pode ser mensurado sob uma perspectiva de perda de anos de vida totais dentro da sociedade, ou

²⁴ “Although it is obvious that people acquire useful skills and knowledge, it is not obvious that these skills and knowledge are a form of capital, that this capital is in substantial part a product of deliberate investment, that it has grown in Western societies [...]” (Tradução nossa).

sob uma perspectiva de número de mortes totais na sociedade. Para a primeira, estima-se os anos de vida restantes entre a idade do óbito e a expectativa de vida padrão da sociedade em que o indivíduo está inserido e, após, multiplica-se o *valor estatístico de um ano de vida*, que é melhor tratado na próxima seção. O somatório dos anos perdidos de vida de todos os indivíduos de determinada região multiplicado pelo valor estatístico de um ano de vida nos dá o custo econômico da mortalidade sob essa perspectiva. A segunda maneira de calcular tais custos a partir da valoração de bem-estar é multiplicando o número total de óbitos pelo *valor estatístico da vida*.

O *approach* financeiro para valoração da mortalidade, assim como a perspectiva de anos de vida perdidos no *approach* de bem-estar, é feito a partir do somatório dos anos de vida restantes entre o óbito e a expectativa de vida padrão, mas, ao invés de multiplicar esses anos pelo valor estatístico de um ano de vida, multiplica-se pelo *valor presente da produção futura*.

O valor estatístico da vida, o valor estatístico de um ano de vida e o valor presente da produção futura são explicitados na próxima seção, onde se expõem seus conceitos, principais formas de valoração e críticas.

3.3.1 Valoração da mortalidade a partir da abordagem baseada no bem-estar: valor estatístico da vida e valor estatístico de um ano de vida

Atualmente, a economia do bem-estar conta com um método padrão para valorar o custo da mortalidade em nível social agregado: o *valor estatístico da vida* (OCDE, 2016). O valor estatístico da vida representa o agregado das disposições individuais a pagar (DAP) em função de uma redução no risco de morrer. Cabe salientar que este não é um valor identidade, ou seja, não é o valor de uma vida, e, segundo Narain e Sall (2014), tampouco representa o julgamento de uma sociedade sobre o quanto esse valor deve ser. Algebricamente, o conceito de VSL é simples. Suponha que cada indivíduo possua uma função expectativa de utilidade EU, relacionando a utilidade do consumo em um período U(y) e o risco de morrer no mesmo período, r, sob a forma (OCDE, 2016):

$$EU(y, r) = (1 - r) U(y)$$

As DAPs individuais, para manter a mesma utilidade esperada no evento de uma redução no nível do risco de r para r' é a solução da equação:

$$EU(y - WTP, r') = EU(y, r)$$

Logo, o VSL é a taxa marginal de substituição (δ) entre dois itens valorados, consumo e redução no risco de morrer, tal como:

$$VSL = \delta^s WTP / \delta^s r$$

Em exemplo utilizado por Narain e Sall (2014) para explicar a derivação do VSL e sua relação com o custo da poluição, os autores propõem a suposição de que a poluição do ar aumenta a chance de qualquer indivíduo morrer em um ano em média de 2 em 10.000 para 3 em 10.000. Logo, a probabilidade implica que, entre 10.000 pessoas, 1 morre todo ano em função do aumento do risco da poluição. Continuando a suposição, os indivíduos estariam dispostos a pagar, em média, US\$ 30 para reduzir seu risco de morrer por uma margem de 1 em 10.000. Somando esse valor médio de disposição a pagar entre 10.000 indivíduos, o valor estatístico de uma vida seria igual a US\$ 300,000.

Existem três formas comumente utilizadas para obter as disposições a pagar individuais. A primeira é através dos *stated preference methods* (SP), ou métodos de preferência declarada, que nada mais são do que a análise de preferências individuais a partir de questionários. Existem duas formas de realizar esses questionários: através de valoração contingencial, método de entrevista segundo o qual os indivíduos declaram o quanto estão dispostos a pagar ou a aceitar recompensa por uma situação hipotética; ou *choice modelling*, método de entrevista segundo o qual os indivíduos realizam suas escolhas a partir de um conjunto de alternativas dadas (não há questões diretas sobre valoração). Apesar dos métodos SP fazerem uma análise direta do bem-estar do indivíduo, tais estudos necessitam de recursos elevados e tempo considerável para serem realizados, uma vez que exigem uma amostra grande. Além disso, baseiam-se em comportamento hipotético e não real (DEPARTMENT OF ENVIRONMENT AND CONSERVATION OF SYDNEY, 2005).

A segunda forma de monetizar a utilidade de um indivíduo é através dos *revealed preference methods*, ou métodos de preferências reveladas. Consistem na análise de preferências individuais a partir da observação do comportamento dos indivíduos no mercado e podem ser divididos de três formas: *wage-behaviour method*, que estimativa a relação entre os salários em profissões de maior ou menor risco e um bem ou serviço não comercializável; *hedonic price method*, método de estimativa indireta entre o preço de um bem de mercado e um bem ou serviço não comercializável; e *averting-behaviour*, método de estimativa dos gastos extras que os indivíduos realizam para se proteger de uma possível piora em sua condição de saúde. Os métodos

de preferência revelada são interessantes pois se baseiam em comportamento real e não declarado, além de exigirem poucos recursos para serem implementados. Apesar disso, eles exigem uma ampla gama de dados, muitas vezes não disponíveis.

Em termos de política pública, o *welfare-based approach* é mais completo, uma vez que é capaz de abarcar fatores como sofrimento, desprazer e angústia. Apesar de ser bastante utilizado por nações desenvolvidas, faltam estudos desse tipo para países em desenvolvimento (OCDE, 2016), como o Brasil. A necessidade de recursos elevados ou muitos dados torna difícil a prática dos métodos anteriormente elencados. Para contornar tal problema, porém, existe a terceira forma de se calcular a disposição a pagar, em especial nesses países de renda média a baixa: a utilização dos métodos de transferência. Esses métodos são implantados a partir da utilização de estudos primários pré-existentes para avaliar dados similares em contextos diferentes. Em termos práticos, isso significa, por exemplo, utilizar a disposição a pagar do Canadá e transferi-la para o Brasil, ajustando o valor através de variáveis como renda e idade média da população. Apesar do menor custo deste método, porém, pode-se incorrer em dois tipos de erros: erros de mensuração do estudo primário pré-existente e erros do processo de transferência em si (NARAIN; SALL, 2016).

Salienta-se que as diferentes formas de obtenção empírica das disposições a pagar individuais são capazes de monetizar todos os impactos da poluição do ar. Basta adaptar o formato da pergunta nos questionários, ou mensurar a relação da poluição do ar com os mais diferentes bens comercializáveis. Por exemplo, para mensurar os impactos monetários em prédios e monumentos para além dos custos de reparação, a pergunta a ser direcionada para indivíduos poderia ser: qual sua disposição a pagar para reduzir os danos a prédios e monumentos em 10% em função da poluição do ar? Ou ainda: o quanto você estaria disposto a aceitar de compensação por uma redução de 10% de sua visibilidade em função da poluição do ar? Enfim, a ideia é conseguir mensurar economicamente todos os aspectos das consequências da poluição do ar sobre o indivíduo e o ambiente.

Dentre os principais fatores que afetam o valor estatístico da vida, pode-se citar idade, condição de saúde, crenças culturais, renda e diferentes fatores de riscos para a mortalidade (NARAIN; SALL, 2016). Referente à renda, o mais controverso dos fatores elencados, estudos empíricos comprovam que o valor atrelado a reduções no risco de morrer aumenta entre indivíduos de países de renda alta (NARAIN; SALL, 2016). Tal

constatação levanta certas discussões morais acerca dos diferentes valores de VSL entre países e é uma das maiores críticas à metodologia.

O valor estatístico de um ano de vida é derivado a partir do valor estatístico da vida, dividindo o VSL pelo número descontado de anos remanescentes na expectativa de vida média da população em que o indivíduo se insere (CROPPER; KHANNA, 2014 apud NARAIN; SALL, 2016). De acordo com Sander et al. (2015), algebricamente, temos:

$$VOLY = \frac{VSL}{1 - (1 + d)^{-T}}$$

onde, d é a taxa de desconto, e T é a expectativa de vida remanescente no momento da morte. Tal forma de valoração não será aqui tratada em função da adição de incertezas à análise (NARAIN; SALL, 2016).

O custo econômico dos impactos em estudo neste trabalho – o custo da mortalidade em função da poluição do ar – é o valor estatístico da vida multiplicado pelo número de mortes prematuras.

3.3.2 Valoração da mortalidade a partir da abordagem baseada na renda: valor presente da produção futura

A valoração prática da mortalidade a partir da abordagem baseada na renda dá-se, empiricamente, através do Valor Presente da Produção Futura (VPPF). Essa metodologia trata de mensurar o quanto a pessoa teria produzido, desde o momento da sua morte prematura, até sua aposentadoria. A ideia é que o indivíduo é um investimento e se iguala o custo financeiro da mortalidade ao valor presente de futuros rendimentos monetários (NARAIN; SALL, 2016). Cabe destacar que uma das grandes críticas a esse tipo de estimação é o fato de excluir perdas de pessoas fora do mercado de trabalho e, também, não levar em conta trabalhos não pagos que contribuem para a sociedade, como trabalhos domésticos (OCDE, 2016).

De acordo com Narain e Sall (2016), algebricamente, sob essa abordagem, a perda esperada de renda para a pessoa média em cada faixa etária é tipicamente avaliada como:

$$PV(I) = \sum_{t=0}^T I(1 + g)^t / (1 + r)^t$$

onde I é a renda média do trabalho per capita presente; T é o número esperado de anos de trabalho para uma pessoa média em um determinado grupo etário (condicional em probabilidades de sobrevivência e taxas de participação na força de trabalho); g é a taxa anual de crescimento da renda; e r é a taxa de desconto social (relacionada à taxa presumida de crescimento futuro da renda).

Dentre os fatores que afetam a estimação do VPPF, podemos elencar a definição da força de trabalho em diferentes regiões, a mortalidade infantil e a taxa de desconto (NARAIN; SALL, 2016). Esse último fator é considerado um dos mais complexos, uma vez que qualquer suposição sobre o crescimento da renda a longo prazo envolve bastante incerteza, especialmente quando se pretende valorar os impactos na saúde entre pessoas jovens com uma longa expectativa de ganhos futuros (NARAIN; SALL, 2016).

Uma diferença metodológica crucial entre a valoração via VSL e a valoração via VPPF é que a última diferencia as idades de falecimento, uma vez que o valor presente de ganhos futuros é calculado considerando a expectativa de vida (SANDER et al., 2015). Isso pode ser bastante interessante, haja vista que as vítimas da poluição do ar se concentram em idades mais avançadas ou em crianças (DE FREITAS et. al., 2017).

3.3.3 Valor Estatístico da Vida x Valor Presente da Produção Futura: duas proposições econômicas diferentes

Ambas as formas de mensurar o custo econômico da mortalidade possuem qualidades e limitações, assim como propósitos diferentes. No que concerne o valor estatístico da vida, as maiores críticas referem-se às metodologias de obtenção empírica das disposições a pagar individuais, como expostas na seção 3.2. Além disso, a dificuldade de implementar estudos de mensuração das DAPs, seja pelos recursos, seja pela disponibilidade de dados, torna essa abordagem mais rara em países em desenvolvimento. Outro grande problema refere-se à própria denominação – valor estatístico da vida –, que gera muita confusão fora do campo econômico e é vista, muitas vezes, de forma negativa. Isso se dá em função da necessidade de um entendimento mais complexo do que o VSL realmente significa. Como já elencado, ele não é um valor identidade e não pretende, de forma alguma, pôr valor na vida de um ser humano. O que a metodologia pretende é reconhecer a perda de valor para o indivíduo

(OMS; OCDE, 2014). Bastante utilizado em análises de custo-benefício, o VSL é a forma mais refinada, até o presente momento, de estimar o custo econômico – também denominado de custo social – da mortalidade em função da poluição do ar.

Segundo Narain e Sall (2016), o valor presente da produção futura exclui a valoração das perdas de pessoas fora do mercado de trabalho, tal como estudantes e aposentados. Além disso, ele também não trata de questões sobre a contribuição de trabalhos não pagos – como os domésticos – para a economia. Para lidar com tais questões, uma abordagem utilizada em vários países é valorar a mortalidade entre todos os indivíduos, independente da sua participação na força de trabalho, através do PIB. Tal solução também é aplicada neste estudo. Apesar dessas limitações, o VPPF é uma boa metodologia para calcular a perda de poupança líquida em países, sendo bastante apropriado para análise financeira e de contabilidade social. A partir desta interpretação, a morte prematura em função da poluição do ar representaria um desinvestimento no estoque do capital humano das sociedades. Assim como a degradação de outras formas de capital, o valor do desinvestimento seria valorado de acordo com as perdas de renda ao longo do tempo de vida do “bem” (NARAIN; SALL, 2016). Outras importantes forças do VPPF consistem na sua fácil interpretação dos custos da mortalidade da poluição do ar para gestores públicos. Além disto, ele exige um baixo custo para sua obtenção, sendo muito utilizado em países cujos estudos de mensuração de disposição a pagar são atípicos. Por fim, salienta-se que as perdas de valor presente da produção futura em função da poluição costumam ser significativamente menores do que as perdas em relação ao valor estatístico da vida. Isso se dá em função não apenas das metodologias de valoração empírica, mas também em função do escopo de custos que cada *approach* busca valorar.

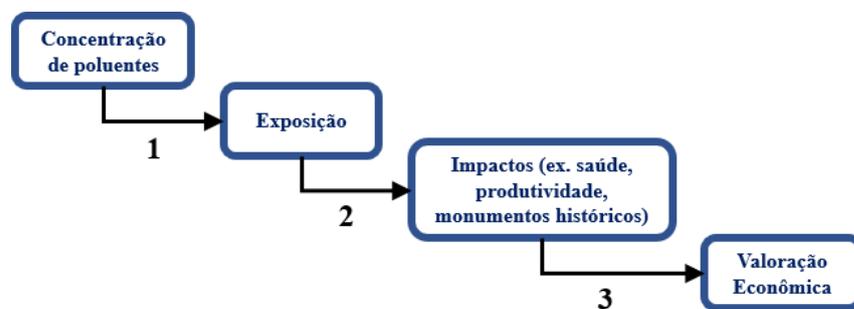
Em suma, cada metodologia pode ser aplicada para comparação de diferentes impactos econômicos da poluição do ar sobre a mortalidade. O VPPF é bastante útil para análises financeiras de projetos de mitigação da poluição do ar e também para mensuração dos impactos sobre a contabilidade nacional. Já o VSL apresenta boas propriedades para análises de custo-benefício de projetos, assim como para mensurar o custo da poluição do ar.

4 VALORAÇÃO DOS CUSTOS DA MORTALIDADE CAUSADOS PELA POLUIÇÃO DO AR NO BRASIL EM 2016

4.1 METODOLOGIA

A valoração dos impactos da poluição do ar é, normalmente, a última etapa dos estudos que buscam isolar e avaliar as consequências do fenômeno. Segundo Awe et al. (2015), as etapas deste processo dão-se, primeiramente, pela medição dos níveis de concentração dos poluentes na região a ser estudada, através de monitoramento ou modelagem. Após, é feito um cálculo do padrão de exposição da população, envolvendo, entre outras coisas, questões ligadas ao número de pessoas expostas e ao modo de transporte. Na terceira etapa, realizam-se estudos epidemiológicos para isolar os efeitos da poluição do ar nas ocorrências que se pretende estimar, podendo ser internações hospitalares, corrosão de prédios ou, até mesmo, degradação de plantações. Por fim, a partir do espectro de eventos atribuíveis à poluição do ar, são calculados os custos econômicos e financeiros. A Figura 1 sistematiza as etapas.

Figura 1 – Etapas do processo de estimação dos impactos da poluição do ar



Fonte: Elaboração própria baseada nas etapas propostas por AWE et al. (2015)

O presente trabalho trata apenas do passo 3 elencado na Figura 1. Nesse sentido, são estimados os custos econômicos da mortalidade em função da poluição do ar para o Brasil em 2016 a partir do número de ocorrências de mortalidade previamente mensurado por outro estudo. Os dados dos impactos na mortalidade utilizados são da publicação mais recente do *Global Burden of Disease 2016* (2017), material disponibilizado pelo Instituto de Métrica e Avaliação em Saúde, que avalia, a nível

mundial, a ocorrência e severidade de mais de 300 doenças e 84 fatores de risco, dentre eles, a poluição do ar.

O número de mortes em função da poluição do ar fornecido pelo GBD engloba apenas os impactos do poluente Material Particulado de diâmetro $2.5\mu\text{m}/\text{m}^3$ (MP2.5) de fontes externas. O MP2.5 é uma mistura de partículas líquidas e sólidas provenientes, principalmente, da queima de combustível fóssil, como gasolina e diesel, de atividades industriais como a mineração e construção, e da erosão de ruas pavimentadas (OMS, 2013). Esse poluente é bastante utilizado para a mensuração da qualidade do ar em função do seu diâmetro reduzido, que faz com que suas partículas penetrem e se alojem mais profundamente nos pulmões (OMS, 2016), aumentando significativamente seu efeito nocivo à saúde. Além disso, foram computadas apenas fontes externas, uma vez que somente 17% das casas no Brasil utilizam fogão a lenha (MOREIRA et al., 2008).

O número de mortes em função da poluição do ar por faixa etária encontra-se na Tabela 2.

Tabela 2 - Número de mortes causadas pelo MP2.5 no Brasil em 2016

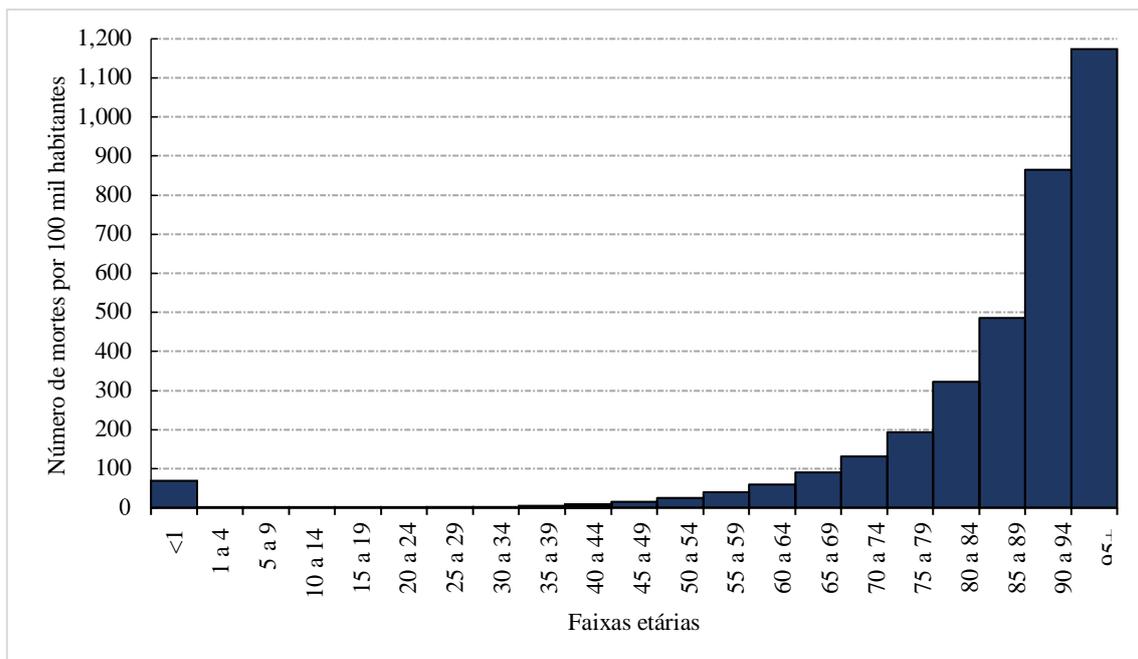
Faixa etária	Número de mortes
Neonatal precoce	26,67
Neonatal tardio	22,24
Pós neonatal	282,36
1 a 4 anos	121,80
5 a 9 anos	28,51
10 a 14 anos	28,69
15 a 19 anos	50,59
20 a 24 anos	57,91
25 a 29 anos	283,28
30 a 34 anos	506,24
35 a 39 anos	810,35
40 a 44 anos	1.271,93
45 a 49 anos	2.015,85
50 a 54 anos	3.132,83
55 a 59 anos	4.088,47
60 a 64 anos	4.994,33
65 a 69 anos	5.606,52
70 a 74 anos	5.730,93
75 a 79 anos	6.085,18
80 a 84 anos	6.178,06
85 a 89 anos	4.584,15
90 a 94 anos	2.965,88

95+ anos	851,67
Total	49.724,44

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do GBD 2016 (IHME, 2017)

Dentre as principais doenças que ocasionaram os óbitos estão infecções respiratórias agudas, câncer de pulmão e acidente vascular encefálico. O Gráfico 4 demonstra os grupos cuja incidência de mortalidade em função da poluição do ar é maior. Verifica-se que as faixas etárias mais suscetíveis a fatalidades são pessoas a partir dos 60 anos e menores de 1 ano. Para pessoas maiores de 95 anos, o número de mortes por 100 mil habitantes chega a cerca de 1.175. Para os mais jovens, a faixa etária mais afetada são as crianças menores de 1 ano, com uma taxa de mortalidade de 70 mortes por 100 mil habitantes.

Gráfico 4 – Número de mortes por 100 mil habitantes no Brasil em função da poluição do ar (2016)



Fonte: Elaboração própria baseada nos dados do GBD 2016 (IHME, 2017)

Uma questão relevante que pode suscitar dúvidas é o fato de o número de mortes não representar valores absolutos. Roy e Braathen (2017) explicam essa questão. Segundo eles, indivíduos não morrem diretamente devido à poluição do ar. Estudos epidemiológicos diferenciam doenças, que são diagnosticadas como causas de mortes individuais, tais como câncer, e fatores de risco, como a poluição do ar, que contribuem para a ocorrência dessas doenças. Com dados sobre a exposição da população aos

fatores de risco e dados sobre funções exposição-resposta de cada fator, pesquisadores conseguem isolar e distribuir o número total de mortes ou doenças entre os diferentes fatores de risco atrelados. Roy e Braathen (2017) salientam que essa distinção entre doença e fator de risco não significa que a poluição do ar é apenas um fator contribuidor, dentre tantos outros, na mortalidade e morbidade atreladas a ela, mas sim um fator contribuidor que mata milhões de pessoas no mundo todo ano.

4.2 VALORAÇÃO DA MORTALIDADE A PARTIR DO VALOR PRESENTE DA PRODUÇÃO FUTURA

A metodologia utilizada para mensurar o valor presente da produção futura foi a fornecida por Da Motta (1998). Segundo o autor, o VPPF pode ser calculado como:

$$VPPF_i = \sum_{j=i+1}^{79} [(P^j)_1] \times [(P^j)_2] \times [(P^j)_3] \times Y_i \times \left(\frac{1+g}{1+r} \right)^{j-i}$$

onde, $VPPF_i$ é o valor presente da produção futura da pessoa de idade i ; $[(P^j)_1]$ é a probabilidade de que a pessoa, com idade i , esteja viva na idade j ; $[(P^j)_2]$ é a probabilidade de que a pessoa, com idade i , esteja na força de trabalho na idade j ; $[(P^j)_3]$ é a probabilidade de que a pessoa, com a idade i , esteja empregada com a idade j ; Y_i é a renda ou a produção esperada da pessoa na idade i ; g é a taxa média de crescimento da renda per capita; e r é a taxa de desconto.

Para mensurar $[(P^j)_1]$, foram extraídas as probabilidades de mortes para cada ano de idade, fornecidos pela tábua de mortalidade do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para 2016 (ANEXO A). Por fim, a probabilidade de que a pessoa com idade i esteja viva na idade j foi mensurada como $1 - \text{probabilidade de morte (ou seja, } [(P^j)_1] = 1 - \text{Probabilidade de morte entre duas idades exatas } (Q,X)$. A probabilidade de que a pessoa com idade i esteja na força de trabalho na idade j ($[(P^j)_2]$) foi obtida através do cálculo da média anual das taxas trimestrais de

participação na força de trabalho entre pessoas de 14 anos ou mais de idade (%) para 2016, também fornecidas pelo IBGE (as taxas trimestrais, assim como a média anual

encontram-se no ANEXO B). O valor de $[(P_j)_3]$ foi obtido através do cálculo $1 - taxa$

média anual das taxas trimestrais de desocupação, na semana de referência, das pessoas de 14 anos ou mais de idade (%) para 2016 (ANEXO C), dados também coletados na base de dados online do IBGE.

A renda ou a produção esperada da pessoa na idade i (Y_i) foi expressa pelo rendimento médio mensal real das pessoas de 14 anos ou mais de idade, efetivamente recebido no mês de referência, de todos os trabalhos, a preços médios do ano, para 2016, pelo IBGE. Com relação à taxa de desconto (r), dois valores considerados padrões na literatura foram utilizados (DA MOTTA, 1998), 0,03 e 0,1. Por fim, a taxa média de crescimento da renda per capita (g) foi mensurada a partir da média geométrica da série histórica dos últimos 20 anos (1996 a 2016). O valor encontrado foi, aproximadamente, 2,23% ao ano.

Salienta-se que o intervalo de idades utilizados para a estimação do VPPF total para 2016 está entre 14 e 78 anos de idade. A justificativa para a exclusão de parte da população é tanto teórica quanto prática. Segundo a teoria do capital humano, os óbitos em faixas etárias mais precoces não apresentam valor presente da produção futura, uma vez que não chegaram a ser realizados investimentos em educação e treinamento profissional. Dado que o salário é o retorno desses investimentos, a teoria prevê uma inexistência de custo em função dessas mortes (DA MOTTA; MENDES, 1994). Em termos práticos, os dados mensurados pelo IBGE para a *taxa de participação na força de trabalho e taxa de desocupação, na semana de referência* iniciam a série na idade de 14 anos. Logo, todas as mortes de menores de 14 anos e idosos com 80 anos ou mais, ou seja, 15090,6 óbitos, não serão valorados economicamente.

O valor presente da produção futura obtido para cada idade, a preços de 2016, está no Anexo D.

4.3 VALORAÇÃO DA MORTALIDADE A PARTIR DO VALOR ESTATÍSTICO DA VIDA

O Brasil não apresenta estudos que mensurem o valor estatístico da vida para a mortalidade em função da poluição do ar a partir de técnicas de preferência revelada ou técnicas de preferência declarada. Ortiz et al. (2009) realizaram estudo de valoração contingencial para a cidade de São Paulo, porém os resultados não são utilizados aqui haja vista a discrepância considerada entre o PIB per capita de São Paulo e o de outras

cidades e regiões brasileiras Para lidar com essa limitação, o VSL utilizado foi calculado via transferência unitária de valor com ajuste para a renda. O valor estatístico da vida transferido é o da publicação “*Mortality Risk Valuation in Environment, Health and Transport Policies*” (OCDE, 2012). A preços de 2005, o intervalo recomendado para um adulto médio para países da OCDE é de USD₂₀₀₅ 1,5 milhões a 4,5 milhões, sendo que o valor base recomendado é USD₂₀₀₅ 3 milhões (ROY; BRAATHEN, 2017, p. 15). A publicação realizou uma meta-análise com 1.095 valores de 92 estudos publicados, utilizando um valor padrão para um adulto médio recomendado pela OCDE (ROY; BRAATHEN, 2017).

Como proposto por Narain e Sall (2014, p. 29), a transferência foi feita segundo a equação:

$$VSL_{BRASIL,2016} = VSL_{OCDE,2005} \times \left(\frac{Y_{BRASIL,2005}}{Y_{OCDE,2005}} \right)^b \times (1 + \% \Delta P + \% \Delta Y)^b$$

onde $VSL_{BRASIL,2016}$ é o valor estatístico da vida para o Brasil em 2016; $VSL_{OCDE,2005}$ é o valor base para países da OCDE em 2005; $Y_{BRASIL,2005}$ é o PIB per capita em termos de paridade no poder de compra a preços correntes para o Brasil em 2005; $Y_{OCDE,2005}$ é o PIB per capita em termos de paridade do poder de compra a preços correntes para os países da OCDE em 2005; b é a elasticidade-renda do VSL; $\% \Delta P$ representa a inflação de preços no Brasil entre 2005 e 2016, como estimada pela taxa de preço do consumidor; e $\% \Delta Y$ é o crescimento real de renda entre 2005 e 2016 para o Brasil.

A variável mais controversa neste cálculo é a elasticidade-renda do VSL. Estudos de preferência revelada comprovam que o valor estatístico da vida aumenta em função da renda (NARAIN; SALL, 2014), (ou seja $b > 0$) entretanto, a proporção dessa variação ainda gera debate entre pesquisadores. Para países desenvolvidos, costuma-se utilizar uma elasticidade-renda de 0,8 (ROY; BRAATHEN, 2017). Para países em desenvolvimento, porém, a literatura costuma adotar uma elasticidade-renda de 1 (ROY; BRAATHEN, 2017, p. 17). Para justificar tal valor, pesquisadores defendem a ideia de que mudanças mais drásticas nas rendas das pessoas em países em desenvolvimento, dada a taxa de crescimento mais elevada nessas nações, gera um aumento na disposição a pagar mais acentuado do que em países com crescimento de renda gradual, como em países de renda alta. Nesse sentido, este trabalho adotou a elasticidade-renda de 1, como sugerido por Roy e Braathen (2017).

Os valores utilizados para $VSL_{OCDE,2005}$, $Y_{BRASIL,2005}$, $Y_{OCDE,2005}$ foram extraídos do banco de dados *online* da OCDE, e para os cálculos de $\% \Delta P$ e $\% \Delta Y$, foram extraídos do banco de dados *online* do Banco Mundial (ANEXO E).

4.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A Tabela 2, abaixo, mostra o valor presente da produção futura pelas faixas de idades previstas no GBD 2016. O agrupamento dos valores para cada idade foi realizado através da média aritmética. Além disso, são fornecidos o custo financeiro total das mortes em função da poluição do ar para 2016, a preços do mesmo ano.

Tabela 2 – Valor presente da produção futura por faixa etária

Faixa etária (anos)	Número de mortes por faixa etária	Média do VPPF por faixa etária, $r = 0,03$	Média do VPPF por faixa etária, $r = 0,1$	VPPF perdido em função da poluição do ar, $r = 0,03$	VPPF perdido em função da poluição do ar, $r = 0,1$
15 a 19	50,59	R\$ 71.155,57	R\$ 66.627,48	R\$ 3.599.760,09	R\$ 3.370.684,45
20 a 24	57,91	R\$ 68.035,73	R\$ 63.706,18	R\$ 3.939.949,14	R\$ 3.689.225,11
25 a 29	283,28	R\$ 62.455,19	R\$ 58.480,77	R\$ 17.692.305,76	R\$ 16.566.431,75
30 a 34	506,24	R\$ 54.873,67	R\$ 51.381,71	R\$ 27.779.246,88	R\$ 26.011.476,62
35 a 39	810,35	R\$ 46.877,19	R\$ 43.894,10	R\$ 37.986.933,05	R\$ 35.569.582,76
40 a 44	1.271,93	R\$ 38.817,71	R\$ 36.347,49	R\$ 49.373.405,38	R\$ 46.231.461,40
45 a 49	2.015,85	R\$ 30.703,71	R\$ 28.749,84	R\$ 61.894.082,41	R\$ 57.955.368,08
50 a 54	3.132,83	R\$ 21.861,48	R\$ 20.470,30	R\$ 68.488.307,94	R\$ 64.129.961,07
55 a 59	4.088,47	R\$ 13.044,21	R\$ 12.214,12	R\$ 53.330.850,44	R\$ 49.937.069,05
60 a 64	4.994,33	R\$ 8.755,09	R\$ 8.197,95	R\$ 43.725.821,79	R\$ 40.943.269,49
65 a 69	5.606,52	R\$ 5.984,93	R\$ 5.604,07	R\$ 33.554.643,37	R\$ 31.419.347,88
70 a 74	5.730,93	R\$ 3.240,71	R\$ 3.034,48	R\$ 18.572.259,80	R\$ 17.390.388,72
75 a 79	6.085,18	R\$ 643,21	R\$ 602,28	R\$ 3.914.077,57	R\$ 3.664.999,91
Total	34.634,41	-	-	R\$ 423.851.643,61	R\$ 396.879.266,29

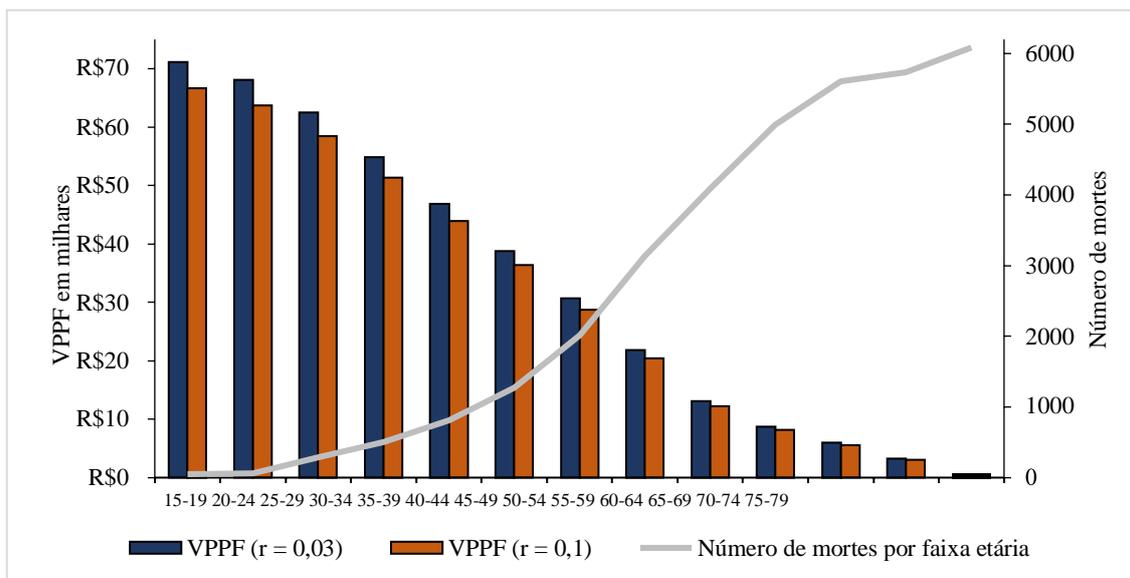
Fonte: Elaboração própria

O custo financeiro total da mortalidade em função da poluição do ar em 2016 foi de R\$ 423.851.643,61, para uma taxa de desconto de 3%, e R\$ 396.879.266,29, para uma taxa de desconto de 10%, representando cerca de 0,006764% e 0,00633% do PIB brasileiro para o mesmo ano²⁵. O gráfico abaixo apresenta a dicotomia entre o valor

²⁵ O valor do PIB em 2016, a preços de 2016, foi de R\$ 6,266 trilhões em 2016 (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2018).

presente da produção futura por faixa etária encontrado e o número de mortes em função do ar também por faixa etária. Fica evidente que o VPPF, para ambos os valores de desconto, apresenta uma tendência decrescente ao longo da vida, ao passo que o número de mortes aumenta significativamente.

Gráfico 5 – Valor Presente da Produção Futura para 2016 por faixa etária (r=0,03 e r=0,1) e número de mortes por faixa etária



Fonte: Elaboração própria

Os maiores custos estão concentrados na faixa etária entre 40 e 59 anos. Isso ocorre devido a dois fatores: o número de mortes aumenta significativamente a partir dos 35 anos de idade e, ao mesmo tempo, as pessoas com até 59 anos ainda contam com considerável número de anos trabalhando. Como demonstrado na tabela, o valor presente da produção futura reduz conforme a idade, uma vez que é reduzido o número de anos restantes que a pessoa está apta a trabalhar. Recordar-se, novamente, que cerca de 30% das mortes totais não foram valoradas, uma vez que se encontram nas faixas etárias entre 0 e 14 anos e 80 anos ou mais.

O custo total da mortalidade no Brasil em função da poluição do ar em 2016 (a preços de 2016) segundo a abordagem de bem-estar foi de R\$ 227.937.169.450,00, cerca de 3,64% do PIB para o ano de 2016 (preços ajustados segundo paridade no poder de compra de 1,985 reais para 1 dólar em 2016) (BANCO MUNDIAL, 2018).

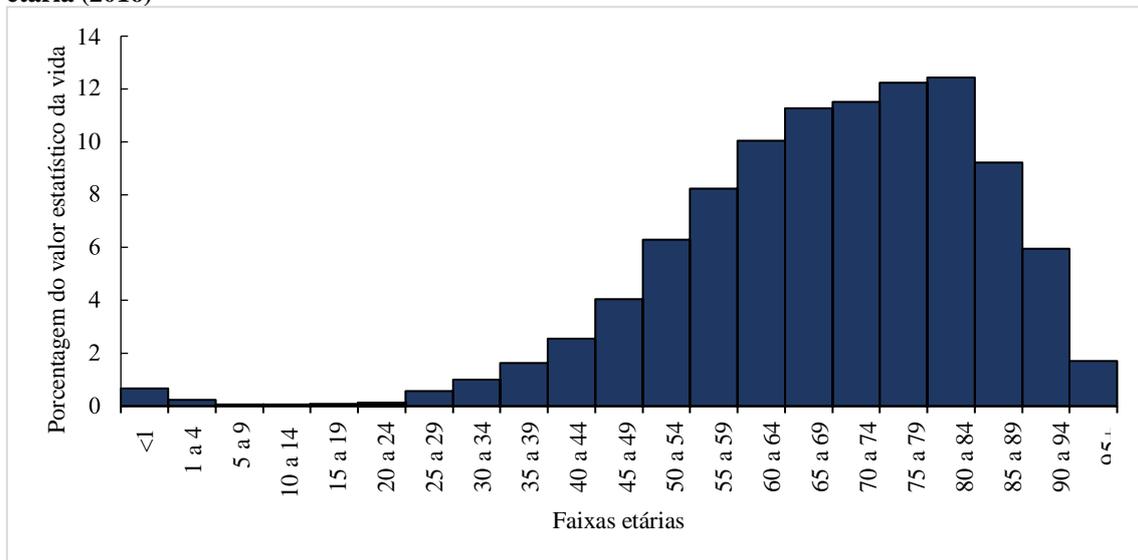
Tabela 3 – Valor estatístico da vida para o Brasil em 2016

Número de mortes no Brasil em 2016	VSL Brasil (US\$ 2016)	Custo total das mortes (US\$ 2016)	Custo total das mortes (R\$ 2016)
49.724,44	\$ 2.309.323,31	\$ 114.829.808.287,15	R\$ 227.937.169.450,00

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do GBD 2016 (IHME, 2017), Roy e Braathen (2017) e Banco Central do Brasil (2016)

Salienta-se que a comparação entre o valor do custo de bem-estar e o PIB pretende fazer uma referência de magnitude do valor (NARAIN; SALL, 2014). Sendo assim, o valor de R\$ 227.937.169.450,00 não deve ser considerado como custo financeiro incorrido pelos brasileiros em 2016. Como explicitado no capítulo anterior, representa o agregado das disposições a pagar para reduções marginais no risco de morte em 2016 para a poluição do ar. O fato de o Brasil não apresentar estudos de valoração de disposição a pagar, seja através de preferência declarada ou revelada, significa que esse valor mensurado via transferência apresenta suas limitações. Apesar de haver ajuste para diferenças de renda entre países e no tempo, não existem ajustes para outros fatores que afetam o VSL, tais como questões culturais e diferentes condições de saúde entre grupos populacionais.

Gráfico 6 - O custo da mortalidade no Brasil de acordo com o *approach* de bem-estar por faixa etária (2016)



Fonte: Elaboração própria com dados do GBD 2016 (IHME, 2017) e Roy; Braathen (2017)

O Gráfico 6 mostra em quais faixas etárias estão concentrados os custos com a perda de bem-estar. As idades entre 75 e 84 representam cerca de 25% dos custos totais em função da mortalidade sob o *approach* do bem-estar. Essa tendência é verificada

pois o valor estatístico da vida não leva em conta a idade no momento da morte, segundo, portanto, a mesma proporção de valor entre as faixas etárias segundo o número de mortes.

Cabe ressaltar que a relação entre o valor estatístico da vida e a idade é bastante controversa (NARAIN; SALL, 2015). Teoricamente, defende-se que, por idosos contarem com um horizonte de vida mais curto, o valor estatístico da vida deles é menor. Entretanto, o contrário também pode ser verificado, uma vez que pode haver idosos que atribuem grande valor à longevidade e à preservação de sua saúde (NARAIN; SALL, 2015). Outra questão complexa é a valoração das preferências individuais de crianças. Uma vez que crianças têm pouco entendimento acerca do conceito de risco de morrer, elas não podem ser responsabilizadas pelas decisões que afetam seu bem-estar ou sua chance de morrer (NARAIN; SALL, 2015). Dado que a idade é um fator controverso tanto teoricamente quanto empiricamente, com evidências distintas, o presente trabalho escolheu não utilizar nenhum fator de desconto que leve em consideração a idade para mensurar o custo das mortes sob a abordagem de bem-estar.

Os dois valores encontrados para os custos financeiros das mortes, VPPF a taxas de desconto de 0,03 e 0,1, parecem ser relativamente menores do que aqueles presentes em publicações que fazem o mesmo tipo de valoração. Isso ocorre pois o número de mortes escolhido foi o valor base recomendado pelo GBD para 2016, de 49.724,44, um critério de escolha relativamente conservador dentro do intervalo de incerteza no número de mortes (60.380,82 a 40.447,45). Muitos estudos realizam a valoração dos custos a partir do valor máximo contido nesse intervalo. Além disto, como previamente explicitado, a mortalidade entre jovens de até 14 anos e idosos com mais de 78 anos foi desconsiderada. Cabe lembrar, também, que o único poluente analisado foi o MP2.5 de fontes externas. Apesar de ser considerado um dos poluentes mais nocivos à saúde, há outros cuja evidência epidemiológica demonstra alto impacto na morbidade e na mortalidade humanas.

4.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como se pode verificar, os custos de bem-estar da mortalidade são consideravelmente maiores do que os custos financeiros – cerca de 537 vezes maiores para o VPPF com taxa de desconto a 10%, e cerca de 574 vezes maiores para o VPPF

com taxa de desconto de 3%. O que está por trás dessa diferença? Para além dos passos algébricos, a distinção inicia já no conjunto de ferramentas teóricas utilizadas para cada tipo de valoração, como demonstrado no capítulo 3.

Segundo a abordagem financeira, os valores encontrados representam as perdas salariais dos brasileiros, que aqui podem ser consideradas *proxies* de treinamento e habilidades individuais, em função das mortes. Ao recordar a teoria do capital humano apresentada no capítulo 3, a ideia por trás do valor presente da produção futura fica mais clara: a remuneração atual representa o retorno de investimentos passados na preparação para o trabalho e a mortalidade faz com que a sociedade brasileira perca esse valor. Segundo Rosen e Gayer (2008), essa abordagem é muito utilizada em tribunais para determinar o quanto de compensação uma família cujo membro sofreu uma fatalidade deve receber. Para os autores, entretanto, essa metodologia é “bizarra”, uma vez que, por exemplo, as mortes de pessoas com algum tipo de deficiência não representariam nenhum custo para a sociedade.

A abordagem do bem-estar requer uma análise mais complexa dos fatores que pretende estimar. A mensuração dos custos financeiros a partir do valor presente da produção futura é de suma importância para o trabalho de contabilidade dos impactos sobre as contas nacionais. Entretanto, essa esfera é relativamente limitada e o trabalho de estimação dos custos de externalidades não deve se restringe a ela. Contabilizar a perda salarial em função das faltas no trabalho não é a mesma coisa do que valorar a perda sentida pelo próprio paciente (OMS; OCDE, 2015). O trabalho econômico aqui consiste em agregar, no nível social, as várias valorações e *trade-offs* realizadas por indivíduos e consolidar os valores correspondentes. O que está em análise são precisamente as avaliações feitas pelos próprios indivíduos sobre valores que eles mesmos atribuem a diferentes bens e/ou circunstâncias que influenciam o seu bem-estar (OMS; OCDE, 2015). No caso do presente estudo, a ideia é que o VSL, mesmo obtido via transferência, representa a agregação do valor que os brasileiros, em 2016, conferiram a reduções marginais no seu risco de morrer. Esse valor abarca questões e *trade-offs* entre sofrimento, felicidade e desconforto em função da perda salarial, entre outros, e o consequente valor que eles estariam dispostos a aceitar ou pagar para mudanças no risco de morrer em função da poluição do ar. Salienta-se, novamente, que ele não representa o valor identitário da vida um brasileiro, mas sim corresponde ao valor resultante de um conjunto de variáveis que um cidadão do país analisa na hora de

valorar variações no risco de morrer. Como explicitado pela publicação da Organização Mundial da Saúde em conjunto com a OCDE:

As mortes prematuras de pessoas em idade de trabalho terão um impacto nas contas nacionais através da perda de insumos de mão-de-obra para a produção e os resultados dela. Os responsáveis por medir, analisar e prever mudanças no produto interno bruto (PIB) terão interesse em medir esse impacto. No entanto, é claro que um cálculo que pare de contar na idade de aposentadoria e implique implicitamente um valor zero na morte de uma pessoa de 65 anos ou mais produzirá uma estimativa muito diferente da estimativa do economista do valor para o indivíduo²⁶ (OMS; OCDE, 2015, p.15).

Em suma, os valores encontrados possuem significados e propósitos bastante diferentes. Enquanto o VPPF calculado é uma boa medida para tratar dos impactos das fatalidades da poluição do ar referente às contas nacionais, o VSL representa o custo social a ser considerado por gestores públicos na hora de implementar ou não certas políticas públicas que irão afetar a população. Nesse sentido, a utilização de mais de uma metodologia de valoração da mortalidade da poluição do ar para o caso brasileiro foi pretendida no sentido de cobrir uma gama maior de custos em função dessa externalidade.

²⁶ “The premature deaths of working-age people will have an impact on the national accounts through the loss of labour inputs to production and the outputs of it. Those responsible for measuring, analysing and forecasting changes in gross domestic product (GDP) will have an interest in measuring this impact. Clearly, however, a calculation that stops counting at retirement age and implicitly places a zero value on the death of a person of 65 years or over will yield a very different estimate from the economist’s estimate of the value to the individual” (Tradução nossa).

5 CONCLUSÃO

Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), a poluição do ar representa o mais importante risco ambiental à saúde atualmente. Suas consequências, porém, não se restringem à mortalidade e à morbidade. As evidências do campo ambiental e epidemiológico apontam que a poluição do ar é uma ameaça que afeta diferentes esferas da vida humana, gerando impactos em áreas tais como produtividade, arquitetura e agricultura. Países de renda média e baixa são particularmente afetados pela poluição do ar (WORLD BANK; IHME, 2016), tanto pela maior emissão de gases de fontes internas, quanto pelos modelos de crescimento econômico adotados. No que concerne à análise econômica dos impactos da poluição do ar, é comprovado que a baixa qualidade do ar não apenas gera custos financeiros de internações, reparação de prédios e perda de safras agrícolas para indivíduos e governos, como também diminui a qualidade de vida e o bem-estar da população. Nesse contexto, o Brasil é um país que se destaca negativamente, não somente pela atual legislação de padrões de qualidade do ar, considerada muito branda, como também pela falta de estudos empíricos, a nível nacional, que estimem os impactos e custos da poluição do ar.

Salienta-se que o processo de valoração dos impactos da poluição do ar é de suma importância para desenvolver argumentação necessária para o reconhecimento da necessidade de políticas públicas voltadas à melhoria da qualidade do ar por parte não apenas de gestores públicos, mas da população como um todo. Dentro do escopo de impactos da poluição do ar, a mortalidade destaca-se como sendo aquela que apresenta os maiores custos econômicos e financeiros para a sociedade (WORLD BANK; IHME, 2016).

Atualmente, a valoração dos impactos da mortalidade em função da poluição do ar possui duas abordagens padrões utilizadas para estimar os custos: uma referente aos custos financeiros e outra ligada aos custos sociais. Cada uma dessas abordagens baseia-se em suposições teóricas bastante distintas. A abordagem financeira baseia-se em pressupostos da teoria do capital humano, cujas contribuições referem-se, principalmente, a Jacob Mincer, Theodore Schultz e Gary Stanley Becker. Ela valora o custo financeiro das mortes a partir dos ganhos de renda futura dos indivíduos no momento de suas mortes até a expectativa de vida padrão da sociedade na qual eles se inserem. A ideia é que os rendimentos individuais são um *proxy* para habilidades e conhecimentos adquiridos ao longo da vida. Ao causar mortes, a poluição do ar gera

uma perda dessas habilidades individuais, que podem ser valoradas a partir dos ganhos de renda. A metodologia utilizada para a realização desse cálculo é chamada Valor Presente da Produção Futura (VPPF) e foi introduzida pela pesquisadora Dorothy Rice em 1967. Para obter os custos financeiros causados pelas mortes em função da poluição do ar, é necessário multiplicar o valor presente da produção futura para cada faixa etária de acordo com o número de mortes nessas mesmas faixas etárias.

A abordagem de bem-estar baseia-se na teoria utilitarista, cujas bases filosóficas e matemáticas remontam a mais de um século de proposições. Dentre os estudiosos que contribuíram para o atual arcabouço teórico-empírico de valoração estão Jeremy Bentham, William Stanley Jevons, Carl Menger, Léon Walras e Paul Samuelson. O pressuposto central é que os indivíduos atrelam valores a determinados bens e, partir destes valores, realizam *trade-offs* para escolher aquilo que mais desejam (OMS; OCDE, 2015). O valor de algo estaria intrinsecamente ligado à capacidade de gerar bem-estar – ou utilidade – para o indivíduo. As utilidades individuais, por sua vez, poderiam ser traduzidas em representações numéricas de preferência revelada, que são parte de escolhas comportamentais racionais e observáveis (RILEY, 2008). Os níveis de utilidade individuais, por sua vez, podem ser comparados e agregados no nível da sociedade. A partir destas constatações, a análise empírica dos custos de bem-estar das mortes é realizada através do chamado Valor Estatístico da Vida (VSL), metodologia desenvolvida por Thomas Schelling em 1968. O VSL calcula os custos de bem-estar da mortalidade através das disposições a pagar (DAPs) individuais para reduções marginais no risco de morrer em função da poluição do ar. As DAPs podem ser obtidas através de estudos de preferência declarada, revelada, ou, ainda, via transferência de valor. O agregado dessas disposições a pagar, dentro de uma região, representariam o valor estatístico da vida. Para obter o custo do bem-estar total dentro de um país, por exemplo, seria, então, necessário multiplicar o VSL pelo número de mortes.

A partir dessas duas perspectivas teórico-empíricas, o presente trabalho buscou valorar os custos tanto de bem-estar quanto financeiros das mortes em função da poluição do ar no Brasil em 2016. Para os custos financeiros, foram encontrados os valores de R\$ 423.851.643,61, para uma taxa de desconto de 3%, e R\$ 396.879.266,29, para uma taxa de desconto de 10%, representando, respectivamente, 0,006764% e 0,00633% do PIB brasileiro para o mesmo ano. O custo de bem-estar atingiu o montante de R\$ 227.937.169.450,00, cerca de 3,64% do PIB para o ano de 2016.

Uma das críticas que podem surgir em relação a este trabalho prático é referente à agregação dos valores financeiros e econômicos da mortalidade a nível nacional e não a nível regional, haja vista a disparidade de renda entre regiões no Brasil. Salienta-se que, apesar da mensuração regional ser de suma importância, a agregação dos custos da poluição do ar é comumente feita a nível nacional, uma vez que esse representa o nível social segundo o qual o peso econômico e financeiro é normalmente compartilhado e as políticas de controle da qualidade do ar são formuladas (ROY; BRAATHEN, 2017).

Uma limitação deste trabalho foi referente à imensa falta de estudos de preferências declarada ou revelada sobre a poluição do ar no contexto brasileiro. Apesar da metodologia de transferência utilizada ser recomendada por instituições como o Banco Mundial e a OCDE, é inquestionável o fato de que ajuste do VSL apenas para diferença de renda e preços entre países é demasiado simplório. Dentre outros fatores que afetam o valor estatístico da vida, pode-se citar idade, condição de saúde, crenças culturais, renda e diferentes fatores de riscos para a mortalidade (NARAIN; SALL, 2016).

Outra limitação refere-se à valoração de apenas uma das áreas das consequências da poluição do ar: a mortalidade. Isso se deu pela falta de metodologias padrões de valoração de outras esferas, tais como morbidade, arquitetura, agricultura e produtividade. De qualquer maneira, salienta-se novamente que a mortalidade prematura apresenta um custo relativamente maior se comparado às outras áreas de impacto.

Os resultados nos direcionam a pensar sobre duas questões. Primeiramente, é imprescindível a elaboração de uma agenda nacional consolidada tanto em termos de pesquisa quanto de políticas públicas voltadas a estimar os impactos da poluição do ar e a formular medidas eficazes para mitigar o problema. Evidências dos impactos a nível nacional são contundentes no que concerne ao preço alto que pagamos por não tratar o problema. Todo ano, cerca de 50 mil brasileiros morrem em função da poluição do ar (IHME, 2017) e outros milhares sofrem com doenças não fatais causadas por ela. Infelizmente, a camada mais pobre da população é a mais afetada, haja vista a sua convivência com ambientes mais poluídos, assim como a menor capacidade de incorrer em gastos defensivos. Discutir práticas e políticas que diminuam as emissões, ao mesmo tempo em que protejam os grupos mais vulneráveis da população, parece ser o principal caminho para tratar o problema da qualidade do ar no país.

Outra questão que surge está relacionada com a diferença entre os montantes de valor obtidos via abordagem financeira e de bem-estar. Ela evidencia a necessidade contínua de encontrar medidas que não somente sejam mais precisas, mas também incluam uma visão cada vez mais ampla dos custos incorridos pela população em função da externalidade tratada. Cabe lembrar que as formas de valoração utilizadas tanto neste trabalho como em tantos outros partem de pressupostos que têm um entendimento limitado acerca do indivíduo e do comportamento humano e, portanto, dos impactos da poluição do ar sobre suas preferências. É inegável que existem desafios empíricos diversos para a estimação dos custos multidimensionais da poluição do ar e de outras externalidades. É preciso que pesquisadores e acadêmicos estejam comprometidos em ampliar o escopo de análise, a fim de possibilitar a busca por soluções que melhorem os diversos aspectos da vida humana.

O presente trabalho teve o objetivo de estimar os custos das mortes em função da poluição do ar no Brasil em 2016. É importante relembrar que os trabalhos de revisão de literatura e de valoração empírica realizados neste estudo de forma alguma visaram “pôr um preço na vida” ou simplesmente apresentar as metodologias de valoração prática dos impactos da poluição do ar. O trabalho pretendeu contribuir na adição de outra referência empírica que busca demonstrar que a poluição do ar, como externalidade cujos impactos negativos afetam as finanças individuais e do Estado, bem como o bem-estar de toda a população, deve ser combatida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABE, K. C.; MIRAGLIA, S. G. Health impact assessment of air pollution in São Paulo, Brazil. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 13, n. 7, 2016.

ALBERINI, A. et al. Air pollution and human health: approaches and issues when valuing the costs of inaction. *OECD Environment Working Papers*, n. 108, p. 49, 2016. Disponível em: <[https://one.oecd.org/document/ENV/EPOC\(2015\)10/FINAL/en/pdf](https://one.oecd.org/document/ENV/EPOC(2015)10/FINAL/en/pdf)>.

AMERICAN ACADEMY OF PEDIATRICS. Ambient Air Pollution: Health Hazards to Children. *Pediatrics*, v. 114, n. 6, p. 1699–1707, 2004. Disponível em: <<http://pediatrics.aappublications.org/cgi/doi/10.1542/peds.2004-2166>>.

ARBEX, M. de A. et al. A poluição do ar e o sistema respiratório. *Jornal Brasileiro de Pneumologia*, v. 38, n. 5, p. 643–655, 2012.

ORTIZ, A. R. et al. Willingness to pay for mortality risk reduction associated with air pollution in São Paulo. *Revista Brasileira de Economia*, v. 63, n. 1, p. 3–22, 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-71402009000100001&lng=en&nrm=iso&tlng=en>.

AWE et al. *Clean Air and Healthy Lungs: enhancing the world bank's approach to air quality management*. Texto para discussão, Washington: Banco Mundial, 2015.

BANCO MUNDIAL. Base de dados. Disponível em <<https://data.worldbank.org/indicator/FP.CPI.TOTL.ZG>>. Acesso em: 10 set. 2018.

BANCO MUNDIAL; IHME. *The Cost of Air Pollution: Strengthening the economic case for action*. Washington: Banco Mundial, 2016.

BECKER, G. S.; KEVIN, M. M.; TAMURA, R. F. *Human Capital, Fertility and Economic Growth*. NBER WORKING PAPER SERIES, n° 3414. Cambridge: [s.n.], 1990.

BENTAYEB, M. et al. Indoor air pollution and respiratory health in the elderly. *Journal of Environmental Science and Health - Part A Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, v. 48, n. 14, p. 1783–1789, 2013.

BENTHAM, J. *An Introduction to the Principles of Morals and Legislation*. 1789. Col. Os Pensadores. São Paulo, Abril, 1973.

BOSWORTH, R.; HUNTER, A.; KIBRIA, A. *The Value of a Statistical Life: Economics and Politics*. Utah: STRATA, 2017. Disponível em: <<http://vti.diva-portal.org/smash/get/diva2:669387/FULLTEXT01.pdf>>.

BROOK, R. D. et al. *Air pollution and cardiovascular disease: A statement for healthcare professionals from the expert panel on population and prevention science of the American Heart Association*. AHA Scientific Statement. [S.l.: s.n.], 2004.

CHANG, T., et. al. Particulate pollution and the productivity of pear packers. *American Economic Journal*, v. 8, n.3, p. 141–169, 2016.

CHANG, T.; NEIDELL, M. the Effect of Pollution on Worker Productivity. *American Economic Review*, v. 102, n. 7, p. 3652–3673, 2012.

COHEN, A. J. et al. Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015. *The Lancet*, v. 389, n. 10082, p. 1907–1918, 2017. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)30505-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(17)30505-6)>.

DA MOTTA, R. S.; MENDES, A. P. F. *Custos de Saúde Associados à Poluição do Ar no Brasil*. Texto para discussão n° 332. Brasília: Ipea, 1994.

DA MOTTA, R. S., et al. *Avaliação econômica dos impactos causados pela poluição atmosférica na saúde humana: Um estudo de caso para São Paulo*. Rio de Janeiro IPEA/UFRJ, 1998 (texto para discussão). Disponível em <<http://www.race.nuca.ie.ufrj.br/eco/trabalhos/mesa3/5.doc>> Acesso em 06 nov. de 2018.

DA MOTTA R.S.; GOMES, G. M. Padrão de Consumo, Distribuição de Renda e o Meio Ambiente no Brasil. Brasília, DF: IPEA, 2002 (Texto para discussão, 856).

DA MOTTA, R. S.; ORTIZ, R. A.; FERREIRA, S. D. F. Health And Economic Values For Mortality And Morbidity Cases Associated With Air Pollution In Brazil. 2005.

FREITAS, C. U. DE et al. Air pollution and its impacts on health in Vitoria, Espirito Santo, Brazil. *Revista de Saúde Pública*, v. 50, n. 0, 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-89102016000100202&lng=en&tlng=en>.

DEPARTMENT OF ENVIRONMENT AND CONSERVATION OF SYDNEY, 2005

DI TURO, F. et al. Impacts of air pollution on cultural heritage corrosion at European level: What has been achieved and what are the future scenarios. *Environmental Pollution*, v. 218, n. 3, p. 586–594, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2016.07.042>>.

FOLLONI, G.; VITTADINI, G. Human capital measurement: A survey. *Journal of Economic Surveys*, v. 24, n. 2, p. 248–279, 2010.

GOUVEIA, N., et. al. Association between ambient air pollution and birth weight in São Paulo, Brazil *Journal of Epidemiology & Community Health*, v.58, p. 11-17, 2004

HAO et al., How harmful is air pollution to economic development? New evidence from PM2.5 concentrations of Chinese cities. *Journal Of Cleaner Production*, v. 172, p. 743-757. Disponível em <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617325039>>.

HUNT, E. K. (1989) *História do Pensamento Econômico*, Editora Campus, 7ª edição.

Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME). GBD Results Tool. Seattle, WA: IHME, University of Washington, 2016. Disponível em <<http://vizhub.healthdata.org/gbd-compare>> Acesso em 10 out. 2018.

INSTITUTO SAÚDE E SUSTENTABILIDADE. Monitoramento da qualidade do ar no Brasil. *Instituto Saúde e Sustentabilidade*, p. 100, 2014. Disponível em: <<http://www.saudeesustentabilidade.org.br/>>.

KAUSHIL, S. The Case of Adam Smith's Value Analysis. *Oxford Economic Papers*. Kurukshetra University: India, 1973.

LAURENT, E. *Inequality as pollution, pollution as inequality: The social-ecological nexus*. Stamford Center for Inequality. Working Paper, 2014. Disponível em: <<http://spire.sciencespo.fr/hdl:/2441/f6h8764enu2lskk9p4a36i6c0>>.

LICHTENFELS A. J. et al. Increased levels of air pollution and a decrease in the human and mouse male-to-female ratio in Sao Paulo, Brazil. *Fertil Steril*, v. **87**, n. p.230–240, 2007.

LIN, C.A. et al Air pollution and neonatal deaths in São Paulo, Brazil. *Braz J Med Biol Res*, Ribeirão Preto, v. 37, n. 5, p. 765-770, 2004. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-879X2004000500019&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 4 ago. 2018.

MARCILIO, I.;GOUVEIA, N. Quantificação do impacto da poluição nas regiões metropolitanas brasileiras. *Cad. Saúde Pública [online]*, vol.23, suppl.4, pp.S529-S536, 2007.

MEDEIROS, C. A. de. *Inserção externa, crescimento e padrões de consumo na economia brasileira*. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), 2015. Disponível em: <<http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/3845>>.

MINCER, J. *Human Capital and Economic Growth*. *Journal of Chemical Information and Modeling*, nº 803. Cambridge: National Bureau of Economic Research, 1981.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES. *Emissões Totais de Gases de Efeito Estufa no Brasil*. Brasília: [s.n.], 2017. Disponível em: <http://plataforma.seeg.eco.br/total_emission>.

MIRAGLIA, S. G. E. K.; GOUVEIA, N. Custos da poluição atmosférica nas regiões metropolitanas brasileiras. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 19, n. 10, p. 4141–4147, 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-81232014001004141&lng=pt&tlng=pt>.

MIRAGLIA, S. G. E. K., et. al Follow-up of the air pollution and the human male-to-female ratio analysis in Sao Paulo, Brazil: A times series study. *British Medical Journal Open*, v. 3, n.7, 2013.

MOREIRA et al., 2008. Comparative study of respiratory symptoms and lung function alteration in patients with chronic obstructive pulmonary disease related to the exposure of wood and tobacco smoke. *Jornal Brasileiro de Pneumologia*, v. 4, n.9, p.661-666, 2008.

NARAIN, U.; SALL, C. *Methodology for Valuing the Health Impacts of Air Pollution: Discussion of Challenges and Proposed Solutions*. World Bank: Washington, 2016. Disponível em: <<http://documents.worldbank.org/curated/en/832141466999681767/Methodology-for-valuing-the-health-impacts-of-air-pollution-discussion-of-challenges-and-proposed-solutions>>.

NEIDELL, M. *Air pollution and worker productivity*. IZA World of Labor, 2017.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2017.OECD. *Mortality Risk Valuation in Environment, Health and Transport Policies*. OECD Publishing, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1787/9789264130807-en>>.

OCDE. *The Cost of Air Pollution Health Impacts Of Road Transport*. [S.L.]: OECD Publishing, Paris: 2016a. Disponível Em: <[http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=DEV/DOC/WKP\(2016\)5&docLanguage=En](http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=DEV/DOC/WKP(2016)5&docLanguage=En)>.

OCDE. *The Economic Consequences of Outdoor Air Pollution*. Paris: OECD Publishing, 2016b. Disponível em: <http://www.oecd-ilibrary.org/environment/the-economic-consequences-of-outdoor-air-pollution_9789264257474-en>.

OCDE. Banco de dados. Disponível em < <https://data.oecd.org/>>. Acesso em: 10 set. 2018

OLMO, N. R. S. et al. A review of low-level air pollution and adverse effects on human health: implications for epidemiological studies and public policy. *Clinics*, v. 66, n. 4, p. 681–690, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1807-59322011000400025&lng=en&nrm=iso&tlng=en>.

OMS. *Health Effects of Particulate Matter: Policy implications for countries in eastern Europe, Caucasus and central Asia*. Copenhagen, 2016

OMS, *Air Pollution*. Disponível em <<https://www.who.int/airpollution/en/>>, 2018. Acesso em 29 out. 2018.

OMS; OECD. Economic cost of the health impact of air pollution in Europe: Clean air, health and wealth. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 2015.

ORTIZ et al., Morbidity costs associated with ambient air pollution exposure in Sao Paulo, Brazil. *Atmospheric Pollution Research*, v.. 2,n. 4, p.520-529, 2011

PEARCE, D. Economic Valuation and Health Damage from Air Pollution in the Developing World, *Energy Policy*, V. 24, n. 7,p. 627-630, 1996.

PEARCE, D. et al. *Cost–Benefit Analysis and the Environment: Recent Developments*. Paris: OECD, 2006.

READ, D. Experienced utility: Utility theory from Jeremy Bentham to Daniel Kahneman. *Thinking and Reasoning*, v. 13, n. 1, p. 45–61, 2007.

RICE, D. P. Estimating the Cost of Illness. *American Journal of Public Health*, v. 57, n. 3, 1967. Disponível em: <<https://www.epicgames.com/about>>.

RILEY, J. Utilitarianism and Economic Theory. *The New Palgrave Dictionary of Economics*, Segunda Edição, Palgrave Macmillan, 2008.

RODRIGUES-SILVA, F. et al. Health risks and economic costs of absenteeism due to air pollution in São Paulo, Brazil. *Aerosol and Air Quality Research*, v. 12, n. 5, p. 826– 833, 2012.

ROSEN, H. S., GAYER, T. *Public finance*. Boston: McGraw-Hill Irwin, 2008.

ROY, R.; BRAATHEN, N. A. The Rising Cost of Ambient Air Pollution thus far in the 21st Century: Results from the BRIICS and the OECD Countries. *OECD Environment Working Papers*, n. 124, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1787/d1b2b844-en>>.

SCHULTZ, T. Investment in Human Capital. *The American Economic Review*, Vol. 51, No. 1 pp. 1-17, 1961. Disponível em <<https://www.jstor.org/stable/1818907>> Acesso em 12 de outubro de 2018.

STIGLER, G. The Development of Utility Theory I. *The Journal of Political Economy*, v. 58, n. 4, p. 9–10, 1950. Disponível em: <<http://links.jstor.org/sici?sici=0022-3808%28195008%2958%3A4%3C307%3ATDOUTI%3E2.0.CO%3B2-7>>.

SUNYER, J. et al. Association between Traffic-Related Air Pollution in Schools and Cognitive Development in Primary School Children: A Prospective Cohort Study. *PLOS Medicine*, v. 12, n. 3, 2015.

OVERTON H. T.. *A History of Economic Thought*. Nova York McGraw-Hill Book Company, 1960.

TAYRAL, F.; RIBEIRO, H.; NARDOCCI, A. C. Avaliação econômica dos custos da poluição em Cubatão - SP com base nos gastos com saúde relacionados às doenças dos aparelhos respiratório e circulatório. *Saude soc.*, São Paulo , v. 21, n. 3, p. 760- 775, Sept. 2012 . Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-12902012000300020&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 18 out. 2018.

UNECE. *Air Pollution and Environmental Policy*, 2018. Disponível em <<https://www.unece.org/env/lrtap/welcome.html.html>>. Acesso em 02 nov 2018.

UNESCO. *Air Pollution*. Disponível em <<http://www.unesco.org/new/en/kathmandu/natural-sciences/air-pollution/>>. Acesso em: 04 set. 2018.

UNITED KINGDOM. Ministry of Housing, Communities and Local Government, 2018

OMS – ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. *Ambient air pollution: a global assessment of exposure and burden of disease*. Geneva, Switzerland: [s.n.], 2016.

ANEXO A- TÁBUA COMPLETA DE MORTALIDADE PARA O BRASIL, 2016

Idades (X)	Probabilidade de morte entre duas idades exatas (por mil)
0	13,297
1	0,878
2	0,569
3	0,435
4	0,358
5	0,308
6	0,274
7	0,251
8	0,237
9	0,231
10	0,235
11	0,252
12	0,285
13	0,342
14	0,436
15	0,724
16	0,900
17	1,058
18	1,183
19	1,282
20	1,380
21	1,477
22	1,543
23	1,572
24	1,573
25	1,561
26	1,555
27	1,560
28	1,587
29	1,631
30	1,682
31	1,732
32	1,786
33	1,841
34	1,901
35	1,971
36	2,055
37	2,152
38	2,265
39	2,395

40	2,540
41	2,703
42	2,890
43	3,103
44	3,342
45	3,604
46	3,886
47	4,190
48	4,514
49	4,861
50	5,235
51	5,637
52	6,065
53	6,519
54	7,002
55	7,528
56	8,095
57	8,691
58	9,317
59	9,983
60	10,703
61	11,498
62	12,386
63	13,386
64	14,500
65	15,704
66	17,014
67	18,484
68	20,141
69	21,983
70	23,968
71	26,104
72	28,454
73	31,051
74	33,898
75	36,958
76	40,244
77	43,835
78	47,777
79	52,087
80 ou mais	1000,000

Fonte: elaboração própria baseada nos dados do IBGE (2017)

ANEXO B- PESSOAS DE 14 ANOS OU MAIS DE IDADE, TOTAL, NA FORÇA DE TRABALHO, OCUPADAS, DESOCUPADAS, FORA DA FORÇA DE TRABALHO, E RESPECTIVAS TAXAS E NÍVEIS, POR GRUPO DE IDADE

Período	Idade	Taxa de participação (%)
1º trimestre 2016	14 a 17 anos	21
	18 a 24 anos	68,5
	25 a 39 anos	81,7
	40 a 59 anos	72,8
	60 anos+	22,6
2º trimestre 2016	14 a 17 anos	20,6
	18 a 24 anos	68,8
	25 a 39 anos	81,9
	40 a 59 anos	72,9
	60 anos+	22,5
3º trimestre 2016	14 a 17 anos	18,8
	18 a 24 anos	68
	25 a 39 anos	81,7
	40 a 59 anos	72,8
	60 anos+	22,2
4º trimestre 2016	14 a 17 anos	18,8
	18 a 24 anos	68,7
	25 a 39 anos	81,9
	40 a 59 anos	72,7
	60 anos+	22,8
Anual (2016)	14 a 17	19,8
	18 a 24	68,5
	25 a 39	81,8
	40 a 59	72,8
	60+	22,525

Fonte: Elaboração própria com dados do IBGE (2017)

ANEXO C- PESSOAS DE 14 ANOS OU MAIS DE IDADE, TOTAL, NA FORÇA DE TRABALHO, OCUPADAS, DESOCUPADAS, FORA DA FORÇA DE TRABALHO, E RESPECTIVAS TAXAS E NÍVEIS, POR GRUPO DE IDADE

Período	Idade	Taxa de desocupação
1º trimestre 2016	14 a 17	37,9
	18 a 24	24,1
	25 a 39	9,9
	40 a 59	5,9
	60+	3,3
2º trimestre 2016	14 a 17	38,7
	18 a 24	24,5
	25 a 39	10,4
	40 a 59	6,3
	60+	3,8
3º trimestre 2016	14 a 17	39,7
	18 a 24	25,7
	25 a 39	10,9
	40 a 59	6,7
	60+	3,6
4º trimestre 2016	14 a 17	39,7
	18 a 24	25,9
	25 a 39	11,2
	40 a 59	6,9
	60+	3,4
Anual (2016)	14 a 17	39
	18 a 24	25,05
	25 a 39	10,6
	40 a 59	6,45
	60+	3,525

Fonte: Elaboração própria com dados do IBGE (2017)

**ANEXO D- VALOR PRESENTE DA PRODUÇÃO FUTURA EM 2016 POR
IDADE E PARA TAXA DE DESCONTO DE 3% E 10%**

Idades	VPPF, r=0,03	VPPF, r=0,1
14	R\$ 72.088,43	R\$ 67.500,99
15	R\$ 72.021,35	R\$ 67.438,17
16	R\$ 71.954,28	R\$ 67.375,37
17	R\$ 71.887,22	R\$ 67.312,58
18	R\$ 71.266,29	R\$ 66.731,16
19	R\$ 70.645,42	R\$ 66.149,80
20	R\$ 70.024,61	R\$ 65.568,50
21	R\$ 69.403,87	R\$ 64.987,26
22	R\$ 68.783,16	R\$ 64.406,05
23	R\$ 68.162,47	R\$ 63.824,86
24	R\$ 67.541,79	R\$ 63.243,67
25	R\$ 66.287,36	R\$ 62.069,08
26	R\$ 65.032,93	R\$ 60.894,47
27	R\$ 63.778,51	R\$ 59.719,88
28	R\$ 62.524,12	R\$ 58.545,31
29	R\$ 61.269,78	R\$ 57.370,80
30	R\$ 59.670,60	R\$ 55.873,38
31	R\$ 58.071,51	R\$ 54.376,05
32	R\$ 56.472,50	R\$ 52.878,79
33	R\$ 54.873,57	R\$ 51.381,62
34	R\$ 53.274,75	R\$ 49.884,53
35	R\$ 51.676,03	R\$ 48.387,56
36	R\$ 50.077,45	R\$ 46.890,70
37	R\$ 48.479,03	R\$ 45.394,00
38	R\$ 46.880,78	R\$ 43.897,46
39	R\$ 45.282,75	R\$ 42.401,12
40	R\$ 43.665,96	R\$ 40.887,21
41	R\$ 42.049,43	R\$ 39.373,55
42	R\$ 40.433,20	R\$ 37.860,18
43	R\$ 38.817,32	R\$ 36.347,13
44	R\$ 37.201,83	R\$ 34.834,44
45	R\$ 35.586,76	R\$ 33.322,15
46	R\$ 33.972,15	R\$ 31.810,28
47	R\$ 32.358,03	R\$ 30.298,88
48	R\$ 30.744,44	R\$ 28.787,97
49	R\$ 29.131,41	R\$ 27.277,59
50	R\$ 27.312,55	R\$ 25.574,48
51	R\$ 25.494,43	R\$ 23.872,06
52	R\$ 23.677,10	R\$ 22.170,37
53	R\$ 21.860,59	R\$ 20.469,46
54	R\$ 20.044,97	R\$ 18.769,38
55	R\$ 18.230,31	R\$ 17.070,20
56	R\$ 16.416,69	R\$ 15.371,99

57	R\$ 14.604,16	R\$ 13.674,80
58	R\$ 12.792,77	R\$ 11.978,68
59	R\$ 10.982,59	R\$ 10.283,70
60	R\$ 10.424,83	R\$ 9.761,44
61	R\$ 9.867,52	R\$ 9.239,59
62	R\$ 9.310,71	R\$ 8.718,21
63	R\$ 8.754,47	R\$ 8.197,36
64	R\$ 8.198,85	R\$ 7.677,10
65	R\$ 7.643,91	R\$ 7.157,48
66	R\$ 7.089,71	R\$ 6.638,55
67	R\$ 6.536,34	R\$ 6.120,39
68	R\$ 5.983,90	R\$ 5.603,11
69	R\$ 5.432,50	R\$ 5.086,79
70	R\$ 4.882,22	R\$ 4.571,53
71	R\$ 4.333,14	R\$ 4.057,40
72	R\$ 3.785,39	R\$ 3.544,50
73	R\$ 3.239,11	R\$ 3.032,98
74	R\$ 2.694,42	R\$ 2.522,96
75	R\$ 2.151,47	R\$ 2.014,56
76	R\$ 1.610,36	R\$ 1.507,89
77	R\$ 1.071,28	R\$ 1.003,11
78	R\$ 534,43	R\$ 500,42

Fonte: Elaboração própria

**ANEXO E – DADOS PARA O CÁLCULO DO VALOR ESTATÍSTICO DA
VIDA PARA O BRASIL EM 2016**

Variável	Sigla	Valor
Valor estatístico da vida para OCDE em 2005 (US\$ 2005)	$VSL_{OCDE,2005}$	US\$ 3,000,000.00
PIB per capita brasileiro em 2005 ajustado para Paridade de Poder de Compra (PPP) (US\$ 2010)	$Y_{BRASIL,2005}$	US\$ 12,166.00
PIB per capita da OCDE em 2005 ajustado para Paridade de Poder de Compra (PPP) (US\$ 2010)	$Y_{OCDE,2005}$	US\$ 34,600.00
Variação percentual do índice de preços do consumidor brasileiro entre 2005 e 2016	$\% \Delta P$	208%
Variação percentual do PIB per capita real brasileiro 2005 e 2016	$\% \Delta Y$	17%

Fonte: Elaboração própria com dados da OCDE (2018) e Banco Mundial (2018)