

**UNVIERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
CURSO DE CIÊNCIAS ATUARIAIS**

GABRIELA MESQUITA LOPES

**UMA ANÁLISE DA INCORPORAÇÃO DA INCERTEZA NAS PROJEÇÕES
POPULACIONAIS E SUA INFLUÊNCIA NO CÁLCULO DAS TENDÊNCIAS
FUTURAS**

BELO HORIZONTE, MG

2022

Gabriela Mesquita Lopes

**UMA ANÁLISE DA INCORPORAÇÃO DA INCERTEZA NAS PROJEÇÕES
POPULACIONAIS E SUA INFLUÊNCIA NO CÁLCULO DAS TENDÊNCIAS
FUTURAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Ciências Atuariais da Universidade
Federal de Minas Gerais, como requisito parcial
para o grau de Bacharel em Ciências Atuariais.

Orientador: Prof. Dr. Bernardo Lanza Queiroz

Belo Horizonte
2022

Resumo

As projeções estão inseridas em diversos contextos na atuária, seja nos cálculos previdenciários para as estimativas da Taxa de Dependência até na saúde suplementar, por meio da análise do envelhecimento populacional e sua influência na sustentabilidade dos planos de saúde. Tendo isso em vista, este trabalho visa fazer uma análise comparativa das projeções da população para o Brasil de 2010 a 2030 pela Matriz de Leslie incorporando incerteza em seu cálculo, por meio do Lee Carter para projetar a fecundidade e a mortalidade, com as projeções divulgadas pelo IBGE. Além disso, como não há um consenso entre a melhor metodologia para projeção da Taxa de Fecundidade, foi feita um estudo entre três métodos de projeção da taxa de fecundidade visando avaliar qual apresenta a melhor estimativa para as taxas de fecundidade do Brasil até o ano de 2030.

Palavras Chave: Projeção, Taxa de Fecundidade, Taxa de Mortalidade, Matriz de Leslie, IBGE e Incertezas.

Abstract

Projections are insert in many contexts in actuarial Jobs, whether be through social security that use the forecast Age Dependency Ratio in their appraisal to health insurance that, through an analysis of the population aging, can manage part of the sustainability of a Health Care Insurance. Having that in mind, this paper aims to make a comparative analysis between Brazilian population projection from 2010 to 2030 with Leslie Matrix method, that incorporate uncertainty in their calculus using Lee Carter methods to project Fertility Rate and Mortality Rate, and projection published by IBGE. Furthermore, because there is no consensus among the best methodology for Fertility Rate projections, this paper attempt to make a parsing between three methods to Project Fertility Rate aimed to evaluate which one produce the best estimation for the future Fertility Rate from Brazil in 2010 to 2030.

Keywords: Projection, Fertility Rate, Mortality Rate, Leslie Matrix, IBGE and Uncertainty.

SUMÁRIO

1. Introdução	5
2. Revisão da Literatura	8
1.1. Dinâmica Demográfica	8
2.1.1. Transição Demográfica	8
2.1.2. Taxa de Mortalidade	10
2.1.3. Taxa de Fecundidade	12
2.2. Aspectos Populacionais do Brasil	14
2.3. Projeção da Migração	16
3. Metodologia	18
3.1. Projeção da População pela Matriz de Leslie	19
3.2. Projeção da Mortalidade	21
3.3. Projeção da Fecundidade	23
3.4. Projeção do IBGE	26
4. Resultados	28
4.1 Resultado da Projeção da Fecundidade	28
4.2 Resultado da Projeção da Mortalidade	34
4.3 Resultado da Projeção da População	38
5. Conclusão	44
6. Referências	45

1. Introdução

Os métodos de projeção foram criados com o intuito de modelar as tendências futuras da população e foram mudando ao longo do tempo. Inicialmente, segundo Borges, Marques, Brito, da Silva e Jannuzzi (2016), buscava-se um modelo geral de projeção, entretanto, tal modelo é irreal, posto que, para projetar todas as dinâmicas demográficas seria necessário incorporar diversas variáveis que nem sempre permitem uma generalização. Tendo isso em vista, foram criados diversos modelos de projeção para os mais distintos indicadores demográficos.

A população está em constante mudança e suas tendências futuras são desconhecidas. O mundo todo tem passado pelo processo de transição demográfica, ainda que de forma desigual. As mudanças nas estruturas etárias, segundo Wong e Carvalho (2006), abrem uma janela de oportunidade, no qual os países podem se beneficiar de um crescimento econômico. Considerando isso, as projeções da população são de suma importância para o planejamento e análise de políticas públicas, uma vez que, a partir delas, é possível elaborar medidas de longo prazo de forma a aproveitar ao máximo essa janela de oportunidade.

Segundo Lee (2012), a princípio, métodos determinísticos eram muito utilizados para a projeção da população, em que se estabelecia 3 cenários (Alto, Médio e Baixo). Todavia, tais modelos não incorporam uma importante característica das projeções, as incertezas. Como o exato comportamento futuro da população é imprevisível, é necessário incorporar nos modelos as mudanças e flutuações que ocorreram ao longo do tempo, estas podem ser representadas por distribuições de probabilidade. Tendo isso em vista, em 2012, a ONU passou a incorporar modelos probabilísticos nos cálculos de projeções, além de considerar o grau de desenvolvimento do país.

No contexto atuarial, fecundidade, mortalidade e tamanho populacional estão presentes nas mais diversas áreas e uma projeção de qualidade é de suma importância para a acurácia dos trabalhos elaborados pelos atuários, que lidam diretamente com as incertezas futuras. Tais projeções são incorporadas em cálculos nos ramos de previdência, saúde e seguros.

A previdência social tem cada vez mais sofrido com o envelhecimento populacional. Com o aumento expressivo de idosos e a redução dos nascimentos, a forma de financiamento da previdência tem se tornado insustentáveis. Segundo Amaro e Afonso (2018), posto que o Regime Geral é baseado no regime de repartição simples e na solidariedade, o envelhecimento pesa as coortes em idade economicamente ativas. Consideram isso, as projeções da população

são essenciais para a avaliação da sustentabilidade e solvência do sistema previdenciário. A partir delas podemos obter as estimativas da Taxa de Dependência Previdenciária futuras, que representa a razão entre os contribuintes e os beneficiários. De acordo com Castro e Silva (2016), este indicador é um importante determinante do equilíbrio financeiro atuarial do sistema previdenciário.

Já no que se refere a saúde suplementar, entender o processo de transição demográfica e projetar a população é imprescindível, uma vez que, de acordo com o Instituto de Estudos de Saúde Suplementar – IESS, o envelhecimento populacional gera um grande impacto nas operadoras de plano de saúde, dado que, idosos geram mais despesas que as demais faixas etárias. É função do atuário administrar e garantir que, mesmo com o envelhecimento populacional, os planos de saúde ainda permaneçam solventes, por isso, faz-se necessário boas projeções da população.

Portanto, o objetivo deste trabalho é dividido em duas partes. Na primeira, serão testados três métodos de projeção da Taxa de Fecundidade, visando analisar qual apresentam a melhor projeção, uma vez que, não há um consenso em qual a melhor metodologia para a projeção desta taxa. Em seguida, na segunda parte deste trabalho, buscou-se fazer um comparativo entre uma projeção que incorpora algumas incertezas em seu cálculo, neste caso foi escolhido o modelo de séries temporais desenvolvido pelo Lee-Carter que será aplicado para a projeção da taxa de fecundidade e de mortalidade, com os resultados divulgados pelo IBGE em seus relatórios de projeção de 2013 e 2018.

Tendo isso em vista, o modelo mais conhecido de projeção da população é o da Matriz de Leslie, no qual projetamos considerando 3 fatores importantes: a taxa de fecundidade, a taxa de mortalidade e as migrações. Este é um modelo determinístico, desenvolvido por P. H. Leslie em 1945. Nele, a população está exposta diretamente a estes riscos de modo que as transformações ao longo do tempo podem ser avaliadas.

Ela é representada por uma matriz cuja primeira linha é composta pela taxa de fecundidade e na subdiagonal temos as probabilidades de sobrevivência, o restante da matriz é composto por zeros. Logo, para a projeção, estamos considerando o número de nascimentos e sobreviventes no período de projeção e adicionamos o saldo migratório, dessa forma, temos o tamanho da população esperada para o próximo período.

A projeção da fecundidade, por sua vez, é mister para o bom entendimento do crescimento populacional, além de serem utilizadas no cálculo de alguns indicadores socioeconômicos, ela também é uma importante fonte de dados durante o período entre censos. No Brasil, o IBGE começou a produzir projeções para todo o país em 1973 e até os dias atuais utiliza de métodos determinísticos para elaborar suas projeções.

De acordo com Bohk-Ewald, Peng Li, e Myrskylä (2018), como a decisão de ter filhos é influenciada por diversos fatores dentre eles econômicos, sociais e culturais, projetar a fecundidade não é algo trivial. Por isso, neste trabalho, será feita uma breve análise sobre três métodos de projeção da taxa de fecundidade, dos quais serão comparados métodos determinísticos e por séries temporais visando analisar a eficácia de suas projeções. Como o intuito é entender o impacto de incorporar incertezas nas projeções, foi escolhido o modelo Lee Carter para projetar a taxa de fecundidade.

2. Revisão da Literatura

2.1. Dinâmica Demográfica

A demografia é o estudo científico da população, em que é analisado o seu tamanho, composição e distribuição espacial. De acordo com Carvalho, Sawyer e Rodrigues (1998), *“Demografia trata dos aspectos estáticos de uma população num determinado momento - tamanho e composição -, assim como também da sua evolução no tempo e da inter-relação dinâmica entre as variáveis demográficas”*. Na dinâmica demografia, os seus principais componentes de estudos são as interações entre a mortalidade, a fecundidade e a migração. Estas variáveis afetam a população de forma diferente, com isso surge a necessidade de estudá-los tanto separadamente quanto em conjunto.

2.1.1. Transição demográfica

A palavra transição representa um processo de transformação de um estado para outro, quando falamos demograficamente, a transição demográfica é o processo de mudança da estrutura etária da população, no qual há uma redução de pessoas na base da pirâmide etária e um aumento no topo da pirâmide. Tal processo pode ser explicado como a passagem das altas taxas de fecundidade e mortalidade, para as baixas taxas. Logo, nascem menos crianças e, com a redução da mortalidade, as pessoas se tornam mais longevas.

A transição demográfica pode ser dividida em quatro fases:

1ª Fase: Com altas taxas de mortalidade e fecundidade;

2ª Fase: Queda na taxa de mortalidade, no entanto, a taxa de fecundidade ainda permanece em alta;

3ª Fase: As taxas de mortalidade e fecundidade estão caindo;

4ª Fase: As taxas de mortalidade e fecundidade se estabilizam baixas.

Segundo Vasconcelos e Gomes (2012), antes de entrar no processo de transição demográfica, os países possuíam uma alta taxa de fecundidade, praticamente constante, e uma taxa de mortalidade também alta, porém flutuante. Por isso, apresentavam um crescimento vegetativa muito baixo e uma estrutura etária jovem. Durante a segunda fase, como há uma redução da mortalidade, a estrutura etária tende a se tornar cada vez mais jovem, uma vez que essa redução atinge inicialmente as crianças. Já na terceira fase, com a queda da fecundidade, podemos notar o início das mudanças na estrutura etária, no qual, é possível perceber um aumento nas faixas

etárias que representam a PIA, reflexo das altas taxas de fecundidade anteriormente, e com isso, também podemos identificar os primeiros sinais de envelhecimento populacional, com a redução da base da pirâmide e o aumento do meio. Por fim, nas fases finais do processo de transição, o envelhecimento populacional fica mais evidenciado, com o aumento expressivo de idosos e a redução do número de crianças.

De acordo com Lee e Mason (2011), o processo de transição demográfica mundial começou por volta da década de 50, contudo, há relatos de que alguns países da Europa Ocidental começaram o seu processo de transição já no final do século XIX.

Em geral, a queda da mortalidade está diretamente atrelada com a queda da mortalidade infantil, tal fato, diante do processo de transição demográfica, faz com que a população aparente ser mais jovem, uma vez que, com as taxas de fecundidade ainda altas, as famílias tender a ser maiores, decorrentes de um baby boom. De acordo com Lee et al. (2011), durante a década de 70, a proporção de crianças em nível mundial teve seu pico, no qual havia 125 crianças para cada 100 adultos.

A transição demográfica pelo mundo ocorreu de forma desigual, em que, nos países desenvolvidos, pode-se observar um processo de mudanças lentas nas taxas. Já nos países em desenvolvimento, esse processo começou um pouco mais tarde, entretanto, as transformações nas taxas ocorreram de forma acelerada. Segundo Lebrão (2007), o processo de transição pode ser classificado de três formas: iniciação precoce, iniciação tardia e aqueles que ainda não iniciaram o processo. Neste contexto, pode-se classificar os países europeus como uma iniciação precoce, visto que estes começaram essa transformação das taxas a mais de um século, e os países da América Latina como iniciação tardia, posto que estes iniciaram em meados dos anos 50.

No Brasil, como assevera Brito (2008), a transição demográfica ocorreu de forma desigual entre as regiões, ou seja, cada estado está em um momento diferente da transição, todavia, as tendências indicam que, no futuro, todos atingiram baixas taxas. Esse processo começou no início de século XX, entretanto, foi apenas a partir da década de 60 que a queda das taxas de mortalidade e da fecundidade se estabeleceram.

Segundo Alves (2014), a queda da mortalidade foi um marco na humanidade, de modo que, em um século, a esperança de vida mais que dobrou. No Brasil, em 1900, estimava-se que a esperança de vida ao nascer era de aproximadamente 30 anos, já nos anos 2000 ela passou a

ser de 73 anos. No que tange a queda da fecundidade, esta decorreu principalmente após profundas mudanças de comportamento e culturais na população em geral. No início do século XX, a diferença entre as duas taxas, de mortalidade e fecundidade ainda era muito grande, todavia, acredita-se que até 2050 elas vêm a se estabilizar baixas.

Brito (2008) elucida que o processo de transição demográfica abre uma janela de oportunidade, dado que as dinâmicas populacionais estão se alterando, desse modo, a partir de políticas públicas, é possível reduzir a desigualdade social do país. Entretanto, essa janela de oportunidade está diretamente ligada com o tempo do processo transitório. Um exemplo disto, segundo Lebrão (2007), nos países Europeus o processo de transição demográfica ocorreu juntamente com o estabelecimento da redução da desigualdade social e a estabilidade econômica, com o envelhecimento populacional acontecendo intrinsecamente a essas outras mudanças sociais. Contudo, quando analisamos os países em desenvolvimento, o processo de transição ocorreu em economias mais frágeis e de forma acelerada, gerando uma demanda de políticas que sustentassem uma população envelhecida, em um cenário de uma economia e organização social mais desigual.

Segundo Turra e Queiroz (2005), é necessário políticas públicas bem estruturadas para transformar as mudanças populacionais em um crescimento econômico. Os países em desenvolvimento, em teoria, se beneficiariam muito dessa janela de oportunidade, porém são as mais suscetíveis a não conseguirem. Consoante a isso, Wong e Carvalho (2006), ressaltam que, em meio a transição demográfica, políticas públicas materno-infantis podem ser melhoradas mais facilmente, visto que, o número de nascimentos vem diminuindo. Contudo, um grande desafio é em relação aos idosos, que demandam de maior atenção, geram uma maior despesa e, a um longo prazo, os recursos de outros segmentos terão de ser realocados para a sua assistência.

Outro fator importante a se considerar no que se trata do envelhecimento populacional é o sistema previdenciário, posto que, com o aumento da expectativa de vida populacional, este é sistema de seguridade social mais atingido e que requer uma demanda maior por políticas públicas.

2.1.2. Taxa de Mortalidade

A taxa de mortalidade é um indicador demográfico que mede o número de óbitos ocorridos em uma população dentro de um determinado período. Considerando a transição demográfica, a

taxa de mortalidade é a primeira a começar a cair. Segundo Alves (2014), avanços na qualidade de vida, na medicina e a conscientização da importância da higiene contribuíram diretamente para a queda da mortalidade. Outro indicador que está diretamente ligado a taxa de mortalidade é a esperança de vida, em que, quanto menor a taxa maior a expectativa de vida.

A partir da taxa de mortalidade temos insumos para análises mais profundas das dinâmicas populacionais. Estas podem ser usadas para projeções populacionais, avaliação de políticas públicas, indicadores de bem-estar e condições de vida. É a partir dessa taxa que podemos montar o perfil etário da população e entender a atividade econômica do país. Segundo Camarano (2014), “*a dinâmica populacional afeta o crescimento econômico*”, uma vez que a distribuição etária está diretamente ligada a força de trabalho.

A mortalidade é bem sensível a condição de vida da população. Um dos grandes fatores que afetou a queda nas taxas de mortalidade foi a transição epidemiológica, no qual representou uma substituição das causas de morte, passando de doenças infectocontagiosas para doenças crônicas.

Abdel R. Omran, em 1971, introduziu a teoria base para os estudos sobre transição epidemiológica, segundo ele, uma parte importante desse estudo é entender a relação entre os padrões da mortalidade com as transformações demográficas decorrentes deles.

Por meio da transição epidemiológica ocorre uma inversão dos padrões de mortalidade e morbidade, no qual, passa-se de uma alta mortalidade para uma alta morbidade. Um grande indicador desse processo é a Taxa de Mortalidade Infantil que, de acordo com Carvalho, Sawyer e Rodrigues (1998), reflete diretamente o meio que a criança vive, portanto expõe as condições de saúde e socioeconômicas que as famílias estão inseridas.

Uns dos grandes responsáveis pelos primeiros declínios da mortalidade, de acordo com Lee (2003), foi a criação da vacina contra varíola e o desenvolvimento de políticas para saúde pública. Outro fator importante foi a melhora na nutrição, principalmente para as crianças, que com uma melhor nutrição possuem uma imunidade maior, logo, resistem mais a doenças.

A taxa de mortalidade, quando relacionada com a expectativa de vida, diferencia-se entre os sexos, de acordo com a Organização Mundial da Saúde – OMS (2019), em seu relatório de “World health statistics 2019: monitoring health for the SDGs, sustainable development goals”, as mulheres vivem aproximadamente 4,4 anos a mais que os homens. Tal diferença, em países

em desenvolvimento, poderia ser evitada com um melhor acesso a saúde de qualidade. Já em países em desenvolvimento essa diferença se dá por questões ou ambientais ou de estilo de vida.

2.1.3. Taxa de Fecundidade

A taxa de fecundidade representa a estimativa dos nascimentos por mulher, ela pode ser dividida em Taxa Específica de Fecundidade (TEF) e Taxa de Fecundidade Total (TFT), além disso, existe a Taxa Bruta de Natalidade, no entanto, ela não será abordada neste trabalho, posto que ela é muito influenciada pela estrutura etária. A TEF representa o número médio de filhos nascidos vivos, por mulher, por faixa etária em um dado período, já a TFT refere-se ao número médio de filhos nascidos vivos, por mulher, durante todo o seu período reprodutivo. Para compreender as taxas de fecundidade deve-se analisar as características socioeconômicas, culturais e demográfica.

Para que a taxa de reposição populacional seja mantida estipularam-se que seria necessária uma taxa de fecundidade de 2,1 filhos, ou seja, essa é a taxa necessária para manter o padrão da estrutura etária estável.

Assim como a taxa de mortalidade, a fecundidade está relacionada com a transição demográfica, esse indicador, na segunda fase da transição, continua elevado mesmo com a mortalidade caindo, logo, a base da pirâmide etária aumenta. Contudo, quando a fecundidade começa a cair, na terceira fase, a base da pirâmide começa a diminuir. Essa taxa é um importante componente para determinar o tamanho futuro da população.

Segundo Berquó e Cavenaghi (2006), o estudo da taxa de fecundidade são bons orientadores para a criação de políticas públicas considerando o envelhecimento e a estrutura populacional futura. Vale destacar que altas taxas de fecundidade podem indicar um déficit no acesso a saúde pública reprodutiva e a informações sobre o tema.

No Brasil, de acordo com Brito (2007), a queda da fecundidade ocorreu de forma muito abrupta, quando comparada com a velocidade que ela caiu nos países europeus, no qual, em 40 anos a fecundidade caiu, em média, 4 filhos, ou seja, passou de 6 filhos por mulher ao longo do seu período reprodutivo, em 1960, para 2, em 2000. Entretanto, o processo de declínio da fecundidade ocorreu de forma diferente entre as regiões. Segundo Wong e Carvalho (2006), mesmo com a desigualdade socioeconômica das regiões brasileiras as tendências indicam que todas iram, eventualmente, atingir o nível de reposição rapidamente.

Existem mais de uma forma de medir a taxa de fecundidade em um país, no geral, em países desenvolvidos, as bases de dados relativas à fecundidade possuem mais informações e de melhor qualidade, permitindo pesquisas com técnicas mais avançadas e um estudo por coorte, no qual é possível uma visão mais completa das tendências da fecundidade e possibilita analisar o número total de filhos por mulher ao longo de sua vida reprodutiva sem a influência de fatores como o Efeito do Tempo. Contudo, em países em desenvolvimento, a base de dados pode apresentar problemas como trazer poucas informações ou com uma qualidade não tão boa. (Batyra, Leone e Myrskyläa (2021))

No geral, em países em desenvolvimento, é feito um estudo da taxa de fecundidade por período, entretanto, tal medida sofre influência do Efeito Tempo, no qual, a decisão das mulheres em ter filhos pode ser antecipada ou adiada, de acordo com o cenário em que ela se encontra no período, porém, isto não influencia no número total de filhos que uma mulher terá ao longo de toda a sua vida reprodutiva. Tendo isso em vista, utilizar a Taxa de Fecundidade do Período pode se mostrar uma medida tendenciosa. (Batyra, Leone e Myrskyläa (2021))

Além das questões culturais, outros fatos que influenciam a taxa de fecundidade são o grau de instrução e a renda familiar. No que se refere a escolaridade, é possível notar que quanto mais anos de estudo menos filhos as mulheres tendem a ter. No Brasil, há uma grande desigualdade social em relação a escolaridade, de acordo com a PNAD de 2019, as mulheres, em média, são mais instruídas. Para a população com mais de 25 anos apenas 37,1% das mulheres foram registradas como não tendo o ensino fundamental incompleto, já os homens 40,4% não possuem o fundamental completo. Quando observamos o acesso ao ensino superior, a taxa ajustada de frequência escolar líquida das mulheres é 29,7% e já dos homens é de 21,5%, logo, seguindo os indicadores da PNAD de 2019, as mulheres têm 38% a mais de chance de estarem matriculadas no ensino superior do que os homens da mesma idade.

No anos 90, de acordo com Vignoli (2016), mesmo com o declínio da fecundidade, um fenômeno que chama atenção foi a redução da idade do primeiro filho, no qual foi possível ver um aumento nos casos de gravidez na adolescência, principalmente no caso de mulheres com um grau menor de instrução. Já nos anos 2000, foi possível perceber uma mudança neste cenário, em que a taxa de fecundidade para as idades de 15 a 25 anos começa a cair e o nascimento do primeiro filho começa a ser adiado. Ainda há um grande debate na literatura do porquê ocorreu tal redução, contudo acreditasse que seja pelo acesso a métodos contraceptivos e o aumento da mobilidade social.

Além disso, segundo o Fundo de População das Nações Unidas, em seu relatório de Fecundidade e Dinâmica da População Brasileira divulgado em 2018, mulheres mais instruídas tendem a ter menos filhos, portanto, considerando que ao longo dos anos as mulheres possuem uma maior capacitação, é de se esperar que a taxa de fecundidade brasileira caia.

Ao longo das últimas décadas cada vez mais mulheres tem se inserido no mercado de trabalho. De acordo com a PNAD de 2019, 54,5% das mulheres com mais de 15 anos faziam parte do mercado de trabalho, já os homens representam 73,7%. A mudança das relações de gênero e a inserção das mulheres no mercado afeta a sua decisão de ter filhos, por isso, espera-se que a taxa de fecundidade diminua, com o aumento dessa participação.

De acordo com um estudo do Fundo de População das Nações Unidas (UNFPA), em seu relatório de Fecundidade e Dinâmica da População Brasileira divulgado em 2018, no Brasil, ao analisar os índices de fecundidade considerando a renda familiar, nota-se que nos domicílios de maior renda do Brasil a taxa de fecundidade não chega ao nível de reposição.

O Brasil é um país com uma grande desigualdade social, quando observamos a TFT por região, é possível perceber o efeito da renda, posto que, nas regiões Sul e Sudeste, que apresentam a maior renda per capita do país, possuem taxas abaixo da média geral. Já o Centro-Oeste, até 1970 a TFT era de 6,5, contudo, entre os anos 70 e 90 esta região sofreu um grande declínio na TFT e, em 1990, ela atingiu uma taxa de 2,7 filhos por mulher. Por fim, no Norte e no Nordeste, as regiões menos desenvolvidas do Brasil, detém as maiores taxas de fecundidade, entre 1940 e 1970, a média de filhos por mulher era de aproximadamente 7, já nos anos 90, foi possível notar uma queda na taxa, passando para 3 filhos por mulher.

Em suma, percebe-se que analisar a taxa de fecundidade do Brasil é um desafio, uma vez que há uma grande disparidade social entre a população e as regiões, e tais variações devem ser consideradas nos cálculos de estimativas dos indicadores de fecundidade.

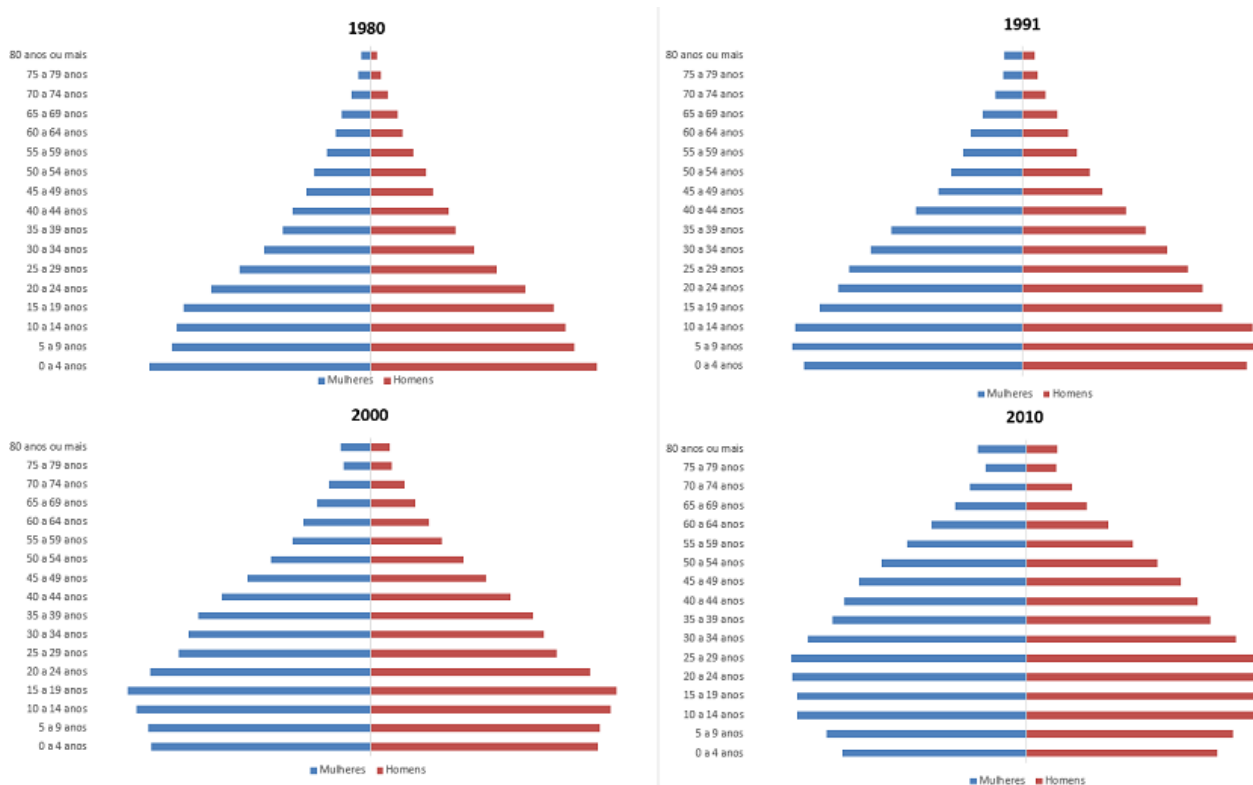
2.2. Aspectos Populacionais do Brasil

Segundo o IBGE pelo Censo Demográfico de 2010 o tamanho populacional do Brasil era de 190.755.799 habitantes e o Brasil se encontrava 10 das maiores economias do mundo, em 2019, com um PIB de 1,878 trilhão USD de acordo com o The World Bank.

De acordo com os indicadores divulgado pelo IBGE pela PNAD de 2019, desde 2014, o PIB brasileiro tem sofrido com oscilações e instabilidades, o que traz impactos negativos para o mercado de trabalho brasileiro. As taxas de desemprego em 2014 eram de aproximadamente

6.6% e no final de 2019 chegaram a 11.1%, atingindo a sua máxima no primeiro trimestre de 2017, no qual a taxa atingiu um patamar de 13.9%.

Figura 1: Pirâmides etárias do Brasil 1980-2010



Fonte: IBGE – Censo Demográfico de 1980, 1991, 2000, 2010

A estrutura etária do Brasil, como podemos observar na figura 1, mudou muito em 40 anos. Em 1980 e 1990 é possível notar um formato triangular na estrutura etária, principalmente nos anos 80. Em 1990, a base da pirâmide, referente a faixa etária de 0 a 4 anos começa a diminuir, o que evidencia o processo de transição demográfica, no qual, começa a reduzir o número de nascimentos. Em 2000, a redução da fecundidade fica mais distinta, de modo que, a base da pirâmide começa a ficar mais próxima de um retângulo do que de um triângulo. Vale ressaltar que a maior parte da população neste período se encontra ainda nas idades mais jovens, principalmente nas faixas etárias de 15 a 19 anos, o que é de se esperar visto a quantidade de nascimentos nos anos 80. Contudo, podemos notar um aumento também nos idosos, principalmente aqueles que atingiram as idades de 80 anos ou mais. Por fim, em 2010, já não conseguimos ver o formato de pirâmide com mais clareza e há uma redução expressiva em relação a 2000, na quantidade de nascimentos. Como previsto, podemos notar que a concentração da população agora se encontra nas faixas de 20 a 24 anos e 25 a 29 anos.

A partir da Razão de Dependência podemos entender melhor a relação entre os grupos etários distintos. No que se refere ao Brasil, a Razão de Dependência Total, até 1970, permaneceu constante e bem alta, em que, os grupos etários de jovens, 0 a 15 anos, e de idosos, 65 anos ou mais, representavam quase 50% da população, entretanto, 90% dos que compunham este grupo eram crianças. Entretanto, a partir de 1980, esta taxa começou a cair e, segundo Wong e Carvalho (2006), espera-se que ela não volte a subir novamente. De acordo com Stampe, Pozzobon e Niquito (2020), podemos notar que a Razão de Dependência caiu de 1960 para 2010, quase pela metade, tal fato se deu, principalmente, pela queda no número de crianças e jovens, resultado da queda da taxa de fecundidade. Portanto, podemos observar a Razão de Dependência Jovem encontra-se decrescente enquanto a Razão de Dependência do Idoso espera-se que venha a duplicar entre 2000 e 2025, quando comparado ao que era na década de 70.

De acordo com Silva e Dal Prá (2014), o Brasil o Índice de Envelhecimento (IE) é considerado moderado. Já segundo Closs e Schwank (2012), o IE vem aumentando progressivamente desde 1970, em que, passou de 12,8, da década de 70, para 44,8 em 2010. Tal fato, vai em consonância com a Razão de Dependência do Idoso, uma vez que, ambas refletem o envelhecimento populacional. Vale ressaltar que este indicador varia de região para região, no qual, a região sudeste apresenta um índice quase duas vezes maior que o das regiões Centro-Oeste e Norte.

2.3. Migração no Brasil

No que tange os aspectos de migração da população brasileira, de acordo com o Censo de 2010, cerca de 35.4% da população não se encontra morando na mesma cidade em que nasceu, desses, 14.5% não se encontram nem no mesmo estado. A migração interna no país é de suma importância para se entender a estrutura etária entre as regiões. De acordo com Segundo Wong e Carvalho (2006), os fluxos migratórios são compostos principalmente por pessoas na idade economicamente ativa e em idade estudantil, tal fato, contribui para um envelhecimento na cidade de origem. Em relação ao deslocamento, segundo o IBGE, aproximadamente 7.3% dos estudantes e 16.9% dos trabalhadores não estão em sua cidade natal.

Quando observamos a migração internacional, de 2000 para 2010, de acordo com o IBGE, houve um aumento de 86.7% a mais de imigrantes que chegaram no Brasil, principalmente vindos dos Estados Unidos e Japão, além disso, foi verificado que muitos brasileiros que residiam no exterior voltaram para o Brasil neste período. Segundo Wong e Carvalho (2006), a migração internacional nos últimos não tem gerado um grande impacto na estrutura etária do

Brasil, uma vez que, ela tem apresentados saldos negativos. Tal fato pode ser explicado devido ao volume populacional do Brasil.

3. Metodologia

O intuito deste trabalho é fazer um comparativo entre as estimativa do tamanho populacional utilizando a incerteza, que será incorporada por meio da projeção da taxa de mortalidade e da fecundidade usando o modelo Lee-Carter, e a estimativa disponibilizados pelo IBGE em relatórios divulgados em 2013 e 2018.

Este trabalho foi estruturado em duas partes, no qual, a primeira parte consiste em testar três métodos de projeção para a taxa de fecundidade: Uma interpolação logística junto com um modelo relacional de Gompertz, um modelo de séries temporais ARIMA (0,2,1) e o modelo Lee Carter. Em seguida, será feito um comparativo dos modelos e avaliado qual apresenta a melhor estimativa das taxas.

Tal análise fez-se necessária, posto que, não há um consenso entre qual a melhor metodologia para projeção da Taxa de Fecundidade, uma vez que, esta taxa é influenciada por muitos fatores subjetivos, como aspectos culturais e sociais.

O IBGE não disponibiliza uma base de dados, referentes a fecundidade, grande o suficiente para ser aplicada nos modelos acima citados. Por isso, uma forma alternativa de conseguir os dados para a execução destas análises foi utilizar os disponibilizados no Human Fertility Collection, que se encontram no Fertility Data. Esta base de dados disponibiliza uma série histórica de diversos países, dentre eles está o Brasil, que por sua vez são apresentadas informações referentes aos dados da fecundidade de 1966 a 2013. Visando manter as projeções mais homogêneas possível, para todas as metodologias de projeção de fecundidade, os dados utilizados vieram do Human Fertility Collection.

Em relação ao modelo determinístico de projeção da fecundidade foi necessário elaborar um comparativo entre diferentes taxas de fecundidade, uma vez que, o modelo requer que seja determinado pelo pesquisados uma taxa de fecundidade base, de tal modo que está representará a taxa mínima que a população brasileira irá atingir até 2030. Em vista disto, foram testadas a fecundidade de três países: Rússia, Arménia e Áustria, dos quais as informações foram retiradas também do Human Fertility Collection. A escolha destes países se deu, pois, dentre os disponíveis na base de dados, estes foram os que possuíam a maior série histórica, posto que, tal condição é um pré-requisito para a boa aplicabilidade do modelo. Ao final desta análise, foi escolhido a Rússia como base tanto para o cálculo do nível quanto da estrutura da fecundidade.

Na segunda parte deste trabalho foi projetado a população utilizando o método da Matriz de Leslie, no qual, a incorporação das incertezas ficou a cargo das projeções da taxa de fecundidade e mortalidade. A partir da análise dos métodos de projeção da fecundidade, foi escolhido o Lee-Carter para a sua projeção, desta forma, este modelo foi responsável por estimar as taxas futuras tanto da fecundidade quanto da mortalidade.

3.1. Projeção da População pela Matriz de Leslie

O futuro é incerto e sua dinâmica populacional é desconhecida. As projeções populacionais são de suma importância para modelar e estipular a estrutura da população futura por meio de suposições das tendências criando possíveis cenários. Por meio delas podemos prever as necessidades futuras e estruturar políticas públicas.

Inicialmente, os demógrafos buscavam um método único que permitisse uma projeção o mais fidedigna possível, porém tal método não foi executável devido à complexidade de estimação dos componentes demográficos. Tais variáveis são influenciadas pelo contexto socioeconômico e político futuros, sendo estes difíceis de prever no longo tempo. Tendo isso em vista, para projeções mais confiáveis e assertivas é necessário incorporar as incertezas das possíveis mudanças de contexto. (Borges, Marques, Brito, da Silva e Jannuzzi (2016))

Inicialmente foram desenvolvidos modelos determinísticos para projeção populacional, as projeções tradicionalmente usadas consideravam 3 cenários possíveis para o crescimento populacional futuro: Alto, médio e baixo, contudo, uma grande crítica a esta metodologia é a não incorporação da incerteza (Lee (2012)). No Brasil, as projeções feitas pelo Instituto o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE ainda seguem essa linha de raciocínio, no qual suas projeções populacionais são calculadas utilizando o Método das Componentes Demográficas, que é totalmente determinístico.

Segundo Lee (2012), a base para uma projeção é entender seu tamanho e distribuição etário por idade e sexo. Nas projeções deste trabalho será usado o método da Matriz de Leslie, no qual consideram a mortalidade, fecundidade e migração e um dos grandes desafios é projetar tais taxas, uma vez que elas se alteram ao longo do tempo.

A matriz de Leslie foi criada por P.H. Leslie em 1945, é um modelo discreto e o mais conhecido para estimar o tamanho populacional. Esse método é caracterizado por, na primeira linha, apresentar a taxa de fecundidade e na subdiagonal a probabilidade de sobrevivência. A partir

dela podemos projetar a população um passo por vez, e é por meio do tamanho do grupo etário que determinamos o intervalo de projeção.

$$A = \begin{bmatrix} 0 & F_1 & F_2 & F_3 & F_4 \\ \rho_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \rho_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \rho_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \rho_4 & 0 \end{bmatrix}$$

F_i = Taxa de Fecundidade; $i=1,2,3,4$

P_i = Probabilidade de sobrevivência; $i=1,2,3,4$

Ao multiplicar a matriz A, matriz de Leslie, pela população inicial, é possível obter a projeção da população para o próximo período por grupo etário.

No que refere aos nascimentos nos grupos etários alguns fatores devem ser considerados, dos quais, dependem do número de mulheres que sobreviveram a cada intervalo e sua exposição a TEF, além de levar em conta o número de nascidos sobreviventes até o próximo intervalo etário. Para isso utilizamos uma fórmula:

$$A_{1,j(x)} = \frac{nL_0}{2L_0} \left(nF_x + nF_{x+n} \frac{nL_{n+x}}{nL_x} \right) f_{fab}$$

Esta descreve os nascidos de determinado intervalo considerando apenas aqueles que sobreviveram até a próxima faixa, além de considerar a sobrevivência das mulheres que ficaram expostas a duas taxas de fecundidade, na faixa x e n+x.

No que tange a diagonal da matriz, temos que considerar os que sobreviveram até esse grupo etário que sobreviveram até o próximo. Os zeros no restante da matriz referem-se ao fato de que é impossível pular uma faixa etária ou mesmo voltar uma faixa etária.

Para projetar utilizando a matriz de Leslie projetamos inicialmente a fecundidade e a mortalidade e depois incorporamos o efeito das migrações. Segundo Wachter (2006) o modo como esse modelo é calculado pode ser relacionado com as Cadeias de Markov, contudo eles se diferenciam da matriz de Leslie por projetar uma probabilidade e ela a população.

Neste trabalho, será projetado uma população fechada, no qual, para cada período de projeção estamos considerando apenas quem nasce durante o período e os sobreviventes, em seguida que o saldo migratório será incorporado.

No que se refere a projeção da migração do Brasil, como é muito complicado abordar e estimar as suas tendências futuras, uma vez que, dependem de vários fatores como emprego, cultural, idade, sexo, dentre outros e não existe uma modelo exato para projetá-las, neste trabalho será assumido que as tendências da migração se manterão constantes ao longo do tempo. Tal valor, será aplicado na matriz de Leslie para que seja possível projetar a população futura do Brasil.

Para a projeção da população, foram utilizados como população inicial os dados por faixa etária, divulgados no Censo de 2010, referente ao tamanho populacional do Brasil. Todos os valores foram retirados do Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA¹ separados por sexo e faixas etárias por subgrupos de 5 anos.

3.2. Projeção da Taxa de Mortalidade

Como o número de óbitos que ocorrerão no futuro é um valor incerto, as taxas estimadas para a mortalidade não são exatas, contudo, há diversas maneiras de se calculá-la. Neste trabalho, as taxas de mortalidade serão projetadas pelo modelo Lee-Carter, no qual, nossa intenção é avaliar o impacto de se incorporar a incerteza em sua estimação.

O modelo Lee-Carter foi desenvolvido em 1992 por Ronald Lee e Lawrence Carter. Este é um modelo explorativo estocástico, que utiliza de séries temporais para projetar as taxas específicas de mortalidade futura. Ao longo dos anos o modelo foi aprimorado, possuindo algumas variações que visam resolver alguns de seus problemas e limitações. A sua ideia geral é que queremos projetar a mortalidade usando uma medida sistêmica. Os dados que temos, em geral, são multidimensionais e possuem muitas informações que, por sua vez, podem ser desnecessárias, tendo isso em vista, o modelo Lee-Carter busca uma forma de simplificar a representação desses dados sem perder muita informação relevante e permitir uma boa estimativa.

No modelo Lee-Carter buscamos estimar a taxa de mortalidade futura usando um modelo Log-Aditivo e um modelo ARIMA. No qual, a partir do Log-Aditivo, utilizamos as taxas específicas de mortalidade por idade com dois componentes, tempo e idade, para identificá-los é usado uma decomposição de matriz, cujos dados são advindos das taxas de mortalidade passadas.

Começamos usando uma matriz de dimensão $M \times U$ que contenha as taxas de mortalidade por idade(linhas) e pelo tempo(colunas), que são monotonamente ordenadas por tempo. Buscamos analisar o padrão de mortalidade de uma forma sistêmica e para isso é feita uma decomposição

¹ <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/200> - Acessado dia 03/01/2022

singular dos valores, que possibilita obter as informações referentes a estrutura média da mortalidade e como a mortalidade está variando a cada ano em relação a essa média. O modelo faz uma interpolação e uma extrapolação.

Lee-Carter é um método estocástico de regressão bilinear simples que parte da seguinte fórmula:

$$\ln[m(x, t)] = a_x + b_x k_t + e_{x,t} m(x, t)$$

$m(x, t)$ = Matriz da taxa de mortalidade central, para a idade x no tempo t ;

a_x = Média da curva geral do modelo;

b_x = Descreve o padrão do desvio da forma geral quando k varia dando a taxa de variação proporcional para cada idade ajustado pelo k ;

k_t = Índice do nível geral de mortalidade no tempo;

$e_{x,t}$ = Resíduos.

A partir do parâmetro a_x é possível entender a forma da mortalidade, por idade, nas taxas específicas. k_t descreve a variação do nível da mortalidade ao longo do tempo.

O modelo inicialmente irá calcular o a_x , que é constante no tempo, por meio da média dos valores de $\ln[m(x, t)]$ no tempo e, ao subtrair esse valor pelo $\ln[m(x, t)]$, serão obtidos os resíduos. Ao aplicar uma Decomposição de Valores Singulares nos resíduos, é possível encontrar os valores de b_x e k_t de tal modo que, ao juntar com os valores encontrados para o a_x , os resíduos sejam minimizados.

Durante o cálculo a_x e b_x são responsáveis por incorporar o efeito das idades no modelo, já o k_t é o parâmetro encarregado de incorporar as incertezas nos cálculos, dado que ele varia ao longo do tempo. Logo, queremos estimar o k_t de modo que seu valor seja o mais próximo do observado, uma vez que isso minimizará os resíduos.

O objetivo do modelo é encontrar um k para cada ponto no tempo. O k_t possui uma inclinação negativa devido a forma que o b_x foi estruturado na fórmula, além disso, ele é linear e flutua pouco em relação a tendência de queda, captando a evolução da mortalidade no tempo, além de reduzir a velocidade de declínio com o passar dos anos.

O k_t é um processo estocástico, representando por um passeio aleatório, que pode ser representado pela seguinte fórmula:

$$k_t = k_{t-1} + c + e_i$$

Por fim, usando os k_{t+n} projetados junto com os valores de a_x e b_x é possível para projetar as taxas específicas de mortalidade, utilizando a seguinte fórmula:

$$m(x, t) = \exp[a_x + b_x k_{t+n} S]$$

a_x = Média da curva geral do modelo;

b_x = Descreve o padrão do desvio da forma geral quando k varia (dá a taxa de variação proporcional para cada idade ajustado pelo k);

$k_{t+n} = k_t$ projetados.

S = Constante escalar, obtida a partir de $\ln[m(x, t)] - a_x$.

Em suma, podemos dizer que o modelo Lee Carter combina séries temporais com demográfica.

As vantagens de se usar Lee Carter é ele é um modelo muito preciso comparado a outros, além de ser bem simples de executar e ter parâmetros bem claros. Contudo, algumas de suas limitações são que ele precisa de uma série muito longa de dados para fazer os cálculos e, como assumimos a_x e b_x constantes entorno do nosso período de projeção, não consideramos o ritmo de mudança no padrão de mortalidade ao longo do tempo, além disso, como só tem parâmetros no lado direito da fórmula, o modelo não permite que seja feita uma regressão.

Para a aplicação do Lee-Carter, foram utilizados os dados disponibilizados pelo Institute for Health Metrics and Evaluation – IHME, encontrados no Health Data. A série histórica escolhida foi de 1970 a 2010.

3.3. Projeção da Taxa de Fecundidade

A projeção da fecundidade é mister para o bom entendimento do crescimento populacional, além de serem utilizadas no cálculo de alguns indicadores socioeconômicos, ela também é uma importante fonte de dado durante o período entre censos.

A taxa de fecundidade é uma das variáveis que incorporam os modelos de projeção e representam a estimativa dos nascimentos por mulher, ela pode ser dividida em Taxa Específica de Fecundidade (TEF) e Taxa de Fecundidade Total (TFT), além disso, existe a Taxa Bruta de Natalidade, no entanto, ela não será abordada neste trabalho, posto que, ela é muito influenciada pela estrutura etária. A TEF representa o número médio de filhos nascidos vivos, por mulher, por faixa etária em um dado período, já a TFT refere-se ao número médio de filhos nascidos vivos, por mulher, durante todo o seu período reprodutivo.

Para compreender as taxas de fecundidade deve-se analisar as características socioeconômicas, culturais e demográfica, uma vez que essas características estejam bem esclarecidas, estas são utilizadas para a construção dos pressupostos para os cálculos.

Segundo Bohk-Ewald, Peng Li, e Myrskylä (2018), por depender de diversos fatores, projetar a fecundidade não é algo trivial, tendo em vista isso, diversos métodos foram elaborados ao longo dos anos, dos quais trabalham desde uma abordagem determinística, como é o caso de uma projeção logística até modelos com técnicas estatísticas sofisticadas que incorporam incertezas em seus cálculos, seja por modelos Bayesianos ou por Séries Temporais.

De acordo com Alkema (2011), projeções probabilísticas para a TFT são utilizadas principalmente para os países desenvolvidos com taxa de fecundidade baixa. Para uma abordagem probabilística da projeção da taxa de fecundidade existem alguns modelos que podem ser usados, tais como os modelo Hierárquico Bayesiano ou o desenvolvido por Carl P. Schmertmann. Uma vantagem de se usar esses modelos é em relação aos seus parâmetros, que estão diretamente ligados a uma distribuição de probabilidade, não dependendo apenas das tendências da série histórica de dados. Contudo, tais modelos não serão abordados neste trabalho, uma vez que, para o Brasil, os dados necessários não são disponibilizados. (Schmertmann (2003)).

Por isso, neste trabalho serão testados três métodos, um determinístico por meio de uma interpolação logística e dois por meio de séries temporais, um modelo ARIMA e um por Lee Carter, uma vez que estes permitem incorporar incerteza em seu cálculo. A partir deles, será possível analisar qual produz a melhor projeção da fecundidade para os próximos 20 anos.

A projeção por um modelo determinístico é feita usando uma interpolação logística para simular o nível de fecundidade e o modelo relacional de Gompertz para projetar a estrutura de fecundidade, no qual este exige que seja estabelecido uma taxa de fecundidade base para a projeção da fecundidade.

De acordo com De Beer (1998), um modelo de série temporal é muito conveniente quando queremos projetar a taxa de fecundidade a um curto prazo. A base para o seu cálculo vem da ideia de utilizar dados de um passada recente para projetar as expectativas futuras da fecundidade, assumindo que no curto prazo as tendências se mantem as mesmas. Todavia, vale ressaltar que tal suposição não é condizente com a realidade, porém, é possível contornar essa problema por meio de ajustes nos modelos. Por isso, em projeções de longo prazo, por não

considerar o efeito de mudanças na estrutura da população, utilizar um método de série temporal pode não ser muito adequada.

Para a projeção da TFT, um modelo de séries temporais pode ser considerado eficiente, uma vez que, esta taxa não é muito influenciada por mudanças no tamanho e na distribuição da população, dado que tratam do número de filhos que uma mulher terá ao longo de todo o seu período fértil.

Modelos ARIMA e suas variações são muito utilizados na projeção da fecundidade, todavia, de acordo com De Beer (1998), um dos problemas em usar um modelo ARIMA para projetar por idade é que sua análise dos dados é incompleta, pois ele não consegue explorar os dados em sua completude. Entretanto, nesse trabalho, será projetado a fecundidade utilizando um modelo ARIMA para taxa de fecundidade futura, uma vez que o objetivo é analisar qual dos 3 métodos escolhidos anteriormente produz a melhor estimativa.

O modelo ARIMA univariado, que pode ser escrito da seguinte forma:

$$A_1[L(k)][1 - L(k)]^d F_{k,x} = B_1[L(k)]e_{k,x}$$

$A_1[L(k)]$ é um operador autorregressivo;

$F_{k,x}$ é o número de nascidos vivos no ano $k+x$ a cada 100 mulheres com ano de nascimento k ;

$L(k)$ é um operador Lag;

$B_1[L(k)]$ é um operador de média móvel;

$e_{k,x}$ distribution turm.

Outra forma de projetar a fecundidade é utilizando o modelo Lee Carter que, mesmo sendo muito utilizado para projetar a mortalidade, é considerado satisfatório na projeção da fecundidade. Contudo, vale ressaltar que, em projeções de longo prazo, este modelo pode apresentar uma taxa de fecundidade muito baixa, menor que 1, o que não é realista, neste caso, é necessário acrescentar mais um parâmetro ao cálculo do Lee Carter, de forma que limite a taxa de fecundidade a um valor mínimo.

3.4. Projeções do IBGE

No Brasil, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE é responsável pela coleta de dados, projeção dos indicadores e o tamanho populacional. Foi a partir de 1973 que ele começou a divulgar as projeções populacionais e em 2013 foram feitas algumas inovações nas metodologias de projeção. A partir delas, o instituto passou a ajustar a estrutura etária da população de partida, abriu os grupos etários até o grupo 90 anos ou mais e passou a utilizar o Método das Componentes Demográficas como forma de projetar as populações futuras. Este método é determinístico e incorpora as tendências das medidas de fecundidade, mortalidade e migração, utilizando a equação do equilíbrio populacional como base para sua projeção.

Em 2018, o IBGE apresentou uma nova revisão nas suas metodologias e, a partir dos dados de 2000 a 2016, fez uma análise profunda da fecundidade do Brasil.

As projeções elaboradas pelo IBGE são revistas a cada censo, que ocorre de 10 em 10 anos, ou quando algum evento atípico ocorre e modifica as estruturas populacionais, impactando nas tendências futuras. Segundo o próprio IBGE, os dados do Censo apresentam uma série de problemas, como a declaração da idade errada, principalmente de crianças e idosos, erros na cobertura dos domicílios, omissão de pessoas, dentre outros. Essas falhas na base de dados impactam nas projeções e para evitar distorções é necessário que seja feito uma série de ajustes.

O Método das Componentes Demográficas segue uma coorte de pessoas e suas variáveis demográficas ao longo do tempo sujeitos as taxas de mortalidade e fecundidade e a migração. Este modelo para a projeção da população por idade e sexo advém da equação de equilíbrio populacional, que pode ser escrita da seguinte forma:

$$P_{(t+n)} = P_{(t)} + B_{(t,t+n)} - D_{(t,t+n)} + I_{(t,t+n)} - E_{(t,t+n)}$$

$P_{(t)}$ = População no ano t;

$B_{(t,t+n)}$ = Nascimentos entre t e t+n;

$D_{(t,t+n)}$ = Óbitos entre t e t+n;

$I_{(t,t+n)}$ = Imigrantes entre t e t+n;

$E_{(t,t+n)}$ = Emigrantes entre t e t+n.

A população é calculada por sexo, ou seja, é feita uma projeção para os homens e uma para as mulheres, partindo do pressuposto que a proporção de mulheres é 0,4878 e dos homens é 0,5122.

Para a projeção do nível da Taxa de Fecundidade Total é empregado uma função logística utilizando dados de Censos passados. Para os estados que se encontram mais avançados na transição demográfica e já apresentam um declínio da fecundidade mais suave, foi aplicada uma interpolação para a projeção. Já o padrão da fecundidade, nos períodos intercensitários são obtidos também por interpolação.

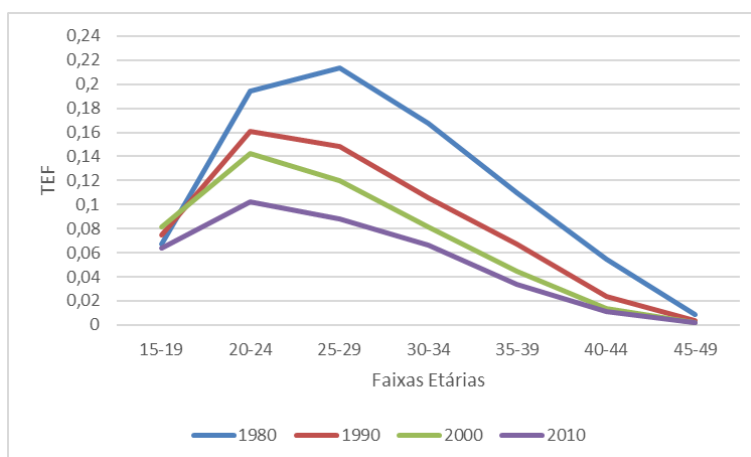
No que se refere a taxa de mortalidade, as tábuas de mortalidade são construídas baseando nos dados dos últimos censos e é assumido que o nível da fecundidade se manterá em queda, com um limite definido a partir da tábua divulgada pelo U.S. Bureau of the Census. Para que seja feita estas projeções, são ajustados e projetado separadamente, a taxa de mortalidade infantil, taxa de mortalidade feminina e depois ajustada a taxa de mortalidade masculina. Em geral, são feitas projeções por estado e depois é utilizado uma função de convergência para projetar para o país todo.

4. Resultados

4.1. Resultados da Projeção da Fecundidade

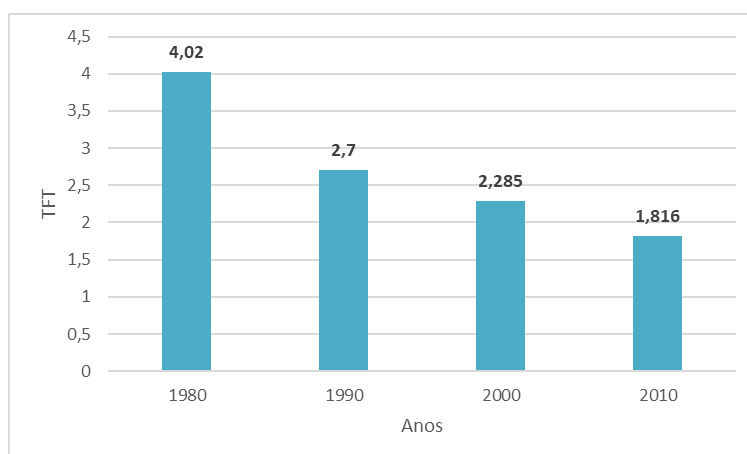
Inicialmente foi feita uma análise da taxa de fecundidade do Brasil dos anos de 1980 a 2010, para entender melhor suas tendências. Neste trabalho, os métodos utilizados para projetar a fecundidade se orientam no comportamento desta taxa no passado. Em função disso, foi elaborado um gráfico da Taxa Específica de Fecundidade do Brasil dos anos 1980 a 2010, figura 2. A partir dela podemos perceber que as maiores TEF se concentram nas faixas etárias de 20 a 24 anos e de 25 a 29 anos, sendo esta última, por causa da década de 80, em que, a sua TEF foi maior que a da faixa etária de 20 a 24 anos.

Figura 2: Gráfico da Taxa Específica de Fecundidade do Brasil de 1980 a 2010



Fonte: Human Fertility Collection ² disponível no Fertility Data.

Figura 3: Gráfico da Taxa de Fecundidade Total do Brasil de 1980 a 2010



Fonte: Human Fertility Collection ³ disponível no Fertility Data.

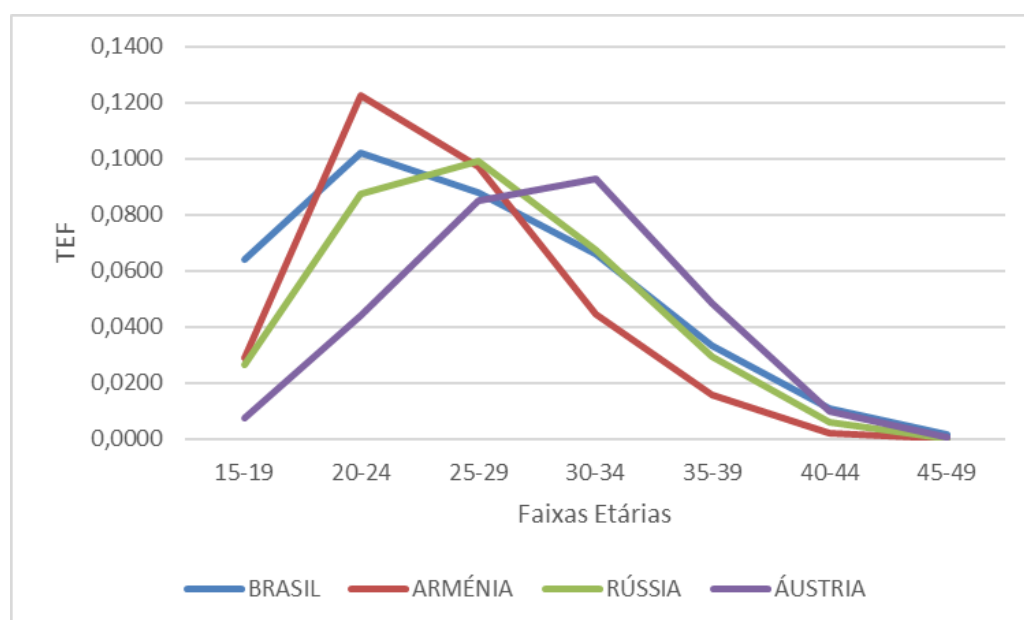
² Disponível no site: <https://www.fertilitydata.org/cgi-bin/data.php> - Acessado dia 27/11/2021

³ Disponível no site: <https://www.fertilitydata.org/cgi-bin/data.php> - Acessado dia 27/11/2021

No que tange a Taxa de Fecundidade Total, figura 3, podemos notar que de 1980 a 1990 houve uma grande queda no total de filhos esperados que uma mulher virá a ter ao longo da sua vida reprodutiva. Tal fato pode afetar as projeções, uma vez que, em comparação aos demais anos, a queda na fecundidade foi menos acentuada.

Para projetar a taxa de fecundidade pelo método determinístico é necessário usar uma taxa de fecundidade base, de modo que, teremos um limite para a projeção esperada para o ano 2030. Tendo isso em vista, foram selecionados 3 países para analisar qual apresentaria uma taxa de fecundidade mais plausível com as expectativas da fecundidade no Brasil no ano de 2030.

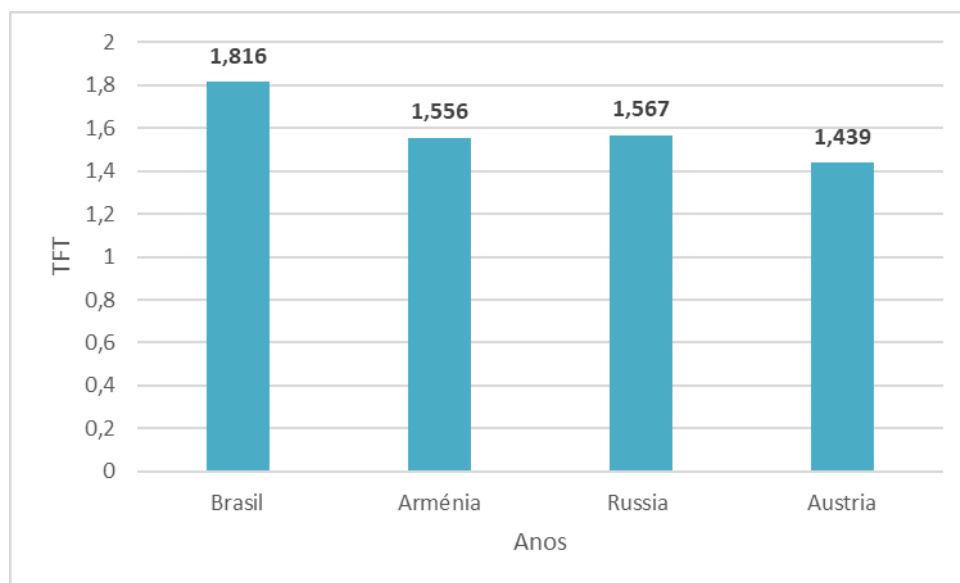
Figura 4: Gráfico das Taxas Específicas de Fecundidade no ano de 2010 para os países: Brasil, arménia, Rússia e Áustria



Fonte: Human Fertility Collection ⁴ disponível no Fertility Data

⁴ Disponível no site: <https://www.fertilitydata.org/cgi-bin/data.php> - Acessado dia 27/11/2021

Figura 5: Gráfico das Taxas de Fecundidade Total no ano de 2010 para os países: Brasil, arménia, Rússia e Áustria



Fonte: Human Fertility Collection ⁵ disponível no Fertility Data

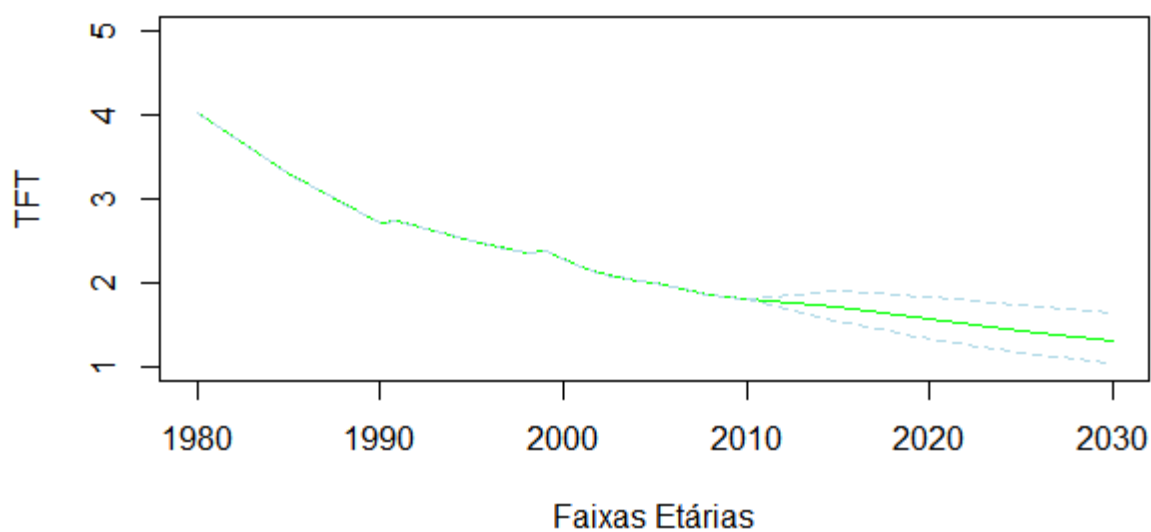
Ao observar a figura 4, podemos notar que, em relação a taxa específica de fecundidade do Brasil, o comportamento da fecundidade da Arménia no ano de 2010 não é o ideal para representar a fecundidade futura do Brasil. Uma vez que, ao utilizar suas taxas como referência, estaríamos assumindo que nas faixas etárias de 20 a 24 anos, em 20 anos, a TEF aumentaria em 0,02, o que não é algo realista, posto que, como visto na figura 2, desde 1980, o Brasil já vem caminhando para concentrar a maioria dos nascimentos entre as idades de 25 a 29 anos.

Considerando isso, passamos a analisar a Áustria, que apresenta a menor taxa de fecundidade dentre os países analisados, porém ela não foi escolhida por apresentar um deslocamento muito brusco da TEF nas faixas etárias de 15 a 19 anos e 20 a 24 anos, já que, ela já se encontra com uma TEF concentrada nas idades de 30 a 34 anos e esta seria uma mudança muito súbita para ocorrer em apenas 20 anos.

Por fim, ao analisar a Rússia podemos notar que ela se encontra com uma TEF concentrada nas idades de 25 a 29 anos e o formato da curva pode representar bem a fecundidade futura. Portanto, dentre os países analisados, a Rússia foi o que apresentou os melhores resultados. Logo, foram utilizados os dados da Rússia para estimar, pelo modelo determinístico, tanto o nível quanto a estrutura da fecundidade.

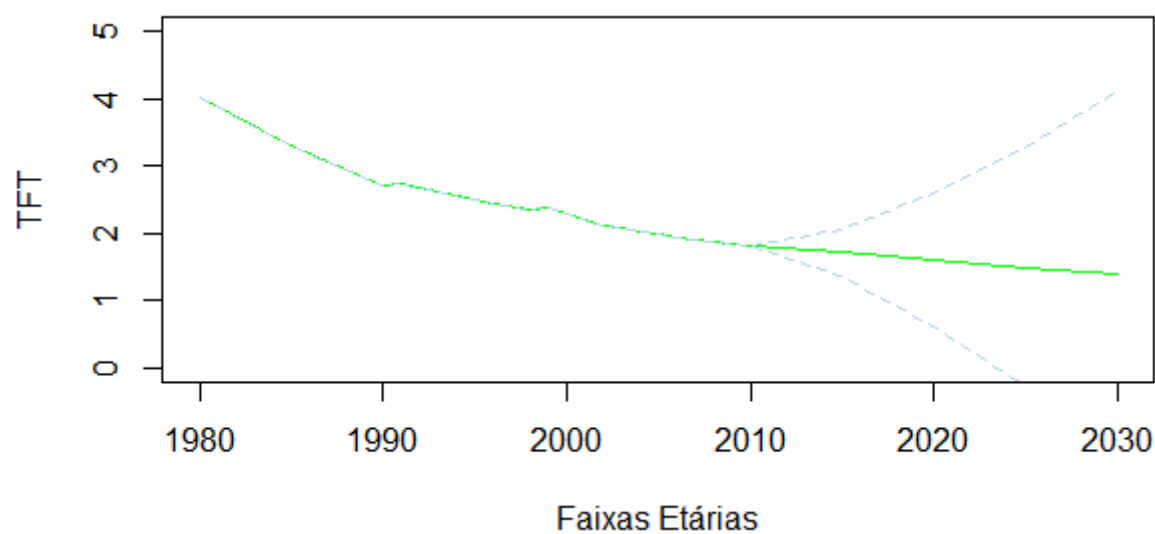
⁵ Disponível no site: <https://www.fertilitydata.org/cgi-bin/data.php> - Acessado dia 27/11/2021

Figura 6: Gráfico da Taxa de Fecundidade Total projetada usando o modelo Lee Carter de 2015 a 2030 e seu intervalo de confiança



Fonte: Human Fertility Collection ⁶ disponível no Fertility Data e projeção elaborada pelo autor.

Figura 7: Gráfico da Taxa de Fecundidade Total projetada usando o modelo ARIMA(0,2,1) de 2015 a 2030 e seu intervalo de confiança

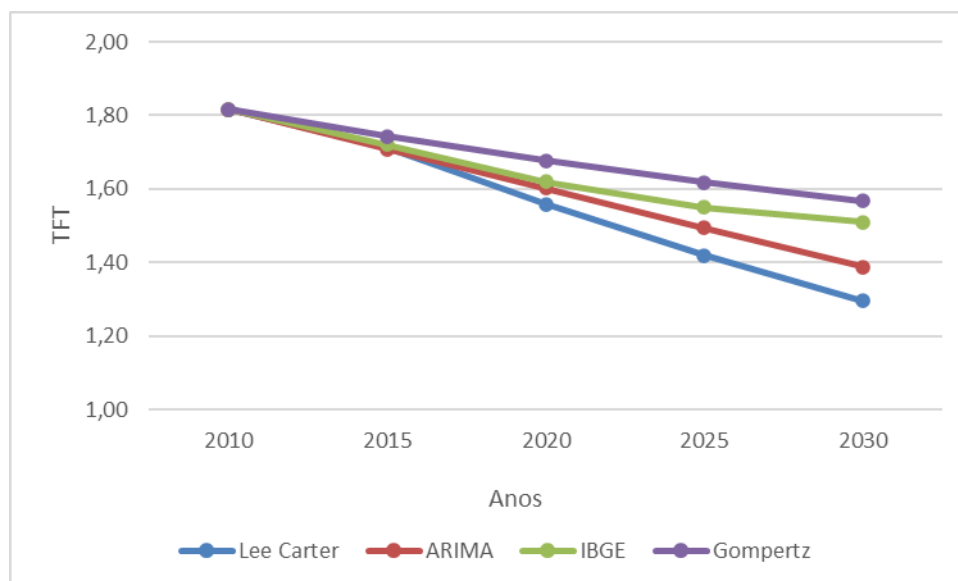


Fonte: Human Fertility Collection ⁷ disponível no Fertility Data e projeção elaborada pelo autor.

⁶ Disponível no site: <https://www.fertilitydata.org/cgi-bin/data.php> - Acessado dia 27/11/2021

1. ⁷ Disponível no site: <https://www.fertilitydata.org/cgi-bin/data.php> - Acessado dia 27/11/2021

Figura 8: Gráfico comparativo das projeções da Taxa de Fecundidade Total pelos métodos: Lee Carter, ARIMA e Gompertz



Fonte: Human Fertility Collection ⁸ disponível no Fertility Data, IBGE⁹ e projeção elaborada pelo autor.

Não há um consenso em relação qual o melhor método a ser usado para projetar a fecundidade, uma vez que há muitas variáveis a serem consideradas e, em algumas situações, é muito difícil medi-las, como é o caso de características culturais que influenciam na tomada de decisão sobre quando ou se terão um filho, que é muito subjetiva. Tendo isso em vista, foram testados três métodos de projeção da taxa de fecundidade, um determinístico e dois de séries temporais, dos quais, consideram incerteza em seu cálculo.

Ao analisar a figura 8, podemos identificar que os modelos de séries temporais apresentaram resultado bem próximo, contudo, a TFT para o ano de 2030, em ambos os casos, foi muito baixa, ficando em torno de 1,3 a 1,4 filhos por mulher ao longo da sua vida reprodutiva. Entretanto, tal resultado era de se esperar, uma vez que, segundo De Beer(1998), projeções usando séries temporais, por assumirem que as tendências passadas se repetiram no futuro, em um longo prazo, os valores projetados não seriam fidedignos ao real comportamento da população. Logo, como foram projetados 20 anos, é de se esperar algumas distorções.

Já quando comparamos a projeção usando um modelo determinístico, percebe-se que ela destoa dos métodos que consideram incerteza, apresentando uma TFT quase 0,1 a mais do que os

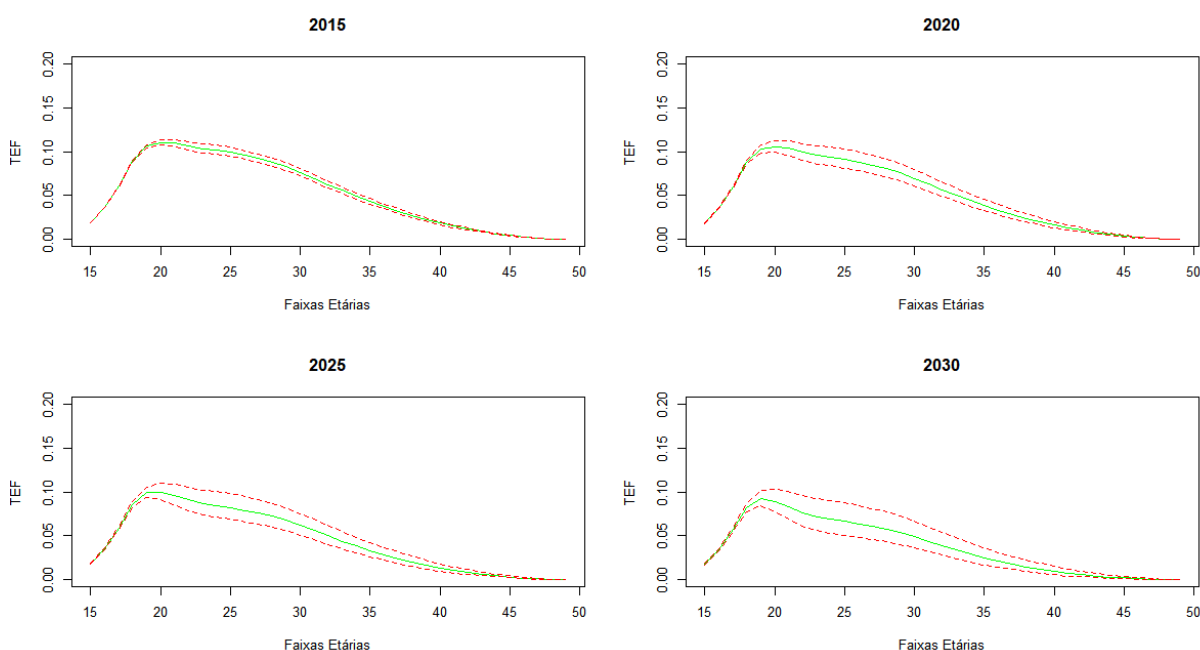
⁸ Disponível no site: <https://www.fertilitydata.org/cgi-bin/data.php> - Acessado dia 27/11/2021

⁹ Disponível em: http://ftp.ibge.gov.br/Projecao_da_Populacao/Projecao_da_Populacao_2013/nota_metodologica_2013.pdf - Acessado dia 28/11/2021

demais métodos. E ao compará-la com os dados divulgados pelo IBGE em sua Série de Relatórios Metodológicos publicados em 2013, podemos notar que a projeção utilizando um modelo determinístico de interpolação logística e modelo relacional de Gompertz apresentam valores bem próximos dos disponibilizados pelo IBGE, o que era esperado, visto que, são métodos bem próximos.

Em suma, no curto prazo, os métodos de projeção da taxa de fecundidade utilizando uma série temporal são melhores, contudo, no longo prazo, os métodos determinísticos apresentaram um resultado mais plausível para a TFT estimada. Contudo, como o objetivo desse trabalho é projetar a população incorporando a maior quantidade de incerteza possível, foi escolhido o modelo Lee-Carter para projetar os dados de fecundidade necessário para a projeção populacional pela matriz de Leslie, uma vez que, quando comparamos o intervalo de confiança gerado pelo modelo ARIMA, figura 7, e o intervalo de confiança gerado pelo modelo Lee-Carter, figura 6, podemos notar uma maior precisão por parte do Lee-Carter. Dessa forma, usamos os dados apresentados pelas figuras 9 e 10, que mostram a TEF projetada pelo Lee-Carter.

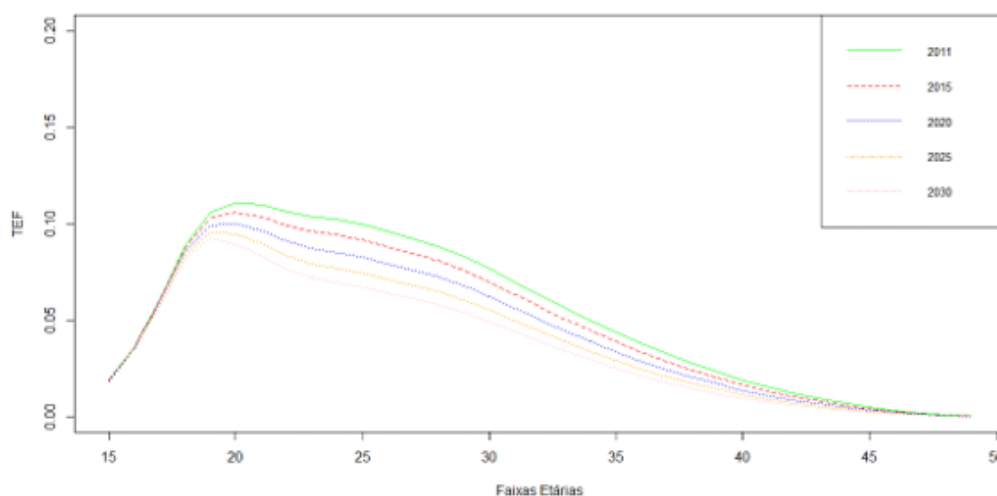
Figura 9: Gráfico da Taxa Específica de Fecundidade projetada usando o modelo Lee-Carter 2015 a 2030 e seu intervalo de confiança



Fonte: Human Fertility Collection ¹⁰ disponível no Fertility Data e projeção elaborada pelo autor.

¹⁰ Disponível no site: <https://www.fertilitydata.org/cgi-bin/data.php> - Acessado dia 27/11/2021

Figura 10: Gráfico da Taxa Específica de Fecundidade projetada usando o modelo Lee Carter 2011 a 2030



Fonte: Human Fertility Collection ¹¹ disponível no Fertility Data e projeção elaborada pelo autor.

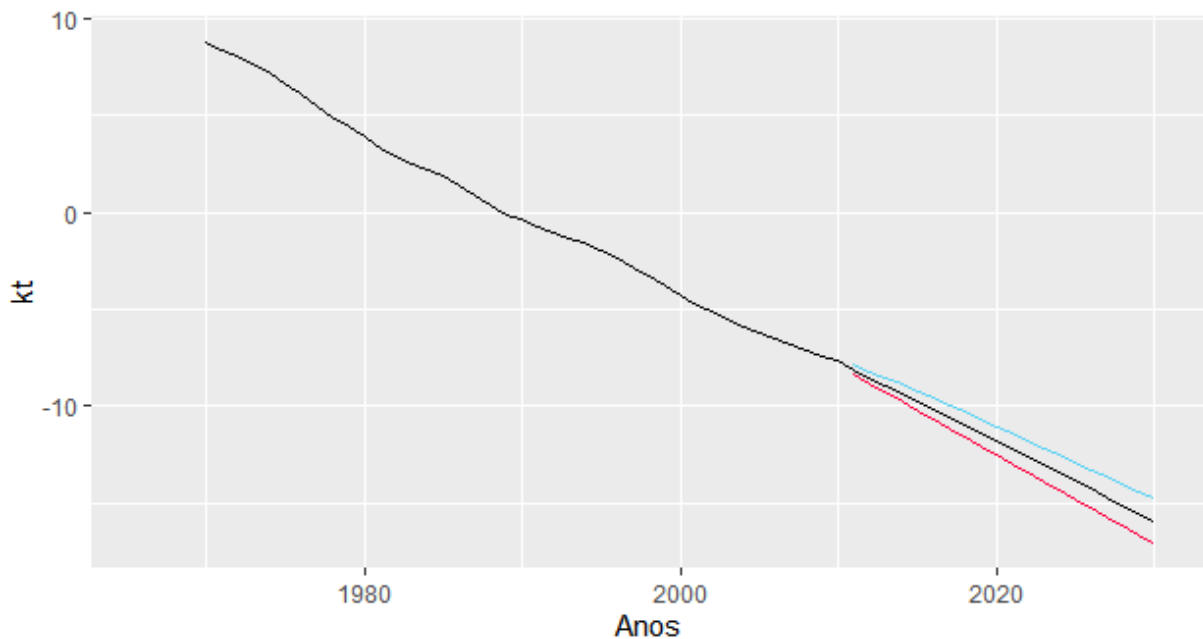
Em relação ao apresentado pela figura 9, podemos notar que com o passar dos períodos há uma maior variabilidade, logo o intervalo de confiança gerado pelo Lee-Carter é maior do que ao gerado para 2015, no qual demonstra uma grande precisão em sua estimação, como era de se esperar, dado que se trata de uma projeção de curto prazo. Ao analisar a figura 10, percebe-se que as expectativas para a fecundidade num período de 20 anos são de grande queda e concentrando os nascimentos nas idades de 20 a 25 anos.

4.2. Resultados da projeção da Mortalidade

Já no que se refere a projeção da taxa de mortalidade foi escolhido a metodologia desenvolvida por Lee e Carter (1992) é um modelo muito eficaz para projetar a mortalidade. A projeção para a TEM foi feita separando por sexo, logo foi aplicado o Lee-Carter para o conjunto de dados das mulheres e para o conjunto de dados dos homens.

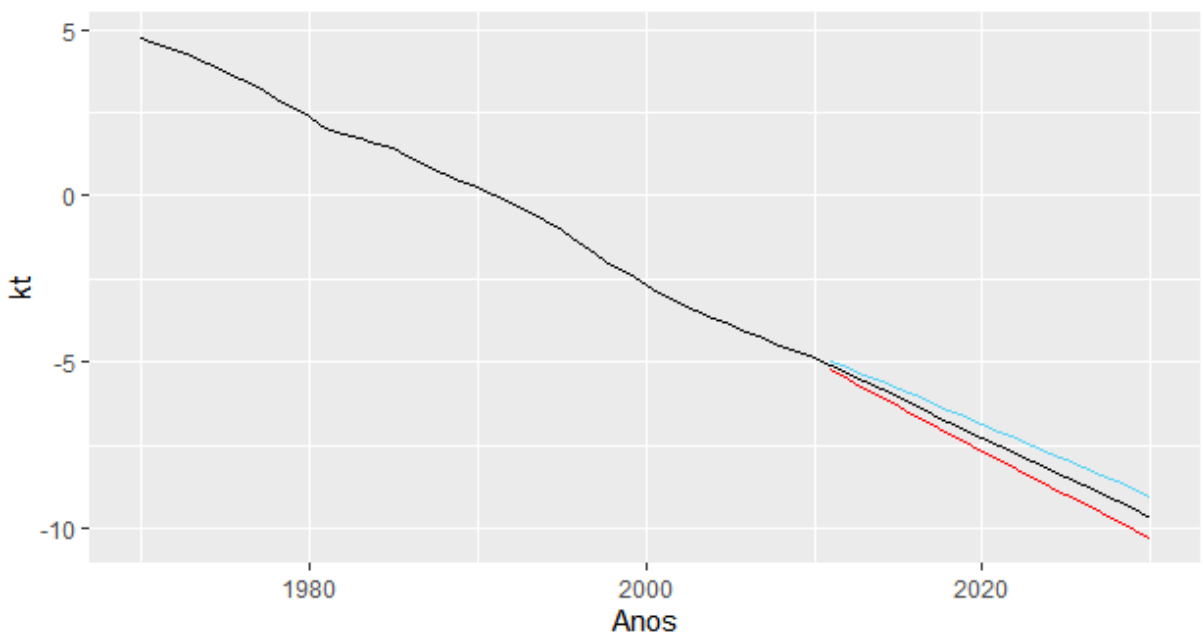
¹¹ Disponível no site: <https://www.fertilitydata.org/cgi-bin/data.php> - Acessado dia 27/11/2021

Figura 11: Gráfico da projeção dos Kt com um intervalo de confiança de 95% para as mulheres de 2011 a 2030



Fonte: IHME ¹² e projeção elaborada pelo autor.

Figura 12: Gráfico de projeção dos Kt com um intervalo de confiança de 95% para os homens de 2011 a 2030

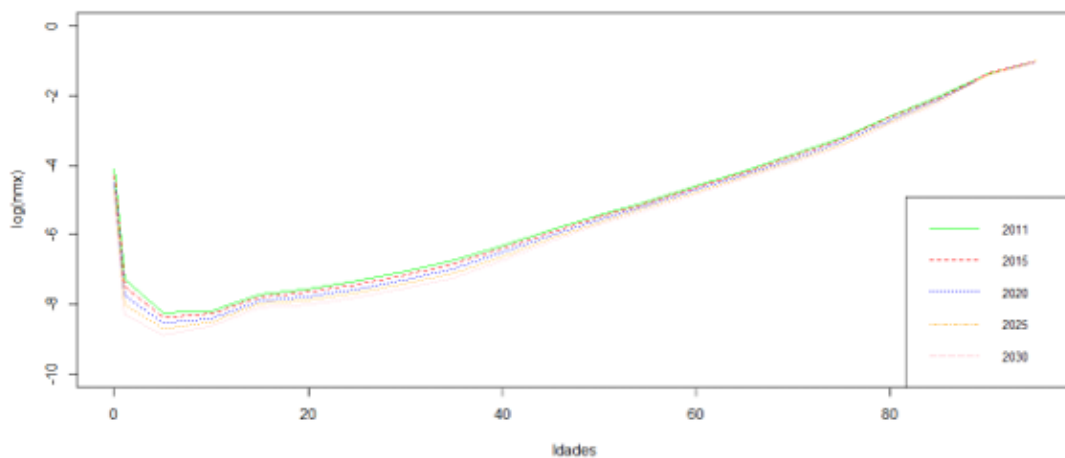


Fonte: IHME ¹³ e projeção elaborada pelo autor.

¹² Dados retirados do <https://www.healthdata.org/brazil> - Acessado dia 02/12/2021

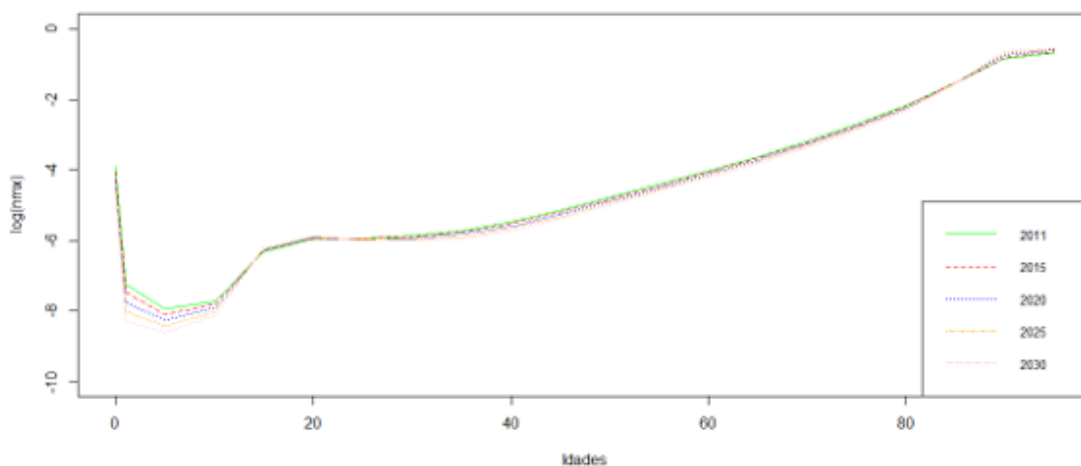
¹³ Dados retirados do <https://www.healthdata.org/brazil> - Acessado dia 02/12/2021

Figura 13: Gráfico da projeção da Taxa de Mortalidade Específica para as Mulheres de 2011 a 2030



Fonte: IHME¹⁴ e projeção elaborada pelo autor.

Figura 14: Gráfico da projeção da Taxa de Mortalidade Específica para os Homens de 2011 a 2030



Fonte: IHME¹⁵ e projeção elaborada pelo autor.

Em relação as figuras 11 e 12, é possível observar os intervalos de confiança gerados pelos Kt, variáveis do Lee-Carter que trabalham com as incertezas por meio de uma série temporal ARIMA, com isso temos que as tendências da mortalidade futura do Brasil são de queda e com intervalo de possibilidades relativamente pequeno, o que indica uma certa precisão nas projeções, dado que o nível de confiança é de 95%.

¹⁴ Dados retirados do <https://www.healthdata.org/brazil> - Acessado dia 02/12/2021

¹⁵ Dados retirados do <https://www.healthdata.org/brazil> - Acessado dia 02/12/2021

Já ao analisar as figuras 13 e 14 podemos notar que em ambos os casos a mortalidade de 0 a 1 ano é alta, o que é de se esperar, posto que, a taxa de mortalidade infantil para essa faixa é mais elevada, dado que é o período de maior vulnerabilidade da criança e o contexto que ela está inserida influencia muito. Em seguida, percebe-se uma queda na mortalidade para as faixas mais jovens e as projeções apontam que a expectativa até 2030 e que essa taxa continue caindo.

Vale ressaltar que, para os homens, em 15 e 25 anos, há um salto na taxa de mortalidade, provocando uma curva no gráfico que o das mulheres não apresenta, isso é de se esperar, visto que, devido ao contexto social e cultural, principalmente por causa da violência, os homens apresentam uma maior taxa de mortalidade no fim da adolescência e início da vida adulta. Esse efeito de seleção, com o passar do tempo vai se dispersando e se igualando ao das mulheres, voltando a ser perceptível apenas já nas idades mais avançadas, em que, acredita-se que se dê pela maior preocupação com a saúde por parte das mulheres, quando comparado aos homens.

Figura 15: Esperança de vida ao nascer do Brasil projetada de 2010 a 2030

Anos	Projetado		IBGE	
	Feminina	Masculina	Feminina	Masculina
2010	77,3	69,7	77,3	69,7
2015	78,2	70,5	79,0	71,8
2020	79,1	71,2	80,2	73,2
2025	79,9	71,9	81,2	74,3
2030	80,7	72,6	82,0	75,2

Fonte: IBGE ¹⁶para o ano de 2010 e de 2015 a 2030 elaborado pelo autor.

Em seguida, foi projetado a expectativa de vida por sexo até 2030 e, ao analisá-la, podemos evidenciar ainda mais a questão das mulheres apresentarem uma esperança de vida maior que a dos homens, neste caso de quase 8 anos, reflexo da taxa de mortalidade ser menor.

Quando analisamos as projeções feitas pelo Lee-Carter com as divulgadas pelo IBGE na Série de Relatórios Metodológicos para as projeções de 2018, podemos notar que, usando um método que considera incertezas, as estimativas da esperança de vida são menores do que a gerada pelo método determinístico. O aumento da expectativa de vida por parte do IBGE aparenta ser muito rápido, com um aumento muito grande de 2010 para 2015, de quase 2 anos, e apresentando um crescimento quase linear ao longo dos anos. Já quando observamos as projeções pelo Lee-Carter

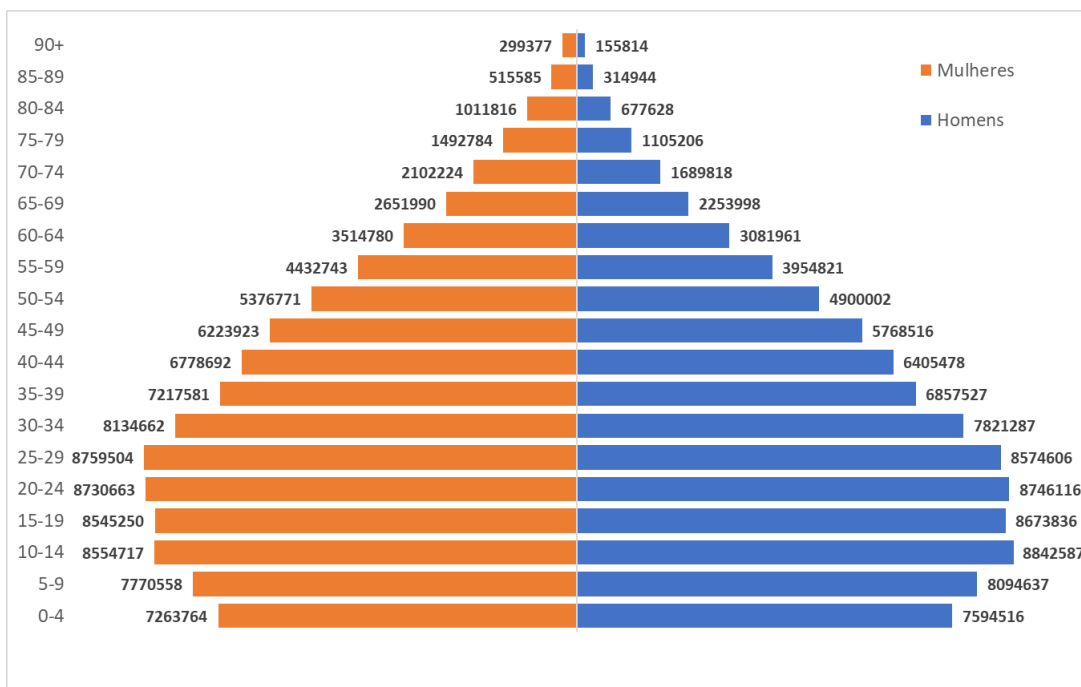
¹⁶ <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/200> - Acessado dia 03/01/2022

é possível perceber que o aumento da expectativa de vida ocorre de maneira mais homogêneo e começa a estabilizar próximo aos 80 anos para as mulheres e 72 para os homens.

4.3. Resultado da projeção da população

Ao aplicar o modelo da matriz de Leslie para projetar a população, utilizando as projeções feitas por Lee Carter para a mortalidade e a fecundidade, foram elaboradas pirâmides etárias a partir dos resultados obtidos e incorporado dados retirados das projeções da população brasileira por sexo e idade de 2000 a 2030 feitas pelo IBGE disponibilizadas em 2013. Dessa forma, será possível comparar a influência de se incorporar a incerteza nos cálculos de projeção.

Figura 16: Pirâmide etária do Brasil em 2010



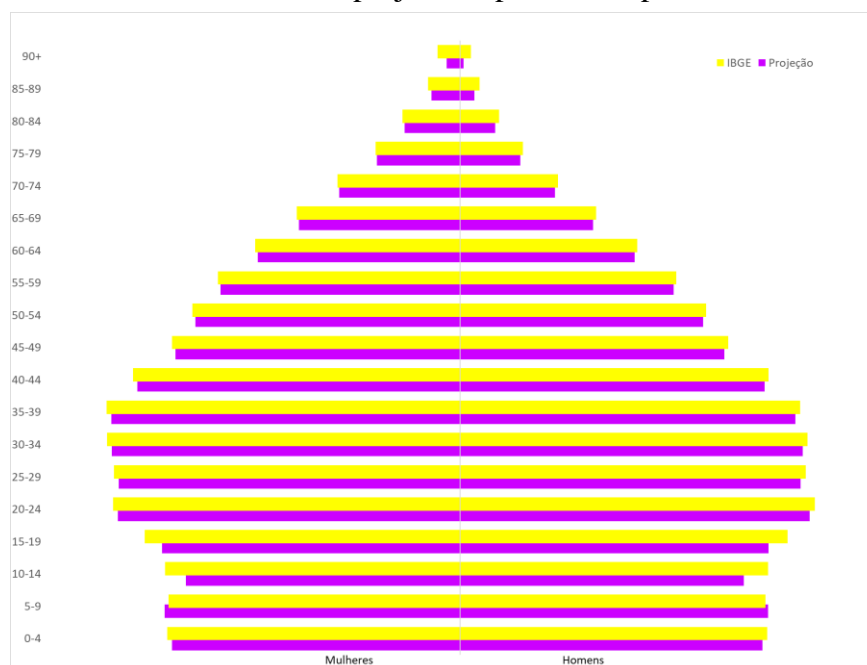
Fonte: IBGE referentes ao censo de 2010.

Figura 17: Pirâmide Etária do Brasil projetada para 2015 pela Matriz de Leslie, calculada considerando incerteza, cruzada com dados projetados pelo IBGE para o mesmo ano



Fonte: IBGE - Relatório de Projeção da População – revisão de 2018¹⁷ e projeção elaborada pelo autor.

Figura 18: Pirâmide Etária do Brasil projetada para 2020 pela Matriz de Leslie, calculada considerando incerteza, cruzada com dados projetados pelo IBGE para o mesmo ano

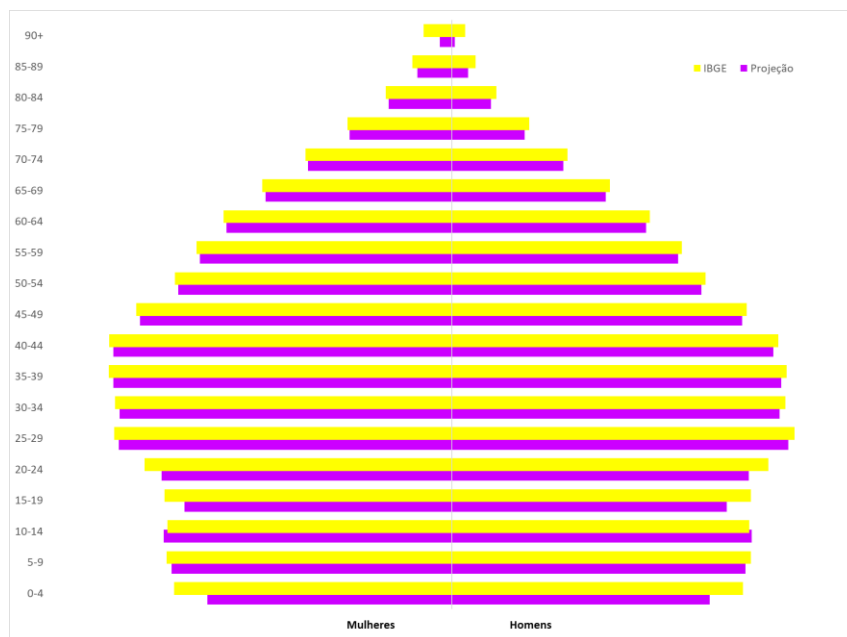


Fonte: IBGE - Relatório de Projeção da População – revisão de 2018¹⁸ e projeção elaborada pelo autor.

¹⁷ <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9109-projecao-da-populacao.html?=&t=resultados> - Acessado dia 03/01/2022

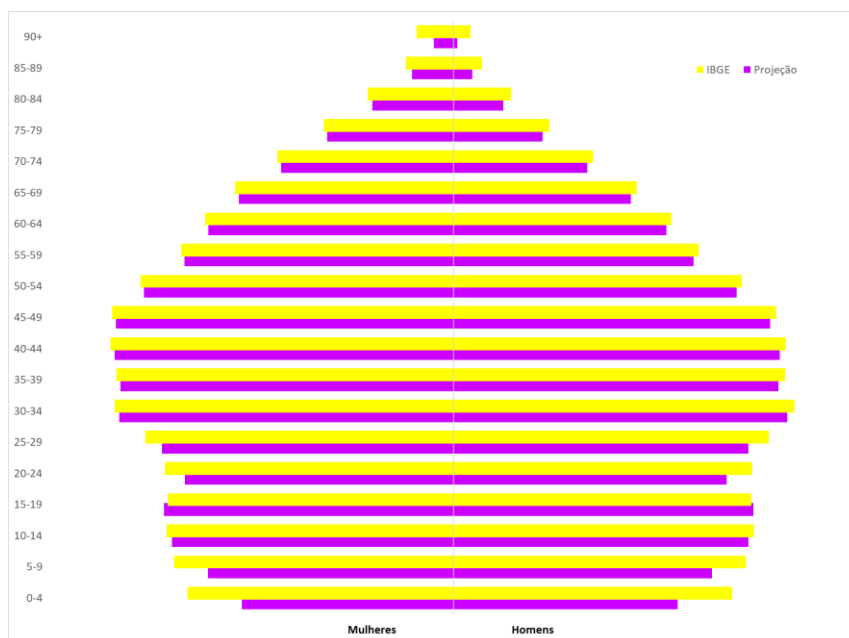
¹⁸ <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9109-projecao-da-populacao.html?=&t=resultados> - Acessado dia 03/01/2022

Figura 19: Pirâmide Etária do Brasil projetada para 2025 pela Matriz de Leslie, calculada considerando incerteza, cruzada com dados projetados pelo IBGE para o mesmo ano



Fonte: IBGE - Relatório de Projeção da População – revisão de 2018¹⁹ e projeção elaborada pelo autor.

Figura 20: Pirâmide Etária do Brasil projetada para 2030 pela Matriz de Leslie, calculada considerando incerteza, cruzada com dados projetados pelo IBGE para o mesmo ano



Fonte: IBGE - Relatório de Projeção da População – revisão de 2018²⁰ e projeção elaborada pelo autor.

¹⁹ <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9109-projecao-da-populacao.html?=&t=resultados> - Acessado dia 03/01/2022

²⁰ <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9109-projecao-da-populacao.html?=&t=resultados> - Acessado dia 03/01/2022

Ao observar as pirâmides etárias podemos notar que, no curto prazo, 2015 e 2020, as projeções tanto por Leslie, utilizando a projeção da taxa de mortalidade e fecundidade por Lee-Carter para incorporar a incerteza, quanto pelo método utilizado pelo IBGE apresentam resultados próximos. Com as variações mais significativas para a população de crianças, que em 2015, para as faixas etárias de 0 a 4 anos, a projeção por incerteza estima um número menor de nascimentos que a projeção apresentada pelo IBGE. Contudo, já na faixa de 5 a 9 anos, ocorre o contrário, com o IBGE apresentando uma estimacão menor do que a feita considerando incertezas. Tal fato é de se esperar, pois, como visto anteriormente, as projeções da fecundidade por Lee-Carter, que foram usadas na projeção da população, apresentam uma TFT bem menor do que a divulgada pelo IBGE.

Já nas projeções de médio prazo, para os anos de 2025 e 2030, as faixas etárias mais jovens apresentaram uma diferença maior quando comparado com as do IBGE, novamente, isso pode ser explicado pelo fator da TFT estimada por Lee-Carter apresentar um valor bem baixo.

Por fim, quando observamos as idades mais avançadas, o IBGE, para todos os anos, apresenta uma estimacão maior do que feita usando incertezas. Isso pode ser reflexo da falta de informações sobre os grupos etários de 85 a 89 anos e 90 anos ou mais e do fato que há muitas incertezas referentes a essas idades que não captadas pelo modelo com incerteza, dessa forma, nessas faixas finais, os modelos de séries temporais não são os mais adequados para projetá-los.

Figura 21: Taxa de crescimento da população Brasileira estimada de 2015 a 2030

Anos	População			Taxa de Crescimento
	Mulheres	Homens	Total	% a.a.
2010	97.348.809	93.406.990	190.755.799	-
2015	101.959.734	97.491.773	199.451.507	0,45
2020	105.929.124	100.874.034	206.803.158	0,36
2025	108.717.019	103.074.898	211.791.917	0,24
2030	110.324.830	104.040.176	214.365.006	0,12

Fonte: IBGE referentes ao censo de 2010 e projeção elaborada pelo autor.

Figura 22: Taxa de crescimento da população Brasileira estimada de 2015 a 2030 pelo IBGE

Anos	População			Taxa de Crescimento
	Mulheres	Homens	Total	% a.a.
2010	97.348.809	93.406.990	190.755.799	-
2015	103.894.681	99.581.002	203.475.683	0,65
2020	108.228.003	103.527.689	211.755.692	0,40
2025	112.047.789	106.981.304	219.029.093	0,34
2030	115.139.700	109.728.762	224.868.462	0,26

Fonte: IBGE.

Ao analisar as figuras 21 e 22, podemos notar que a taxa de crescimento esperada para os anos de 2015 a 2030 projetados pelo IBGE são consideravelmente maiores do que as projetadas considerando incertezas. Isso pode ser explicado, considerando que as projeções pelo Lee-Carter para a taxa de fecundidade subestimam o número de nascimento e, como podemos notar pelas pirâmides etárias expostas anteriormente, houve também uma distorção da projeção das idades mais avançadas, 90 anos ou mais, que também veio a ser subestimada pela projeção que considera incerteza. Tais fatos culminaram para uma taxa de crescimento menor que a esperada.

Figura 23: Razão de Dependência do Brasil projetada de 2015 a 2030

Razão de Dependência						
Anos	Jovens		Idosos		Total	
	Projetado	IBGE	Projetado	IBGE	Projetado	IBGE
2015	31,27	32,15	11,96	12,13	43,23	44,29
2020	29,85	30,11	13,68	14,18	43,53	44,29
2025	28,64	29,11	16,19	16,90	44,83	46,01
2030	25,59	28,36	19,04	20,06	44,63	48,14

Fonte: IBGE referentes ao censo de 2010 e projeção elaborada pelo autor.

Figura 24: Índice de Envelhecimento do Brasil projetada de 2015 a 2030

Anos	Projetado	IBGE
2015	38,23	37,67
2020	45,83	46,89
2025	56,53	58,29
2030	74,40	71,05

Fonte: IBGE referentes ao censo de 2010 e projeção elaborada pelo autor.

Ao observar a figura 23 podemos perceber que em todos os casos a Razão de Dependência projetada usando incertezas foi menor que a projetada pelo IBGE e essa diferença fica cada vez mais evidente em 2030. A partir da Razão de Dependência Jovem podemos evidenciar a baixa fecundidade provocada pela projeção utilizando Lee-Carter, já que a diferença entre eles é de aproximadamente 3 dependentes a menos do que o estimado pelo IBGE para o ano de 2030. Contudo, como explicitado anteriormente, utilizar uma série temporal não é o ideal para uma projeção de média a longo prazo da taxa de fecundidade, logo, era esperado tal diferença. Vale ressaltar que, com o Lee-Carter foi desenvolvido para a taxa de mortalidade, podemos notar que a diferença com o IBGE já não é tão expressiva, essa pequena diferença pode ser explicada, pois, para mortalidade, não foram usados dados retirados do IBGE e sim do IHME. No geral, as projeções para o curto prazo apresentaram uma bom desempenho.

Já no que se refere o Índice de Envelhecimento, figura 24, podemos perceber que, em 2030, para ambas as projeções, o Índice de Envelhecimento já apresenta um valor alto, por voltar de 70, o que demonstram um estado mais avançada na transição demográfica, reflexo do envelhecimento populacional e da redução da fecundidade.

5. Conclusão

Neste trabalho foram abordadas as projeções populacionais e analisado os efeitos de se incorporar a incerteza em seu cálculo comparando com as projeções divulgadas pelo IBGE, que são feitas a partir do Método das Componentes Demográficas, uma metodologia determinística. Baseado nisso, foi possível perceber que o Brasil como um todo encontra-se em um período de mudanças demográficas, no qual, tanto a fecundidade quanto a mortalidade estão caindo, seguindo tendências populacionais correntes.

No que tange a projeção da fecundidade, os métodos de séries temporais não são os mais adequados para projetar no longo tempo, o que ficou claro ao analisar os resultados das projeções da TFT pelo modelo ARIMA(0,2,1) e Lee-Carter.

Em suma, as projeções populacionais, mesmo sofrendo com algumas influências da projeção da fecundidade de médio prazo a partir do modelo Lee-Carter, apresentaram bons resultados, que são, em sua maioria, foram compatíveis com as expectativas futuras para o Brasil até 2030.

Na atuaria, as projeções estão presentes nas mais diversas áreas e são de suma importância para a acurácia dos trabalhos elaborados, visto que os atuários trabalham diretamente com a incerteza, uma projeção que não reflete a realizada pode impactar diretamente o equilíbrio técnico.

É possível notar que as projeções da população são amplamente utilizadas na atuaria, seja nos cálculos previdenciários, na saúde ou nos seguros. Nos cálculos de aposentadoria, para projetar os beneficiários e contribuintes é necessário que primeiramente seja projetado a população. Em Saúde Suplementar as projeções de indicadores demográficos são de suma importância para os cálculos de remissão. E já em seguros, principalmente os de vida, as projeções da mortalidade estão presentes em quase todos os seus cálculos.

Em síntese, boas projeções são importantes em diversos ramos da sociedade e, ao englobar incertezas em seus cálculos, podemos obter resultados mais fidedignos a realidade que estamos projetando, contudo, vale ressaltar que existem diversos métodos para projetar que levam em consideração as incertezas, por isso, é imprescindível que seja feita uma análise de qual o método mais adequado.

6. Referências

- Alkema, L., Raftery, A.E., Gerland, P., Clark, S.J., Pelletier, F., Buettner, T., and Heilig, G.K. (2011). “Probabilistic projections of the total fertility rate for all countries”. *Demography* 48(3): 815–839. doi:10.1007/s13524-011-0040-5.
- Alves, José Eustáquio Diniz - “Transição demográfica, transição da estrutura etária e envelhecimento” - REVISTA PORTAL de Divulgação, n.40, Ano IV. Mar/Abr/Mai, 2014
- Amaral, Ernesto F. L, Mariana Eugenio Almeida e Guilherme Quaresma Gonçalves. “Caracterização Dos Níveis De Fecundidade No Brasil, 1970–2010”. *Revista Espaço Para A Saúde | Londrina | v. 16 | n. 1 | p. 05-26 | jan/mar. 2015*
- Amaro, Lucas Campos e Luís Eduardo Afonso. “Quais são os efeitos do envelhecimento populacional nos sistemas previdenciários de Brasil, Espanha e França?”. *R. bras. Est. Pop.* 2018; Belo Horizonte.
- Araújo, José Duarte de. “Polarização epidemiológica no Brasil. *Epidemiol.*” *Serv. Saúde, Brasília* , v. 21, n. 4, p. 533-538, dez. 2012 .
- Batyr, Ewa, Tiziana Leone e Mikko Myrskylä – “Forecasting of Cohort Fertility by Educational Level in Countries with Limited Data Availability: The Case of Brazil”. MPIDR Working Paper WP 2021-011 | June 2021.
- Beltrão, K. I.; Camarano, Ana Amélia. “A Dinâmica populacional brasileira e a previdência social: uma descrição com ênfase nos idosos”. *Anais da 25a RBA Saberes e práticas antropológicas desafios para o século XXI* , v. 01, p. 1-20, 1999.
- Berquó, Elza e Suzana Cavenaghi. “Fecundidade em declínio: breve nota sobre a redução no número médio de filhos por mulher no Brasil”. *Jornal: Novos Estudos – CEBRAP*, março 2006.
- Bohk-Ewald C, Li P, Myrskylä M. “Forecast accuracy hardly improves with method complexity when completing cohort fertility”. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2018 Set 11.
- Borges, Andréa da Silva, Claudia da Silva Marques, Luana Paula Gentil de Brito, Vanessa Regina Lemos da Silva e Paulo de Martino Jannuzzi. “Projeções Populacionais No Brasil: Subsídios Para Seu Aprimoramento”. *Abep - Anais do XV Encontro Nacional de Estudos Populacionais* (2004).

Brito, Fausto - “A Transição Demográfica No Brasil: As Possibilidades E Os Desafios Para A Economia E A Sociedade”. R. bras. Est. Pop., São Paulo, v. 25, n. 1, p. 5-26, jan./jun. 2008

Brito, Fausto - “Transição demográfica e desigualdades sociais no Brasil” - R. bras. Est. Pop., São Paulo, v. 25, n. 1, p. 5-26, jan./jun. 2008

Camarano, Ana Amélia “Novo Regime Demográfico: uma nova relação entre população e desenvolvimento?” Rio de Janeiro : Ipea, 2014

Camarano, Ana Amélia “Os Novos Idosos Brasileiros Muito Além Dos 60?” - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – Ipea 2004.

Carmo, Roberto Luiz do., Ricardo de Sampaio Dagnino e Igor Cavallini Johansen. “Transição demográfica e transição do consumo urbano de água no Brasil”. Rev. bras. estud. popul. 31 (1) . Jun 2014 .

Carvalho, José Alberto Magno de, Diana Oya Sawyer e Roberto do Nascimento Rodrigues. “Introdução A Alguns Conceitos Básicos E Medidas Em Demografia” 2ª Edição. Associação Brasileira De Estudos Populacionais. 1998.

Castanheira, H., & Kohler, H. “Social Determinants Of Low Fertility In Brazil”. Journal of Biosocial Science, 49(S1), S131-S155. (2017).

Castro e Silva, Luciano Gonçalves de. IBGE. “Razão de Dependência Demográfico Previdenciária (RDDP): A Demografia contra Os Sistemas Previdenciários Públicos de Repartição Simples”. Artigo da ABEP, 2016

Closs, Vera Elizabeth e Carla Helena Augustin Schwanke - “A evolução do índice de envelhecimento no Brasil, nas suas regiões e unidades federativas no período de 1970 a 2010”. Rev. Bras. Geriatr. Gerontol., Rio de Janeiro, 2012; 15(3):443-458

Costanzi, Rogério Nagamine e Graziela Ansiliero. “Impacto Fiscal Da Demografia Na Previdência Social”. IPEA. Texto para Discussão 2017.

DE BEER, Joop. “Projecting age-specific fertility rates by using time-series methods”. European Journal of Population 5 (1989) p.315-346.

Estudos e Pesquisas • Informação Demográfica e Socioeconômica • n.38. 2 Edição. IBGE, 2021

Fígoli, M. G. B.; “Modelando e projetando a mortalidade no Brasil”. Revista Brasileira de Estudos da População, Brasília, v. 15, n.1, p. 95-113, 1998.

Fundo de População das Nações Unidas. “Fecundidade E Dinâmica Da População Brasileira”. Brasília, dezembro de 2018.

Giacomelli, G. S., Chiapinoto, F. V., Marion Filho, P. J., & Vieira, K. M. “Transição Demográfica E Gasto Público: Uma Análise Comparativa De Diferentes Contextos”. *Revista De Estudos Sociais*, 18(37), 164-181. (2017).

Gietel-Basten, Stuart, e Tomas Sobotka. “Uncertain Population Futures: Critical Reflections on the IHME Scenarios of Future Fertility, Mortality, Migration and Population Trends from 2017 to 2100.” *SocArXiv Paper*, 23 Set. 2020.

Hanafiah, Hazlenah e Abdul Aziz Jemain “Structural modeling of age specific fertility curves in Peninsular Malaysia: An approach of Lee Carter method”. *AIP Conference Proceedings* 1571(1):1062-1068. Novembro 2013.

Lebrão, Marcia Lúcia. O envelhecimento no Brasil: Aspectos da transição demográfica e epidemiológica. *Saúde Coletiva*, bimestral, año/vol. 4, número 017. Editora Bolina, São Paulo, Brasil, p. 135-140. (2007)

Lee, Ronald . “The outlook for population growth”. *Science*. 2011, Jul 29.

Lee, Ronald D. e Lawrence R. Carter - “Modeling and Forecasting U. S. Mortality” - *ournal of the American Statistical Association* - Vol. 87, No. 419 (Set, 1992), pp. 659-671 (13 pages)

Lee, Ronald e Andrew Mason. “Population Aging and the Generational Economy A Global Perspective”. Cheltenham, UK: Edward Elgar Publishing Limited. **Pag.:** xviii, 598. 2011.

Lee, Ronald. “The Demographic Transition: Three Centuries of Fundamental Change”. *Journal of Economic Perspectives*—Volume 17, Number 4—Fall 2003—Pages 167–190

Lima EEC, Queiroz, Bernardo Lanza. Evolution of the deaths registry system in Brazil: associations with changes in the mortality profile, under-registration of death counts, and ill-defined causes of death. *Cadernos de Saúde Pública* 2014.

Lin Shang, Han e Heather Booth & Rob Hyndman. "Point and interval forecasts of mortality rates and life expectancy: A comparison of ten principal component methods," *Demographic Research*, Max Planck Institute for Demographic Research, Rostock, Germany, vol. 25(5), pages 173-214. 2011.

Lin Shang, Han e Heather Booth - "Synergy in fertility forecasting: improving forecast accuracy through model averaging" *Genus: Journal of Population Sciences*, 76, Article number 27. 2020.

Maciel, Philipe Marques Carvalho. "Curvas de Preston para Minas Gerais 1991- 2010: Evolução Regional e o Papel do Programa de Saúde da Família". 2015.

Miller, Tim. "The fiscal impact of population aging in Brazil: 2005-2050". *Rev. bras. estud. popul.* 30 (suppl). 2013.

Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE – "Projeção Da População Do Brasil Por Sexo E Idade Para O Período 2000/2060 Projeção Da População Das Unidades Da Federação Por Sexo E Idade Para O Período 2000/2030". Agosto de 2013.

Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, Diretoria de Pesquisas e Coordenação de População e Indicadores Sociais. "Projeções da População Brasil e Unidades da Federação". Rio de Janeiro 2013. Série Relatórios Metodológicos volume 40

Miranda-Ribeiro, Adriana, and Ricardo Alexandrino Garcia. "Transition or transitions? Analyzing the fertility decline in Brazil in the light of educational levels." *Revista Latinoamericana de Población* 7.13 (2013): 91-106.

Miranda-Ribeiro, Adriana, Ricardo Alexandrino Garcia e Tereza Cristina de Azevedo Bernardes Faria. "Baixa fecundidade e adiamento do primeiro filho no Brasil." *R. bras. Est. Pop.*, v.36, 1-18, 2019.

Moema, G. Bueno Fígoli, Laura Rodríguez Wong, Marcos Roberto Gonzaga, Marília Miranda Forte Gomes, Glauco José de Matos Umbelino, José Alberto Magno de Carvalho e Bernardo Lanza Queiroz. "Projeção Populacional, Por Sexo E Grupos De Idades Quinquenais – Mesorregiões E Total De Minas Gerais, 2010-2050".

Omran, Abdel R. "The epidemiologic transition. A theory of the epidemiology of population change." em *Milbank Mem Fund Q*, volume 49 na pag. 509. (2005).

Queiroz, Bernardo Lanza e Diana O. T. Sawyer. "O que os dados de mortalidade do Censo de 2010 podem nos dizer?" *Revista Brasileira de Estudos de População* pag. 225-238. Dez 2012

Queiroz, Bernardo Lanza, Cássio Maldonado Turra e Elisenda Renteria Perez, 2006. "The Opportunities We Cannot Forgo: Economic Consequences Of Population Changes In Brazil," XV Encontro Nacional de Estudos Populacionais, ABEP, setembro de 2006. Projeto "Macroeconomic Demography of Intergenerational Transfers".

Queiroz, Bernardo Lanza, Flávio Henrique Miranda de Araújo Freire, Marcos Roberto Gonzaga e Everton Emanuel Campos de Lima. "Estimativas do grau de cobertura e da mortalidade adulta para as unidades da federação no Brasil entre 1980 e 2010". Rev. bras. epidemiol. 20 (Suppl 01). Maio 2017.

Queiroz, Bernardo Lanza., Lima, E.E.C., Freire, F.H.M.A. et al. Temporal and spatial trends of adult mortality in small areas of Brazil, 1980–2010. *Genus* 76, 36 (2020).

Raftery, Adrian E et al. "Bayesian Population Projections for the United Nations." *Statistical science : a review journal of the Institute of Mathematical Statistics* vol. 29,1 (2014): 58-68. doi:10.1214/13-STS419

Reis, Amanda – "TD 70 - Projeção das despesas assistenciais da Saúde Suplementar (2018-2030)" – Instituto de Estudo de Saúde Suplementar – IESS. 2018

Schmertmann, Carl P., Zagheni E, Goldstein JR, Myrskylä M (2014) "Bayesian forecasting of cohort fertility". *J Am Stat Assoc* 109:500–513.

Schmertmann, Carl P. (2003) "A system of model fertility schedules with graphically intuitive parameters". *Demographic Res* 9:81–110.

Sevcikova, Hana; Adrian E. Raftery e Patrick Gerland – "Probabilistic projection of subnational total fertility rates". *Demographic Research*, Volume 38, Artigo 60, Pag. 1843–1884 Publicado 8 Junho de 2018.

Silva, Adriana e Keli Regina Dal Prá - "Envelhecimento populacional no Brasil: o lugar das famílias na proteção aos idosos". *Argumentum*, Vitória (ES), v. 6, n. 1, p. 99-115, jan./jun. 2014.

Silva, Luciano Gonçalves de Castro. "Razão de Dependência Demográfica Previdenciária (RDDP): A Demografia contra Os Sistemas Previdenciários Públicos de Repartição Simples". Artigo da ABEP, 2016.

Stampe, Marianne Zwillig, Fernando Pozzobon, Thais Waideman Niquito – “Impactos da estrutura etária sobre o desempenho econômico das regiões do Brasil entre 1991 e 2010”. *Rev. bras. estud. popul.* 37 • 2020 • <https://doi.org/10.20947/S0102-3098a0116>.

Vallin, Jacques. “La Demografia”. Centro Latinoamericano de Demografia (CELADE). Serie E, Nº 41, Santiago, Chile, Outubro de 1994.

Vasconcelos, Ana Maria Nogales e Marília Miranda Forte Gomes. “Demographic transition: the Brazilian experience. Epidemiol”. *Serv. Saúde* v.21 n.4 Brasília dez. 2012

Vignoli, Jorge Rodriguez - “Adolescent fertility in Latin America and the Caribbean”. Latin American and Caribbean Demographic Centre – Population Division of the United Nations Economic Commission for Latin America and the Caribbean (ECLAC). Naciones Unidas. CEPAL. 9 de maio de 2016.

Wachter, Kenneth W. *Essential demographic methods*. Harvard University Press, 2014.

Wiśniowski, Arkadiusz, Peter W. F. Smith, Jakub Bijak, James Raymer & Jonathan J. Forster – “Bayesian Population Forecasting: Extending the Lee-Carter Method”. *Demography*, Vol. 52, No. 3, 12.05.2015, p. 1035-1059. June 2015.

Wong, Laura L. Rodríguez e J. A. Carvalho “O rápido processo de envelhecimento populacional do Brasil: sérios desafios para as políticas públicas” - *R. bras. Est. Pop.*, São Paulo, v. 23, n. 1, p. 5-26, jan./jun. 2006

World health statistics 2019: monitoring health for the SDGs, sustainable development goals. Geneva: World Health Organization; 2019. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.