

SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE CENÁRIOS DE CONSUMO DE ÁGUA

Joice Paz Silva

Bacharel em Ciência da Computação - UniCarioca - Rio de Janeiro

<https://orcid.org/0000-0001-8150-905X>

Manuel Martins Filho

Docente e Doutor em Engenharia de Sistemas e Computação - UniCarioca - Rio de Janeiro

<https://orcid.org/0000-0002-5391-5592>

Data de submissão: 04/04/2021

Data de aprovação: 25/10/2021

RESUMO

Este artigo traz com detalhes a elaboração de cenários de consumo de água utilizando modelos de simulação de modo a sugerir uma reflexão ética frente ao consumo atual de água, direta ou indiretamente. A problemática se estabelece pelo fato de a água ser um recurso finito e indispensável à sobrevivência, e pelo modo desastroso como a sociedade a utiliza encaminha-a para a extinção. Esse fato é facilmente demonstrado através de dados governamentais e geográficos quanto à disposição e utilização da mesma. Como forma de dar atenção a esse problema, foram criados cenários utilizando um modelo probabilístico baseado em Cadeias de Markov capaz de prever o consumo da água utilizando simulação computacional. A análise desses resultados explicita quais ações causam maior impacto no consumo da água sugerindo novas atitudes por parte de todos de modo a preservar esse recurso escasso e indispensável.

Palavras-chave: simulação computacional; probabilidade; estatística; processos de markov; água.

COMPUTATIONAL SIMULATION OF WATER CONSUMPTION

ABSTRACT

This article defines water consumption scenarios using simulation models in order to suggest an ethical reflection regarding the current water consumption, directly or indirectly. The problem is grouped by the fact that water is a finite and indispensable resource for survival, and by the disastrous way in which the society use it leads the resource to extinction. This fact is accessible through regulatory and geographical data regarding its use. As a way of paying attention to this problem, scenarios were created using a probabilistic model based on Markov Chains capable of predicting water consumption using computer simulation. The analysis of these results explains which actions have the greatest impact on water consumption, suggesting new attitudes on the part of everyone in order to make this scarce and indispensable resource.

Keywords: computer simulation; probability; statistics; markov processes; water.

SIMULACIÓN COMPUTACIONAL DE ESCENARIOS DE CONSUMO DE AGUA

RESUMEN

Este artículo detallaladefinición de unescenario de consumo de agua mediante modelos de simulaciónconelfin de sugerir una reflexión ética sobre el consumo actual de agua, directa o indirectamente. El problema se establece por elhecho de que elagua es un

recurso finito e indispensable para las emergencias, y por la forma desastrosa en que la sociedad al utilizarla conduce a la extinción. Este hecho es accesible a través de datos regulatorios y geográficos sobre su uso. Como forma de prestar atención a este problema, se crearon escenarios utilizando un modelo probabilístico basado en Cadenas de Markov capaz de predecir el consumo de agua mediante simulación computacional. El análisis de estos resultados explica qué acciones tienen mayor impacto en el consumo de agua, sugiriendo nuevas actitudes por parte de todos para preservar este recurso escaso e indispensable.

Palabras clave: simulación computacional; probabilidad; estadística. procesos de markov; agua.

1 INTRODUÇÃO

Tendo em mente os dados que serão apresentados, ciente de que o ciclo natural de renovação da água não é respeitado — pois retira-se mais do que pode ser reabastecido — esse trabalho surgiu com a intenção de simular computacionalmente modelos de cenários em que a presente perspectiva de consumo se mantenha ou não. A ferramenta desenvolvida viabiliza previsões sobre o estoque deste recurso essencial à vida e uma reflexão responsável sobre esse tema importante para nós, para as gerações futuras e para a existência e preservação da vida no planeta. Os objetivos incluem:

- utilizar de modelos de cenários de consumo passíveis de serem aplicados em um simulador computacional;
- criar uma estrutura computacional que seja capaz de demonstrar resultados de panoramas aplicados;
- gerar simulações para permitir a interpretação dos dados aplicados de forma que corroborem ou não com conclusões sobre o futuro do planeta.

Por uma questão indiscutível no que tange à continuidade da existência da vida, seja ela animal ou vegetal, é sabido da importância desse recurso que, como será visto, se demonstra mais escasso do que é popularmente conhecido. Portanto, a elaboração desse trabalho tem como objetivo elucidar questões relativas ao consumo desse recurso, utilizando modelagem computacional e simulação de cenários. A interpretação desses resultados permite a adoção de políticas que viabilizem um ideal de consumo preferível e mais ético.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Cientistas já estimaram que a água em nosso globo corresponda ao impressionante amontoado de $1.260 \cdot 10^{16}$ litros — um sextilhão duzentos e sessenta quintilhões de litros (MRV, 2013). Em todo o mundo, há a estimativa de que cerca de 97,5% de toda a água existente é salgada e, portanto, não própria para o consumo humano direto ou atividades de agricultura e pecuária. Do restante de 2,5% de água doce, cerca de mais da metade, aproximadamente 69%, é de difícil acesso, pois encontra-se em estado sólido nas geleiras. Cerca de 30% desse total se encontra no subterrâneo, ou seja, em aquíferos, e o restante de 1% encontra-se em rios. Ou seja, traduzindo em números aplicáveis: temos o total de $9.765 \cdot 10^{14}$ litros (9 quintilhões e setecentos e sessenta e cinco quatrilhões de litros) disponíveis para consumo. Lembrando aqui que o ciclo da água é autorrenovável.

Segundo a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura, 70% de toda água consumida no mundo é usada na pecuária e na agricultura. Além disso,

quase metade da água usada na agricultura é desperdiçada (ANA, 2019). Rastreamento a pegada hídrica do consumo de carne, por exemplo, podemos observar que para a produção de 1 kg de carne é gasto quase 16 mil litros de água⁵, o que corresponde a necessidade de uma pessoa adulta durante 4 meses. De acordo com a Organização das Nações Unidas, cada pessoa necessita de 3,3 mil litros de água por mês, ou seja, cerca de 110 litros de água por dia para atender às necessidades de consumo e higiene. No entanto, no Brasil, o consumo por pessoa pode chegar a mais de 200 litros por dia (SABESP, 2020). Segundo a ONU(2019), o gado é o maior consumidor de recursos hídricos, e, portanto, quem consome carne diariamente demanda um amontoado de 4 mil litros.

2.1 O consumo de água

O consumo *per capita* é o consumo médio de água por dia de uma pessoa, e pode ser expresso em litros por habitante por dia, ou seja, através da fórmula L/hab.dia. Marcos Von Sperling (1996) determinou valores comuns de consumo *per capita* de água exibidos na tabela abaixo, em que a primeira coluna define uma amostragem de habitantes e a segunda define o consumo de água em litros por habitante a cada dia.

Tabela 1: Variedade de Habitantes e consumo per capita.

Variedade de habitantes	Consumo per capita - L/hab.dia
< 2.000	130
2.000 - 10.000	125
10.000 - 50.000	133
50.000 - 120.000	128

Fonte: MAGALHÃES; MORENO; GALVÃO, 2001.

2.1.1 O crescimento populacional

Segundo o site de estatísticas do mundo (DATA WORLD BANK, 2020), a população mundial encontra-se próxima do saldo de 8 bilhões de pessoas, e o crescimento populacional — variável essa que pode ser descrita como simplesmente o aumento da quantidade de indivíduos humanos no planeta — é obtida através do saldo entre os valores de nascimentos e o de mortalidades, descrito por crescimento vegetativo, podendo ser positivo quando a primeira é maior que a segunda e negativo vice-versa.

Atualmente, essa taxa de crescimento encontra-se positiva no valor de 1,2% ao ano, contudo, a expectativa de vida está sempre ascendendo, uma vez que a Medicina avança assim como o saneamento básico etc. (FRANCISCO, 2020).

3 METODOLOGIA

A simulação computacional consiste na aplicação de técnicas estatísticas e matemáticas, seja usando linguagens de programação ou programas específicos para esse fim, de forma que seja possível reproduzir algum processo da realidade, seja ele da natureza ou industrial, como por exemplo, o de linha de produção numa empresa. Através de modelos de cenários é possível calcular e prever o comportamento de sistemas reais.

Com essa ferramenta pode-se fazer escolhas e observar acontecimentos que viriam ou não a acontecer, de forma que aconselhe ou não a tomada de alguma decisão. Esse processo tem como vantagem principal a capacidade de apontar o comportamento de um sistema sem esperar que ele aconteça, de forma que favoreça uma escolha prévia, não sendo necessária uma grande quantidade de dados ou observação contínua, isto é, a experimentação do cenário pode ser feita num espaço de tempo determinado (CIABURRO, 2020).

A desvantagem principal se dá pelo fato de o resultado gerado pelo modelo não ser exato, embora seja possível utilizar indicadores e adotar métricas para avaliar eventuais discrepâncias. Da mesma forma, a implementação pode gerar tentativas exaustivas de cálculos até se obter um resultado próximo do desejado. Outro fator decisivo é a qualidade dos dados de entrada que é determinante para garantir a confiabilidade dos resultados. As categorias de simulação computacional podem ser classificadas de acordo com alguns critérios. Um dos três tipos de categorias é o modelo estocástico que tem como principal característica ocorrer num tempo discreto. Dessa forma, ele aceita extrações de distribuições estatísticas aleatórias, e por ocorrer num tempo discreto, como previamente pontuado, lida com eventos e a mudança que ocorrem nos estados dos processos decorrentes desses eventos. É possível observar cenários e os eventos que acontecem a cada distribuição de probabilidade escolhida simplificando a aplicação das possibilidades e facilitando a interpretação dos resultados.

3.1 Conceitos dos processos de decisão de Markov e aplicação na linguagem de programação

O modelo de decisão de Markov, ou MDP, do inglês *MarkovDecisionProcess* (CIABURRO, 2020) é utilizado em situações em que os resultados são parcialmente aleatórios e parte deles definido pelo controle do tomador de decisões, ou seja, determinísticos. Esse processo ocorre num tempo discreto e da mesma forma que um processo estocástico é caracterizado pelos estados e ações que o sistema dispõe. Cada ação escolhida determina uma resposta aleatória que acarreta um novo estado e nessa transição entre estados surge uma recompensa onde o tomador de decisões avaliará sua escolha de acordo com o critério implementado. Especificamente, um processo é Markoviano quando o estado futuro do processo depende do instante observado, ou seja, do presente, e nunca dos acontecimentos passados.

O processo Markoviano se caracteriza pela relação de um Agente e um Ambiente com o objetivo de alcançar uma meta. O agente é o elemento que visa alcançar o objetivo e o ambiente é o elemento com o qual o agente interage. O agente pode conhecer, não conhecer ou conhecer parcialmente um ambiente. São características essenciais do agente (CIABURRO, 2019) constantemente interagir com o ambiente - o que acarreta mudanças de estado no ambiente durante essa interação, as ações disponíveis podem ser contínuas ou discretas, a escolha da ação por um agente depende do estado do ambiente e essa escolha requer certa inteligência, o agente tem uma "memória" das escolhas previamente realizadas.

Uma política determina o comportamento de um agente em relação às tomadas de decisão sendo uma parte fundamental do processo Markoviano, pois determina o comportamento do agente. Uma política é chamada ótima quando provê uma alta expectativa entre as ações possíveis, e dessa forma o agente não precisa manter em memória as ações tomadas, pois ele precisa apenas executá-las no estado atual para alcançar seu objetivo.

As cadeias de Markov são sistemas discretos, finitos e dinâmicos que exibem características do processo Markoviano. A transição entre estados ocorre em um formato probabilístico, em que o sistema evolui de modo que o passado afeta o futuro apenas através do presente. Como mencionado, um processo é Markoviano se sua evolução depende do valor atual do estado, ou seja, o estado depois de n passos. Podemos representar esse processo através da seguinte equação, onde um processo aleatório é caracterizado por uma sequência de variáveis aleatórias $X_0, \dots, X_n$ com valores dados num set $j_0, j_1, \dots, j_n$.

$$P(X_{n+1} = j | X_0 = i_0, \dots, X_n = i_n) = P(X_{n+1} = j | X_n = i_n)$$

Uma cadeia de Markov ocorre quando um processo X , sendo esse estocástico e com estados discretos, tem uma propriedade Markoviana, ou seja, o próximo estado depende apenas do estado atual, nunca da sequência que o precede. Uma cadeia de Markov é homogênea se a seguinte probabilidade de transição de estado não depende da etapa n , mas somente de i e j :

$$P(X_{n+1} = j | X_n = i)$$

Nessa hipótese, podemos assumir o seguinte:

$$p_{ij} = P(X_{n+1} = j | X_n = i)$$

Onde p_{ij} representam as probabilidades de mudança do estado i para o estado j .

As probabilidades conjuntas podem ser calculadas quando conhecemos os valores de p_{ij} e a seguinte distribuição inicial:

$$p_i^0 = P(X_0 = i)$$

p_i^0 - Representa a distribuição de probabilidade do processo no tempo zero.

3.1.1 Assumindo valores de probabilidade para os cenários de consumo

Os processos de Markov são modelos flexíveis que permitem que se assumam valores probabilísticos para que dessa forma seja previsto um resultado, ou seja, nesse modelo é permitido aderir probabilidades de forma que se observe um dado comportamento desejado, como veremos adiante. O modelo utilizado neste trabalho assume que o consumo de amanhã será afetado pelas condições de consumo atuais, aplicando dessa forma o conceito Markoviano. O modelo adotado considera também que a variável população representa o consumo geral do recurso. Ou seja, o valor do consumo depende essencialmente do quantitativo da população. Assim, os estados do modelo adotado representam valores de população ao longo do tempo. Um primeiro cenário terá a seguinte matriz de transição entre os estados, em que:

CA = cenário atual da população;

PA = população aumenta;

PD = população diminui.

Essa matriz define o retorno da probabilidade condicional $P(A | B)$, que indica a chance de um evento da A ocorrer após o evento B ter ocorrido.

$$P = \begin{bmatrix} CACA & CAPD & CAPA \\ PDCA & PDPD & PDPA \\ PACA & PAPD & PAPA \end{bmatrix}$$

Ou seja, essa matriz apresenta as seguintes probabilidades:

Na primeira linha = P(Cenário Atual | Cenário Atual); P(Cenário Atual | Pop Diminui); P(Cenário Atual | Pop Aumenta);

Na segunda linha = P(Pop Diminui | Cenário Atual); P(Pop Diminui | Pop Diminui); P(Pop Diminui | Pop Aumenta);

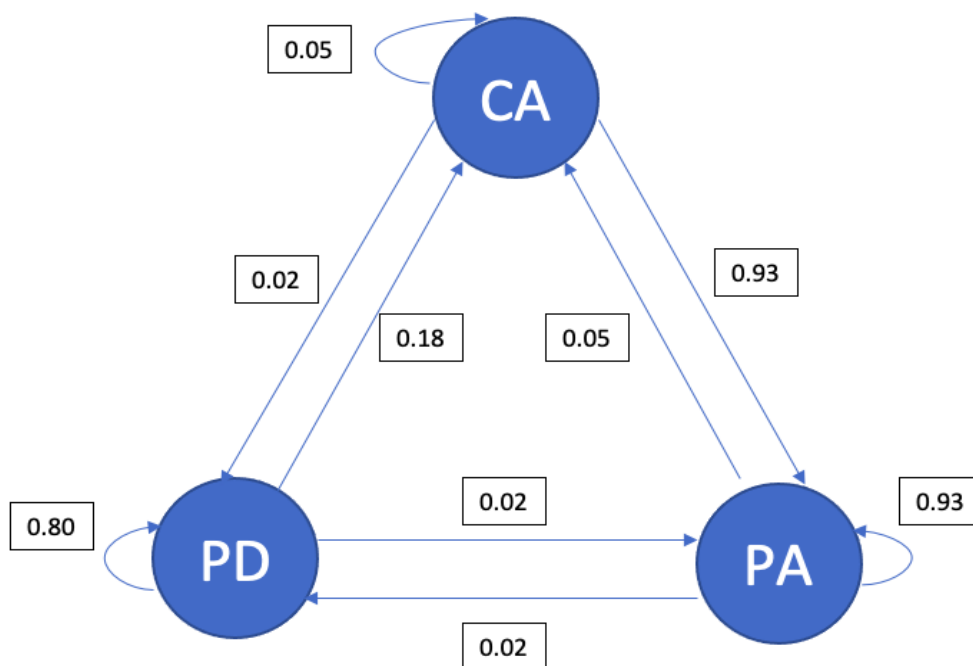
Na terceira linha = P(Pop Aumenta | Cenário Atual); P(Pop Aumenta | Pop Diminui); P(Pop Aumenta | Pop Aumenta).

Como os processos Markovianos são modelos estocásticos e, como previamente discutido, aceitam valores que podem ser escolhidos sem uma regra definida, podemos, portanto, assumir as seguintes probabilidades iniciais.

$$P = \begin{bmatrix} 0.05, 0.02, 0.93 \\ 0.18, 0.80, 0.02 \\ 0.05, 0.02, 0.93 \end{bmatrix}$$

O seguinte diagrama ilustra a transição dos estados e seus valores:

Figura 1: Diagrama de Estados.



Fonte: Próprio autor (2021).

Nessa matriz de probabilidade podemos entender que existem três cenários: CA, PA e PD. Na primeira linha entendemos que, nessa matriz P de probabilidade, existem 5% de chance de um cenário ir de CA para CA, 2% de chance de ir de CA para PD e 93% de ir de CA para PA. Na linha seguinte entende-se que há 18% de chance de um cenário ir de PD para CA, 80% de ir de PD para PD e 2% de ir de PD para PA. Na última linha vê-se que existem apenas 5% de chance de um cenário ir de PA para CA, 2% de chance de ir de PA para PD e finalmente 93% de chance de ir de PA para PA.

Essa matriz apresenta o retorno da probabilidade condicional $P(A|B)$, que indica a probabilidade do evento A ocorrer após o evento B ter acontecido. Nessa matriz além dos valores serem positivos a soma deve ser igual a 100% já que é uma matriz de probabilidades de eventos complementares. Nesse modelo, considera-se também a

hipótese de que o crescimento vegetativo da população é uma tendência histórica e permanente. No entanto, pode-se simular eventos em que a população permanece constante ou diminui. Aplicando esses valores no código em *Python* teremos:

Figura 2: Valores aplicados no código.

```
np.random.seed(3)
Estados = ['CA', 'PD', 'PA']

TransicaoEstados = [['CA', 'CAPD', 'CAPA'], ['PD', 'PDPA', 'PDPA'], ['PA', 'PAPD', 'PAPA']]
TransicaoProbabilidades = [[0.05, 0.02, 0.93], [0.18, 0.80, 0.02], [0.05, 0.02, 0.93]]
```

Fonte: Próprio autor (2021).

A função *np.random.seed(3)* inicializa a semente do gerador de números aleatórios, dessa forma a simulação será reproduzível e o experimento será garantido pelo fato da sequência gerada ser sempre a mesma. Para aplicação da distribuição sinalizada no item anterior foram usados: valores de população, quantidade disponível de água, consumo diário por pessoa e pegada hídrica de um dos alimentos que mais consome água.

3.1.2 Cenários considerados nas simulações

Segundo o Banco Mundial (Data World Bank, 2020), em 2019 a população mundial atingiu cerca de 7,6 bilhões. Como previamente calculado, há cerca de $9.765 \cdot 10^{14}$ de litros de água potável. Embora em muitos locais do Brasil o consumo diário de água passe dos 200 litros por pessoa (SABESP, 2020), nesse modelo usaremos o valor de 133 litros/pessoa/dia (Tabela 1). Estima-se que apenas 5% da população mundial sejam vegetarianas (G1, 2020), dessa forma, será levado em conta também o consumo de alimentos que causam maior impacto ambiental, como, por exemplo, a carne. De acordo com o site *Vegan Calculator* (The Vegan Calculator, 2020), uma pessoa que consome carne diariamente também utiliza 4.164 litros de água.

Esse trabalho considera para fins de demonstração e comparação de consumo dois cenários de população: pessoas que se alimentam de carne e pessoas que não se alimentam de carne. Dessa forma, será possível exibir a disparidade de consumo para cada cenário, o que traz, naturalmente, a possibilidade de uma reflexão sobre um consumo mais ético, ou seja, um consumo que obtenha menor valor de pegada hídrica. Como apontado anteriormente, um indivíduo que consome carne tem um gasto diário de 133 litros de água, mais o adicional de 4.164 litros da alimentação de carne, totalizando 4297 litros diários e 1.568.405 de litros num ano. Já o indivíduo que opta por se alimentar somente de vegetais e grãos poupa os 4.164 litros adicionais, logo, nesse modelo, esse indivíduo terá um gasto diário de 133 litros de água e o total de 48.545 de litros num ano. A seguinte tabela exibe esses valores:

Tabela 2: Consumo para população vegana e carnista.

Consumo de água	Litros Diário Médio	Litros Diário com Carne	Total de Litros Diário	Anual
Com carne	133	4164	4297	1.568.405
Vegano	133	0	133	48.545

Fonte: Próprio autor (2021).

Assim, o consumo de um não vegano (carnista) é 3131% maior que o consumo de um indivíduo vegano. Ou seja, o consumo do vegano não chega a 4% do valor do carnista.

3.1.3 Implementação do modelo

Os valores a serem simulados são inseridos no código criando-se listas de consumo, cenários e população, de forma que se visualizem os resultados em forma de gráficos. A simulação foi realizada para um intervalo de 160 anos, ou seja, 58.400 dias. Como o processo de Markov necessita de um valor inicial, o estado inicial também é definido. São insumos para o modelo: o valor do estoque de água, população, quantidade de água por tipo de população e a taxa de aumento. Tendo obtido os insumos matemáticos necessários à compreensão do funcionamento do modelo Markoviano, assim como a definição formal de uma simulação computacional e suas características, este item aborda a implementação do modelo utilizado para simular o cenário e os resultados obtidos. Os gráficos gerados facilitam a interpretação dos resultados obtidos com a aplicação do modelo. A linguagem de programação utilizada foi Python 3, num computador MacBook Air 2017, processador 1.8GHz Dual-Core Intel Core i5, 8GB DDR3 1600MHz, placa gráfica Intel HD Graphics 6000 1536MB, sistema operacional macOS Catalina.

Figura 3: Valores aplicados no código.

```
11 listaConsumoAguaCarnista = list()
12 listaConsumoAguaVeg = list()
13 listaCenarios = list()
14 listaPopulacao = list()
15
16 NumDias = 58400 #160 anos
17 PrevisaoHoje = Estados[0]
18
19 QtdAguaDisponivelCenarioCarnista = 976500000000000000
20 QtdAguaDisponivelCenarioVeg = 976500000000000000
21
22 Populacao = 7600000000
23 taxaAumentoPopulacao = 0.012
24 PessoasAumentoPorDia = 0
25
26 qtdAguaDiariaConsumidaPessoaVegetariana = 133
27 qtdAguaDiariaConsumidaPessoaCarnista = 4297
28
29 totalDiasCA = 0
30 totalDiasPD = 0
31 totalDiasPA = 0
```

Fonte: Próprio autor (2021).

Após a importação das bibliotecas necessárias e dos insumos que serão utilizados, preenchidos, são criadas funções para manipulação da população, sendo essas:

Figura 4: Funções de manipulação populacional.

```
33 def aumentarPopulacao(PopulacaoTotal):
34     return PopulacaoTotal + PessoasAumentoPorDia
35
36 def diminuirPopulacao(PopulacaoTotal):
37     return PopulacaoTotal - PessoasAumentoPorDia
38
39 def totalPessoasPorDiaComTaxa(Populacao):
40     AumentoPessoasAnual = Populacao * taxaAumentoPopulacao
41     PessoasAumentoPorDia = AumentoPessoasAnual / 365
42
43     return PessoasAumentoPorDia
```

Fonte: Próprio autor (2021).

Logo abaixo são criadas as funções para o consumo de cada tipo de população e a variável *PessoasAumentoPorDia* é preenchida para a taxa de população inicial, ou seja, do primeiro ano.

Figura 5: Funções de consumo.

```
def consumirAguaCarne(Populacao, QtdAguaDisponivel):
    return QtdAguaDisponivel - (qtdAguaDiariaConsumidaPessoaCarnista * Populacao)

def consumirAguaVeg(Populacao, QtdAguaDisponivel):
    return QtdAguaDisponivel - (qtdAguaDiariaConsumidaPessoaVegetariana * Populacao)

PessoasAumentoPorDia = totalPessoasPorDiaComTaxa(Populacao) #taxa do primeiro ano
```

Fonte: Próprio autor (2021).

Por fim, é criado um laço de repetição iniciando-se do dia um até o dia *NumDias*, onde é verificada a previsão do dia atual e para cada estado. Através da função *np.random.choice()*, é gerada uma condição aleatoriamente, ou seja, é retornado amostras aleatórias através de um array, sendo esse *TransicaoEstados[x]*, o primeiro parâmetro. O segundo parâmetro define se a amostra está com ou sem substituição. Por último, o terceiro parâmetro explica a probabilidade associada para cada entrada do array.

Figura 6: Laço de repetição e verificação da condição.

```
for i in range(1, NumDias):  
    if PrevisaoHoje == 'CA':  
        Condicao = np.random.choice(TransicaoEstados[0], replace = True, p = TransicaoProbabilidades[0])  
  
        if Condicao == 'CACA':  
            totalDiasCA += 1  
        elif Condicao == 'CAPD':  
            PrevisaoHoje = 'PD'  
            totalDiasPD += 1  
            Populacao = diminuirPopulacao(Populacao)  
        elif Condicao == 'CAPA':  
            PrevisaoHoje = 'PA'  
            totalDiasPA += 1  
            Populacao = aumentarPopulacao(Populacao)  
  
    elif PrevisaoHoje == 'PD':  
        Condicao = np.random.choice(TransicaoEstados[1], replace = True, p = TransicaoProbabilidades[1])  
  
        if Condicao == 'PDPD':  
            totalDiasPD += 1  
            Populacao = diminuirPopulacao(Populacao)  
        elif Condicao == 'PDCA':  
            PrevisaoHoje = 'CA'  
            totalDiasCA += 1  
        elif Condicao == 'PDPA':  
            PrevisaoHoje = 'PA'  
            totalDiasPA += 1  
            Populacao = aumentarPopulacao(Populacao)  
  
    elif PrevisaoHoje == 'PA':  
        Condicao = np.random.choice(TransicaoEstados[2], replace = True, p = TransicaoProbabilidades[2])  
  
        if Condicao == 'PAPA':  
            totalDiasPA += 1  
            Populacao = aumentarPopulacao(Populacao)  
        elif Condicao == 'PAPD':  
            PrevisaoHoje = 'PD'  
            totalDiasPD += 1  
            Populacao = diminuirPopulacao(Populacao)  
        elif Condicao == 'PACA':  
            PrevisaoHoje = 'CA'  
            totalDiasCA += 1
```

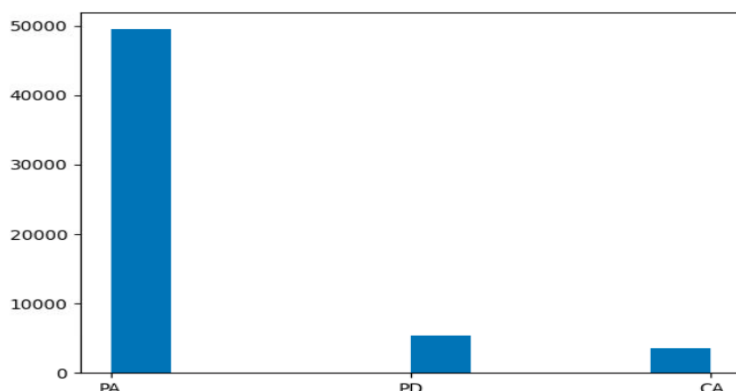
Fonte: Próprio autor (2021).

Ainda dentro do laço de repetição é atualizada a cada ano a taxa de aumento populacional, a água que é consumida para cada tipo de população e esses valores são adicionados em listas. Ao final da repetição, utilizando o recurso da biblioteca *matplotlib.pyplot* os gráficos são gerados.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Ao modelar o diagrama de estados com as probabilidades dispostas para cada evento, obtivemos a seguinte disposição de cenários num teste que simula 160 anos, ou seja, 58.400 dias.

Figura 7. Histograma de cenários.

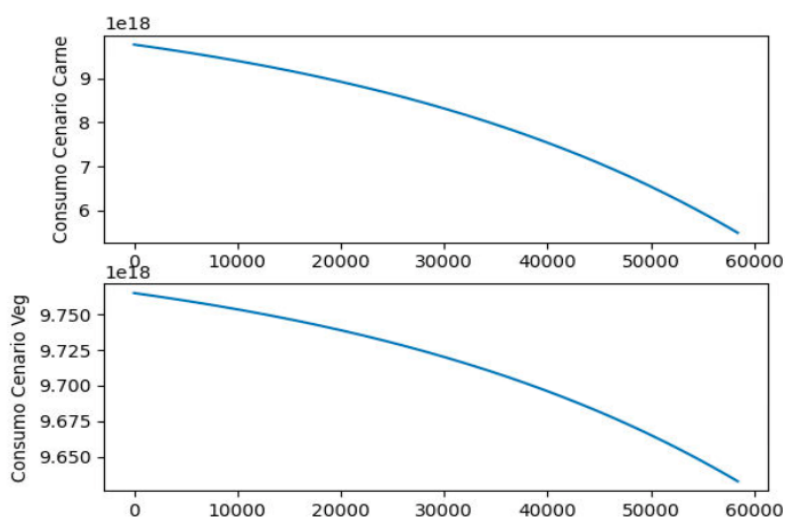


Fonte: Próprio autor (2021).

- Total dias PA: 49.524 - população aumentando
- Total dias PD: 5.385 - população diminuindo
- Total dias CA: 3.490 - população constante

A seguir, foi disposto um gráfico de consumo para o caso da população que consome carne e um gráfico para o consumo de uma população vegetariana. Por mais que o desenho se apresente semelhante, os valores são eximamente destoantes. Os dados dispostos na linha y do gráfico (vertical) representam o consumo de água e o quanto ela vai diminuindo conforme os dias — linha x (horizontal) — vão passando. Em outras palavras, tem-se inicialmente o valor total da quantidade de água no começo da linha que representa o consumo da água ao passar dos dias observados, que são 58400 dias. Percebe-se o seguinte: pela curvatura da linha cruzando o gráfico demonstrando esse consumo e a disparidade de valores entre ambos os cenários, que no primeiro cai de 9 para abaixo de 6 e no segundo permanece no 9.

Figura 8. Comparação de Cenários.



Fonte: Próprio autor (2021).

Antes dos gráficos serem mostrados, são exibidos os valores para os cenários onde há o total que sobrou do consumo da população carnista (cinco quintilhões e quatrocentos e noventa e um quadrilhões de litros), há o total que sobrou do consumo da população vegetariana (nove quintilhões e seiscentos e trinta e dois quadrilhões de litros), o quanto a população carnista consumiu nesses anos (mais de quatro quintilhões de litros) e o quanto a população vegetariana consumiu nesses anos (cento e trinta e dois quadrilhões de litros). Percebe-se a grande disparidade de consumo entre as populações através desses valores de consumo de água.

Figura 9. Resultados do Console.

```
Total dias CA: 3490
Total dias PA: 49524
Total dias PD: 5385

Qtd Agua Disponivel Cenario Carnista: 5491979023135739904
Qtd Agua Disponivel Cenario Veg: 9632742194572365824

Consumo de Agua Cenario Carnista: 4273020976864260096
Consumo de Agua Cenario Veg: 132257805427634176

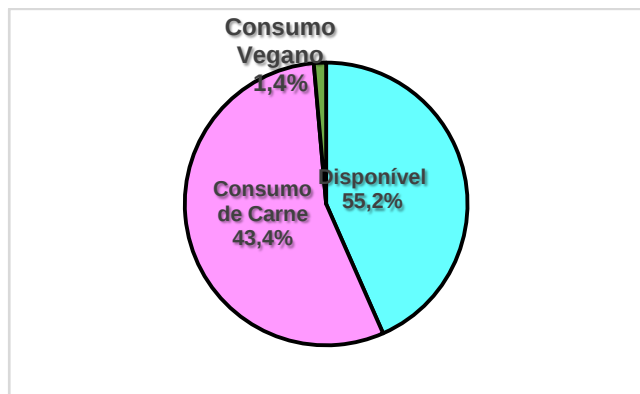
Total populacao: 32222642131
```

Fonte: Próprio autor (2021).

Podemos perceber que nesse cenário ao longo de 160 anos, como fora previamente decidido, a população teve um aumento de 24 bilhões de pessoas.

Neste gráfico, na linha y (vertical), são representados os valores da população, inicialmente com o total de 7 bilhões e conforme a linha x (horizontal) dos anos passam, a linha aumenta passando dos 30 bilhões de pessoas.

Figura 10. Consumo em porcentagem.



Fonte: Próprio autor (2021).

Observa-se também que nesse cenário de 160 anos a população que consome carne extinguiu aproximadamente 43.4% do total de água disponível, enquanto a população vegetariana consumiu apenas 1.4% do total de água disponível no planeta.

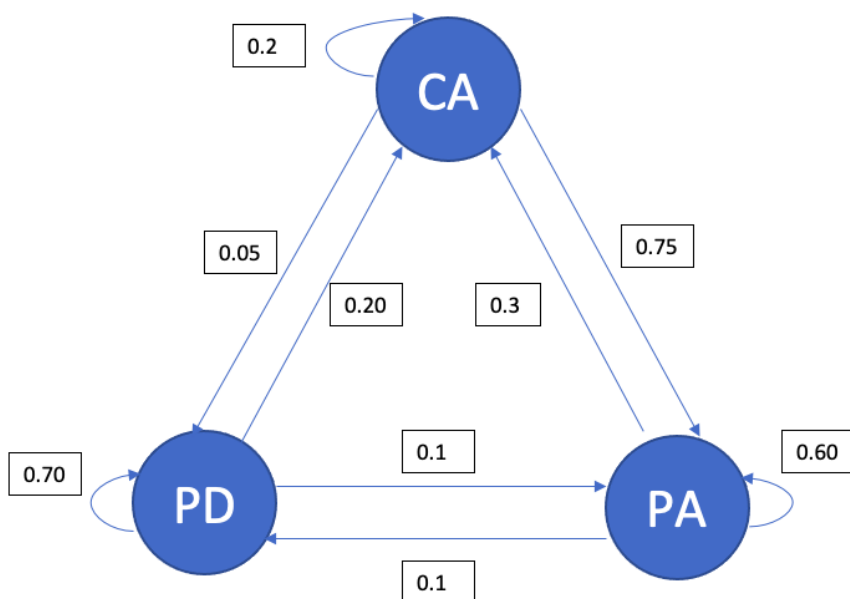
4.1 Aplicando mais um cenário

Conforme explicado, os processos de Markov permitem uma gama de flexibilidades no quesito de valores probabilísticos, com isso, um novo cenário poderá ser criado de forma que possamos avaliar as diferenças. Dessa maneira, foram elaboradas as seguintes probabilidades, de forma mais distribuída:

$$P = [0,20 \ 0,05 \ 0,75 \ 0,20 \ 0,70 \ 0,10 \ 0,30 \ 0,10 \ 0,60]$$

Temos então o seguinte diagrama de probabilidades entre os estados:

Figura 11. Diagrama de estados dois.



Fonte: Próprio autor (2021).

Alterando as probabilidades diretamente no código:

Figura 12. Aplicação dos valores no código.

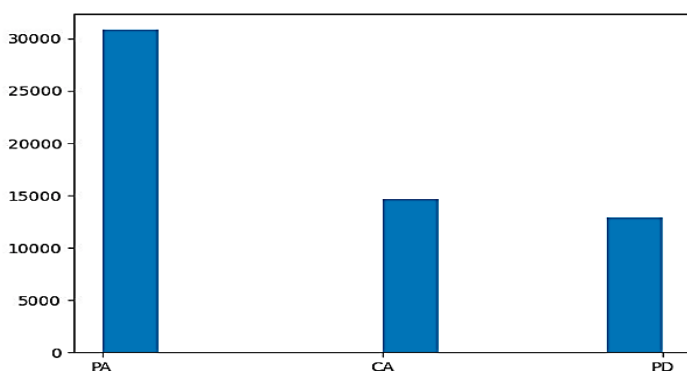
```

TransicaoEstados = [['CACA', 'CAPD', 'CAPA'], ['PDCA', 'PDPD', 'PDPA'], ['PACA', 'PAPD', 'PAPA']]
TransicaoProbabilidades = [[0.20, 0.05, 0.75], [0.20, 0.70, 0.10], [0.30, 0.10, 0.60]]
  
```

Fonte: Próprio autor (2021).

Ao modelar esse novo diagrama de estados com as probabilidades dispostas para cada evento, obtivemos a seguinte disposição de cenários num teste que simula o mesmo intervalo de tempo que a simulação anterior - 160 anos, ou seja, 58.400 dias.

Figura 13. Histograma de total de cenários.



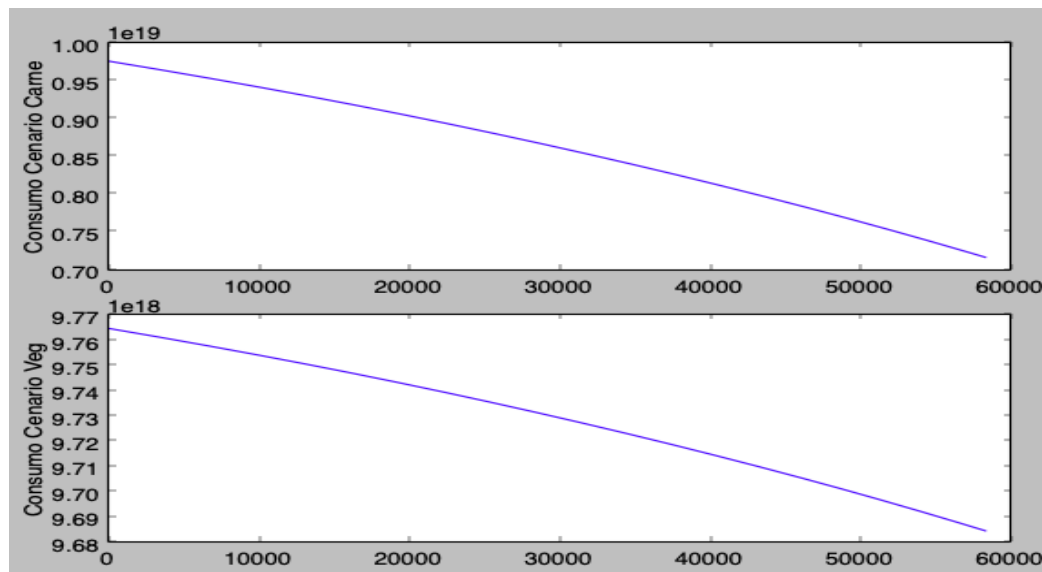
Fonte: Próprio autor (2021).

- Total dias PA: 30853 - população aumentando
- Total dias CA: 14646 - população constante
- Total dias PD: 12900 - população diminuindo

A seguir, foi disposto um novo gráfico de consumo para o caso da população que consome carne e um gráfico para o consumo de uma população vegetariana. Novamente, o desenho se apresenta similar, contudo, os valores um pouco menores ainda se fazem

destoantes. Os dados dispostos na linha y do gráfico (vertical) representam o consumo de água e o quanto ela vai diminuindo ao longo do tempo na linha x (horizontal).

Figura 14. Consumo de água em ambos cenários.



Fonte: Próprio autor (2021).

Figura 15. Resultado do console.

```
Total dias CA: 14646
Total dias PA: 30853
Total dias PD: 12900

Qtd Agua Disponivel Cenario Carnista: 7169446615815401472
Qtd Agua Disponivel Cenario Veg: 9684662881057910784

Consumo de Agua Cenario Carnista: 2595553384184598528
Consumo de Agua Cenario Veg: 80337118942089216

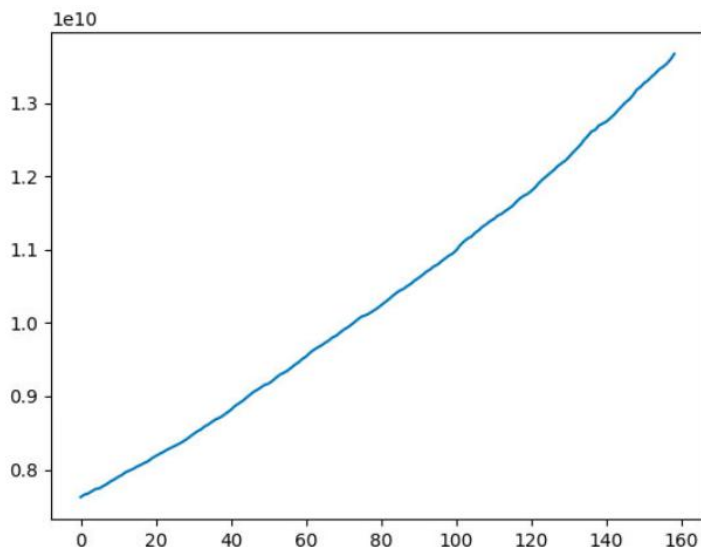
Total populacao: 13697803617
```

Fonte: Próprio autor (2021).

Onde:

- A quantidade de água disponível no cenário carnista é de: 7.169.446.615.815.401.472 (sete quintilhões e cento e sessenta e nove quadrilhões de litros de água);
- A quantidade de água disponível no cenário vegano é de: 9.684.662.881.057.910.784 (nove quintilhões e seiscientos e oitenta e quatro quadrilhões de litros de água);
- O consumo total de água no cenário carnista foi um total de: 2.595.553.384.184.598.528 (mais de dois quintilhões de litros de água);
- E o consumo total de água no cenário vegano foi um total de: 80.337.118.942.089.216 (pouco mais de oitenta quadrilhões de litros de água);
- A população ao todo chegou ao valor de 13.697.803.617 (treze bilhões de pessoas).

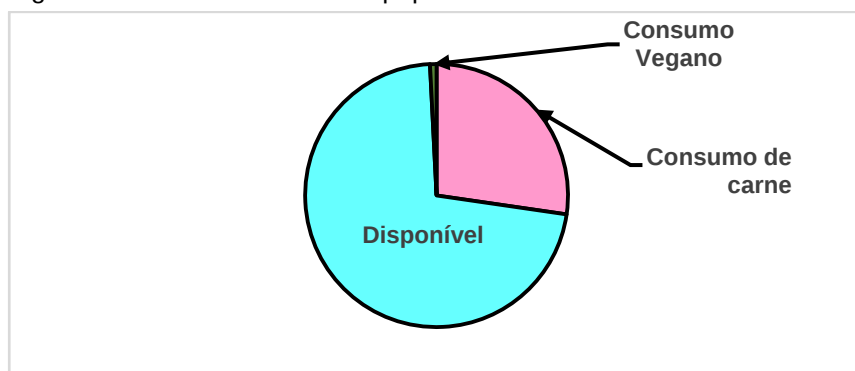
Figura 16. Gráfico de crescimento populacional.



Fonte: Próprio autor (2021).

Nesse cenário, a população consumidora de carne extinguiu 27.3% do total de água disponível sendo esse resultado consideravelmente menor que o cenário anterior em que esse valor é de (43,4%). Já a população vegetariana consumiu somente 0.8% do total de água disponível no planeta.

Figura 17. Gráfico de consumo populacional.



Fonte: Próprio autor (2021).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho foi realizar uma parametrização do consumo de água e trazer reflexão à utilização racional desse recurso, em especial o aspecto relativo ao consumo de carne animal e o impacto desse consumo no estoque de água disponível. O modelo desenvolvido permite simular um elenco de cenários e comparar os efeitos da adoção de cada um deles. No momento em que a questão ambiental se reveste de cuidados explicitados nos vários fóruns de discussão sobre o assunto, a questão da água ocupa um papel lugar central por sua importância estratégica a preservação da vida. Com base na pesquisa bibliográfica realizada para este trabalho foi possível explicitar a pouca quantidade de água potável disponível e o quanto ela é desperdiçada nessa forma de consumo que além de não ética, não se demonstrou ótima para o planeta em longo prazo. A partir do cenário apresentado com os valores aplicados nas probabilidades assumidas pode-se ter um vislumbre do impacto no recurso e o quão diferente cada panorama se demonstra.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). Disponível em: <https://www.ana.gov.br/>. Acesso em: 24 jul. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Plano de dados abertos (PDA) 2019-2020**. Disponível em: http://ana.gov.br/todos-os-documentos-do-portal/documentos-cor/Plano_de_Dados_Abertos_ANA_2019_2020-versaoaprovadaDIREC.pdf. Acesso em: 24 jul. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). Disponível em: <https://www.ana.gov.br/noticias-antigas/quase-metade-da-a-gua-usada-na-agricultura-a-c.2019-03-15.2354987174>. Acesso em: 24 jul. 2020.

ALVES, José Eustáquio Diniz. **A revisão 2019 das projeções populacionais da ONU para o século XXI**. Juiz de Fora: Laboratório de Demografia e Estudos Populacionais, UFJF. Disponível em: <https://www.ufjf.br/ladem/2019/06/18/a-revisao-2019-das-projecoes-populacionais-da-onu-para-o-seculo-xxi-artigo-de-jose-eustaquio-diniz-alves/>. Acesso em: 17 ago. 2020.

BBC. **O que aconteceria na economia global se todos virassem vegetarianos**. G1. set., 2019. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/noticia/2019/09/28/o-que-aconteceria-na-economia-global-se-todos-virassem-vegetarianos.ghtml>. Acesso em: 17 ago. 2020.

CIABURRO, Giuseppe. **Hands-on simulation modeling with python**: develop simulation models to get accurate results and enhance decision-making processes English Edition, 1. ed. Packt Publishing, 2020.

ECOIA. **Consumo de água crescerá mais que a população**. Disponível em: <https://ecoia.org.br/consumo-de-agua-crescera-mais-que-a-populacao/>. Acesso em: 24 jul. 2020.

EMBRAPA PECUARIA SUDESTE. **Água**. Brasília: Embrapa, [s.d.]. Disponível em: https://www.embrapa.br/contando-ciencia/agua/-/asset_publisher/EljjNRSeHvoC/content/consumo-de-agua-para-producao-de-um-produto/1355746?inheritRedirect=false#:~:text=A%20m%C3%A9dia%20global%20da%20pegada,carne%20produzida%20aqui%20no%20Brasil. Acesso em: 3 ago. 2020.

ESTEVES, Gheisa Roberta Telles. **Modelos de previsão de carga de curto prazo**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2003. Disponível em: https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/3715/3715_3.PDF. Acesso em: 24 jul. 2020. cap.2

FEIL, Alexandre; HAETINGER, Claus. Previsão de consumo de água via modelagem matemática de sistema de abastecimento de água: Mathematical model for estimating water consumption. **Revista DAE**, n.195 maio-ago, 2014. Disponível em: http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_195_n_1513.pdf. Acesso em: 27 jul. 2020.

FRANCISCO, Wagner de Cerqueira e. "O crescimento populacional no mundo". **Brasil Escola**. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/o-crescimento-populacional-no-mundo.htm>. Acesso em: 17 ago. 2020.

GLOBAL. **Water issues: a compendium of articles. photos state**. Disponível em: [https://photos.state.gov/libraries/amgov/30145/publicationsenglish/Global_Water_Issues.p](https://photos.state.gov/libraries/amgov/30145/publicationsenglish/Global_Water_Issues.pdf)df. Acesso em: 16 ago. 2020.

HOWSTUFFWORKS.COM CONTRIBUTORS_ . **How much water is there on earth?**

Disponível em:

<https://science.howstuffworks.com/environmental/earth/geophysics/question157.htm>.

Acesso em: 31 out. 2020.

MAGALHÃES, C.A.C.; MORENO, J. ; GALVÃO, A.C.G. Estimativa do consumo per capita em comunidades atendidas pela unidade de negócio do médio Tietê. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21, João Pessoa. **Anais eletrônicos**[...]. Rio de Janeiro: ABES, 2001. Disponível em:

<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/%20caliagua/brasil/i-061.pdf>. Acesso em: 25 fev. 2008.

MRV. Assessoria de imprensa. **Quantidade de água no planeta**. MRV, 2013. Disponível em: <https://www.mrv.com.br/sustentabilidade/pt/materias-e-dicas/agua/quantidade-de-agua-no>

planeta#:~:text=O%20planeta%20Terra%20tem%20muita,toda%20essa%20%C3%A1gua%20%C3%A9%20pot%C3%A1vel. Acesso em: 31 out. 2020.

ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO (OCDE). **Trabalhando com o Brasil**. Disponível em: <http://www.oecd.org/brazil/Active-with-Brazil-Port.pdf>. Acesso em: 24 jul. 2020.

SABESP. **Em casa**. Disponível em:

<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=595#:~:text=economia%20%2F%20Em%20casa-,Em%20casa,mais%20de%20200%20litros%2Fdia>. Acesso em: 15 nov. 2020.

SABESP. **Em casa**. Disponível em:

<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=595#:~:text=De%20acordo%20com%20a%20Organiza%C3%A7%C3%A3o,mais%20de%20200%20litros%2Fdia>. Acesso em: 24 jul. 2020.

THE VEGAN CALCULATOR. **Vegan calculator**. Disponível em:

<https://thevegancalculator.com/>. Acesso em: 31 out. 2020.

THE WORLD BANK. **Population, total**. Disponível em:

<https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL>. Acesso em: 31 out. 2020.

TOSI, Marcos. Brasileiros comem quase tanta carne como americanos – mas só na aparência. **Gazeta do Povo**. 3 jan. 2018. Disponível em:

<https://www.gazetadopovo.com.br/agronegocio/pecuaria/brasileiros-comem-quase-tanta-carne-como-americanos--mas-so-na-aparencia-4g3fcb1sxnvrmmmit6uao4jhn/>. Acesso em: 1 nov. 2020.

VASCONELLOS, PAULO. **Dicas para criar um modelo de previsão de séries temporais**. 2018. Disponível em: <https://medium.com/techbloghotmart/dicas-para-criar-um-modelo-de-previs%C3%A3o-de-s%C3%A9ries-temporais-d4bb2e32e148>. Acesso em:

24 jul.2020.

VEGAN STATISTICS. **Vegetariancalculator**. Disponível em:

<https://vegetariancalculator.com/statistics/>. Acesso em: 31 out.2020.

WORLDOMETERS. Disponível em: <https://www.worldometers.info/pt/>. Acesso em: 17 ago. 2020.