

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA
DO RIO DE JANEIRO



MONOGRAFIA DE FINAL DE CURSO

O IMPACTO DA PANDEMIA SOBRE EMISSÕES DE GASES
DO EFEITO ESTUFA

Eduardo Azevedo Galvão

No. de matrícula: 1710904

Orientador: Juliano Assunção

Julho/2021

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA
DO RIO DE JANEIRO



MONOGRAFIA DE FINAL DE CURSO

O IMPACTO DA PANDEMIA SOBRE EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA

Eduardo Azevedo Galvão

No. de matrícula: 1710904

Orientador: Juliano Assunção

Julho/2021

"Declaro que o presente trabalho é de minha autoria e que não recorri para realizá-lo, a nenhuma forma de ajuda externa, exceto quando autorizado pelo professor tutor".

As opiniões expressas neste trabalho são de responsabilidade única e exclusiva do autor.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a todos aqueles que de alguma forma fizeram parte da minha trajetória pela PUC-Rio.

Primeiro, agradecer a minha família, por estar sempre ao meu lado e por ter me proporcionado a oportunidade de estudar nessa faculdade.

Depois, gostaria de agradecer muito os amigos que me acompanharam e fizeram de alguma forma parte nesse caminho. A faculdade ficou muito mais fácil e agradável por ter vocês por perto.

Agradecimentos especial ao Tomás, por discussões muito proveitosas sobre econometria e programação durante todo o processo de confecção desse trabalho final, além de uma amizade e companhia verdadeiras ao longo de toda a graduação.

Finalmente, agradecer aos professores, sem eles nada disso seria possível.

Agradecimentos especiais a dois professores:

Ao Professor Juliano, que se ofereceu para ser o Orientador desse projeto. Seus insights e direcionamentos foram fundamentais.

E ao Professor Sérgio Besserman, que em suas aulas me inspirou sobre a conexão da economia com o meio ambiente o que culminou na produção desse trabalho final.

Sumário

I – Introdução e Motivação	8
II – Emergência Climática.....	11
III – Dados.....	14
<i>Carbon Monitor</i>	14
Universidade Johns Hopkins	Erro! Indicador não definido.
<i>Google Mobility Report</i>	15
<i>Apple Mobility Report</i>	16
<i>Waze COVID-19 Impact Dashboard</i>	17
IV – Método	22
V – Regressões	23
- Regressões utilizando o Google Mobility Report:	23
- Regressões utilizando o Waze COVID-19 Impact Dashboard	26
- Regressões utilizando o Apple Mobility Report	28
VI – Resultados	30
Mensurando a partir do histórico de emissões	30
Mensurando a partir das regressões	32
Considerações finais.....	34
VIII – Referências	36

Tabelas

Tabela 1 - Lista de dados disponíveis de cada país no estudo	18
Tabela 2 - Descrição dos dados	19
Tabela 3 – Estatística dos dados.....	22
Tabela 4 - Efeito da mobilidade medida pelos indicadores Google sobre a emissão de CO2	24
Tabela 5 - Efeito da mobilidade medida pelos indicadores Google sobre a emissão de CO2 controlado por país	26
Tabela 6 - Efeito do Índice Waze sobre a emissão de CO2	27
Tabela 7 - Efeito do Índice Waze sobre a emissão de CO2 por país	28
Tabela 8 - Efeito do Índice Apple sobre a emissão de CO2.....	29
Tabela 9 - Efeito do Índice Apple sobre a emissão de CO2 por país.....	30

Figuras

Figura 1 - Concentração de CO ₂ na atmosfera terrestre pelos últimos 800 mil anos	11
Fonte: https://climate.nasa.gov/evidence/	11
Figura 2 – Gráficos de emissões diárias de CO ₂ por país	15
Figura 3- indicador de atividade Apple por país, de Jan 2020 até o 2021.....	17
Figura 4- Indicador Waze por país ao longo do ano de 2020 até 2021	18
Figura 5- Comparação de emissões entre meses, 2020 sobre 2019.....	32
Figura 6- Previsão das emissões de 2020 a partir de 2019 usando um modelo linear ...	33
Figura 7- Previsão das emissões de 2020 a partir de 2019 usando um modelo SARIMA	34
Figura 8- Emissões estimadas em normalidade pela regressão e emissões observadas, por país	35
Figura 9- Diferença % entre emissões observadas e estimadas, por país	18

I – Introdução e Motivação

Somente no ano de 2020 o novo coronavírus, covid-19, infectou mais de 75 milhões de pessoas no mundo inteiro e fez com que a Organização Mundial da Saúde (OMS) declarasse oficialmente uma situação de pandemia.

Esta pandemia vem afetando a sociedade em maneiras e escala completamente inéditas nos últimos 100 anos. A situação atual e seus números¹ estão em uma escala muito maior do que as pandemias dos últimos anos. Para efeito de comparação, segue abaixo o número de contágios de diversas pandemias recentes:

- Gripe aviária: cerca de 1200 casos totais
- MERS: 2,502 casos
- SARS: 8422 casos
- Ebola: mais de 30,000 casos
- Covid-19: 121 milhões de casos (17/03/2021)

A única pandemia similar em escala nos últimos séculos foi a pandemia de influenza em 1918, mas é extremamente difícil comparar o mundo atual com o mundo de 102 anos atrás.

Além disso, a covid-19 trouxe impactos para muito além da saúde e do setor sanitário. Na tentativa de desacelerar o contágio, muitos países realizaram *lockdowns*, restringiram os voos, decretaram isolamento e uso de máscara obrigatório.

Essas medidas de prevenção foram responsáveis por grandes choques, como fechamento de restaurantes, escolas, cinemas, comércios, entre outros.

Devido a essas restrições nasceram consequências inéditas. De acordo com a UNESCO só até 23 de março de 2020 estima-se que 1,38 bilhões de pessoas² em todo o planeta foram afetadas pelo fechamento de escolas.

Ademais, na economia, o vírus também causou um grande impacto. Quarentenas e *lockdowns* levaram a uma brusca redução no consumo e mudança nas preferências dos consumidores, o que afetou muitos negócios e indústrias.

¹ Fonte: <https://www.news-medical.net/health/How-does-the-COVID-19-Pandemic-Compare-to-Other-Pandemics.aspx>

² Fonte: <https://www.weforum.org/agenda/2020/06/torn-safety-nets-shocks-to-schooling-in-developing-countries-during-coronavirus-crisis/>

Um exemplo dessa mudança no padrão de consumo é o crescimento de compras online no Brasil durante a pandemia. Esse setor apresentou crescimento de 47% no 1º semestre, o que representou a maior alta em 20 anos.³ Por outro lado, restaurantes e bares em maio lidavam com 69% de queda de receita desde o começo da pandemia.⁴

Entre os setores mais afetados podemos destacar os setores de aviação e de cinemas. Estima-se que em 2020 a receita de voos de passageiros de companhias aéreas em todo o mundo tenham queda de 55%⁵ em relação ao ano anterior devido ao coronavírus, as perdas de receita nos cinemas americanos também são significativas, podendo ser de até 60%⁶ se comparadas com 2019.

Com toda esta turbulência, estima-se que o PIB mundial apresente queda percentual de 3,5% em 2020, com a União Europeia apresentando retração média de 7,2%.⁷ Com tal desaceleração econômica, o número de desempregados em economias desenvolvidas também apresentará aumento dramático, que pula de 4,8 em 2019 para um projetado 7,3% em 2020.⁸

Em resumo, o mundo em 2020 foi um ponto fora da curva no último século. Isso leva a uma pergunta: Que tipo de impacto essas mudanças causaram no meio ambiente, e, portanto, no combate às mudanças climáticas?

Quarentenas, a prática do distanciamento social, a transição para o home office de uma parcela da população, essas medidas mudam fortemente o funcionamento das relações interpessoais e da economia. Isso também mudará o padrão de emissões de gases de efeito estufa?

Se sim, como? Estamos emitindo ainda mais gases, prejudicando ainda mais a luta contra o aquecimento global e adicionando ainda mais um custo para a pandemia? Ou

³ Fonte: <https://exame.com/pme/e-commerce-brasil-cresce-47-primeiro-semester-alta-20-anos/>

⁴ Fonte: <https://www.moneytimes.com.br/receita-de-restaurantes-e-bares-caiu-69-desde-o-comeco-da-pandemia/>

⁵ Fonte: <https://g1.globo.com/economia/noticia/2020/04/14/iata-eleva-para-us-314-bilhoes-previsao-de-perdas-em-receitas-de-companhias-aereas-em-2020.ghtml>

⁶ Fonte: <https://fortune.com/2020/07/01/hollywood-film-remote-work-coronavirus/>

⁷ <https://www.imf.org/en/Publications/WEO/Issues/2021/01/26/2021-world-economic-outlook-update>

⁸ Fonte: https://www.imf.org/en/Publications/WEO/weo-database/2020/October/weo-report?a=1&c=001,110,998,200,&s=NGDP_RPCH,LUR,&sy=2018&ey=2021&ssm=0&scsm=1&scd=0&ssd=1&ssc=0&sic=0&sort=country&ds=.&br=1

estamos emitindo menos gases, e poderíamos tirar lições valiosas para o mundo pós pandemia?

Além disso, quais setores estão relacionados ao aumento ou queda nas emissões, e quais se mostraram mais inelásticos?

Tentar chegar ao fundo dessas questões é a motivação desse projeto de monografia, que busca correlações entre a pandemia e as emissões de gases do efeito estufa.

II – Emergência Climática

A partir da primeira revolução industrial, grandes quantidades de gases do efeito estufa (GEE) começaram a ser despejadas na atmosfera em velocidade e quantidade inéditas na história da humanidade.

Em termos absolutos, o nível atual de dióxido de carbono na atmosfera é o maior em pelo menos 800.000 anos, conforme indica o gráfico abaixo.

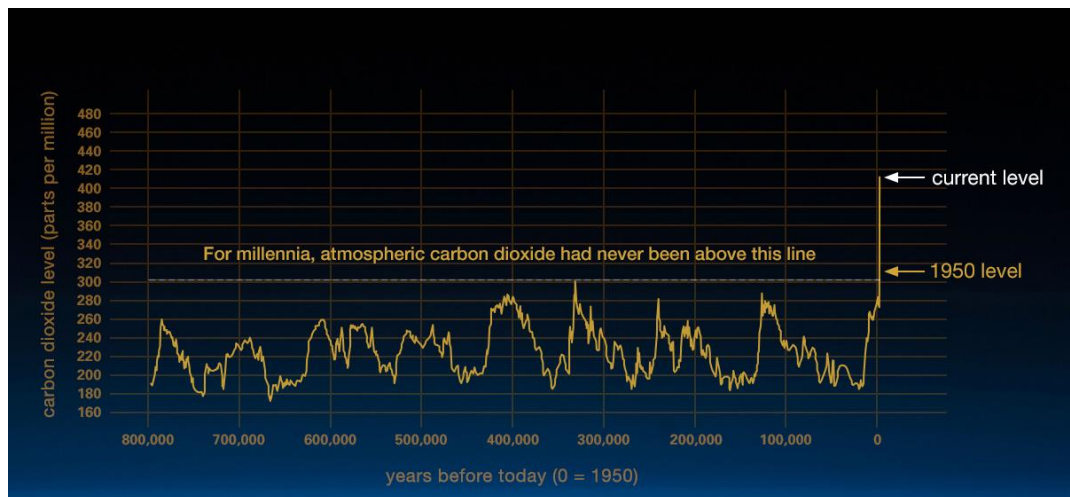


Figura 1 - Concentração de CO2 na atmosfera terrestre pelos últimos 800 mil anos

Fonte: <https://climate.nasa.gov/evidence/>

Esse nível atípico de dióxido de carbono, e também de outros GEE levou a uma intensificação do efeito estufa, levando a um aumento de temperatura mundial.

Esse aquecimento muito provavelmente, se deve à ação humana desde o meio do século XX (mais de 95% de probabilidade)⁹, e vem se manifestando de diferentes formas, entre elas:

- Aumento da temperatura na superfície do planeta
- Aumento da temperatura dos oceanos
- Diminuição das calotas polares
- Desaparecimento de áreas de *permafrost*
- Aumento nos níveis dos oceanos
- Acidificação dos oceanos
- Aumento dos chamados “eventos extremos”

⁹ <https://climate.nasa.gov/evidence/>

Atualmente (2020), estima-se que as atividades humanas geraram um aquecimento de 1,0 °C para além dos níveis pré-industriais.¹⁰

Quanto maior o aquecimento, maiores serão os seus impactos nos ecossistemas, e, portanto, nos seres humanos.

Mudanças climáticas se relacionam com riscos de segurança nacional pré-existent, funcionando como um multiplicador de ameaças e acelerador de instabilidades, contribuindo para a escalção de ciclos de crises humanitárias e sócio-políticas, conflitos e migrações forçadas.¹¹

Alguns cientistas acreditam que um aquecimento de 4°C ou mais tornaria inviável a existência de uma comunidade global organizada, o Banco Mundial acredita que essa seria uma situação “inadaptável”. Acredita-se que um aquecimento tão intenso poderia reduzir a população mundial em 80 ou 90%.¹²

Entretanto, os impactos não se dão somente nos casos de aumento mais extremos; com excedente de 2°C pode-se esperar grandes impactos. Os riscos de grandes secas e déficits de precipitação podem aumentar sensivelmente em determinadas regiões e mais de 1 bilhão de pessoas podem precisar ser realocadas devido ao aumento no nível dos oceanos.

Projeções indicam um cenário “*hothouse Earth*”, que é onde *feedbacks* e suas interações empurram o clima na Terra para um ponto de não retorno. Nesse ponto, o aquecimento por si só leva a mais aquecimento. em um sistema de *feedback* positivo. Esse cenário pode acontecer já em um aumento de 2°C, e possivelmente até com valores inferiores.¹³

Em suma, os potenciais disruptivos das mudanças climáticas fazem com que seja de extrema importância controlar o aquecimento ao máximo, para que tenhamos o menor aumento de temperatura possível. Contudo, para que isso aconteça precisamos reduzir nossas emissões de GEE.

¹⁰ IPCC, 2018: Summary for Policymakers

¹¹ Spratt, D e Dunlop, I. (Maio de 2019). Existential climate related security risk: A scenario Approach. Breakthrough - National Centre for Climate Restoration, 4.

¹² Spratt, D., and Dunlop, I. 2018. What Lies Beneath: The understatement of existential climate risk, Melbourne, Breakthrough National Centre for Climate Restoration, 14.

¹³ Spratt, D e Dunlop, I. (Maio de 2019). Existential climate related security risk: A scenario Approach. Breakthrough - National Centre for Climate Restoration, 6.

Pensando nisso, o Acordo de Paris, redigido em 2015 e assinado por 195 países, fixou uma meta entre os países signatários, limitar o aquecimento à 2°C até 2100, ratificando que esforços deveriam ser feitos para limitar o aquecimento a 1,5°C.

Entretanto, o ritmo atual de emissões aponta para um aquecimento de 1,5°C já entre 2030 e 2052 e de pelo menos 3°C até 2100.

Para elevar a probabilidade de limitarmos o aquecimento ao teto da meta do Acordo de Paris, mudanças radicais nos padrões de emissões precisam acontecer rapidamente.

Para tal, a mobilização precisa ir além dos governos, e incluir entidades privadas e pessoas físicas.

Felizmente existem sinais de que uma mobilização está acontecendo, um exemplo disso é o grande crescimento em investimentos ESG (*Environmental, Social and Governance*), que são investimentos que se preocupam, entre outras coisas, com o impacto ambiental.

III – Dados

Para o estudo, serão utilizados dois conjuntos separados de dados sobre 10 países, que foram escolhidos por serem grandes economias e possuírem dados da maioria dos indicadores aqui presentes. Os países são: Alemanha, Brasil, Espanha, Estados Unidos, França, Índia, Itália, Japão, Reino Unido, Rússia.

Carbon Monitor

Os dados a respeito das emissões de gases de efeito estufa serão retirados da organização *Carbon Monitor*¹⁴.

Os dados a nível nacional mostram emissões diárias e agregadas de dióxido de carbono (CO₂) diferenciadas por setor: produção de energia, transporte terrestre, indústria, residencial e aviação doméstica.

Ao somar todas tem-se a emissão diárias de Co₂ da economia, que é o total de emissões do dia (soma de todas as categorias). Cria-se a média móvel de 7 dias de emissões a partir desse total.

Agora podemos definir um período para considerar como nosso período base de emissões, e criar um índice de mudanças em relação a esse período base. Usaremos a média de emissões por dia a partir do dia 3 de janeiro de 2020 até o dia 6 de fevereiro de 2020 (da mesma forma que os dados *Google* fazem).

Assim, comparando o valor dos dias em relação a média do período base cria-se uma medida em percentual do dia em relação ao baseline, chamaremos esse índice de Mudança/base.

Na Figura 2, um conjunto de gráficos com as emissões diárias de CO₂ de cada país no estudo durante os anos de 2019 e 2020.

¹⁴ <https://carbonmonitor.org/>

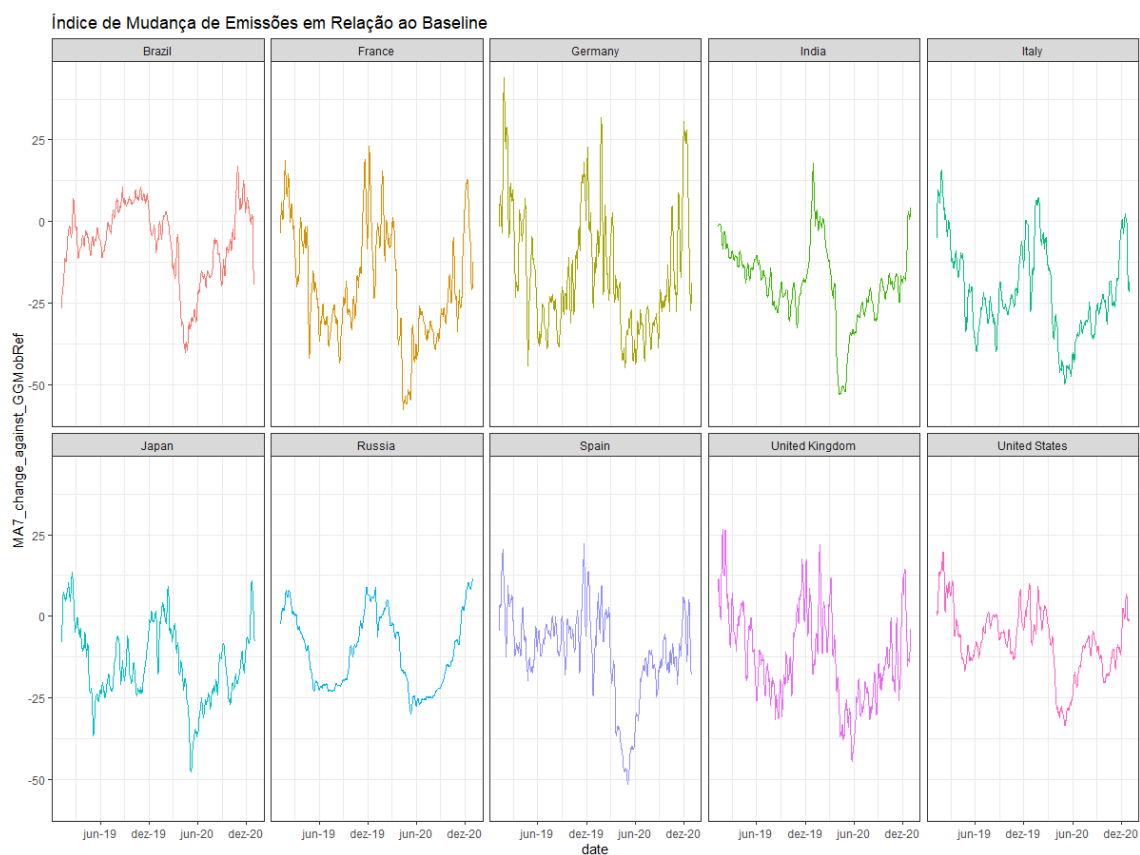


Figura 2 – Gráficos de Mudança/base por país do estudo, começam em janeiro de 2019 e terminam em dezembro de 2020

As informações acerca de mobilidade serão retiradas das empresas Apple, Google e Waze, que durante este período disponibilizaram seus dados para auxiliar na confecção de estudos e estratégias acerca da pandemia.

Google Mobility Report

O *Google Mobility Report (GMR)*¹⁵, traz as informações da empresa a respeito da mobilidade das pessoas de todo o mundo durante o período de pandemia. Ele possui seis índices observados. Estes índices representam a mudança na frequência de visita, ou tempo gasto durante a visita, de 6 tipos de lugares, comparado com os dias base.

Esses representam um valor considerado “normal” para o respectivo dia da semana. Os valores dos dias base são os valores médios do período de 5 semanas entre 3 de janeiro de 2020 e 6 de fevereiro de 2020.¹⁶

¹⁵ <https://www.google.com/covid19/mobility/>

¹⁶ <https://support.google.com/covid19-mobility/answer/9824897?hl=en>

As categorias de lugares utilizadas nos índices são: lojas e ambientes de recreação, supermercados e farmácias, parques, estações de trânsito, locais de trabalho e ambientes residenciais.

A partir dessas informações, pode-se criar 3 índices distintos.

1. O índice de atividade é uma média entre todas as variáveis com exceção do ambiente residencial; ele busca capturar o impacto da pandemia sobre a movimentação das pessoas
2. O índice de atividade econômica é também uma média entre as variáveis, mas este retira, além das áreas residenciais, os parques também. Esse índice tem como objetivo ser uma proxy para atividade econômica através da mobilidade das pessoas.
3. Por último, o índice de atividade econômica com pesos faz uma média ponderada entre lojas e espaços de entretenimento (peso 0,25), supermercados e farmácias (peso 0,25) e espaços de trabalho (peso 0,5).

Usaremos a média móvel de 7 dias desses índices.

Apple Mobility Report

O *Apple Mobility Report (AMR)*¹⁷ possui três indicadores que refletem a mudança nas solicitações de direções no Mapas da Apple, tendo como data base 13 de janeiro de 2020. Os indicadores são em: direção, caminhada e transporte público utilizados por seus usuários.

Ao fazer uma média simples dos três indicadores cria-se o Índice de Atividade Apple. Na imagem abaixo, mostra-se o índice de Atividade Apple para cada um dos dez países do estudo ao longo do ano de 2020 até parte de 2021.

¹⁷ <https://covid19.apple.com/mobility>



Figura 3- indicador de atividade Apple por país, de Jan 2020 até o 2021

Waze COVID-19 Impact Dashboard

Por último, o *Waze COVID-19 Impact Dashboard (WC19ID)*¹⁸ traz um indicador de mudança percentual em quilômetros dirigidos por dia em seu aplicativo. A data base de comparação é o valor médio, para o dia correspondente da semana, no período de 2 semanas entre 11 de fevereiro de 2020 e 25 de fevereiro de 2020.

Ao multiplicar essa mudança percentual em quilômetros dirigidos por dia por 100 cria-se um índice de distância dirigida. Usaremos a média móvel de 7 dias desse índice.

Na imagem abaixo, mostra-se o Índice de mudança em Kms Dirigidos por Dia no Waze para oito países do estudo, ao longo do ano de 2020 até parte de 2021.

¹⁸ <https://www.waze.com/pt-BR/covid19>

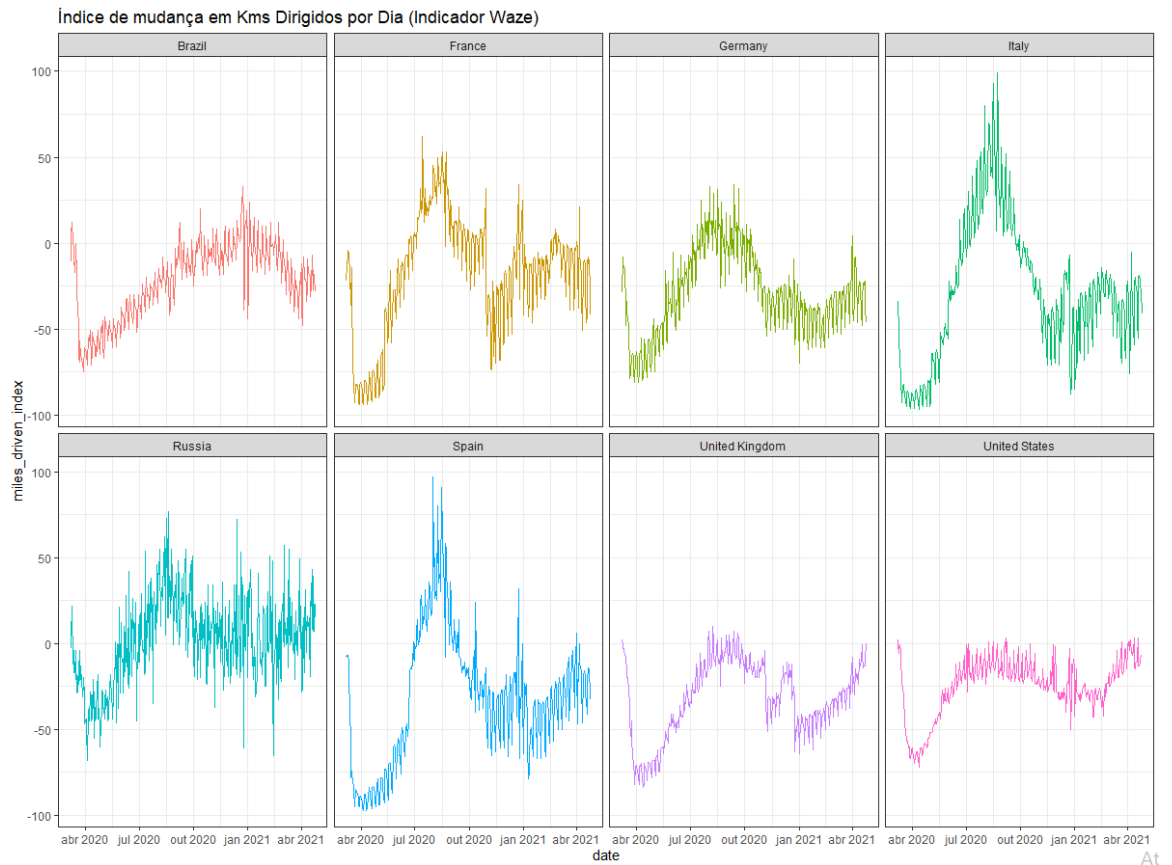


Figura 4- Indicador Waze por país ao longo do ano de 2020 até 2021

Abaixo segue uma tabela indicativa de que país possui que conjunto de dados.

Países/Dados	Carbon Monitor	Google Mobility Report	Apple Mobility Report	Waze COVID-19 Impact Dashboard
Alemanha	X	X	X	X
Brasil	X	X	X	X
Espanha	X	X	X	X
Estados Unidos	X	X	X	X
França	X	X	X	X
Índia	X	X	X	
Itália	X	X	X	X
Japão	X	X	X	
Reino Unido	X	X	X	X
Rússia	X	X	X	X

Tabela 1 - Lista de dados disponíveis de cada país no estudo

Na tabela abaixo estão listadas todas as variáveis presentes no estudo, sua definição e suas respectivas fontes.

Tabela 2 - Descrição dos dados

<i>Variável</i>	<i>Definição</i>	<i>Fonte</i>
Emissões		
MtCO2 energia	Emissão diária (em toneladas) de CO2 pelo setor de energia, por país.	Carbon Monitor
MtCO2 transporte terrestre	Emissão diária (em toneladas) de CO2 pelo setor de transporte terrestre, por país.	Carbon Monitor
MtCO2 indústria	Emissão diária (em toneladas) de CO2 pelo setor industrial, por país.	Carbon Monitor
MtCO2 residencial	Emissão diária (em toneladas) de CO2 pelo setor residencial, por país.	Carbon Monitor
MtCO2 aviação doméstica	Emissão diária (em toneladas) de CO2 pelo setor de aviação doméstica, por país.	Carbon Monitor
MtCO2 total	Emissão diária (em toneladas) de CO2 total do país.	Elaboração do autor
Mudança/base	Medida em percentual, da quantidade de emissões do dia em relação ao período base.	Elaboração do autor

Apple

Índice de atividade apple Média móvel de 7 dias da média dos 3 indicadores do *Apple Report*. Elaboração do autor

Google

Índice de atividade google Média entre a mudança de frequência em todas as localidades do *Report*, com exceção do ambiente residencial. Elaboração do autor

Índice de atividade econômica Média entre a mudança de frequência em todas as localidades do *Report*, com exceção do ambiente residencial e parques. Elaboração do autor

Índice de atividade econômica com pesos Média ponderada entre as alterações em lojas, supermercados e farmácias e espaços de trabalho. Elaboração do autor

Waze

Índice de distância dirigida Mudança percentual em km dirigidos em comparação ao período base multiplicada por 100. *Waze COVID-19 Impact Dashboard*

Na tabela abaixo estão listadas as estatísticas de cada variável mencionada acima.

Tabela 3 - Estatísticas dos dados

Dados

Statistic	N	Mean	St. Dev.	Min	Pctl(25)	Pctl(75)	Max
miles_driven_index	3,309	-23.015	30.493	-97	-41	-5	99
MA7_miles_driven_index	3,309	-22.953	28.361	-92.571	-39.714	-4.000	62.714

Dados

Statistic	N	Mean	St. Dev.	Min	Pctl(25)	Pctl(75)	Max
ap_activity_index	4,620	-8.647	34.991	-91.733	-31.797	13.790	122.090
MA7_ap_activity_index	4,620	-8.537	33.913	-89.905	-31.425	13.257	96.875

Dados

Statistic	N	Mean	St. Dev.	Min	Pctl(25)	Pctl(75)	Max
retail_and_recreation_percent_change_from_baseline	4,360	-29.770	22.863	-96	-43	-13	22
grocery_and_pharmacy_percent_change_from_baseline	4,360	-5.148	16.813	-94	-10	3	67
parks_percent_change_from_baseline	4,360	4.350	46.587	-91	-24	24	264
transit_stations_percent_change_from_baseline	4,360	-30.921	19.800	-92	-42	-18	26
workplaces_percent_change_from_baseline	4,360	-25.210	18.776	-90	-34	-12	71
residential_percent_change_from_baseline	4,360	9.432	7.486	-10	5	13	42
activity_index	4,360	-17.340	19.459	-91.200	-26.800	-5.600	44.6
economic_activity_index	4,360	-22.762	17.396	-92.500	-30.750	-11.250	22.0
economic_activity_index_w	4,360	-21.334	16.927	-92.250	-28.500	-10.250	30.2
MA7_activity_index	4,300	-17.517	18.553	-79.029	-26.779	-6.193	31.0
MA7_economic_activity_index	4,300	-22.962	16.222	-78.036	-30.607	-11.670	9.82
MA7_economic_activity_index_w	4,300	-21.525	15.333	-75.393	-28.536	-11.214	10.0

Dados

Statistic	N	Mean	St. Dev.	Min	Pctl(25)	Pctl(75)	Max
mtCO2_perDay_power	8,700	5.132	10.105	0.011	0.183	3.469	44.526
mtCO2_perDay_ground_transport	8,700	2.273	4.587	0.063	0.303	0.865	19.693
mtCO2_perDay_industry	8,700	3.845	7.749	0.029	0.182	2.278	33.784
mtCO2_perDay_residential	8,700	1.325	2.951	0.059	0.122	0.779	20.081
mtCO2_perDay_domestic_aviation	8,700	0.127	0.252	0.0001	0.006	0.054	1.132
mtCO2_perDay_total	8,700	12.701	25.029	0.286	0.889	9.271	111.539
MA7_mtCO2_perday_total	8,700	12.697	25.000	0.341	0.883	9.412	108.513
MA7_emissions_index	8,700	48.786	21.756	0.000	34.138	64.041	100.000

IV – Método

Para correlacionar a pandemia com impactos no meio ambiente através de mudanças na mobilidade serão estimadas regressões com os dados de emissões do *Carbon Monitor*, em relação aos indicadores de mobilidades Google, Waze e Apple.

Além disso, serão estimadas previsões de emissões de 2020 com base nas emissões de 2019 para efeitos de comparação.

As regressões, modelos e previsões ajudarão a estimar o impacto das mudanças na mobilidade das pessoas sobre o padrão de emissões dos países.

Cada indicador será inicialmente regredido sem controles, e depois controlando por país, para que se possa ver o impacto, seja ele positivo ou negativo, desse controle.

Ao final de todas as regressões, a melhor será escolhida para elaborar uma estimativa de emissões ao longo de 2020 na ausência da pandemia, a qual será comparada com as emissões observadas de fato, estimando assim o impacto da mudança de mobilidade da população sobre as emissões de CO₂.

A melhor regressão será considerada aquela que apresentar o melhor equilíbrio entre: indicadores estatisticamente significativos, maior R² ajustado e maior efeito da variável regressora sobre a regredida.

V – Regressões

- Regressões utilizando o Google Mobility Report:

1 - A primeira regressão utiliza a média móvel do índice de atividade *google* como regressor do índice de emissões do *Carbon Monitor*.

2 - A segunda regressão é com o índice de atividade econômica *google* sendo utilizado como regressor do índice de emissões do *Carbon Monitor*.

3 - A terceira regressão, utilizando o último dos índices criados sobre a base de dados *Google* usará o índice de atividade econômica com pesos como regressor do índice de emissões do *Carbon Monitor*.

Na tabela abaixo constam os resultados das 3 regressões supracitadas.

Tabela 4 - Efeito da mobilidade medida pelos indicadores Google sobre a emissão de CO2

Resultados regressões Google			
	Dependent variable:		
	MA7_change_against_GGMobRef (1)	(2)	(3)
MA7_activity_index	0.243*** (0.011)		
MA7_economic_activity_index		0.449*** (0.012)	
MA7_economic_activity_index_w			0.494*** (0.012)
Constant	-16.165*** (0.304)	-9.898*** (0.343)	-9.484*** (0.336)
Observations	3,150	3,150	3,150
R2	0.126	0.314	0.342
Adjusted R2	0.126	0.314	0.342
Residual Std. Error (df = 3148)	13.293	11.779	11.536
F Statistic (df = 1; 3148)	454.622***	1,440.133***	1,635.344***
Note:	*p<0.1; **p<0.05; ***p<0.01		

Na regressão (1) percebe-se que embora os efeitos da média móvel do índice de atividade Google sobre as o índice de emissões seja relativamente baixo, eles são estatisticamente significantes com mais de 99% de confiança.

Além disso, o efeito condiz com o esperado; população se deslocando mais, e a economia mais aquecida, o que se traduz em mais emissões de GEE.

Já na regressão (2), ao comparar seu resultado com o anterior, podemos notar que o efeito do índice cresceu em mais de duas vezes. Além disso todos os efeitos continuaram estatisticamente significativos a mais de 99,9% de confiança.

Entretanto o que mais chama a atenção é o aumento de quase 4 vezes no R2 ajustado da regressão, o que demonstra que o Índice foi consideravelmente melhor que o anterior em explicar os números na regressão.

Usar um índice mais focado em indicadores diretamente ligados a atividade econômica gerou um resultado mais robusto, um efeito que condiz com o esperado.

Na regressão (3), ao utilizar o índice de atividade econômica com pesos, o efeito da variável regressora é ainda maior, mantendo o nível de confiança máximo e demonstrando um R2 maior que a Regressão (2).

Comparando as 3 regressões, o Índice de Atividade com Pesos se mostra como um regressor melhor para explicar as emissões dos países, o Índice apresentou um efeito maior que seus pares, sendo estatisticamente significante e atingindo o maior R2 dos 3.

Agora, repetiremos a regressão com os mesmos índices e variável dependente, mas adicionando um controle ao nível de país.

A tabela abaixo mostra os efeitos das regressões de cada uma das três variáveis controlando por país.

Tabela 5 - Efeito da mobilidade medida pelos indicadores Google sobre a emissão de CO2 controlado por país

Resultados regressão Google controlado por país			
=====			
	Dependent variable:		

	MA7_change_against_GGMobRef		
	(1)	(2)	(3)

MA7_activity_index	0.249*** (0.012)		
MA7_economic_activity_index		0.463*** (0.012)	
MA7_economic_activity_index_w			0.519*** (0.013)
country_regionFrance	-15.326*** (0.988)	-9.992*** (0.881)	-7.911*** (0.865)
country_regionGermany	-13.289*** (1.007)	-8.701*** (0.874)	-7.470*** (0.852)
country_regionIndia	-10.035*** (0.997)	-7.056*** (0.888)	-4.953*** (0.873)
country_regionItaly	-14.804*** (0.987)	-9.489*** (0.885)	-7.878*** (0.868)
country_regionJapan	-8.889*** (0.993)	-8.467*** (0.875)	-8.350*** (0.852)
country_regionRussia	-5.039*** (1.002)	-3.854*** (0.876)	-1.218 (0.851)
country_regionSpain	-6.181*** (0.988)	-1.258 (0.888)	0.311 (0.871)
country_regionUnited Kingdom	-5.715*** (0.987)	1.670* (0.897)	3.537*** (0.882)
country_regionUnited States	-3.197*** (0.991)	0.545 (0.875)	2.399*** (0.856)
Constant	-7.814*** (0.736)	-4.920*** (0.652)	-5.793*** (0.625)

Observations	3,150	3,150	3,150
R2	0.243	0.407	0.438
Adjusted R2	0.241	0.405	0.436
Residual Std. Error (df = 3139)	12.388	10.963	10.680
F Statistic (df = 10; 3139)	100.876***	215.728***	244.216***
=====			
Note:	*p<0.1; **p<0.05; ***p<0.01		

Ao controlar por país, verifica-se uma melhora generalizada nas regressões. Os índices passam a ter um efeito mais forte sobre as emissões, e todas apresentam um aumento em seu R2.

Adicionalmente, os efeitos fixos de cada país são em sua grande maioria relevantes e estatisticamente significantes, com algumas exceções pontuais.

Novamente, o Índice de Atividade com Pesos parece ser o melhor regressor das 3 opções, chegando a atingir um R2 de 0,384 na regressão controlada por países.

-Regressões utilizando o Waze COVID-19 Impact Dashboard

1 – Primeira regressão utilizará o índice Waze de Km/Dia como regressor do índice de emissões do *Carbon Monitor*.

A tabela abaixo mostra a regressão do Índice Waze sobre o Índice de Emissões.

Tabela 6 - Efeito do Índice Waze sobre a emissão de CO2

Resultados regressão Apple	
Dependent variable:	
MA7_change_against_GGMobRef	
MA7_ap_activity_index	0.151*** (0.007)
Constant	-16.832*** (0.244)
Observations	3,460
R2	0.132
Adjusted R2	0.131
Residual Std. Error	13.913 (df = 3458)
F Statistic	523.801*** (df = 1; 3458)
Note:	*p<0.1; **p<0.05; ***p<0.01

A regressão do índice desenvolvido a partir da base de dados do *Waze* apresenta efeitos estatisticamente significativos, embora pequenos. Eles fazem sentido com o

esperado, com um aumento na distância média dirigida pelos usuários levando a um aumento na emissão diária de CO₂.

2 – A segunda regressão repetirá a primeira controlando por países, como mostrado na tabela abaixo.

Tabela 7 - Efeito do Índice Waze sobre a emissão de CO₂ controlado por país

Resultados regressão Apple por país	
=====	
	Dependent variable:
	MA7_change_against_GGMobRef

MA7_ap_activity_index	0.163*** (0.007)
country_regionFrance	-14.846*** (1.000)
country_regionGermany	-12.973*** (1.016)
country_regionIndia	-13.249*** (0.998)
country_regionItaly	-14.372*** (0.997)
country_regionJapan	-11.258*** (1.022)
country_regionRussia	-8.496*** (1.044)
country_regionSpain	-7.177*** (0.997)
country_regionUnited Kingdom	-6.250*** (0.997)
country_regionUnited States	-3.519*** (1.002)
Constant	-7.510*** (0.724)

Observations	3,460
R2	0.231
Adjusted R2	0.229
Residual Std. Error	13.109 (df = 3449)
F Statistic	103.661*** (df = 10; 3449)
=====	
Note:	*p<0.1; **p<0.05; ***p<0.01

Controlar por países aumenta ligeiramente o efeito do índice, mas aumenta em quase duas vezes o R² da regressão.

É interessante perceber que embora o R2 da regressão continue baixo, todos os seus efeitos são estatisticamente significantes a alto nível de confiança.

-Regressões utilizando o Apple Mobility Report

1- Primeira regressão utilizará o índice de atividade Apple como regressor do índice de emissões do *Carbon Monitor*.

A tabela abaixo mostra a regressão do Índice de atividade Apple sobre o Índice de Emissões.

Tabela 8 - Efeito do Índice Apple sobre a emissão de CO2

```

Resultados regressão Waze
=====
                                Dependent variable:
                                -----
                                MA7_change_against_GGMobRef
-----
MA7_miles_driven_index          0.153***
                                (0.009)

Constant                         -16.738***
                                (0.348)

-----
Observations                     2,397
R2                               0.110
Adjusted R2                      0.109
Residual Std. Error              13.783 (df = 2395)
F Statistic                      294.803*** (df = 1; 2395)
=====
Note:                            *p<0.1; **p<0.05; ***p<0.01

```

O índice Apple apresenta efeitos pequenos embora estatisticamente significantes, em linha com a expectativa de que uma maior requisição por direções em aplicativos representa uma maior mobilidade da população, o que por sua vez gera mais emissões.

2- A segunda regressão repetirá a primeira controlando por países, como mostrado na tabela abaixo.

Tabela 9 - Efeito do Índice Apple sobre a emissão de CO2 controlado por país

Resultados regressão Waze por país	
=====	
Dependent variable:	

MA7_change_against_GGMobRef	

MA7_miles_driven_index	0.156*** (0.009)
country_regionFrance	-16.366*** (1.036)
country_regionGermany	-9.397*** (1.034)
country_regionItaly	-15.617*** (1.036)
country_regionRussia	-5.972*** (1.058)
country_regionSpain	-7.003*** (1.035)
country_regionUnited Kingdom	-6.173*** (1.035)
country_regionUnited States	-1.835* (1.034)
Constant	-8.887*** (0.763)

Observations	2,397
R2	0.250
Adjusted R2	0.248
Residual Std. Error	12.666 (df = 2388)
F Statistic	99.643*** (df = 8; 2388)
=====	
Note:	*p<0.1; **p<0.05; ***p<0.01

Novamente, controlar por países aumenta o efeito do índice e aumenta também o R2 da regressão. Nesse caso todos os países possuem efeitos relevantes e estatisticamente significativos.

VI – Resultados

Com todos os dados disponíveis e as regressões feitas, é o objetivo final deste trabalho mensurar o impacto da pandemia nas emissões de dióxido de carbono (CO₂) em números.

Mensurando a partir do histórico de emissões

A partir dos dados de emissões de CO₂ em 2019 e 2020, podemos estimar aproximadamente quantos GEE deixaram de ser emitidos devido a pandemia de COVID-19 ao comparar cada mês de 2019 (um ano “usual”) com seu respectivo mês em 2020.

A imagem abaixo representa essa comparação mês a mês de emissões de 2020 em relação a 2019.

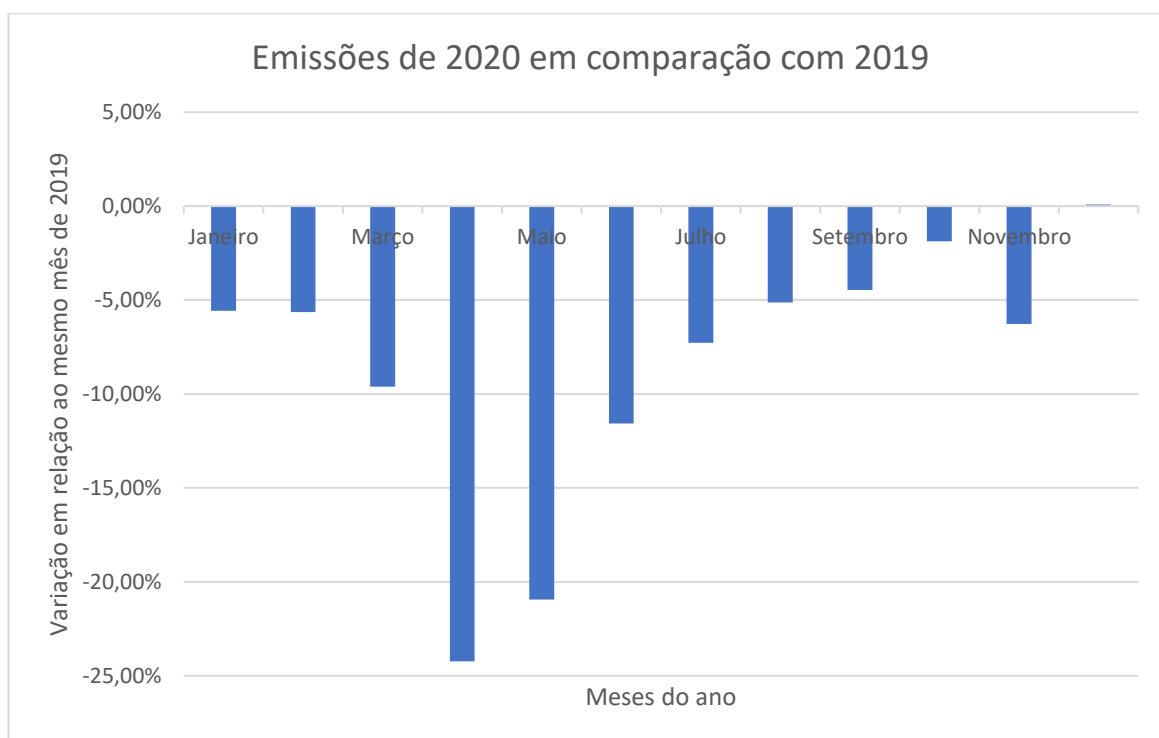


Figura 5 - Comparação de emissões entre meses, 2020 sobre 2019

A partir da estimativa desse método, observa-se que houve em média 8,54% menos emissões de CO₂ em 2020 do que em 2019. A maior queda percentual na comparação se deu em relação ao mês de abril, no qual houveram 24,23% menos emissões no ano de 2020 em comparação a 2019.

Outra forma também parte dos dados de emissões de CO₂ de 2019, entretanto ao invés de realizar uma comparação simples dos respectivos meses, podemos construir modelos para estimar como deveriam ter sido as emissões de CO₂ em 2020 caso a pandemia não tivesse acontecido.

Isso é feito utilizando o ano de 2019 como base para o desenvolvimento de uma estimativa de 2020. O objetivo é então comparar as emissões factuais de 2020 com essa estimativa.

Seguindo essa proposta e utilizando um modelo linear de previsão, obtemos:

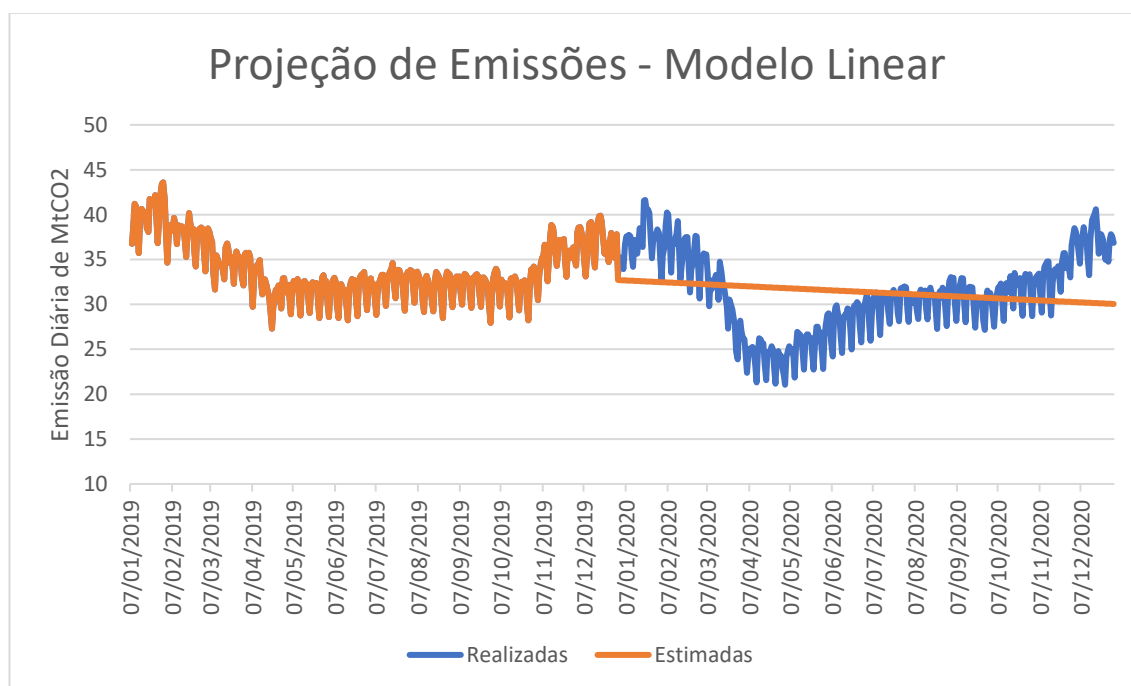


Figura 6- Previsão das emissões de 2020 a partir de 2019 usando um modelo linear

Pela estimativa do modelo linear houve em média 0,22% menos emissões em 2020, o que equivale a 36 toneladas de Dióxido de Carbono a menos na atmosfera em comparação com as remissões realizadas.

O modelo linear é uma forma de previsão bem simples, que considera somente a tendência geral do ano inteiro. Essa projeção indica um total de emissões em 2020 menor que o de 2019, o que não é uma estimativa muito crível em um ano usual que é o nosso objetivo de estimativas.

Usaremos agora o modelo SARIMA, que é um modelo mais sofisticado e que usa sazonalidade para suas previsões, algo que parece presente na série de dados de emissões. O objetivo é alcançar uma projeção mais realística e crível.

Ao utilizar um modelo SARIMA, obtemos:

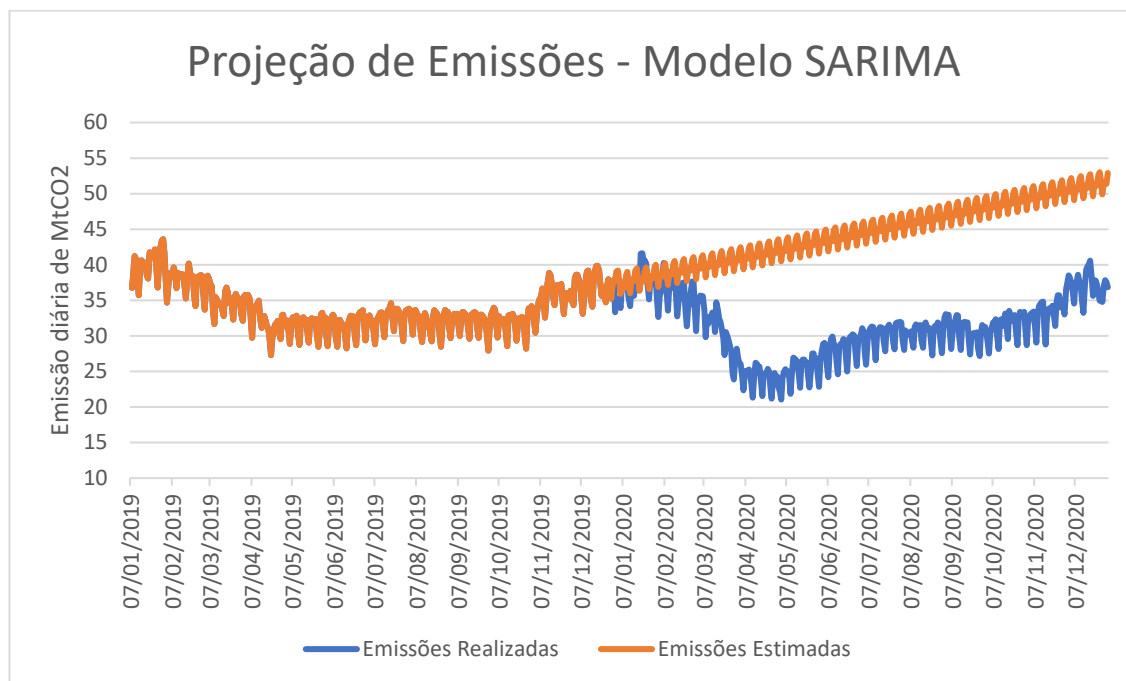


Figura 7 - Previsão das emissões de 2020 a partir de 2019 usando um modelo SARIMA

Pela estimativa desse modelo, houve em média 29,29% menos emissões em 2020 em relação a 2019, o que equivale a 4.880 toneladas de Dióxido de Carbono a menos na atmosfera no ano.

O modelo gerou uma previsão mais crível de emissões para 2020 em comparação a estimativa linear.

Mensurando a partir das regressões

As regressões feitas no capítulo anterior serão usadas agora para estimar as emissões de 2020 e então comparar com as observadas.

A regressão que apresentou o efeito mais forte de sua variável e também o maior R2 dentre todas foi a regressão do Índice de Atividade Econômica com Pesos (tabela 5, regressão 3). Utilizaremos, portanto, essa regressão como base da nossa estimativa.

Dado que o Índice de Atividade Econômica com Pesos se trata de um indicador que representa mudança % em relação ao período pré-pandemia, para encontrar o valor

previsto de emissões por essa regressão, basta assumir que o Índice é 0, e, portanto, representa a normalidade.

Abaixo está a comparação, a nível de país, das emissões diárias previstas pelo modelo seguindo este método, com as emissões realizadas.

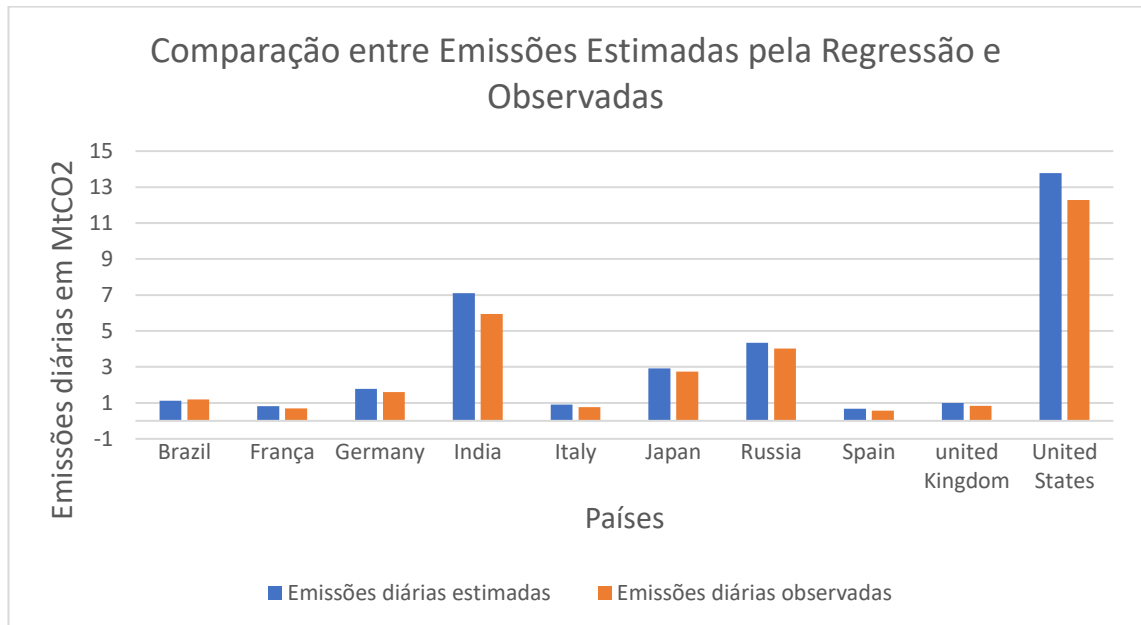


Figura 8 - Emissões estimadas em normalidade pela regressão e emissões observadas, por país

Em todos os países, com a exceção do Brasil, as emissões estimadas foram maiores do que as observadas.

No gráfico abaixo está explícita a diferença % a nível de país.

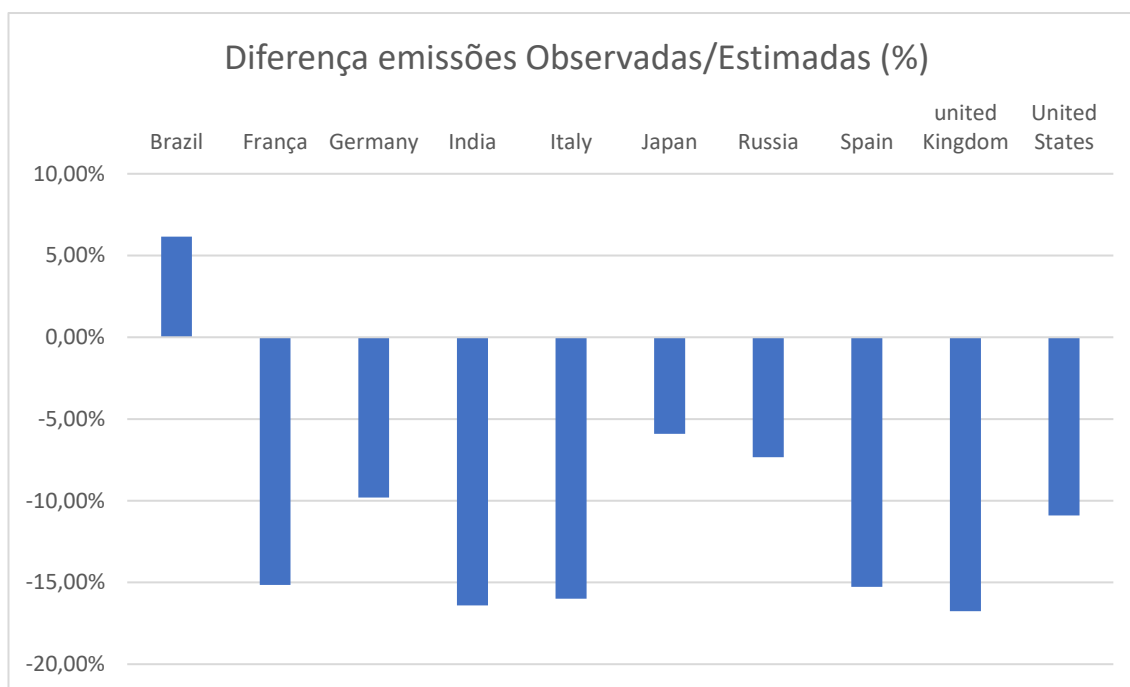


Figura 9 - Diferença % entre emissões observadas e estimadas, por país

Em média, as emissões estimadas nesses países foram 10,74% menores do que as observadas. Portanto, pelo modelo da regressão, a redução de mobilidade da população, que se deu em decorrência da pandemia, resultou em uma diminuição média de 10% de emissões de dióxido de carbono em cada país, ao longo do ano de 2020. Isso significa 11,05% a menos de emissões totais, através de uma média ponderada pela quantidade de emissões de cada país.

De acordo com essa estimativa, a pandemia fez com que fossem emitidas 1387 toneladas a menos de dióxido de carbono ao longo do ano de 2020.

Considerações finais

Todos os métodos usados para estimar as emissões na ausência da pandemia contém fragilidades.

A comparação simples de mês a mês entre 2020 e 2019 ajuda a minimizar mudanças sazonais, entretanto não considera a trajetória das emissões. Somente indica o quanto dado mês desviou da sua média anterior, e não quanto ele desviou da sua tendência original (pré pandemia).

O modelo SARIMA considera a sazonalidade nas suas previsões, mas possui somente o ano de 2019 como base e carece de qualquer controle para refinar a sua modelagem.

A estimativa de emissões a partir da regressão do Índice de Atividade Econômica com Pesos do *Google Mobility Report*, utiliza como período base, tanto para o índice google quanto para o de emissões, um período de 4 semanas entre janeiro e fevereiro de 2020. Nenhum dos dois indicadores considera tendências do ano ou meses anteriores, além de desconsiderar também mudanças sazonais (período base do *Google* se dá durante o inverno de oito dos dez países do estudo, período durante o qual as pessoas naturalmente se movimentam menos).

Estar ciente das limitações dos modelos e estimativas aqui apresentados é fundamental para uma interpretação fundamentada, e consciente dos resultados.

Para fins de simplicidade, não me aprofundei nas emissões por setor, me atendo às emissões totais dos países. Entretanto, diferenciar as emissões por setor, e as regredir com outros indicadores para além da mobilidade, poderia trazer à tona estimativas melhores do que as aqui apresentadas. Por isso, um possível próximo passo desse estudo seria realizar as estimativas de forma mais aprofundada e ampla.

Por fim, o estudo conduzido nesse trabalho atingiu sua ambição final; ele foi capaz de mensurar o impacto da pandemia de COVID-19 sobre as emissões de gases do efeito estufa (nominalmente o dióxido de carbono) através da mobilidade da população de diversos países.

Ao fazer isso, o estudo ajuda a compreender o impacto deste evento para além da saúde pública e da economia, ilustrando seu impacto na batalha contra as mudanças climáticas.

Espero que os *Policy Makers* se aprofundem no entendimento dos mecanismos através dos quais pode-se diminuir as emissões dos países, com o objetivo de conseguir limitar o aquecimento do planeta a 1,5° C até 2100.

VIII – Referências

AZEVEDO, Tasso. IMPACTO DA PANDEMIA DE COVID-19 NAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NO BRASIL. **Observatório do Clima**, Brasil, v. 1, n. 1, p. 1, mai./2020.

COVID-19 APPLE. **Relatórios de tendências de movimentação**. Disponível em: <https://covid19.apple.com/mobility>. Acesso em: 1 jul. 2021.

EXAME. **Vendas online no Brasil crescem 47% no 1º semestre, maior alta em 20 anos**. Disponível em: <https://exame.com/pme/e-commerce-brasil-cresce-47-primeiro-semester-alta-20-anos/>. Acesso em: 1 set. 2020.

FORTUNE. **Hollywood must adapt to remote work or suffer the consequences**. Disponível em: <https://fortune.com/2020/07/01/hollywood-film-remote-work-coronavirus/>. Acesso em: 1 set. 2020.

G1 GLOBO. **Iata eleva para US\$ 314 bilhões previsão de perdas em receitas de companhias aéreas em 2020**. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/noticia/2020/04/14/iata-eleva-para-us-314-bilhoes-previsao-de-perdas-em-receitas-de-companhias-aereas-em-2020.ghtml>. Acesso em: 1 set. 2020.

GOOGLE. **Veja as mudanças no deslocamento da sua comunidade em função da COVID-19**. Disponível em: <https://www.google.com/covid19/mobility/>. Acesso em: 1 jul. 2021.

INTERNATIONAL MONETARY FUND. **Policy Support and Vaccines Expected to Lift Activity**. Disponível em: <https://www.imf.org/en/Publications/WEO/Issues/2021/01/26/2021-world-economic-outlook-update>. Acesso em: 1 set. 2020.

INTERNATIONAL MONETARY FUND. **Report for Selected Countries and Subjects: October 2020**. Disponível em: https://www.imf.org/en/Publications/WEO/weo-database/2020/October/weo-report?a=1&c=001,110,998,200,&s=NGDP_RPCH,LUR,&sy=2018&ey=2021&sm=0&scsm=1&sc=0&ssd=1&ssc=0&sic=0&sort=country&ds=.&br=1. Acesso em: 1 out. 2020.

MONEY TIMES. **Receita de restaurantes e bares caiu 69% desde o começo da pandemia**. Disponível em: <https://www.moneytimes.com.br/receita-de-restaurantes-e-bares-caiu-69-desde-o-comeco-da-pandemia/>. Acesso em: 1 set. 2020.

NASA. **Climate Change: How Do We Know?**. Disponível em: <https://climate.nasa.gov/evidence/>. Acesso em: 1 set. 2020.

NEWS-MEDICAL. **43 127 How does the COVID-19 Pandemic Compare to Other Pandemics?**. Disponível em: <https://www.news-medical.net/health/How-does-the-COVID-19-Pandemic-Compare-to-Other-Pandemics.aspx>. Acesso em: 1 set. 2020.

PARR, Ben; YOUNG, C. E. F; HENRY, Don. Opportunities for a low pollution economic recovery in Brazil. **Briefing Paper** , VIC, Australia, v. 8, n. 1, p. 1, abr./2017.

WAZE. **Mantendo o Waze atualizado durante a pandemia COVID-19.** Disponível em: <https://www.waze.com/pt-BR/covid19>. Acesso em: 1 jul. 2021.

WORLD ECONOMIC FORUM. **Torn safety nets: How COVID-19 has exposed huge inequalities in global education.** Disponível em: <https://www.weforum.org/agenda/2020/06/torn-safety-nets-shocks-to-schooling-in-developing-countries-during-coronavirus-crisis/>. Acesso em: 1 set. 2020.

IEA (2020), **Global Energy Review 2020**, IEA, Paris
<https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2020>

Liu, Z., Ciais, P., Deng, Z. et al. **Near-real-time monitoring of global CO₂ emissions reveals the effects of the COVID-19 pandemic.** Nat Commun 11, 5172 (2020).
<https://doi.org/10.1038/s41467-020-18922-7>

Spratt, David; Dunlop, Ian & Schellnhuber, Hans. (2018). **WHAT LIES BENEATH: THE UNDERSTATEMENT OF EXISTENTIAL CLIMATE RISK.**

Spratt, David & I. Dunlop. **“Existential climate-related security risk: a scenario approach.”** (2019).

IPCC, 2018: **Global Warming of 1.5°C**. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. In Press.