

# 1 Introdução

Sobre uma análise preliminar, olhando o que está sendo pesquisado na área de bibliometria e sustentabilidade, não muito está acontecendo, muito menos quando se fala na questão de estatística. Lendo alguns artigos sobre pesquisas bibliométricas em sustentabilidade, a grande maioria dos resultados mostra que existe um crescimento, mas algumas áreas ainda não mostram a importância desse assunto. Dentre elas a área de engenharia ecológica, que basicamente está mais focada em um único assunto, com poucas publicações saindo de uma mesma norma.

Fazendo uma análise na questão de bibliometria de estatística, não se tem, aparentemente, um artigo que fez um enfoque entre essas áreas, sustentabilidade e estatística, então ainda é algo aparentemente novo, quanto a isso.

Interessantemente, os principais tópicos que estão sendo pesquisados na área de sustentabilidade são, desenvolvimento sustentável, sustentabilidade ambiental, sustentabilidade urbana, pegada ecológica, mudanças climáticas [1]. Olhando por cima, parece que talvez o mais fácil de se achar metodologias estatísticas seja na parte de mudanças climáticas, quanto sua identificação e pegada ecológica, quanto a sua mensuração, mas claro que é válido um olhar mais crítico e uma análise mais profunda.

Me deixa um pouco preocupado o fato de que, aparentemente, não se tem uma metodologia estatística muito bem definida, seja talvez por um receio de se usar ou falta de estudos sobre como ela pode ser usada, mas claro que posso só estar olhando de forma errada o problema.

# 2 Sustentabilidade

Sobre um viés, observando artigos bibliométricos sobre a sustentabilidade, por mais que muitos tenham sido lançados recentemente, percebe-se uma emergência de palavras chaves e tópicos que estão sendo pesquisados, que vai evoluindo ao longo do tempo. No começo da década, o foco era mais em conscientizar e mostrar a importância, já perto de 2006, mudou para um foco em manuseio sustentável da água e crescimento econômico. Mais recentemente, estão em otimização dos SGD's [1].

É interessante que no meio de tudo ainda, ainda se teve a pandemia do COVID-19, que faz com que talvez se tenha uma distorção do que realmente se estava pesquisando e quais vão ser as tendências, já que agora, imagino eu, se terá uma emergência bastante grande de artigos que vão relacionar esse tópico com a sustentabilidade.

Ainda não consegui ver com muita clareza palavras chaves que usaram para fazer a pesquisa bibliométrica, mas vou continuar pesquisando mais para ver se consigo achar algo mais concreto.

Em questão de palavras chaves, algumas menções vão para

- Urban Metabolism

- Urban Ecosystem
- Sustainability accounting
- industrial ecology
- industrial symbiosis
- industrial metabolism
- industrial ecosystem
- socio-economic metabolism
- life cycle analysis
- material flow analysis
- life cycle assessment
- input-output

Na parte de estatística eu particularmente não vi nada relacionado com a sustentabilidade, no quesito de trabalhos feitos, então é algo inédito, ao meu ver. Mas pode ser algo difícil, como já mencionado. Não se tem tantos trabalhos usando a estatística, mas os que tem são bastante proveitosos e de qualquer forma acho válido que sejam feitas análises.

### 3 Resiliência

Na parte de resiliência, aparentemente se tem uma maior variedade quanto ao uso de métodos estatísticos. Tanto no uso de teoria da informação e entropia [2], quanto o uso de outros métodos também.

Em uma outra análise, esse tópico também é extremamente diverso, de forma que dentro da resiliência, algumas áreas vem utilizando mais, de forma mais abrangente, métricas, como por exemplo Ecological Resilience [3].

### 4 Um estudo sobre métodos de medição de CO<sub>2</sub> por satélites

Um técnica interessante e que desconhecia quanto sua existência, era a medição de dióxido de carbono e outros poluentes por meio de satélites, enquanto não tão nova e já existiram a um certo tempo, essa técnica vem crescendo em popularidade e estudos vem sendo conduzidos quanto a meios de se melhorar as medições.

A ideia de precisarmos disso é do fato de que, por meio das resoluções da ONU, quanto ao desenvolvimento sustentável, se mostra necessário o monitoramento de poluentes e a quantidade de CO<sub>2</sub> e outros gases nocivos que se libera

por um país. Enquanto se é possível medir por sensores terrestres, a técnica se mostra custosa e precisa de uma grande área, teoricamente o país todo, ser monitorado para que realmente seja eficiente, fato claro que não é tão viável.

Então, se tem a ideia de usar satélites para que se tenha essa medição. Enquanto sua maioria não possui a maior das áreas, algumas variando de 2x2 km, até 10x10, o fato de poder ser escaneado o país todo, e por fato, uma grande área do globo, se mostra vital que seja mais desenvolvida e implementada.

A ideia de funcionamento desses satélites se baseia na medição de espectros de luz, geralmente com comprimento e onda perto do infravermelho, e com base em cálculos de como a luz varia, conseguem medir a quantidade de CO<sub>2</sub>, mais especificadamente, da coluna de CO<sub>2</sub> que se tem, ou o XCO<sub>2</sub>.

Um dos grandes problemas disso, é que como se baseia no fato de dependermos da luz, outros poluentes, nuvens, aerossóis, difração e refração da luz podem atrapalhar na nossa medição, de forma que se precisa leva-los em conta e fazer as devidas correções dos dados que os satélites nos enviam.

Com a adoção dessa tecnologia, vem um problema, que diversos países estão trabalhando em novos satélites e formas de calcular essa medição, mas ainda não é padronizado, de forma que se formos fazer uma comparação entre o satélite da Nasa (OCO-3) e o japonês (GOSAT-2), se tem uma variação quanto a medição, de forma que se dificulta a comparação dos dados.

De acordo com 4, têm-se 9 algoritmos distintos, até 2016, onde se calcula o XCO<sub>2</sub> baseado nos dados que os satélites nos enviam.

## 4.1 Algoritmos

Todos os algoritmos são descritos de forma similar ao escrito no artigo [4], onde posteriormente escreverei de forma mais detalhada sobre cada um

### 4.1.1 WFE-DOAS

Esse método se baseia num ajuste sem restrição por mínimos quadrados, desenvolvido especificadamente para o equipamento no satélite Evisat-1. Para o ajuste linear foi feito a utilização de funções de pesos para a coluna do peso de gás, um para a temperatura e um polinômio de um baixo grau. O logaritmo de uma função linearizada de um modelo de transferência de radiativa, mais um polinômio de baixo grau é ajustado para a radiância normalizada do sol.

Esse modelo foi melhorado usando os Fatores-M, que são fatores multiplicativos relacionados à calibração radiométrica absoluta. Ademais, esse modelo foi melhorado considerando o perfil vertical do aerossol para a transferência radiativa e por meio de detectores de nuvens.

## 4.2 BESD

Esse algoritmo utiliza de melhores estimadores e do WFM-DOAS. Para um outro satélite, existe também o BESD/C, que é similar ao BESD, mudando um pouco quanto ao vetor de estado. O BESD/C é baseado também na técnica

de melhor estimador e usa informações a priori para que aja uma certa restrição. Ademais, para melhorar mais a velocidade de computação e diminuir os erros sistemáticos de XCO<sub>2</sub> e XCH<sub>4</sub>, um método de parametrização de erro foi criado como uma função de parâmetros de diversas entradas críticas, como a profundidade óptica dos Aerosols, altitude cirrus, etc.

### 4.3 Algoritmo NIES

Desenvolvido pelo Japão para seu satélite GOSAT, também é baseado na técnica de melhor estimador. Em adendo ele também inclui um algoritmo, sem bias, de detecção de nuvens e utiliza bandas espectrais do carbono, metano e oxigênio para cálculos. Ele foi melhorado mudando-se o dataset de irradiação solar, melhorando as propriedades ópticas dos aerosols, dentre outros aspectos.

### 4.4 PPDF

Esse algoritmo foi desenvolvido implementando a PDF dos caminhos de fótons, que faz com que também inclua pequenas nuveá de CO<sub>2</sub>, quando se observa a luz solar no *near-infrared*. A parametrização do efeito das nuvens é baseado numa análise estatística dos caminhos do fótons simulada por meio de técnicas de Monte Carlo. Esse método imita o DOAS quando ignoramos modificações no caminho da luz.

### 4.5 ACOS

Esse método foi desenvolvido pela NASA para o satélite OCO. Esse algoritmo também utiliza da técnica de melhor estimador, onde os parâmetros de entrada de um *Forward Model* são otimizados para que deem um espectro simulado que se aproxime do espectro medido, enquanto simultaneamente são restringidos por informações a prior.

Um dos problemas desse modelo é que ele não consegue lidar com nuvens, ou seja, é um grande problema para dias em que isso acontece.

### 4.6 Algoritmo UoL-FP

Desenvolvido pela universidade de Leicester, esse algoritmo utiliza de um *Forward Model* e de um método inverso. O *Forward Model* consiste em um modelo de transferência radiativa, um modelo solar e um modelo de instrumento. O método inverso é baseado na técnica de melhor estimador. Esse algoritmo foi criado para o satélite OCO-2, ou seja, ele utiliza os mesmos dados que o ACOS, se diferenciando na definição do seu vetor de estado, os valores a priori, covariância e em especial no tratamento dos aerosols e nuvens cirrus<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup>Basicamente são as nuvens que parecem algodão, aquelas que primeiro imaginamos quando falamos de nuvens

## 4.7 RemoTeC

Esse é um método de *retrieval* que permite que se colete alguns parâmetros efetivos de aerosols simultaneamente com a coluna de CO<sub>2</sub>, utilizando a parametrização da quantidade de partículas, distribuição de alturas, e propriedades microscópicas. Uma das principais qualidades desse método é conseguir coletar a concentração de gases e as propriedades de dispersão das partículas atmosféricas usando um modelo muito efetivo de transferência radiativa.

## 4.8 SECM

Esse método foi desenvolvido para simular as concentrações ambientes, de *background*, do CO<sub>2</sub>, utilizando misturas de razões de concentrações de gases e XCO<sub>2</sub>. Esse método é uma equação simples utilizando 17 parâmetros empíricos, latitude e data. Os parâmetros empíricos foram determinados por meio de encaixe de mínimos quadrados.

Esse método, dependendo apenas na data e longitude consegue explicar 94% da variabilidade na concentração de CO<sub>2</sub> da atmosfera. Esse método pode ser utilizado como um conhecimento a priori para achar o melhor estimador para outros modelos.

## 4.9 Método de Câmara

Esse método foi desenvolvido por 5 desenvolveu esse método onde ele combina, o DOAS, BESD, NIES, NIES-PPDF, ACOS, UoL-FP e RemoTeC para criar um novo dataset. O princípio básico se apoia em que cada algoritmo tem suas próprias vantagens e desvantagens, de forma que é extremamente raro que eles geraram outliers para o mesmo lado, então um "arrumaria" o erro do outro.

A ideia é que o satélite capitaria a radiação solar nas bandas de absorção do CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub>, onde um modelo de transferência radiativa mais um *forward model* são utilizados para simular as medidas do satélite para um vetor paramétrico conhecido e um vetor de estado desconhecido. Um método de inversão então é utilizado para achar o vetor de estado que melhor se ajusta ao resultados medidos. O vetor de estado é assumido como sendo aquele em que tenha maior probabilidade da atmosfera estar naquele momento.

## 5 Dificuldades apresentadas

Um dos grandes problemas desses algoritmos é a falta de padronização entre eles, de forma que por exemplo, medidas de XCO<sub>2</sub> podem variar entre cada de acordo com a importância dada ao parâmetro de verticalidade. O algoritmo do OCO calcula por meio da pressão, enquanto o SCIAMACHY calcula por meio da quantidade de moléculas de ar e pela componente de ar seco.

Ademais, até problemas com nuvens e aerossóis, assim como assumir coisas que talvez não sejam verdade, como o caminho da luz, já que pode ocorrer

fenômenos de desvio de caminho, como a refração, etc, podem gerar grandes erros nos cálculos, se o método for dependente desses dados.

Ademais, como a grande maioria das medições são feitas por uso de luz e análise de bandas, tanto do CO<sub>2</sub> quanto do CH<sub>4</sub> algumas dificuldades no quesito que outros gases possuem bandas relativamente perto das bandas de absorção dos gases mencionados, o próprio O<sub>2</sub>, possui bandas bastante perto do CO<sub>2</sub>, menos pronunciadas, mas mesmo assim atrapalham. Nuvens e vapor de água também possuem bandas assim que dificultam a leitura e retorno dos dados.

## 6 Medição de Carbono

Enquanto parece um pouco difícil, surpreendentemente, achar algumas bibliometrias sobre medição de carbono, acho que vem muito do fato de ser relativamente descentralizado, ou talvez por incompetência própria mesmo.

Mas de qualquer forma, o jeito que aparentam mais se falar disso é utilizando o termo *Carbon Stocks*, que num termo realmente de bolsa de valores, faz o cálculo do que é lançado para a atmosfera menos o que é recuperado. Enquanto o artigo de [4] fala um pouco sobre algumas estações terrestres de medição, a grande maioria dos artigos falam focam em algumas medições de forma mais bem localizada.

Por exemplo, se tem muitos artigos falando sobre diversos tópicos, desde de sequestro de carbono por meio de micro-algas a medição de carbono no solo devido a agricultura, o ponto mais importante, talvez, claro que os outros não devem ser excluídos, é a questão dos *Carbon Stocks*.

Um artigo muito interessante, por mais que meio antigo, é [6], onde ele faz uma revisão sistemática de métodos de cálculo de carbono, onde no apêndice A ele coloca termos de busca que ele usou para conseguir artigos para fazer sua análise, vale a pena dar uma olhada. Mais do que apenas medições, muitas estimativas vem apenas de equações e observações feitas previamente. Quando falamos, por exemplo, da floresta amazônica, é bastante difícil termos uma exata estimativa de quanto ela está retirando, ou lançando, então muitas vezes se aproveita de modelos e equações desenvolvidas para, determinar a bio-massa, determinar quanto essa bio-massa troca carbono, dentre outras coisas, de forma que deveria ser incluído, na pesquisa

### 6.1 Palavras Chaves do Marco

Em nenhuma ordem em particular, eu diria importante termos

- Carbon Stocks
- Carbon Pools
- Carbon Budget
- Carbon Source

- Carbon Balance
- Carbon Sequestration
- REDD+
- Carbon Emissions
- Carbon Sinks
- Carbon Flux
- ABV
- Dead Wood Pools
- Peat
- Eddy Covariance
- Carbon Budget
- Near-Infrared
- Spectroscopy

Agora, para caso seja necessário já fazer a distinção entre os tipos de medições, podemos usar, para medição terrestre, essas palavras mais:

- *In situ*
- Ground Based
- Terrestrial
- Tower Based
- TCCON (Total Carbon Column Observing Network)
- NOAA's
- CONTRAIL

Para medição de satélites, podemos já usar essas palavras chaves:

- Satellite based
- Space based
- Above-ground
- Remote Sensing
- OCO-2
- Evisat-1
- ...

## Referências

- 1 ELLILI, N. O. D. Bibliometric analysis of sustainability papers: Evidence from environment, development and sustainability. *Environment, Development and Sustainability*, Springer Science and Business Media LLC, mar. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10668-023-03067-6>.
- 2 ULANOWICZ, R. E. et al. Quantifying sustainability: Resilience, efficiency and the return of information theory. *Ecological Complexity*, Elsevier BV, v. 6, n. 1, p. 27–36, mar. 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2008.10.005>.
- 3 CUSHMAN, S. A.; MCGARIGAL, K. Metrics and models for quantifying ecological resilience at landscape scales. *Frontiers in Ecology and Evolution*, Frontiers Media SA, v. 7, dez. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fevo.2019.00440>.
- 4 YUE, T. et al. Space- and ground-based CO<sub>2</sub> measurements: A review. *Science China Earth Sciences*, Springer Science and Business Media LLC, v. 59, n. 11, p. 2089–2097, set. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11430-015-0239-7>.
- 5 REUTER, M. et al. A joint effort to deliver satellite retrieved atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations for surface flux inversions: the ensemble median algorithm emma. *Atmospheric Chemistry and Physics*, v. 13, n. 4, p. 1771–1780, 2013. Disponível em: <https://acp.copernicus.org/articles/13/1771/2013/>.
- 6 PETROKOFISKY, G. et al. Comparison of methods for measuring and assessing carbon stocks and carbon stock changes in terrestrial carbon pools. how do the accuracy and precision of current methods compare? a systematic review protocol. *Environmental Evidence*, Springer Science and Business Media LLC, v. 1, n. 1, p. 6, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/2047-2382-1-6>.