



APERFEIÇOAMENTO DE ALGORITMO DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO NA FLORESTA CAATINGA.

Vinicius Clóvis Gomes de Almeida¹, John Elton de Brito Leite Cunha²

RESUMO

O monitoramento eficiente do balanço energético por satélite permite uma compreensão dos processos em florestas complexas, como a Caatinga, a qual necessita de aperfeiçoamentos nos métodos, cálculos e bases de dados utilizadas para a estimativa da evapotranspiração. O objetivo deste artigo foi apresentar os métodos de estimativa da evapotranspiração METRIC (*Mapping Evapotranspiration at High Resolution With Internalized Calibration*) e SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm for Land*), seguindo as etapas necessárias para obtenção do saldo de radiação. O saldo de radiação constitui-se como uma variável importante para a obtenção da evapotranspiração. As análises desenvolvidas permitirão o desenvolvimento de algoritmos mais eficientes para a obtenção da evapotranspiração na Caatinga.

Palavras-chave: METRIC, SEBAL, Saldo de Radiação.

¹Aluno do curso de Engenharia de Produção, UAEP, UFCG, Sumé, PB, e-mail: vcga1256@gmail.com

²Dr., Professor, UAEP, UFCG, Sumé, PB, e-mail: john.brito@ufcg.edu.br

APERFEIÇOAMENTO DE ALGORITMO DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO NA FLORESTA CAATINGA.

ABSTRACT

The radiation balance is an essential variable for obtaining evapotranspiration. The efficient monitoring of the energy balance by satellite allows an understanding of the processes in complex forests, such as the Caatinga, which needs improvements in the methods, calculations, and databases used to estimate evapotranspiration. This article presented the METRIC (Mapping Evapotranspiration at High Resolution With Internalized Calibration) and SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land) evapotranspiration estimation methods, following the steps necessary to obtain the radiation balance. The developed analyzes will allow the development of more efficient algorithms to get evapotranspiration in the Caatinga.

Keywords: METRIC, SEBAL, Net Radiation.

1. INTRODUÇÃO

As alterações climáticas estão modificando os ciclos da água e de energia da Terra, o que influenciará a disponibilidade de água ao nível regional e poderá limitar a sua utilização pelos ecossistemas e pelo Homem (GARCIA & YOU, 2016). Mudanças em um ecossistema podem ter implicações diretas em seu balanço energético. A degradação de um ecossistema diminui a dissipação de energia pela fotossíntese ou evapotranspiração (ET), que pode ser revertida à medida que esse ecossistema recupera sua maturação (ATTORRE et al., 2019). Entender o melhor processo para a obtenção de todas as variáveis do Balanço de Energia (BE), a diferentes escalas espaciais e temporais, é então, de extrema importância para uma gestão sustentável dos recursos naturais. O monitoramento eficiente do balanço energético por satélite permite uma compreensão dos processos em florestas complexas, como a Caatinga, a qual necessita de aperfeiçoamentos nos métodos, cálculos e bases de dados utilizadas para a estimativa da evapotranspiração.

Localmente, os fluxos de energia podem ser medidos por diversas técnicas, com diferentes níveis de precisão e de resolução espacial (ALLEN et al., 2011). Entre estes, a cintilometria é considerada a técnica mais adequada para a medição dos fluxos turbulentos sobre as superfícies vegetais esparsas e heterogêneas, em que ocorre uma grande variabilidade espacial dos fluxos (ASSADI et al., 2018). De fato, só os cintilômetros permitem efetuar medições espacialmente integradas, desde o nível da pequena parcela experimental, até à escala da paisagem, englobando vários quilômetros. Já os sistemas de correlações turbulentas são os instrumentos mais tradicionais utilizados para medir as interações entre superfície-atmosfera, através da quantificação das trocas gasosas e energia (ALLEN et al., 2011).

É amplamente reconhecido que o sensoriamento remoto é o modo mais eficiente de monitorizar a superfície terrestre e de obter estimativas integradas dos fluxos de energia da superfície (ZHANG et al., 2016). Entretanto, as observações de satélite não possuem uma assinatura específica que possa ser diretamente atribuída aos fluxos da superfície. A estimativa desses fluxos tem assim de ser obtida por uma combinação das observações de satélite nas várias bandas do espectro eletromagnético com valores de algumas variáveis climáticas medidas ao nível da vegetação e do solo.

Os métodos utilizados para calcular os diferentes componentes do balanço de energia da superfície a partir dos produtos de sensoriamento remoto vão desde abordagens puramente estatísticas, a modelos de superfície mais ou menos complexos (ZHANG et al., 2016). A calibração/validação destes modelos é assim fundamental e só pode ser alcançada com observações in situ efetuadas a uma escala espacial adequada ao tipo de cobertura vegetal em estudo e à dimensão da malha dos dados de satélite utilizada.

O uso destas duas abordagens (medição ao nível da superfície terrestre e modelação com utilização de dados de sensoriamento remoto), irá contribuir para um melhor conhecimento funcional e uma quantificação mais eficiente dos fluxos de calor e água da Caatinga, variáveis de suma importância para uma gestão sustentável dessa floresta e dos recursos naturais.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os métodos clássicos de estimativa da evapotranspiração utilizam dados meteorológicos e de cobertura do solo próximos à estação meteorológica, restringindo sua aplicação a pequenas áreas. Métodos diretos para obtenção da evapotranspiração, como lisímetros, cintilômetros e razão de Bowen são precisos, mas também possuem restrição à escala de campo e seus dados monitorados são escassos. Como a evapotranspiração é altamente sensível a diversas variáveis atmosféricas e do terreno, considerando sua forma espacialmente distribuída, isto torna incerta a sua estimativa em escala regional. (UDA, 2016)

No sentido de transpor tais limitações, métodos baseados em sensoriamento remoto vêm sendo aplicados para a estimativa dos fluxos de calor entre a atmosfera e a superfície, e, por conseguinte, para a determinação e avaliação da evapotranspiração local ou regional. Produtos do sensoriamento remoto fornecem dados geográficos relevantes e parâmetros em escala apropriada e permitem o acompanhamento sistemático da dinâmica dos fenômenos que ocorrem na superfície terrestre. Alguns sensores a bordo de satélites coletam e fornecem dados há mais de uma década, como o Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), e são ferramentas promissoras também para a avaliação do comportamento sazonal da evapotranspiração. (UDA, 2016)

Ambos os modelos descritos a seguir utilizam a técnica de calibração interna Calibration using Inverse Modeling at Extreme Conditions (CIMEC) (ALLEN et al.,

2008). A CIMEC envolve a calibração inversa do balanço de energia via fluxo de calor sensível (H), calculado a partir da especificação da evapotranspiração e da equação do balanço de energia para duas condições extremas na imagem (para os chamados pixels quente e frio ou seco e úmido). Este procedimento objetiva embutir os erros das estimativas em R_n , G e outros componentes intermediários, que são inerentes a muitos dos cálculos baseados em imagens de satélite, na estimativa e calibração de H . Em adição, a calibração interna elimina a necessidade de complexas correções atmosféricas do albedo e da temperatura da superfície (ALLEN et al., 2011a; ALLEN et al., 2013).

2.1 SEBAL

Nas últimas décadas, foram criados diversos algoritmos de estimativa da evapotranspiração com a utilização de sensoriamento remoto. O ponto crítico da maioria deles é a necessidade de calibração que envolve intensivas medições in situ e calibração local. O Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) (BASTIAANSEN et al., 1998a) foi criado para transpor estas limitações.

O SEBAL (BASTIAANSEN et al., 1998a) vem sendo muito utilizado para a estimativa da evapotranspiração porque quantifica as perdas reais de água em áreas com alta distribuição temporal e espacial, e pode ser empregado em sistemas agrícolas ou naturais (BASTIAANSEN et al., 1998a; FOLHES, 2007). É baseado na Equação (1) e demais Equações apresentadas, considerando a fração evaporativa constante em escala diária ou sazonal, para extrapolação dos valores instantâneos para outros períodos de tempo.

$$\lambda E = R_n - G - H$$

Onde λE , G e H são, respectivamente, a densidade do fluxo de calor latente, a densidade do fluxo de calor no solo e a densidade do fluxo de calor sensível; e R_n é o saldo de radiação; todos em $W \cdot m^{-2}$.

2.2. METRIC

O Mapping Evapotranspiration at High Resolution With Internalized Calibration (METRIC) (ALLEN et al., 2007a) é um modelo de estimativa da evapotranspiração por técnicas de sensoriamento remoto. Classifica-se como um método residual do balanço de energia, e fundamenta-se na base teórica e computacional do SEBAL. De fato, o

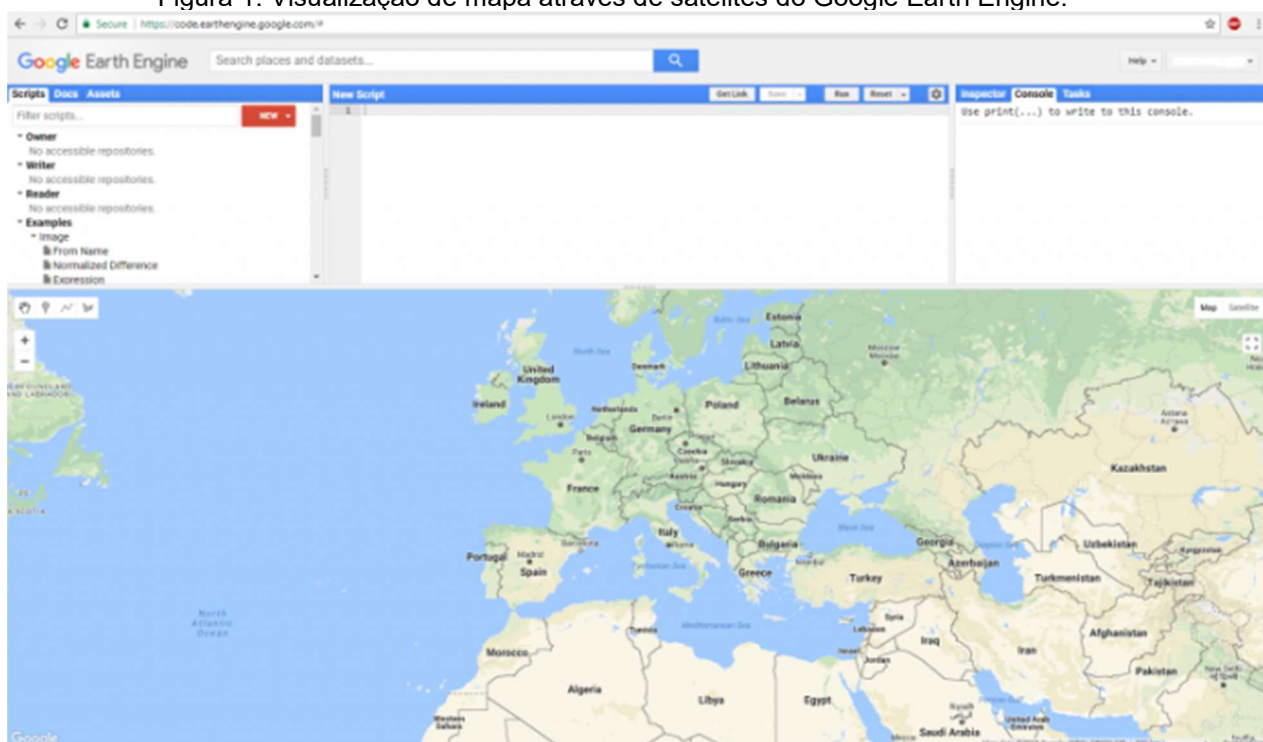
METRIC foi criado para transpor as limitações do SEBAL na estimativa da evapotranspiração sobre superfícies mais complexas, tais como:

A necessidade de especificações subjetivas dos pixels quente e frio dentro da cena; Melhor desempenho em superfícies planas. A aplicação em áreas montanhosas são necessários ajustes baseados no modelo digital de elevação para a estimativa da temperatura da superfície e velocidade de fricção; e os erros na temperatura da superfície, ou na diferença de temperatura entre superfície e ar levam a grandes impactos na estimativa de H (LI et al., 2009). Assim como o SEBAL, o METRIC necessita como dados de entrada imagens que abranjam a região espectral do visível, infravermelho próximo e infravermelho termal, e dados comumente medidos em estações meteorológicas, como velocidade do vento, radiação solar, temperatura do ar e pressão atmosférica (BASTIAANSSEN et al., 1998a; ALLEN et al., 2007a). Para aplicação em relevo montanhoso, um modelo digital de elevação é requerido.

2.3. GOOGLE EARTH ENGINE

O Google Earth Engine é uma avançada plataforma de processamento geoespacial baseada em nuvem, feito principalmente para análises de dados ambientais em escala planetária. O Google Earth Engine apresenta um catálogo de vários petabyte de imagens de satélite e conjunto de dados geoespaciais, ao qual permite o usuário visualizar, manipular, editar e criar dados espaciais de uma rápida e fácil maneira. Ele incorpora uma ampla gama de ferramentas de manipulação espacial que permite cientistas, pesquisadores e desenvolvedores detectar mudanças, mapas de tendências e quantificar diferenças sobre a superfície da Terra. A Figura 1 apresenta a tela inicial e na Figura 2 é possível observar a página inicial do Google Earth Engine na visualização dos mapas e a ferramenta de edição de códigos Code Editor.

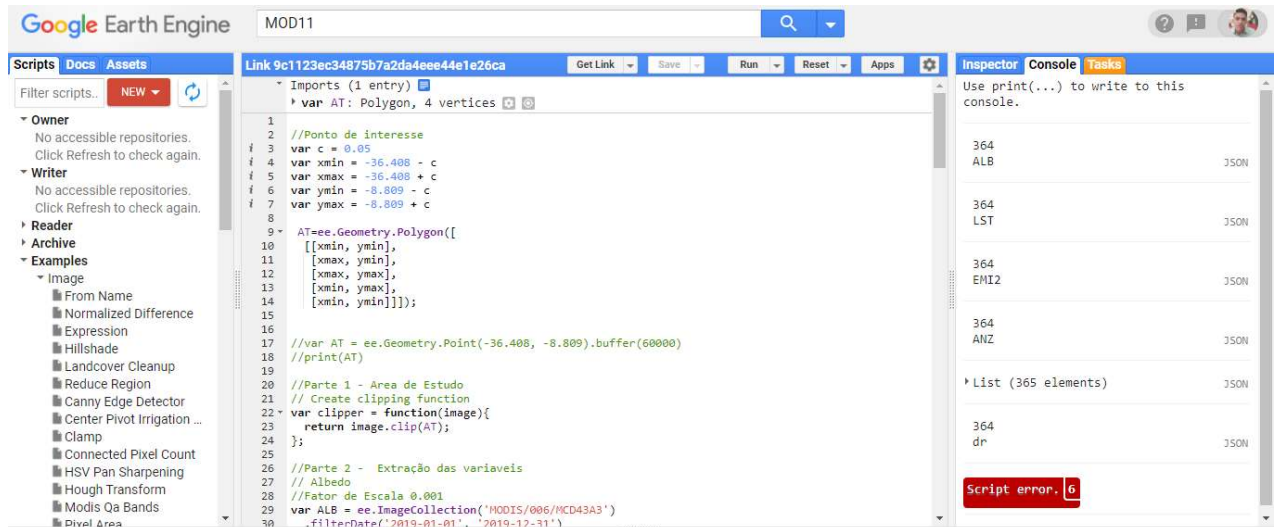
Figura 1: Visualização de mapa através de satélites do Google Earth Engine.



Fonte: Autoria própria, 2021.

No Google Earth Engine, utilizou-se a ferramenta Code Editor, que permite criar códigos em Java, utilizar um banco de dados de imagens por sensoriamento remoto, além de fornecer uma prévia de resultados que são obtidas através dos códigos elaborados, mostrando se os mesmos possuem algum erro ou se era necessário mais algum ajuste no código para que a imagem desejada fosse alcançada. Na Figura 2 pode-se ver a elaboração dos códigos no Code Editor.

Figura 2: Uso do Code Editor e início dos códigos no Google Earth Engine.

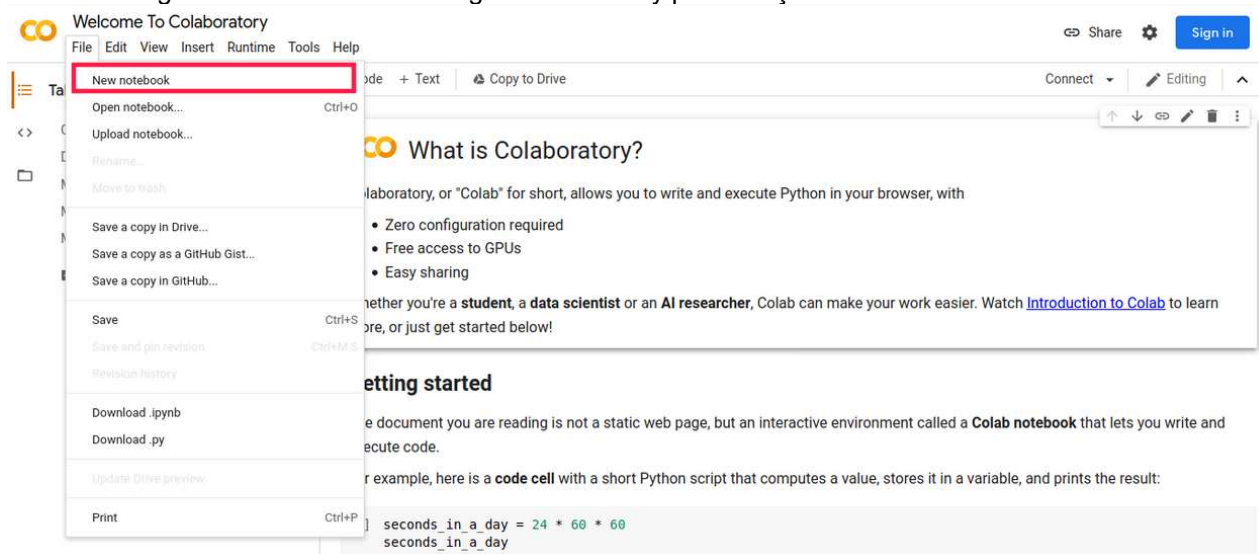


Fonte: Autoria própria, 2021.

2.4. GOOGLE COLABORATORY

Google Colab, ou Google Collaboratory, é um serviço de armazenamento em nuvem de notebooks voltados à criação e execução de códigos em Python, diretamente em um navegador, sem a necessidade de nenhum tipo de instalação de software em uma máquina. Em outras palavras, com o Google Colab você é capaz de ler, desenvolver e rodar códigos e rich texts em documentos interativos que agrupam células de códigos — chamados de notebooks —, compartilhá-los com outros programadores, modificá-los a qualquer momento e mantê-los salvos de maneira totalmente online. Assim, o Google Collaboratory tem sido de grande importância para o trabalho integrado de todos os membros do projeto mor, onde todos podem trabalhar ao mesmo tempo na construção dos códigos para a programação dos dados. Na Figura 3 encontra-se a página inicial do Google Collaboratory, com ênfase na opção “novo notebook”.

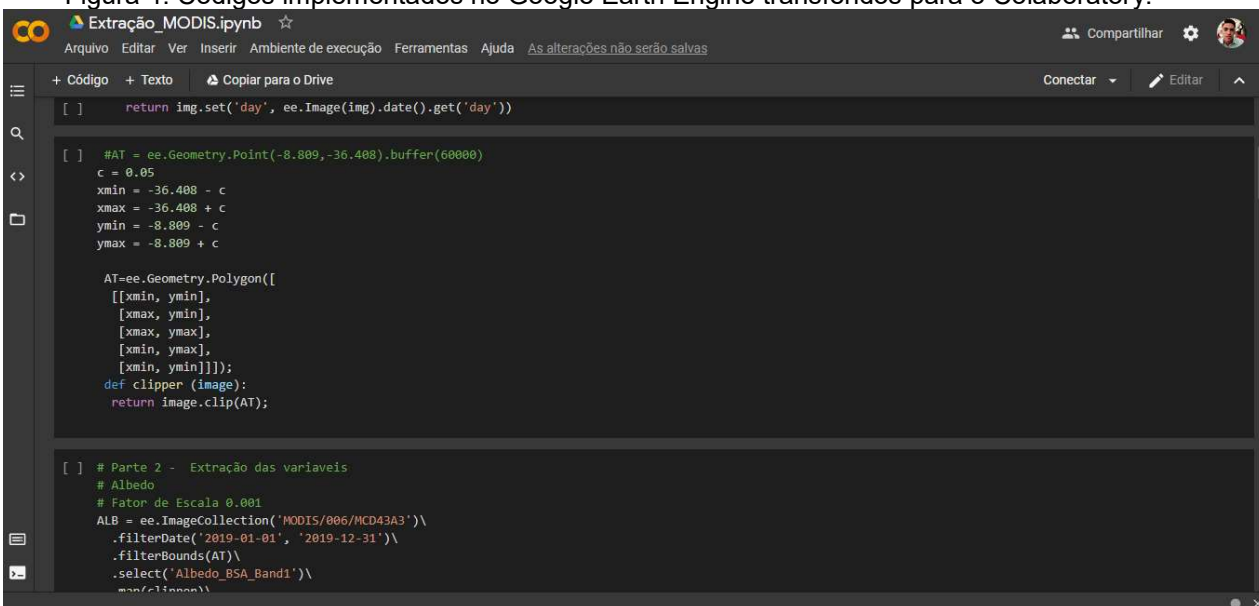
Figura 3: Tela inicial do Google Colaboratory para criação de um novo notebook.



Fonte: Google Imagens, 2021.

Nesse sentido, o Google Colaboratory foi utilizado como um ambiente de trabalho integrado, onde todos os participantes do projeto tinham acesso aos códigos e todas as edições poderiam ser feitas simultaneamente, além de serem salvas na nuvem do drive. Diferentemente do Google Earth Engine, no Colaboratory utilizou-se a linguagem Python para escrevermos os códigos, pois é o tipo de linguagem suportada por a plataforma. A migração de uma linguagem para outra foi necessária, visto que o Earth Engine não tem algumas facilidades encontradas no Colaboratory, como a edição em nuvem, salvamento automático, uso de notebooks da google com hardwares mais eficientes que os nossos, etc. Na Figura 5 é apresentada uma visualização dos códigos traduzidos do Google Earth Engine para o Google Colaboratory.

Figura 4: Códigos implementados no Google Earth Engine transferidos para o Colaboratory.



```
[ ] return img.set('day', ee.Image(img).date().get('day'))

[ ] #AT = ee.Geometry.Point(-8.809, -36.408).buffer(60000)
c = 0.05
xmin = -36.408 - c
xmax = -36.408 + c
ymin = -8.809 - c
ymax = -8.809 + c

AT=ee.Geometry.Polygon([
[[xmin, ymin],
[xmax, ymin],
[xmax, ymax],
[xmin, ymax],
[xmin, ymin]]]);
def clipper (image):
return image.clip(AT);

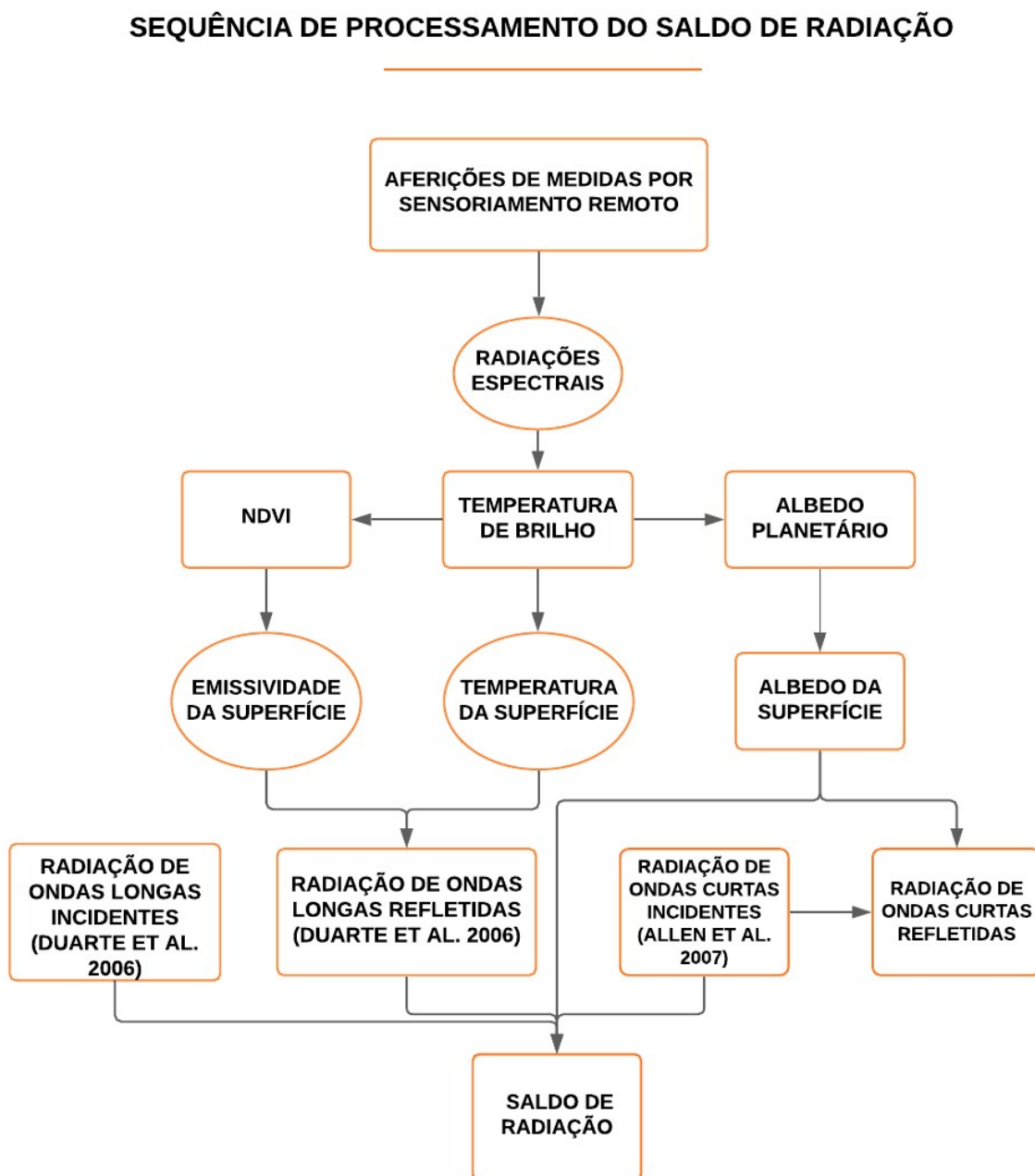
[ ] # Parte 2 - Extração das variáveis
# Albedo
# Fator de Escala 0.001
ALB = ee.ImageCollection('MODIS/006/MCD43A3')\
.filterDate('2019-01-01', '2019-12-31')\
.filterBounds(AT)\
.select('Albedo_BSA_Band1')\
.map(clipper)
```

Fonte: Autoria própria, 2021.

3. APERFEIÇOAMENTO DE MÉTODOS

Neste tópico serão apresentados os caminhos indicados para a obtenção da evapotranspiração na caatinga, a partir da obtenção do saldo de radiação, conforme sequência apresentada na Figura 5.

Figura 5: Fluxograma da sequência de processamento do saldo de radiação.



Fonte: Autoria própria, 2021.

3.1 ESTIMAÇÃO INSTANTÂNEA DO ALBEDO, LAND SURFACE TEMPERATURE(LST) E SALDO DE RADIAÇÃO

É importante para ter como base dos cálculos, medidas inferidas por sensoriamento remoto, assim nos dando margem do quanto os resultados estão sendo precisos em relação com as estimativas por satélites. O albedo, a emissividade

da superfície, LST e o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) são primariamente estimados através dessas imagens espaciais, para que sejam utilizados tanto nos cálculos futuros, quanto na tentativa de padronizar os dados calculados com os dados estimados.

A partir destas inferências, iniciaram-se os cálculos a respeito da radiação de ondas curtas, radiação de ondas longas, saldo de radiação durante a passagem do satélite e saldo de radiação diário para que, no final seja possível estabelecer o saldo de radiação da área estudada em um determinado período de tempo, com o objetivo de utilizá-lo futuramente na determinação dos fluxos de energia turbulenta, evapotranspiração e fluxo de calor latente e sensível.

3.2 RADIAÇÃO DE ONDAS CURTAS

Antes de calcularmos as radiações de ondas curtas, são necessários os valores do ângulo zenital solar (que será obtido através do produto MODIS especificado mais a frente), assim como da distância relativa sol-terra, calculada através da seguinte equação:

$$d_r = \frac{1}{1 + 0.33 \cos(DSA 2\pi/365)}$$

Todos os modelos para obtenção dos valores de radiação de ondas curtas obtiveram erro médio relativo menores que 7%, mas o que obteve melhores resultados foi o modelo $R_{sw,Aln}$, de Allen et al. (2007), que produziu valores de $26,4Wm^{-2}$, 3,0% e $32,2Wm^{-2}$ para o Erro Médio Absoluto (EMA), Erro Médio Relativo (EMR) e Raiz Quadrada do Erro Médio (RQEM) respectivamente, e um coeficiente de relação de Pearson de 0.941. Esses valores representaram uma precisão 3,0% maior que o modelo proposto por Zillman (1972).

$$R_{sw,Aln} = S_0 \cos Z d_r \tau_{sw}$$

3.3 RADIAÇÃO DE ONDS LONGAS

Os modelos de ε_a (emissividade atmosférica) que obtiveram as melhores estimativas para R_{lw} (radiação de ondas longas) foram classificados em ordem decrescente, com a melhor performance obtida por o modelo Duarte et al. (2006), com valores de EMA, EMR e RQEM de $5.9Wm^{-2}$, 1.6% e $7.0Wm^{-2}$ respectivamente. Valores estes que representaram uma precisão 8.0% maior que o modelo com piores resultados (Idso e Jackson, 1969). Silva et al. (2015) também chegou à conclusão que

o modelo proposto por Duarte obteve a menor RQEM ($7.4Wm^{-2}$) quando comparado com os dados observados. A radiação de ondas longas emitidas pela atmosfera é calculada pela lei de Stefan-Boltzmann's:

$$R_{lw,atm} = \varepsilon_a \sigma T_a^4$$

Já a radiação de ondas longas emitidas pela superfície apenas substitui-se a variável T_a por LST , visto que não estaremos mais calculando a nível atmosférico, e sim superficial:

$$R_{emi} = \varepsilon_a \sigma LST^4$$

A variável LST é obtida através da radiação espectral por sensoriamento remoto.

3.4 OVERPASS E SALDO DE RADIAÇÃO DIÁRIO

Os valores de EMA, EMR e RQEM obtidos in loco para comparação com os valores de sensoriamento remoto, usando a equação proposta por Allen et al.(2007) e Silva et al. (2015) foram iguais a $38.8Wm^{-2}$, 6.3% e $45.3Wm^{-2}$ para cana de açúcar, $60.8Wm^{-2}$, 9.4% e $65.8Wm^{-2}$ para Caatinga intocada, $84.6Wm^{-2}$, 14% e $89.3Wm^{-2}$ para pomar de manga respectivamente. Foi observado que houve uma maior concordância entre os dados medidos e os obtidos através da equação $R_{n,24,DeB}$ (De Bruin, 1987) que resultou em um maior coeficiente de correlação de Pearson (0.881-0.943) e um menor coeficiente de massa residual (0.08-0.083).

$$R_{n,24,DeB} = (1 - \alpha) R_{sw,24} - 110 \tau_{sw24}$$

3.5 CÁLCULO DO SALDO DE RADIAÇÃO

Após todos os cálculos e estimativas acima citados, é realizado o cálculo do saldo de radiação para um período determinado, ao qual seu resultado será novamente conferido com base nas estimativas feitas por sensoriamento remoto.

$$R_n = (1 - \alpha)R_{sw\downarrow} + R_{lw\downarrow} - R_{lw\uparrow} - (1 - \varepsilon_0)R_{lw\downarrow}$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir dos códigos elaborados no Google Earth Engine, definimos nossa área de interesse e nossa base de dados para extração das primeiras imagens, a qual foi selecionada o MOD11A1.006, através do qual tornou-se viável estimar através dos códigos e cálculos a LST e a emissividade da superfície. O ângulo zenital solar foi obtido do produto do MOD09GA.006, a elevação por *NASA SRTM Digital Elevation 30m*, a distância relativa Sol-Terra foi calculada e o albedo obtido através do produto do MCD43A3.006. Na Figura 6 são apresentados os resultados obtidos no Google Earth Engine e as variáveis calculadas.

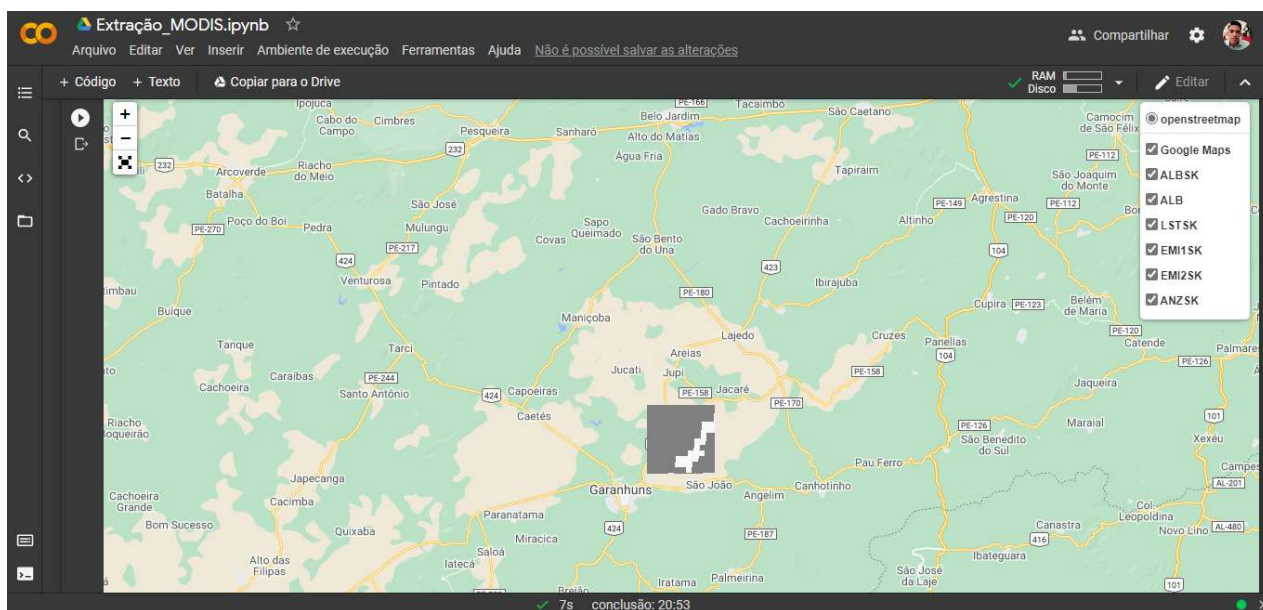
Figura 6: variáveis extraídas através do MODIS11A1.006 no Google Earth Engine.



Fonte: Autoria própria, 2021.

A partir disso, foi detectada uma necessidade de migrar esses resultados para o Google Colaboratory, onde toda a equipe do projeto conseguiria trabalhar de forma integrada. Como o Colaboratory lê códigos apenas em Python, foi necessária uma tradução dos códigos do Earth Engine para que fossem entendidos por o Colab. Abaixo uma visualização dos resultados no Google Colaboratory presentes na Figura 7.

Figura 7: Visualização do mapa e das variáveis implementadas no Google Colaboratory.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Como pode-se visualizar, as variáveis foram corretamente medidas através do sensoriamento remoto, mas é perceptível que se faz necessário um ajuste fino da área em análise, que poderia ser feito utilizando o recurso de shapes do Google Earth Engine, além de um intervalo temporal maior, para que as áreas não afetadas por as variáveis fossem enfim varridas pôr os sensores.

5. CONCLUSÃO

Conclui-se que, a facilidade que o sensoriamento remoto em fornecer ao usuário dados que normalmente seriam obtidos em campo torna esse método mais prático e acessível para comunidade de usuários da área ambiental. Com a sequência de processamento adequada, que se adeque melhor a região estudada, pode-se conseguir resultados extremamente próximos da realidade.

AGRADECIMENTOS

Ao programa CNPq/PIBIC pelo financiamento do projeto de pesquisa, e à UFCG pela concessão da bolsa de Iniciação Científica.

O presente trabalho foi realizado com apoio do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil, Edital UFCG/CNPQ PIBIC 2019-2020.

REFERÊNCIAS

ALLEN, BURNETT, KRAMBER, HUNTINGTON, KJAERGAARD, KILIC, KELLY, AND TREZZA. Automated calibration of the metric-landsat evapotranspiration process. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, v. 49, pp. 563– 576, 2013.

ALLEN, IRMAK, TREZZA, HENDRICKX, BASTIAANSEN, AND KJAERGAARD. Satellite-based ET estimation in agriculture using SEBAL and METRIC. *Hydrological Processes*, v. 25, p. 4011–4027, 2011.

ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; TREZZA, R. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) - Model. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v.133, p.380-394, 2007.

ALLEN, R.; TASUMI, MORSE, TREZZA, WRIGHT, BASTIAANSEN, KRAMBER, LORITE, AND ROBISON. Satellite-based energy balance for Mapping Evapotranspiration with Internalized Calibration (METRIC) - Applications. *Journal of irrigation and drainage engineering*, v. 133, p. 395–406, 2007.

ATTORRE, F., SCIUBBA, E., & VITALE, M. A thermodynamic model for plant growth, validated with *Pinus sylvestris* data. *Ecological Modelling*, 391, 53–62, 2019.

BASTIAANSEN, W. G. M. SEBAL – Based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz basin, Turkey. *Journal of Hydrology*, v.229, p.87-100, 2000.

BASTIAANSEN, W. G. M.; MENENTI, M.; FEDDES, R. A.; HOLTSLAG, A. A. M. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL) 1. Formulation. *Journal of Hydrology*, v.212-213, p.198-212, 1998.

BASTIAANSEN, W.G.M.; H. PELGRUM, J. WANG, Y. MA, J.F. MORENO, G.J. ROERINK, AND T. VAN DER WAL. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL).2.Validation. *Journal of Hydrology*, 212213:213–229, December 1998.

BIGGS, T.W.; M. MARSHALL, AND A. MESSINA. Mapping daily and seasonal evapotranspiration from irrigated crops using global climate grids and satellite imagery: Automation and methods comparison. *Water Resources Research*, 52(9):7311–7326, 2016.

CAMMALLERI, C. M. C. ANDERSON, G. CIRAOLO, G. D'URSO, W.P. KUSTAS, G.LA LOGGIA, AND M.MINACAPILLI. Applications of a remote sensing-based two source energy balance algorithm for mapping surface fluxes without in situ air temperature observations. *Remote Sensing of Environment*, 124: 502–515, 2012.

CRAGO, R.D. Conservation and variability of the evaporative fraction during the daytime. *J. Hydrol.* 180, 173–194, 1996.

CUNHA, J.E.B.L. Monitoramento ambiental por sensoriamento remoto: avaliação, automação e aplicação ao bioma Caatinga utilizando séries históricas Landsat. Tese apresentada no Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande- UFCG, 2018.

ER-RAKI,S.; A.CHEHBOUNI, AND B.DUCHEMIN. Combining satellite remote sensing data with the fao-56 dual approach for water use mapping in irrigated wheat fields of a semi-arid region. *Remote Sensing*, 2(1):375–387, 2010.

FENG, L. Sensitivity Analysis of Hot/Cold Pixel Selection in SEBAL Model for ET Estimation. PhD thesis, Virginia Tech, 2015.

FRENCH, A.N.; D.J. HUNSAKER, AND K.R. THORP. Remote sensing of evapotranspiration over cotton using the tseb and metric energy balance models. *Remote Sensing of Environment*, 158:281–294, 2015.

GARCIA, D. J., & YOU, F. The water-energy-food nexus and process systems engineering: A new focus. *Computers & Chemical Engineering*, 91, 49–67, 2016.

HILKER T, HALL FG, COOPS NC, COLLATZ JG, BLACK TA, TUCKER CJ, et al. Remote Sensing of Transpiration and Heat Fluxes Using Multi-Angle Observations. *Remote Sens Environ*, 137: 31–42, 2013.

HUNSAKER, D.J.; E.M. BARNES, T.R. CLARKE, G.J. FITZGERALD, AND P.J. PINTER JR. Cotton irrigation scheduling using remotely-sensed and fao-56 basal crop coefficients. *Transactions of the ASAE*, 48(4):1395–1407, 2005.

JIMÉNEZ-BELLO, M.A. J.R. CASTEL, L. TESTI, AND D.S. INTRIGLIOLO. Assessment of a remote sensing energy balance methodology (SEBAL) using different interpolation methods to determine evapotranspiration in a citrus orchard. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 8(4):1465–1477, 2015.

KITE, G.W.; DROOGERS, P. Comparing evapotranspiration estimates from satellites, hydrological models and field data. *Journal of Hydrology*. Volume 229, Issues 1–2, 27 March 2000, Pages 3-18

KUSTAS, W.P. Estimates of evapotranspiration with a one-and two-layer model of heat transfer over partial canopy cover. *Journal of Applied Meteorology*, 29(8):704–715, 1990.

LAING, A., HAMIDOU, H., DIOP-KANE, M., & WARDLE, T. Meteorology of Tropical West Africa. *Remote Sensing*, 323–379, 2017

LIU, Y.-A. AND S.K.KAR. Evapotranspiration estimation with remote sensing and various surface energy balance algorithms –a review. *Energies*, 7 (5):2821–2849, 2014.

LONG, D.; V.P. SINGH, AND Z.-L. LI. How sensitive is sebal to changes in input variables, domain size and satellite sensor? *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 116(D21), 2011.

MORTON, C.G; J.L. HUNTINGTON, G.M. POHLL, R. ALLEN, K.C. MCGWIRE, AND S.D. BASSETT. Assessing calibration uncertainty and automation for estimating evapotranspiration from agricultural areas using metric. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 49(3):549–562, 2013.

NORMAN, J.M.; W.P. KUSTAS, AND K.S. HUMES. Source approach for estimating soil and vegetation energy fluxes in observations of directional radiometric surface temperature. Agricultural and Forest Meteorology, 77(3-4):263–293, 1995.

PAÇO, T.A.; I. PÔÇAS, M. CUNHA, J.C. SILVESTRE, F.L. SANTOS, P. PAREDES, AND L.S. PEREIRA. Evapotranspiration and crop coefficients for a super intensive olive orchard. an application of simdualkc and metric models using ground and satellite observations. Journal of Hydrology, 519:2067– 2080, 2014.

ROERINK, G.J.; Z. SU, AND M. MENENTI. S-SEBI: A simple remote sensing algorithm to estimate the surface energy balance. Physics and Chemistry of the Earth, PartB: Hydrology, Oceans and Atmosphere, 25(2):147–157, 2000.

SAADI, S., BOULET, G., BAHIR, M., BRUT, A., DELOGU, É., FANISE, P., MOUGENOT, B., SIMONNEAUX, V., CHABAANE, Z. Assessment of actual evapotranspiration over a semiarid heterogeneous land surface by means of coupled low-resolution remote sensing data with an energy balance model: comparison to extra-large aperture scintillometer measurements. Hydrology and Earth System Sciences, 22(4), 2018.

SHUTTLEWORTH, W.J., GURNEY, R.J., HSU, A.Y., ORMSBY, J.P. FIFE: the variation in energy partitioning at surface flux sites, remote sensing and large scale global processes. Proceedings of the Baltimore Symposium IAHS publication no. 186, IAHS Press, 1989.

SILVA, P. F. DA, LIMA, J. R. DE S., ANTONINO, A. C. D., SOUZA, R., SOUZA, E. S. DE, SILVA, J. R. I., & ALVES, E. M. Seasonal patterns of carbon dioxide, water and energy fluxes over the Caatinga and grassland in the semi-arid region of Brazil. Journal of Arid Environments, 147, 71–82, 2017.

SU, Z. The surface energy balance system (SEBS) for estimation of turbulent heat fluxes. Hydrology and Earth System Sciences, 6(1):85–100, 2002.

TEIXEIRA, A.H.C; W.G.M.BASTIAANSEN, M.-UD-D.AHMAD, AND M.G.BOS. Reviewing SEBAL input parameters for assessing evapotranspiration and water productivity for the low-middle São Francisco river basin, brazil: Part a: Calibration and validation. Agricultural and Forest Meteorology, 149(3):462–476, 2009.

YANG, X.; Q. ZHOU, AND M. MELVILLE. Estimating local sugarcane evapotranspiration using landsat tm image and a vitt concept. International Journal of Remote Sensing, 18(2):453–459, 1997.

YANG, X.; Q. ZHOU, AND M.D. MELVILLE. Estimating local sugarcane evapotranspiration using Landsat tm imagery. Proceeding of 8th Australian Remote Sensing Conference, 2:262–269, 1996.

ZHANG, K.; J.S. KIMBALL, AND S.W. RUNNING. A review of remote sensing based actual evapotranspiration estimation. Wiley Interdisciplinary Reviews: Water, 3(6):834–853, 2016.

UDA, Patricia Kazue. Evapotranspiração real da bacia do rio Iguaçu por meio do modelo METRIC. In: UDA, Patricia Kazue. Evapotranspiração real da bacia do rio Iguaçu por meio do modelo METRIC. Orientador: Masato Kobiyama. 2016. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/168192/341252.pdf?sequence=1>. Acesso em: 18 abr. 2021.

O QUE é o Google Earth Engine e como você pode usar?. [S. l.], 22 maio 2018. Disponível em: processamentodigital.com.br. Acesso em: 30 mar. 2021.

GOOGLE Colab: o que é e como usar?. [S. l.], 19 abr. 2020. Disponível em: <https://www.alura.com.br/artigos/google-colab-o-que-e-e-como-usar>. Acesso em: 30 mar. 2021.

GOOGLE Colab: o que é, como usar e quais são as vantagens?. [S. l.], 19 nov. 2020. Disponível em: <https://kenzie.com.br/blog/google-colab/>. Acesso em: 29 mar. 2021.