

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**  
**ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ”**  
**CENTRO DE ENERGIA NUCLEAR NA AGRICULTURA**

Felipe Stolf Brasil Piovesan; N° USP: 11877913  
Leonardo Oliveira Bigaton de Almeida; N° USP: 11235308  
Livia Lima da Silva; N° USP: 11851077  
Matias Salles Medeiros; N° USP: 12674485

**INTEGRANDO A PROTEÇÃO DA BIODIVERSIDADE À MITIGAÇÃO DAS  
MUDANÇAS CLIMÁTICAS**

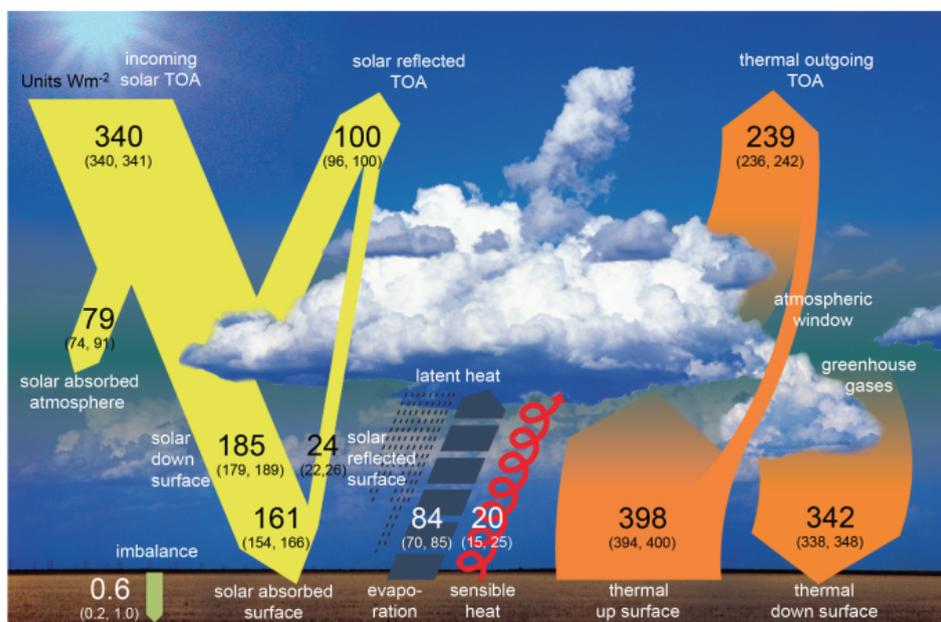
Projeto apresentado ao Curso de Ciências Biológicas da Faculdade Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” como requisito parcial para aprovação na disciplina - Fundamentos de Geologia Física e Geologia Histórica (CEN0170) sob orientação da Profª Dra.Célia Regina Montes.

**PIRACICABA - SP**

**2023**

## INTEGRANDO PROTEÇÃO DA BIODIVERSIDADE À MITIGAÇÃO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Assim como a maioria dos sistemas e ciclos da Terra, o clima possui um equilíbrio que faz com que a vida se mantenha. O clima da Terra é regulado por um balanço energético que troca energia com o espaço. Quando em equilíbrio, a Terra recebe energia luminosa do Sol e reflete (pela ação da atmosfera e da superfície) praticamente toda a energia de volta ao sistema solar, ficando apenas cerca de  $1 \text{ W/m}^2$  de energia no planeta (Figura 1). Essa energia mantém a temperatura média em  $15^\circ\text{C}$  e é utilizada pela biodiversidade, mantendo a vida do planeta (WILD et al, 2013). Contudo, nos últimos tempos, observa-se no planeta mudanças climáticas, decorrentes das atividades antrópicas (IPCC, 2007).



**Figura 1:** Diagrama esquemático do balanço de energia global da Terra. Figura adaptada de Wild et al. (2013).

As mudanças climáticas podem ser definidas como mudanças de padrões climáticos bem estabelecidos - como os da temperatura média global - decorrentes das atividades antrópicas e da emissão de gases do efeito estufa (GEE, ou gases estufa), que anteriormente se encontravam acumulados e confinados em reservas de petróleo, carvão mineral, vegetação (em especial florestas) e geleiras (WORLD, 2023).

Um dos principais agravantes das mudanças climáticas, a intensificação do efeito estufa, pode ser descrito como o fenômeno em que a temperatura da superfície do planeta aumenta devido à incidência de radiação infravermelha e absorção da mesma pelos GEE, presentes na atmosfera em concentrações crescentes. Dentre os gases estufa, podemos citar o

metano (CH<sub>4</sub>), o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), o vapor d'água (H<sub>2</sub>O), e também o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), o último, em especial, é uma parte essencial do ciclo biogeoquímico do carbono (JUNGES, 2018).

Desde a primeira revolução industrial (século XVIII) , as atividades humanas têm aumentado consideravelmente a concentração de CO<sub>2</sub> e outros GEE na atmosfera. A concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera passou de 280 para 390 ppmv (partes por milhão em volume), sendo que cerca de 35% da emissão de carbono antrópico está ligada à destruição de vegetação nativa e mudança do uso do solo. A destruição dos ecossistemas nativos e a utilização desses espaços para agrossistemas, aliados à agricultura, emitem cerca de 24% das emissões mundiais de CO<sub>2</sub>, 55% das emissões de CH<sub>4</sub> e 85% do total das emissões de N<sub>2</sub>O para a atmosfera (IPCC, 2007; CARVALHO et al, 2010; FOLEY et al., 2005). Esses impactos afetam principalmente a biodiversidade.

A biodiversidade, por sua vez, refere-se à variedade de organismos em uma dada localidade. É, no entanto, contextual, pois pode se referir a variedade em diversos níveis taxonômicos, tais como dentro de uma espécie ou dentro de um filo. Pode ainda ser avaliada em dado ecossistema, como um ecossistema aquático ou terrestre. Além disso, engloba desde organismos microscópicos - tais como bactérias, arqueas, fungos, microalgas - até organismos macroscópicos, como herbáceas, árvores, mamíferos e aves. Os levantamentos de biodiversidade, portanto, sempre levam em conta um dado contexto biológico, espacial e temporal (MAGURRAN, A. E., 2010). A biodiversidade pode ser mensurada em diversos sentidos, alguns desses sendo a diversidade alpha, correspondendo ao número de espécies em um dado local de estudo, e diversidade beta, referindo-se a taxa de variação na composição das taxas em relação à distância ou ao decorrer do tempo (MCGILL et al., 2015).

A relevância da biodiversidade se constitui nos serviços ecossistêmicos, divididos em serviços de provisão, regulatórios e culturais (TRUCHY et al., 2015). Esses serviços garantem a existência de condições e recursos para a existência humana. Entre esses serviços estão o sequestro e estoque de carbono, importantes aliados na mitigação das mudanças climáticas.

No contexto sobre respostas às mudanças climáticas, duas abordagens se destacam: adaptação e mitigação. A primeira é sobre adaptar ao clima atual e ao clima esperado em um futuro a curto-médio prazo, e diminuir os riscos das consequências que serão geradas pelas mudanças climáticas, como o aumento do nível do mar, insegurança alimentar, e eventos climáticos extremos. Em contrapartida, a mitigação é sobre frear e reduzir as mudanças

climáticas, e se caracteriza por diminuir a circulação de gases estufas na atmosfera, seja reduzindo as emissões de gases estufas, ou promovendo o sequestro desses gases. Portanto, ao pensar na mitigação das mudanças climáticas, deve ter como objetivo diminuir a interferência humana sob o clima (NASA, 2019).

Pensando nestes problemas, diversas conferências entre os países foram organizadas. Entre elas a conferência de Kyoto (Japão) em 1997. O protocolo de Kyoto firmou uma intenção de 84% na redução das emissões dos gases de efeito estufa. Este protocolo estabeleceu metas na redução de carbono, tendo como projeto o sequestro de carbono (FCCC, 1997; RENNER, 2004).

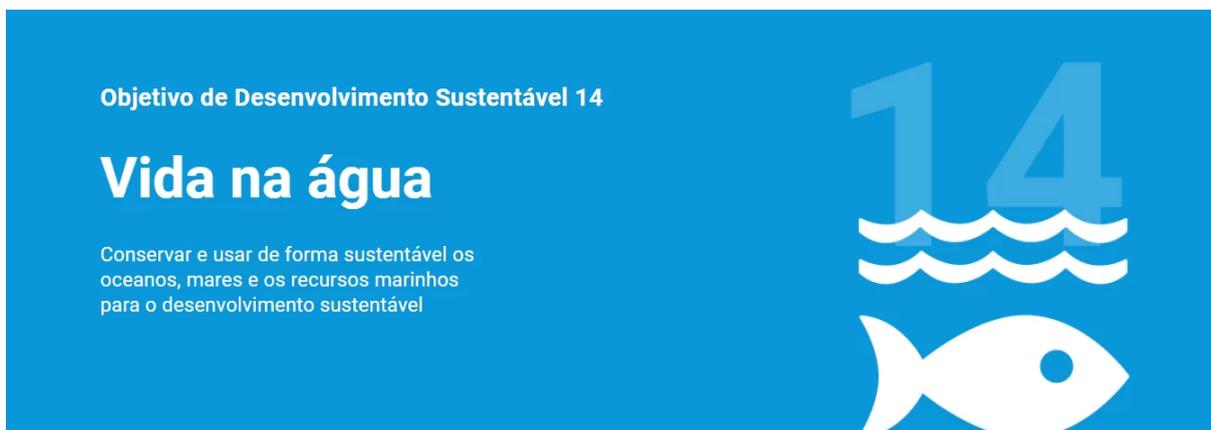
Complementar a isso, tendo em vista a crise climática, a ONU (Organização das Nações Unidas) instituíram, em 2015, os 17 ODS (Objetivos de Desenvolvimento Sustentável): uma agenda global com metas de erradicação da pobreza, proteger o meio ambiente e o clima e garantir que as pessoas, em todos os lugares, possam desfrutar de paz e de prosperidade (Figura 2). Os ODS compreendem problemas atuais de origem socioeconômica e de desigualdade, mas também abrangem questões de ecologia e biodiversidade, relacionadas intrinsecamente com os serviços ecossistêmicos.



**Figura 2:** Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Fonte: Organização das Nações Unidas.

É no contexto de proteção à biodiversidade que os ODS 14 e 15 se tornam os principais atores para se ter como guia. O ODS 14 (Figura 3) se caracteriza pela redução da poluição marinha; pela proteção, restauração e gestão de maneira sustentável ecossistemas marinhos; conservação de zonas costeiras; combate aos impactos da acidificação dos oceanos;

maior controle e fiscalização em coletas, sobrepesca, pesca ilegal e/ou não-regulamentada. Já o ODS 15 (Figura 4) tem como principais pontos promover o reflorestamento em escala global, restauração de florestas e biomas degradadas, erradicar o desmatamento, conservação e gestão sustentável dos ecossistemas terrestres-continentais, e combate a caça ilegal e ao tráfico de fauna e flora.



**Figura 3:** ODS 14 - Vida na água. Fonte: Organização das Nações Unidas.

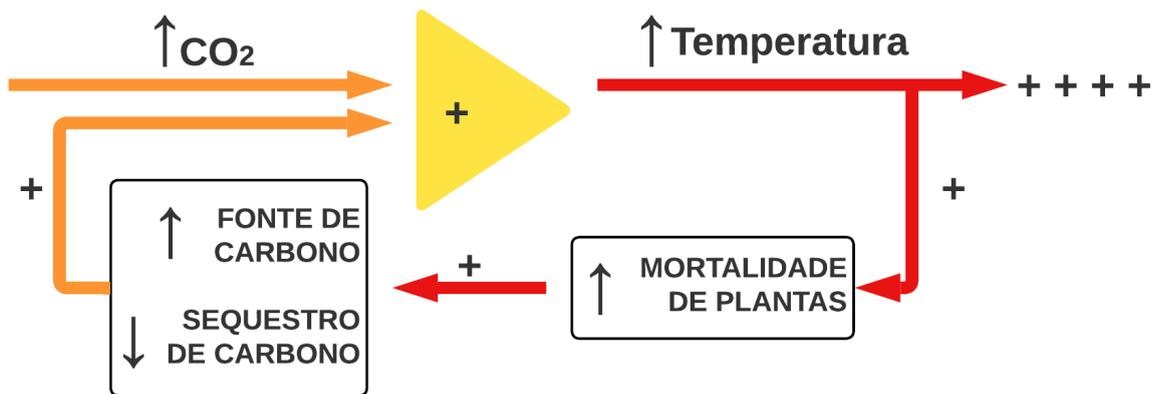


**Figura 4:** ODS 15 - Vida terrestre. Fonte: Organização das Nações Unidas.

Os impactos sobre a biodiversidade causados pelas mudanças climáticas podem ter ainda mais gravidade quando se pensa nos sistemas de retroalimentação. Um sistema de retroalimentação se caracteriza por um sistema (inicialmente em equilíbrio) em que um evento A causa um evento B, o evento B por sua vez gera um efeito em A. Os sistemas de retroalimentação podem ser de dois tipos: retroalimentação positiva, quando o efeito é potencializado pela perturbação, ou retroalimentação negativa, quando o efeito é reduzido pela perturbação. Muitas alterações em ecossistemas parecem ser repentinas por conta do sistema de retroalimentação positivo, ela é uma fonte de instabilidade e de mudanças

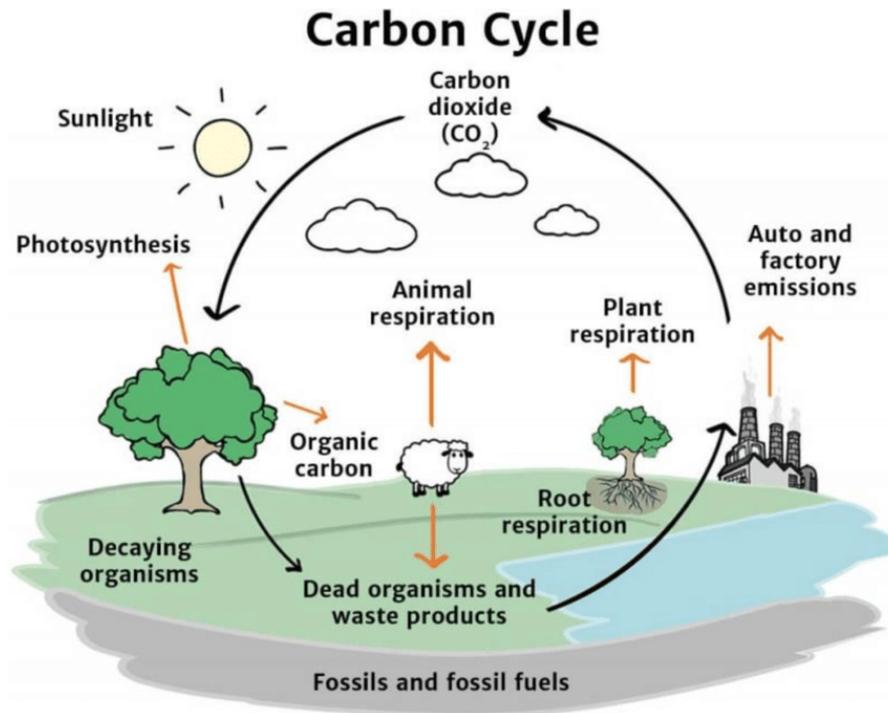
(MARTEN, 2001). Um exemplo de retroalimentação positiva é a relação entre aumento de temperatura e aumento da mortalidade/redução da longevidade de plantas (Figura 5).

## Retroalimentação positiva



**Figura 5:** Esquema representando um sistema de retroalimentação positiva: com o aumento da concentração de  $\text{CO}_2$  na atmosfera, há a elevação da temperatura, que por sua vez aumenta a mortalidade de árvores, diminuindo o estoque de carbono de florestas, que causa o aumento da concentração de  $\text{CO}_2$  na atmosfera. Imagem: autores.

No ciclo geológico do carbono (Figura 6), ele passa pela litosfera, hidrosfera e atmosfera do planeta. Este ciclo possui uma grande interação com a biodiversidade, principalmente pela fotossíntese. No ciclo biológico, ele é retirado da atmosfera por organismos fotossintetizantes e transmitido a outros seres vivos através de cadeias e teias alimentares. Esses seres vivos, através da respiração, liberam, lentamente, o carbono na atmosfera novamente. Essa remoção do carbono atmosférico pelos seres vivos é o chamado “sequestro do carbono” (ROCHA, 2005).



**Figura 6:** Diagrama indicando o ciclo do carbono, com um enfoque na parte terrestre. Fonte: Alamy (2020)

O sequestro de carbono foi conceituado na conferência de Kyoto e o processo pelo qual o  $\text{CO}_2$  atmosférico é absorvido e armazenado, principalmente, na biomassa. Este “sequestro” é viável devido a fotossíntese, em que as plantas e os demais organismos fotossintetizantes fixam o carbono atmosférico, biossintetizando-o na forma de carboidratos e o incorporam a sua biomassa (tronco, galhos e raízes). O sequestro de carbono diminuiu significativamente os impactos do carbono no ambiente, uma vez que este é o maior gás causador do efeito estufa. Este processo tem como resultado a reversão do acúmulo de  $\text{CO}_2$  atmosférico, diminuindo o efeito estufa (RENNER, 2004; BARRETO et al, 2009).

Dentre os potenciais agentes na recaptura do carbono pode-se mencionar as algas. Esses organismos, segundo estimativas, produzem de duas a dez vezes mais biomassa por unidade de área terrestre, além de apresentarem vantagem por não competirem com o uso de terras agricultáveis (SAYRE, 2010; CHISTI 2008; PACKER 2009; PIENKOS and DARZINS 2009, MATA et al. 2010, STEPHENS et al. 2010, WEYER et al. 2010). Essa biomassa produzida por sua vez pode ser utilizada como biocombustível, em períodos geológicos relativamente curtos ou ainda por meio do aterramento da biomassa, aterramentos dos lipídeos produzidos, utilização na forma de biocarvão na suplementação dos solos, para a entrada do carbono em ciclos de períodos geológicos longos (SAYRE, 2010).

Ainda, em relação ao sequestro de carbono, partindo da perspectiva de que o sequestro eficiente de carbono depende de mecanismos moleculares presentes nos organismos fotossintetizantes, a conservação de sua biodiversidade é essencial. Isso pois, ao se preservar diferentes organismos e seus genomas associados, garante-se material para desenvolvimento de novas abordagens de captura de carbono com esses organismos em diferentes partes do globo, sob diferentes condições (FAROOQ & PISANTE 2019).

O reflorestamento é uma ótima alternativa para o sequestro de carbono, uma vez que as florestas têm uma ligação direta entre seu crescimento e o estoque de carbono sequestrado. As maiores quantidades de carbono são fixadas durante a fase jovem e de crescimento das populações vegetais. Essa absorção de CO<sub>2</sub> diminui e estabiliza com o tempo, sendo que quando a vegetação atinge a maturidade, esta relação atinge uma estabilidade. No entanto, a diminuição da absorção ao longo do crescimento é compensada pelo estoque e sumidouro de carbono por grande períodos, devido a grande longevidade dessas populações (RENNER, 2004; BARRETO et al, 2009; CARVALHO et al, 2010; BRIENEN et al, 2020).

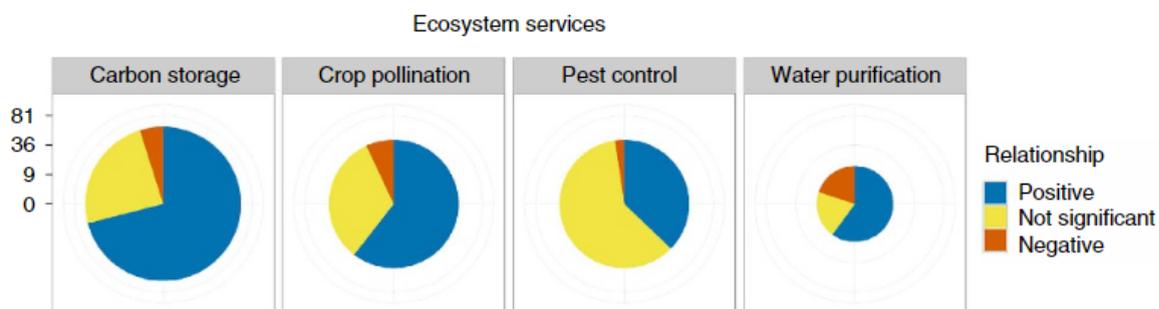
A biomassa desempenha um enorme papel também no estoque de carbono, cerca de 650 Gt encontram-se na biomassa, valor muito próximo aos 755 Gt de carbono localizados na atmosfera. Os oceanos estão em primeiro lugar na reserva de carbono, com cerca de 38.500 Gt. O estoque de carbono é outro serviço ecossistêmico importante desempenhado pela biodiversidade (LARCHER, 2000; BARRETO et al, 2009).

O desmatamento e as queimadas são ambos problemas ecológicos que, apesar de estarem lentamente regredindo, durante muito tempo foram responsáveis pela eliminação de organismos fotossintetizantes na superfície do planeta Terra, de modo que cada vez menos carbono vem sendo sequestrado (FAO, 2022). Conforme ocorre uma redução do sequestro carbônico, o efeito estufa se fortalece, aumentando então a temperatura média dos ecossistemas terrestres.

Assim sendo, vê-se que há uma correlação entre o desmatamento e o aumento da temperatura terrestre, onde ambos aumentam proporcionalmente. As consequências do aumento da temperatura diferem para cada ecossistema, mas é fato que a velocidade com que a temperatura aumenta é veloz demais para as espécies presentes acompanharem (QUINTERO & WIENS, 2013). Aumentar e conservar a quantidade de florestas é uma etapa imprescindível no processo de combate às mudanças climáticas.

Cerca de 60% dos estudos indicam benefícios e uma relação direta da preservação da biodiversidade com o aumento dos serviços ecossistêmicos como o estoque de carbono,

polinização de culturas, controle de pragas e purificação da água (Figura 7) . (RICKETTS et al, 2016).



**Figura 7:** Serviços ecossistêmicos relacionados em artigos. Adaptado de Ricketts et al, 2016.

Apesar da clara possibilidade de interferência do ser humano nos processos biológicos, pouco se quantificou acerca de tais interferências na biodiversidade (MCGILL et al., 2015). Com isso, estudos voltados ao levantamento em larga escala de dados acerca da biodiversidade em âmbitos locais, regionais e globais se fazem necessários. Esses dados podem e estão sendo gerados através de ferramentas moleculares, como as do eDNA (environmental DNA, consistindo no DNA que pode ser obtido a partir de amostras ambientais), DNA barcoding (consiste na utilização de pequenas regiões do genoma para a identificação dos organismos), DNA meta barcoding (utilização do princípio do DNA barcoding para diversas taxas de organismos), aDNA (ancient DNA, sendo DNA degradado e muito antigo), assim como por meio do cruzamento dessas informações com as de pesquisas de paleontologia, isótopos, geologia (HOFMAN et al., 2015; MUKHERJEE, RAMAKRISHNAN, 2018; TABERLET et al., 2018; PERRIGO, HOORN, ANTONELLI, 2019;).

Ao adotar uma estratégia multidisciplinar, é possível capturar o contexto no qual a vida se insere, sendo possível, por estudos de paleobiologia inferir sobre possíveis consequências das mudanças climáticas com base em registros de mudanças climáticas prévias (MUKHERJEE, RAMAKRISHNAN, 2018). Além disso, estudando-se por meio das tecnologias moleculares a alteração da genética de populações é possível concentrar recursos em espécies mais vulneráveis e com prováveis consequências mais relevantes aos seres de suas respectivas teias tróficas (HOFMAN et al., 2015; TRUCHY et al., 2015; TABERLET et al., 2018).

Deste modo, a solução para a mitigação das mudanças climáticas é um esforço global que exige um trabalho transdisciplinar e coparticipativo de várias esferas da sociedade, e é

impossível se desvincular da proteção e da conservação da biodiversidade, vista que essa é uma grande aliada nessa solução.

## REFERÊNCIAS

- AMELSE, Jeffrey. (2020). Achieving Net Zero Carbon Dioxide by Sequestering Biomass Carbon. 10.20944/preprints202007.0576.v1.
- BARRETO, L., FREITAS, A. C., & PAIVA, L. (2009). Sequestro de carbono. *Enciclopédia Biosfera*, 5(7).
- BRIENEN, RJW, CALDWELL, L., DUCHESNE, L., VOELKER, S., BARICHVICH, J., BALIVA, M., CECCANTINI, G., Di FILIPPO, A., HELAMA, S., LOCOSSELLI, GM, LOPEZ, L., PIOVESAN, G., SCHÖNGART, J., VILLALBA, R., GLOOR, E., (2020). Reservatório de carbono florestal neutralizado por compensações generalizadas entre crescimento e expectativa de vida. *Nature Communications* 11
- CARVALHO, J. L. N., AVANZI, J. C., SILVA, M. L. N., MELLO, C. R. D., & CERRI, C. E. P. (2010). Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34, 277-290.
- CHISTI Y. (2008). Biodiesel from microalgae beats bioethanol. *Trends in Biotechnology* 26: 126–131.
- DUDGEON, D. (2019) Multiple threats imperil freshwater biodiversity in the Anthropocene. *Current Biology*, v. 29, n. 19, p. R960–R967. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960982219310140>>.
- FAROOQ, M., PISANTE, M. (2019). *Innovations in Sustainable Agriculture || Conservation of Biodiversity and Genetic Resources for Sustainable Agriculture*. 10.1007/978-3-030-23169-9(Chapter 12), 363–410. doi:10.1007/978-3-030-23169-9\_12
- FOLEY, J.A.; DEFRIES, R.; ASNER, G.P.; BARFORD, C.; BONAN, G.; CARPENTER, S.R.; CHAPIN, F.S.; COE, M.T.; DAILY, G.C.; GIBBS, H.K.; HELKOWSKI, J.H.; HOLLOWAY, T.; HOWARD, E.A.; KUCCHARIK, C.J.; MONFREDA, C.; PATZ, J.A.; PRENTICE, I.C.; RAMANKUTTY, N. & SNYDER, P.K; (2005). Global consequences of land use. *Science*, 309:570–574.
- FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE - FCCC. (1997) Conference of the Parties. 3., 1997, Quioto. Geneva: United Nations – FCCP/CP. 60 p
- GERALD G. M., Human Ecology - Basic concepts for sustainable development

HOFMAN, C. A.; RICK, T. C.; FLEISCHER, R. C.; MALDONADO, J. E. Conservation archaeogenomics: ancient DNA and biodiversity in the Anthropocene. *Trends in Ecology & Evolution*, v. 30, n. 9, p. 540–549, set. 2015. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0169534715001597>>.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. Climate change (2007). Fourth Assessment Report on climate change impacts, adaptation and vulnerability of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, Cambridge University, 2007. 939p.

JUNGES, A. L. et al (2018). Efeito estufa e aquecimento global: uma abordagem conceitual a partir da física para educação básica. *Experiências em Ensino de Ciências*, v. 13, n. 5, p. 126-151, dez. 2018.

LARCHER, W (2000). *Ecofisiologia vegetal*. São Paulo: Ed. Pedagógica e Universitária Ltda, 2000. 320p

RENNER, R. M., (2004). Seqüestro de Carbono e viabilização de novos reflorestamentos no Brasil. Disponível em://[www.ufrgs.br/necon/2evavea\(3\).pdf](http://www.ufrgs.br/necon/2evavea(3).pdf).

MAGURRAN, A.E. (2010). Q&A: What is biodiversity?. *BMC Biol* 8, 145.

WILD, M., FOLINI, D., SCHÄR C., LOEB, N., ELLSWORTH G. DUTTON , KÖNIG-LANGLO, G., (2013) ; Um novo diagrama do balanço energético global. *Anais da Conferência AIP* 10 de maio de 2013; 1531 (1): 628–631.

MATA TM, MARTINS AA, CAETANO NS. (2010). Microalgae for biodiesel production and other applications: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14: 217–232.

MCGILL, B. J.; DORNELAS, M.; GOTELLI, N. J.; MAGURRAN, A. E. Fifteen forms of biodiversity trend in the Anthropocene (2015). *Trends in Ecology & Evolution*, v. 30, n. 2, p. 104–113. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0169534714002456>>.

MUKHERJEE, S.; RAMAKRISHNAN, U. (2018) Molecular Tools For Biodiversity Conservation. *Resonance*, v. 23, n. 3, p. 309–324. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s12045-018-0620-4>>.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION - NASA, (2019) . Global climate change adaptation and mitigation. Disponível em: <<https://climate.nasa.gov/solutions/adaptation-mitigation/>>.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS -ONU (2020). Global Forest Resources Assessments. Nova Iorque: ONU. Disponível em:

fao.org/forest-resources-assessment/remote-sensing/fra-2020-remote-sensing-survey/en.  
Acesso em: 25 de jun. 2023.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (2020). Global Forest Resources Assessments. Nova Iorque: ONU. Disponível em: fao.org/forest-resources-assessment/remote-sensing/fra-2020-remote-sensing-survey/en. Acesso em: 25 de jun. 2023.

PACKER M. (2009). Algal capture of carbon dioxide: Biomass generation as a tool for greenhouse gas mitigation with reference to New Zealand energy strategy and policy. *Energy Policy* 37: 3428–3437

PERRIGO, A.; HOORN, C.; ANTONELLI, A. (2020) Why mountains matter for biodiversity. *Journal of Biogeography*, v. 47, n. 2, p. 315–325. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jbi.13731>>.

PIENKOS PT, DARZINS A. (2009). The promise and challenges of microalgal-derived biofuels. *Biofuels, Bioproducts and Biorefineries* 3: 43

QUINTERO, I., & WIENS, J. J. (2013) Rates of projected climate change dramatically exceed past rates of climatic niche evolution among vertebrate species. *Ecology Letters*.

RICKETTS, TH, WATSON, KB, KOH, I., ELLIS, AM, NICHOLSON, CC, POSNER, S., RICHARDSON, LL, SONTER, LJ, (2016). Desagregando as evidências que ligam a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos. *Nature Communications* 7, 13106..

ROCHA, H. R. da et al (2005). As relações entre a vegetação e o meio físico no cerrado pé-de-gigante. EMBRAPA, , capítulo 14, p. 190-196.

STEPHENS E, ROSS IL, KING Z, MUSSGUG JH, KRUSE O, POSTEN C, BOROWITZKA MA, HANKAMER B. (2010). An economic and technical evaluation of microalgal biofuels. *Nature Biotechnology* 28: 126–128.

TABERLET, P.; BONIN, A.; ZINGER, L.; COISSAC, E. *Environmental DNA*. (2018) [s.l.] Oxford University Press, v. 1

TRUCHY, A.; ANGELER, D. G.; SPONSELLER, R. A.; JOHNSON, R. K.; MCKIE, B. G. Linking Biodiversity, Ecosystem Functioning and Services, and Ecological Resilience. In: [s.l.: s.n.]p. 55–96.

TRUCHY, A.; ANGELER, D. G.; SPONSELLER, R. A.; JOHNSON, R. K.; MCKIE, B. G. Linking Biodiversity, Ecosystem Functioning and Services, and Ecological Resilience. In: [s.l.: s.n.]p. 55–96.

WEYER KM, BUSH DR, DARZINS A, WILLSON BD. (2010). Theoretical maximum algal oil production. *Bioenergy Research* 3: 204–213.

WORLD (2013). *Synthesis Report Of The IPCC Sixth Assessment REport (AR6)*.