



## **PROGRAMA 2026**

Programa de Pós-Graduação em ECOLOGIA (IB)

Programa de Pós-Graduação em AMBIENTE & SOCIEDADE (NEPAM & IFCH)

Nome da Disciplina: **Ecologia Global e Mudanças Climáticas**

Código da disciplina NE459 (PPG-Ecologia) ou AS120 (PPG-Ambiente & Sociedade)

Professor responsável: Prof. Dr. David Montenegro Lapola

Professores colaboradores: Dra. Carolina Blanco (3%), MSc. Bruno Bainy (3%), MSc. Gabriel Perez (3%), MSc. João Martinelli (3%)

Instituição: Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura - CEPAGRI

Carga Didática: 60 Teoria: 31 Prática: Em classe: 11 / Extra Classe: 28

Carga Horária Semanal: 4h em sala, laboratório ou campo + 2h em trabalho remoto

Créditos: 4 (obs. cada crédito equivale a 15 horas aula)

Pré-requisitos: nenhum

### Ementa geral:

Conceitos, definições, processos e métodos científicos em ecologia global e mudanças climática; atmosfera e biosfera, impactos, mitigação e adaptação às mudanças climáticas.

### **PROGRAMA:**

(sujeito a alterações com prévio aviso/concordância dos estudantes)

### **Teórico:**

- **Aula 1 (24/Fev): Introdução geral e métodos em ecologia global e mudanças climáticas**

*Conceituação; sistema Terrestre e seus componentes; o que nos diferencia de outros planetas?; Vida; Teoria de Gaia e Conceito de Vernadsky; Antropoceno; Métodos: Sensoriamento remoto, Redes de observações, Grandes experimentos, Modelagem; bases de dados de temperatura da Terra.*

*Referências: Wallace & Hobbs (2006: cap. 2); Budiko (1986: cap. 1); Jørgensen (2010: part A); Steffen et al. (2006 pp. 70-72); Crutzen (2002); Sutherland et al. 2013; Turner et al. (2003); Heavens et al. (2013); Kattge et al. (2011); Shiels & González (2015); Margulis & Sagan (2002).*

*Leituras para discussão: O Antropoceno (Crutzen 2002), hipótese Gaia e anti-Gaia (Steffen et al. 2005, pp. 70-72)*

- **Aula 2 (03/Mar): Ciclos biogeoquímicos globais**

*Carbono; Água; Oxigênio; Nitrogênio; Fósforo; outros*

*Referências: Chapin et al. (2002, cap. 9); Odum & Barrertt (2016: cap. 4); Friedlingstein et al. (2022); Oki & Kanae (2006); Huang et al. (2018); Cunha et al. (2022).*

*Leitura para discussão: Declínio do sumidouro de carbono na Amazônia e suas consequências (Hubau et al. 2020).*

- **Aula 3 (24/Mar): Bases físicas das mudanças climáticas**

*Efeito estufa; Mudanças paleoclimáticas; Fontes emissoras e sumidouros contemporâneos; anomalias climáticas no século XX; Cenários (SSP, IMP) e projeções.*

*Referências: <https://www.ipcc.ch/>; IPCC (2021: caps. Summary for Policy Makers, 3, 4, 7).*

*Leitura para discussão: Qual o interesse geopolítico na Groenlândia? (Girardi 2025)*

- **Aula 4 (31/Mar): Governança climática internacional 1: IPCC, Convenção do Clima e mitigação**

*O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC); a Convenção-Quadro da ONU sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC); Conferências das Partes (COP); Comunicações Nacionais à UNFCCC; Protocolo de Kyoto; Acordo de Paris; Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDC); Global Stocktake; Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação florestal (REDD+); mercado global de carbono; remoção de carbono da atmosfera; geoengenharia.*

*Referências: Brasil/MCTI (2017); [ipcc.ch](http://ipcc.ch); IPCC (2022b); [unfccc.int](http://unfccc.int); Depledge (2022); Peeters et al. (2021); Morita & Matsumoto (2023); Skutsch & Turnhout (2020); Keller et al. (2014); De Groot et al. (2012); Ho (2023)*

*Leituras para discussão: A Convenção do Clima morreu ([Marques 2024](#)) ou será ressuscitada em Belém ([do Lago 2025](#))?*

- **Aula 5 (07/Abr): Governança climática internacional 2: impactos e adaptação**

*Saúde e bem-estar; geleiras; nível do mar; biodiversidade e ecossistemas; recursos hídricos; sistemas alimentares; segurança e defesa; “tipping points”; Acordo de Paris: perdas e danos; Acordo de Paris: “global goal on adaptation”; financiamento; “maladaptation”; relação com SDGs; movimentos sociais; justiça climática; judicialização; papel do setor privado.*

*Referências: IPCC (2022a); Brasil/MCTI (2017); Lenton (2007); Robinson (2018); Mazo (2010).*

*Leituras para discussão: O tipping point Amazônico e suas repercussões (Flores et al. 2024; Lapola et al. 2018; Scheffer et al. 2001)*

- **Aula 6 (14/Abr): Uso da terra**

*Histórico; definições; causas; fogo e biodiversidade; antromas; Áreas Protegidas; Convenção de Diversidade Biológica, IPBES/BPBES, Código Florestal e Lei da Mata Atlântica.*

*Referências: Geist & Lambin (2002); Lambin & Geist (2006: caps. 1, 3 e 4); Bowman et al. (2009); Lapola et al. (2014); Ellis et al. (2021); <https://www.cbd.int/>; <https://www.ipbes.net/>; Chiavari et al. (2021).*

*Leitura para discussão: Política de mini-florestas em Campinas ([Camilotti 2025](#)) OU oficina do MapBiomias.*

- **Aula 7 (28/Abr): Governança climática no Brasil**

*Matriz de emissões do Brasil, desmatamento, agricultura, setor de energia, Política Nacional de Mudanças Climáticas; mercado brasileiro de carbono, Plano Clima.*

*Referências: Brasil (2009); <https://brasil.mapbiomas.org>; Brasil (2021); Brasil (2025)*

*Leituras para discussão: Políticas climáticas do Brasil estão no rumo certo? (Brasil 2025; Fearnside & Leal-Filho 2025)*

- **Aula 8 (04 ou 05/Mai): Introdução à modelagem do sistema terrestre**

*Definições; modelos conceituais; modelos numéricos: clima, vegetação, uso do solo, integrado, do sistema terrestre.*

*Referências: Heavens et al. (2013); Bordoni et al. 2025.*

*Leitura para discussão: Maior complexidade dos modelos leva à melhoria das projeções? (IPCC 2021: FAQ 3.3)*

## **Prático:**

- Aula 1 (24/Fev): **Evidência de mudança climática na prática:** alun@s deverão estimar a tendência de longo prazo de temperatura com dados da estação meteorológica da Unicamp. E comparar com a tendência de longo prazo para Campinas mostrada por bases de dados globais.

*Local: A definir*

*Leituras de apoio: IPCC (2021: Atlas); Berkely Earth (2025).*

- Aula 2 (03/Mar): **Ciclo de carbono na prática:** Análise de dados do AmzFACE e equações alométricas. A turma analisará dados reais de crescimento de árvores do sítio experimental do AmazonFACE e utilizará diferentes equações alométricas para calcular a biomassa e quantidade de

carbono presente na floresta. Como diferentes equações levam a resultados finais distintos? Por que?

Local: A definir

Leituras de apoio: Norby et al. (2025); Hubau et al. (2022); amazonface.unicamp.br .

- Aula 3 (24/Mar): **Visita à estação meteorológica e radar do CEPAGRI**: Local onde são coletados dados meteorológicos e climáticos de referência para a região de Campinas.  
Local: Museu Exploratório de Ciências da UNICAMP.
- Aula 4 (31/Mar): **Proposta de mecanismo de mitigação para combustíveis fósseis** (REDD+ do petróleo): a turma deve se reunir, debater e, considerando aspectos econômicos e políticos, propor um mecanismo similar ao REDD+ que incentive o “phase-out” dos combustíveis fósseis  
Local: Sala de aula.  
Leituras de apoio: Morita & Matsumoto (2023); Skutsch & Turnhout (2020)
- Aula 5 (07/Abr): **“Process-based modeling of vegetation”**: avaliação de NPP e distribuição de biomas sob mudanças climáticas na América do Sul – processos envolvidos e incertezas.  
Local: Laboratório computacional a definir  
Leituras de apoio: Lapola et al. (2009); Fleischer et al. (2019).
- Aula 6 (14/Abr): **Visita à área do HIDS-Unicamp**: avaliação e discussão livre sobre planejamento urbano-rural e desenvolvimento sustentável.  
Leitura de apoio: Souza et al. (2020); <https://www.hids.unicamp.br/>
- Aula 7 (28/Abr): **Plano de Adaptação às Mudanças Climáticas da UNICAMP**: alun@s devem elaborar um plano executivo (i.e. sintético e acessível) de adaptação às mudanças climáticas da UNICAMP. Local: Prédio da pós-graduação do IB.  
Local: Sala de aula  
Leitura de apoio: IPCC (2022a); Brasil (2025).
- Aula 8 (04 ou 05/Mai): **Desenvolvendo um modelo climático rudimentar**: turma irá programar um protótipo de modelo climático e resolver numericamente a influência do efeito estufa no planeta Terra.  
Local: Laboratório computacional a definir  
Leitura de apoio: Hartmann (1994: seção 2.3)

## LITERATURA BÁSICA

- BOWMAN, D. M., et al. 2009. Fire in the Earth System. **Science**, 324: 481-484.
- BUDYKO, M. I. 1986. **Evolution of the biosphere**. Amsterdam, Springer. 424p.
- BRASIL / MMA. 2025. **Plano Clima**. <https://www.gov.br/mma/pt-br/composicao/smc/plano-clima>.
- BRASIL / MCTI. 2021. **Quarta Comunicação do Brasil à Convenção-Quadro das Nações unidas sobre Mudança do Clima**. SEPEF/MCTI, Brasília. <https://repositorio.mcti.gov.br/handle/mcti/4782>
- BRASIL. 2010. Lei nº 12.187 de 29.Dez.2009: **Política Nacional sobre Mudança do Clima**. [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2009/lei/l12187.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/l12187.htm)
- BRASIL / MCTI. 2017. **Acordo de Paris**. Disponível em: [https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/acordo-de-paris-e-ndc/arquivos/pdf/acordo\\_paris.pdf](https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/acordo-de-paris-e-ndc/arquivos/pdf/acordo_paris.pdf)
- BORDONI, S. et al. 2025. The futures of climate modeling. **npj Climate and Atmospheric Sciences**. 8: 99. <https://doi.org/10.1038/s41612-025-00955-8>.
- CHAPIN F. S., III, MATSON, P. A. & MOONEY, H. A. 2002. **Principles of terrestrial ecosystem ecology**. New York, Springer.
- CHIAVARI, J. et al. 2021. **Onde estamos na implementação do Código Florestal? Radiografia do CAR e PRA nos estados brasileiros**. Rio de Janeiro, Climate Policy Initiative. Disponível em: <https://www.climatepolicyinitiative.org/wp-content/uploads/2021/12/Onde-Estamos-2021.pdf>
- CRUTZEN, P. J. 2002. Geology of mankind. **Nature** 415, 23, <https://doi.org/10.1038/415023a> .
- CUNHA, H.F.V. et al. 2022. Direct evidence for phosphorus limitation on Amazon forest productivity. **Nature** 608: 558-562.
- DE GROOT, R. et al. 2012. Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units. **Ecosystem Services**, 1: 50-61.
- DEPLEDGE, J. 2022. The “top-down” Kyoto Protocol? Exploring caricature and misrepresentation in literature on global climate change governance. **International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics** 22: 673-692.
- ELLIS, E. et al. 2021. People have shaped most terrestrial nature for at least 12,000 years. **Proceedings of the National Academy of Science of the USA** 118 (17): e2023483118.
- FEARNSIDE, P. & LEAL-FILHO, W. 2025. COP 30: Brazilian policies must change. **Science** 387: 1237.
- FLEISCHER, K. et al. 2019. Amazon forest response to CO<sub>2</sub> fertilization dependent on plant phosphorus acquisition. **Nature Geoscience** 12: 736-743.
- FLORES, B. et al. 2024. Critical transitions in the Amazon forest system. **Nature** 626: 555-564.
- FRIEDLINGSTEIN, P. et al. Global carbon budget 2022. **Earth System Science Data** 14: 4811-4900.
- GEIST, H.; E. LAMBIN. 2002. Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation. **Biosciences**, 52: 143-150.

- HANNAH, L. 2014. **Climate change biology**. New York, Academic Press. 470p.
- HARTMANN, D. L. 1994. **Global physical climatology**. Academic Press, San Diego. 411 p.
- HEAVENS, N. G. et al. 2013. Studying and projecting climate change with Earth System Models. **Nature Education Knowledge**, 4:4.
- HO, D. 2023. Carbon dioxide removal is not a current climate solution – we need to change the narrative. **Nature** 616, 9. <https://doi.org/10.1038/d41586-023-00953-x>.
- HUANG, J. et al. 2018. The global oxygen budget and its future projection. **Science Bulletin** 63: 1180-1186.
- HUBAU, W., et al. 2020. Asynchronous carbon sink saturation in African and Amazonian tropical forests. **Nature** 579: 80-87.
- IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE) 2022a. Summary for Policy Makers [Pörtner H.-O. et al. (eds.)]. In: **Climate change 2022: impacts, adaptation and vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the IPCC [Pörtner, H.-O., et al. (eds.)]. Cambridge, Cambridge Univ. Press. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/>
- IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE) 2022b. Summary for Policy Makers. In: **Climate Change 2022: Mitigation of climate change**. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the IPCC [Shukla P.R., et al. (eds.)]. Cambridge, Cambridge Univ. Press. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/>
- IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE) 2021. **Climate change 2021: the physical science basis**. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment of the IPCC [Masson-Delmonte, V. et al. (eds.)]. Cambridge, Cambridge Univ. Press. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/>
- IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE) 2018. Summary for Policymakers. In: **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., et al. (eds.)]. Cambridge, Cambridge University Press, pp. 3-24, doi:10.1017/9781009157940.001.
- JONES, N. 2022. Rare 'triple' La Niña event looks likely – what does the future hold? **Nature** 607, 21. <https://doi.org/10.1038/d41586-022-01668-1>.
- JØRGENSEN, S. E. (ED.) 2010. **Global ecology: a derivative of encyclopedia of ecology**. New York, Academic Press. 462p.
- KATTGE, J. 2011. TRY- a global dataset of plant traits. **Global Change Biology** 17, 2905-2935.
- KELLER, D. P. et al. Potential climate engineering effectiveness and side effects during a high carbon dioxide-emission scenario. **Nature Communications**, 5: 3304, 2014.
- LAMBIN, E. F.; GEIST, H. J. 2006. **Land-use and land-cover change: local processes and global impacts**. Springer, Berlin.
- LAPOLA, D.M. et al. 2018. Limiting the high impacts of Amazon forest dieback with no-regrets science and policy action. **Proc. Nat. Acad. Sci. USA** 115: 11671-11679.
- LAPOLA, D.M. et al. 2014. Pervasive transition of the Brazilian land-use system. **Nature Climate Change**, 4: 27-35.
- LAPOLA, D.M. et al. 2009. Exploring the range of climate-biome projections for tropical South America: the role of CO<sub>2</sub> fertilization and seasonality. **Global Biogeochemical Cycles** 23, GB3003, doi:10.1029/2008GB003357.
- LENTON, T. et al. 2007. Tipping elements in the Earth's climate system. **Proc. Natl. Acad. Sci. USA**, 105: 1786-1893.
- MARGULIS, L. & SAGAN, D. 2002. **O que é vida?** Rio de Janeiro, Jorge Zahar.
- MARINO, B.D.V. & ODUM, H.T. 1999. Special Issue: Biosphere 2 – research past & present. **Ecological Engineering** 13: 1-374.
- MAZO, J. Chapter Three: Darfur: the first modern climate-change conflict. **The Adelphi Papers** 49: 73-86. <https://doi.org/10.1080/19445571003755538>
- MORITA, K., & MATSUMOTO, K. 2023. Challenges and lessons learned for REDD+ finance and its governance. **Carbon Balance and Management** 18: 8. <https://doi.org/10.1186/s13021-023-00228-y>
- ODUM, E. P.; BARRET, G. W. 2007. **Fundamentos de Ecologia**. São Paulo, Cengage. 612 p.
- OKI, T. & KANAE, S. 2006. Global hydrological cycles and world water resources. **Science** 313: 1068-1072.
- ORIHUELA-PINTO, B; ENGLAND, M. & TASCHETTO, A.S. 2022. Intebasing and interhemispheric impacts of a collapsed Atlantic Overturning Circulation. **Nature Climate Change** : 558-565.
- PEETERS, M. (2021). The Global Stocktake. In: G. Van Calster, G & I. Reins (eds.). **The Paris Agreement on Climate change: a Commentary**. Edward Elgar Publishing, pp. 326-346.
- ROBINSON, M. 2018. **Climate Justice**. Bloomsbury Publishing, Londres. 176 p.
- SCHEFFER, M. et al. 2001. Catastrophic shifts in ecosystems. **Nature** 413: 591-596.
- SEVERINGHAUS, J.P., et al. 1994. Oxygen loss in Biosphere 2. **Eos Trans. AGU** 75: 33–37, doi:10.1029/94EO00285
- SHIELS, A. B. & GONZÁLEZ, G. 2015. Tropical forest responses to large-scale experiments. **BioScience** 65: 839-840.
- SKUTSCH, M. & TURNHOUT, E. 2020. REDD+: For communities are the solution, what is the problem? **World Development** 130: 104942. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2020.104942>
- SOUZA JR., C.M. et al. 2020. Reconstructing three decades of land use and land cover changes in Brazilian biomes with Landsat archive and Earth Engine. **Remote Sensing** 12, doi: 10.3390/rs12172735.
- STEFFEN, W.; SANDERSON, A.; TYSON, P. D.; et al. 2005. **Global change and the Earth system: a planet under pressure**. Springer, Berlin.
- SUTHERLAND, W. J. et al. 2013. Identification of 100 fundamental ecological questions. **Journal of Ecology** 101: 58-67.
- TURNER, W. et al. 2003. Remote sensing for biodiversity science and conservation. **Trends in Ecology & Evolution** 18: 306-314.
- WALLACE, J. M. & P. V. HOBBS. 2006. **Atmospheric science: an introductory survey**. New York, Academic Press. 483p.

## LITERATURA FUNDAMENTAL ADICIONAL

- ASSAD, E; PINTO, H. S. (Eds.). 2008. **Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil**. EMBRAPA & UNICAMP, São Paulo. 83 p.
- BARLOW, J. et al. 2019. Clarifying Amazonia's burning crisis. **Global Change Biology**, doi: 10.1111/gcb.14872
- CANADELL, J. G.; PATAKI, D. E.; PITELKA, L. F. (Eds.). 2007. **Terrestrial Ecosystems in a Changing World**. Springer, Berlin, 2007. 336 p.
- FEDDEMA, J. et al. 2005. The importance of land-cover change in simulating future climates. **Science**, 310: 1674-1678.
- MITCHARD, E. T. A. 2018. The tropical forest carbon cycle and climate change. **Nature**, 559: 527-534.
- MORAN, E. F. 2006. **People and nature: an introduction to human ecological relations**. Wiley-Blackwell. 232p.
- ROCKSTRÖM, J. et al. A safe operating space for humanity. **Nature** 461: 472-475, 2009.
- SAGAN, C. et al. 1993. A search for life on Earth from the Galileo spacecraft. **Nature**, 365: 715-721.

SOARES-FILHO, B. S. et al. 2006. Modelling conservation in the Amazon basin. **Nature**, 440: 520-523.  
THOMAS, C. D. et al. 2004. Extinction risk from climate change. **Nature**, 427: 145-148.  
WATSON, A. J. & J. E. LOVELOCK. 1983. Biological homeostasis of the global environment: the parable of Daisyworld. **Tellus B**, 35B: 284-289.

Objetivos (que ao término da disciplina o aluno seja capaz de):

- Compreender o funcionamento do sistema terrestre em uma escala global, e as interações entre seus componentes.
- Entender a problemática das mudanças climáticas e saber propor medidas de mitigação e adaptação às mudanças climáticas.
- Entender como atividades antrópicas (sistemas humanos) interferem/interagem no/com o funcionamento do planeta.
- Reconhecer métodos e ferramentas disponíveis para a compreensão e previsão de mudanças ambientais em larga escala.

Metodologia de Ensino:

Aulas expositivas breves, seminários objetivos e cientificamente envolventes, exercícios práticos (numéricos e conceituais) de modelagem ambiental, experimentação em laboratório, discussões abertas, leituras direcionadas.

Avaliação

- Projetos de pesquisa desenvolvidos durante a disciplina
- Participação nas discussões abertas em sala de aula