



# TEXTO PARA DISCUSSÃO

ISSN 0103-9466

477

**Da produção rural familiar à mitigação climática: Uma  
abordagem para a mensuração das emissões de CO2  
na Resex Chico Mendes**

**Mitali Daian Alves Maciel / Raimundo Cláudio Gomes Maciel / Lucas  
Ferreira Lima / João Alfredo Carvalho Mangabeira / Ademar Ribeiro  
Romeiro / Oleides Francisca Oliveira**

Abril 2025



**ie** Instituto de  
economia

# Da produção rural familiar à mitigação climática: Uma abordagem para a mensuração das emissões de CO<sub>2</sub> na Resex Chico Mendes

Mitali Daian Alves Maciel<sup>1</sup>

Raimundo Cláudio Gomes Maciel<sup>2</sup>

Lucas Ferreira Lima<sup>3</sup>

João Alfredo Carvalho Mangabeira<sup>4</sup>

Ademar Ribeiro Romeiro<sup>5</sup>

Oleides Francisca Oliveira<sup>6</sup>

## Resumo

A urgência em reverter a degradação ambiental e o avanço do aquecimento global tem mobilizado a comunidade internacional e a pesquisa científica. A redução drástica das emissões de CO<sub>2</sub> é a principal medida para mitigar essa crise. Este estudo tem como objetivo apresentar uma proposta teórico-analítica para mensurar as emissões de CO<sub>2</sub> na produção rural familiar na floresta Amazônia. A pesquisa foi construída, baseada em princípios da economia ecológica, a partir da perspectiva coprodutiva e da reprodução social da produção rural familiar na Reserva Extrativista Chico Mendes no Acre, Brasil. A metodologia proposta sistematiza o cálculo do impacto ambiental em termos de emissões de carbono e consumo de recursos, com base em métricas quantitativas, a partir de informações sobre: i) dados de operações realizadas, com detalhamento em termos da utilização de mão de obra; e ii) dados de materiais e insumos no processo produtivo. Tendo como referência um estudo de caso. Os resultados indicam baixíssimo impacto ambiental na utilização de insumos e materiais, com zero impacto na utilização da mão de obra familiar nos processos produtivos, asseverando o caráter coprodutivo com a natureza na busca de *zero emissões líquidas de carbono*. Assim, a abordagem tem o potencial de contribuir na disseminação de uma nova visão que busca posicionar a produção rural familiar como parte da solução e de oportunidades na transição para sistemas produtivos de baixa emissão de carbono, que respeitem o equilíbrio ecológico dos ecossistemas.

**Palavras-chave:** Mudanças climáticas, Impacto ambiental, Sustentabilidade, Amazônia.

---

(1) Doutoranda em Desenvolvimento Econômico pelo Instituto de Economia da Unicamp. Pesquisadora do Centro de Estudos em Economia Aplicada, Agrícola e do Meio Ambiente (CEA+) da Unicamp. E-mail: [mitali.maciel@gmail.com](mailto:mitali.maciel@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6639-3922>.

(2) Doutor em Economia Aplicada pelo Instituto de Economia (IE) da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Professor do Centro de Ciências Jurídicas e Sociais Aplicadas (CCJSA) da Universidade Federal do Acre (UFAC). E-mail: [raimundo.maciel@ufac.br](mailto:raimundo.maciel@ufac.br). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8979-4895>.

(3) Doutor em Desenvolvimento Econômico pelo Instituto de Economia da Unicamp. Pesquisador Colaborador do Instituto de Economia da Unicamp. E-mail: [lucaslima.eco@gmail.com](mailto:lucaslima.eco@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5839-2834>.

(4) Doutor em Desenvolvimento Econômico pelo Instituto de Economia da Unicamp. Pesquisador da Embrapa. Assessor Técnico da Coordenação do Escritório Estadual de SP do Ministério de Desenvolvimento Agrário e Agricultura Familiar (MDA). E-mail: [joao.mangabeira@mda.gov.br](mailto:joao.mangabeira@mda.gov.br). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9417-4455>.

(5) Doutor em Economia pela Ecole des Hautes Études en Sciences Sociales, EHESS - França. Professor Titular do Instituto de Economia da Unicamp. E-mail: [arromeiro@gmail.com](mailto:arromeiro@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0683-3030>.

(6) Doutora em Desenvolvimento Regional pela Universidade de Santa Cruz do Sul, UNISC. Professora do Centro de Ciências Jurídicas e Sociais Aplicadas (CCJSA) da Universidade Federal do Acre (UFAC). E-mail: [oleides.oliveira@ufac.br](mailto:oleides.oliveira@ufac.br). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9560-5069>.

## Abstract

### ***From rural family production to climate mitigation: an ecological-economic approach to measuring co2 emissions in the Chico Mendes Extractive Reserve***

The urgency of reversing environmental degradation and advancing global warming has mobilized the international community and scientific research. The drastic reduction of CO<sub>2</sub> emissions is the primary measure to mitigate this crisis. This study aims to present a theoretical-analytical proposal for measuring CO<sub>2</sub> emissions in rural family production in the Amazon rainforest. The research was built on ecological economics principles from the co-production perspective and the social reproduction of rural family production in the Chico Mendes Extractive Reserve in Acre, Brazil. The proposed methodology systematizes the calculation of environmental impact in terms of carbon emissions and resource consumption, based on quantitative metrics, from information on i) data on operations carried out, with details in terms of the use of labor and ii) data on materials and inputs in the production process. A case study was used as a reference. The results indicate a very low environmental impact in using inputs and materials, with zero effect on using family labor in production processes. This confirms nature's co-productive nature in the search for zero net carbon emissions. Thus, this approach can contribute to disseminating a new vision that seeks to position rural family production as part of the solution and opportunities in the transition to low-carbon production systems that respect the ecological balance of ecosystems.

**Keywords:** Climate change; Environmental impact; Sustainability; Amazon.

**JEL:** Q01, Q11, Q15, Q56, Q57.

## 1 Introdução

O Brasil é considerado um *player* na discussão sobre a redução das emissões de Gases do Efeito Estufa (GEEs), como o Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>). Para manter o seu protagonismo e potencializar a redução do desmatamento, busca-se, inicialmente, a transição para uma economia de baixo carbono e, posteriormente, a neutralidade climática (*net zero*). Para isso, pesquisadores das mais diversas localidades do planeta vêm demonstrando cientificamente que o agravamento das ameaças ambientais é decorrente da ação antrópica intensificada pelo atual modelo de produção e consumo (Unep, 2024).

O Acordo de Paris<sup>7</sup>, firmado em 2015, estabeleceu um marco histórico na luta contra as mudanças climáticas. Diferentemente do Protocolo de Kyoto, o Acordo exige que todos os países contribuam para a redução dos GEEs. Reconhecendo a necessidade de uma ação global e equitativa, o documento estabeleceu metas ambiciosas, mas flexíveis, considerando as capacidades e as realidades de cada nação. A partir de 2020, iniciaram-se as ações para a redução das emissões de CO<sub>2</sub> e o centro da meta se pautou em frear o aumento da temperatura global em 1,5°C em relação à era pré-industrial (Kruse, 2023).

Todavia, devido ao aumento da concentração de GEEs na atmosfera, o efeito estufa vem se intensificando e o resultado é a elevação da temperatura média da Terra. Conforme o sexto relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), a média de temperatura da superfície terrestre sofreu um acréscimo de 1,1°C entre 2011-2020, em comparação com a temperatura média do período 1850-1900. A pesquisa ratifica que a influência humana no clima é

---

(7) Em um dos seus primeiros atos na segunda administração (2025-2028), o presidente dos Estados Unidos da América (EUA), Donald Trump, assinou o decreto notificando a Organização das Nações Unidas (ONU) sobre a intenção de se retirar do Acordo do Clima de Paris. O país é um dos maiores emissores de GEEs e a saída do Acordo, pela segunda vez, coloca em dúvida os esforços globais para conter o aquecimento do planeta e tem um peso significativo, especialmente no que diz respeito a finanças, posto que o país contribui com somas consideráveis para o fundo climático. A decisão tem um impacto substancial no futuro do Acordo e a comunidade internacional precisará se mobilizar com ainda mais força para garantir que as metas climáticas globais sejam atingidas.

inequívoca e o aumento de temperatura pode superar 1,5 °C já em 2040, sobretudo em um cenário de emissões de GEEs extremamente altas. Para mais, em um cenário de emissões intensivas em carbono, a temperatura global poderá aumentar entre 3,3°C e 5,7°C até 2100 (IPCC, 2023).

A humanidade está cada vez mais longe de cumprir as metas do Acordo de Paris. O Relatório Global do Clima Copernicus divulgou que o ano de 2024 foi o mais quente já registrado, ultrapassando o limite histórico de 1,5 graus de aquecimento. As temperaturas médias globais ficaram cerca de 1,6 °C acima do período pré-industrial. O constante aumento das emissões de GEEs continuam a ser o principal agente das alterações climáticas (Copernicus Global Climate Highlights Report 2024, 2025).

Rockström et al. (2023), alertam que o mundo já ultrapassou seis das nove fronteiras planetárias devido à crise climática. O fato deve resultar em danos irreversíveis à biodiversidade e aos ecossistemas, e dezenas de milhões de pessoas estarão expostas a temperaturas perigosamente elevadas. Timothy et al. (2023), avaliam que se o mundo continuar na trajetória projetada, até 2030 cerca de dois bilhões de pessoas estarão fora do “nicho climático”, isto é, temperaturas em que os humanos podem florescer e se reproduzir socialmente. O estudo estima que serão enfrentadas temperaturas médias superiores a 29°C e, em um cenário de crescimento populacional, cerca de 3,7 bilhões viverão fora do nicho até 2090.

Nessa direção, os economistas ecológicos têm demonstrado, desde os anos 1990, que o crescimento econômico elevado sob os padrões técnicos e culturais vigentes conduzirá o planeta ao colapso ambiental (Andrade, 2008; Vieira, 2023). Em razão disso, são buscadas alternativas para o modo atual de produção e consumo lineares – cada vez mais insustentável – por conduzir tanto a exaustão dos recursos naturais quanto a produção de resíduos. Visto que, para o padrão de desenvolvimento se tornar sustentável é necessário superar três lacunas do atual modelo de desenvolvimento, isto é, as elevadas desigualdades sociais; a armadilha da baixa renda e baixa produtividade; e os crescentes impactos ambientais (Lima et al., 2024).

No contramovimento ao modelo de produção dominante, tem-se a produção rural familiar que detém sob seu manejo a maior parte das florestas do mundo (Aryal et al., 2024), com o potencial de contribuir para a mitigação das mudanças climáticas, redução das emissões de carbono e manutenção das famílias no meio rural. Para Moreira e Manzatto (2023), a interação entre os seres humanos e o meio ambiente tem sido tema central de diversos estudos, especialmente no que se refere à forma como a natureza é apropriada na Floresta Amazônica e à maneira como as populações locais, ao longo do tempo, desenvolveram diferentes estratégias de sobrevivência e organização social.

A floresta amazônica é um bioma fundamental para o equilíbrio climático do planeta, devido a sua vasta extensão, elevada provisão de serviços ecossistêmicos e rica biodiversidade. A capacidade de absorver CO<sub>2</sub> da atmosfera a torna uma aliada indispensável no combate às mudanças climáticas, influenciando diretamente o clima global e regional (Alencar; Souza, 2021).

No interior da floresta amazônica, especificamente no estado do Acre, destaca-se a Reserva Extrativista (Resex) Chico Mendes, como pioneira no conceito de unidade de conservação de uso sustentável. A Resex Chico Mendes foi criada em meados dos anos de 1990, sendo um ícone na construção de soluções que mantém a floresta em pé e, ao mesmo tempo, geram melhores condições de vida para as populações que vivem nela. A partir da luta do movimento seringueiro, tornou-se

símbolo do reconhecimento dos direitos à terra das comunidades tradicionais na conservação da floresta, abrangendo uma área com significativos produtos florestais não madeireiros, como o extrativismo da borracha e a produção de castanha (Maciel et al., 2024).

Com a adoção de medidas que promovam a utilização sustentável dos recursos naturais e a agregação de valor aos produtos agroflorestais, a produção rural familiar, especialmente nas unidades de conservação da floresta amazônica, tem o potencial de protagonizar modelos produtivos de baixa emissão de CO<sub>2</sub>, aliado à conservação florestal, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas. Dessa forma, o uso de tecnologias ambientais apropriadas pode gerar impactos positivos tanto no presente quanto garantir um efetivo desenvolvimento sustentável (Moreira; Manzatto, 2023).

Nesse sentido, considerando a problemática mundial das emissões de GEEs, o presente estudo tem como objetivo apresentar uma proposta teórico-analítica para mensurar as emissões de CO<sub>2</sub> na produção rural familiar na floresta Amazônia. A pesquisa foi construída, baseada em princípios da Economia Ecológica (*Ecological Economics*), a partir da perspectiva produtiva e da reprodução social da produção rural familiar na Reserva Extrativista Chico Mendes, no estado do Acre.

O estudo está organizado em cinco partes, além desta introdução. A próxima seção discute a importância da Floresta Amazônica no balanço de carbono e a visão da Economia Ecológica. A terceira seção reflete sobre as particularidades do estado do Acre e da Reserva Extrativista Chico Mendes e, na sequência, apresenta a produção rural familiar e o processo de coprodução com a natureza. Posteriormente, no quarto tópico, apresenta-se a proposta teórico-analítica para mensurar as emissões de CO<sub>2</sub> na produção rural familiar na Amazônia, discutindo os resultados de um estudo de caso na região, que validam a metodologia proposta. Por fim, tecem-se as considerações finais seguidas pelas referências.

## **2 A floresta Amazônica e o balanço de carbono: o olhar a partir da Economia Ecológica**

A floresta amazônica, a maior floresta tropical do mundo, exerce papel fundamental na regulação do clima global e regional. Dada a sua magnitude, atua como um importante sumidouro de carbono, absorvendo CO<sub>2</sub> da atmosfera, capturado pela fotossíntese da sua vegetação. A Amazônia também auxilia no controle do aquecimento da atmosfera por meio da transpiração de suas árvores, movimentando os chamados “rios voadores”, correntes de vapor d’água responsáveis por cerca de 70% das chuvas nas regiões Sul e Sudeste do Brasil. Mas, esse grande ecossistema verde de carbono, que presta serviços ecossistêmicos de valor inestimável ao planeta, está ameaçado (Alencar; Souza, 2021).

A redução no sumidouro de carbono, ou seja, na capacidade da floresta amazônica em absorver CO<sub>2</sub> tem implicações significativas para o clima global. O estudo de Melnikova et al. (2024), aponta que a diminuição deste sumidouro leva ao aumento das temperaturas, alterações nos padrões de chuva e a elevação das emissões de carbono. De acordo com os autores, à medida que a Amazônia se torna mais quente e seca, aumenta o risco de secas e incêndios florestais. Esses eventos liberam grandes quantidades de CO<sub>2</sub> na atmosfera, transformando a floresta de um sumidouro de carbono em uma fonte de carbono. Além disso, a respiração do solo, um processo natural que libera CO<sub>2</sub>, também aumenta em condições mais quentes e secas.

Segundo Gatti et al. (2021), o desmatamento já ameaça transformar a floresta em uma região árida, que emite mais carbono do que absorve. Além da emissão direta causada pelas queimadas – a floresta aprisiona em suas árvores o equivalente a quase uma década de emissões globais de GEEs – a derrubada de árvores já afeta as temperaturas na região. A estação seca está de três a quatro semanas mais longa em algumas áreas no sul da floresta. A diminuição do volume das chuvas aumentou a temperatura em 2,5°C no sudeste da Amazônia, obrigando as árvores a emitirem mais carbono do que o normal para compensar o desequilíbrio.

Conforme Lovejoy e Nobre (2018), as sinergias negativas entre o desmatamento, as mudanças climáticas e o uso generalizado de fogo indicam um ponto de inflexão (ponto de “não retorno”) para o sistema amazônico se transformar em ecossistemas não florestais no leste, sul e centro da Amazônia, com 20-25% de desmatamento, e quatro graus Celsius de aquecimento global para savanas degradadas na maior parte da Amazônia central, meridional e oriental. Os autores apontam que o caminho mais sensato não é apenas conter rigorosamente o desmatamento, mas também reconstruir uma margem de segurança contra o ponto crítico da Amazônia, reduzindo a área desmatada para menos de 20%.

Corroboram Lovejoy e Nobre (2019), que a frequência crescente de secas sem precedentes em 2005, 2010, 2015 e 2016 sinaliza que o ponto de inflexão (ponto de “não retorno”) está próximo. Em termos simples, a floresta Amazônica não pode suportar mais o desmatamento e necessita ser reconstruída como a base de sustentação do ciclo hidrológico, para continuar a servir como um volante do clima continental e uma parte essencial do ciclo global de carbono, como tem feito por milênios. A boa notícia é que se pode reconstruir uma margem de segurança por meio de reflorestamento imediato, ativo e ambicioso, particularmente nas regiões desmatadas que são, em grande parte, monoculturas de gado, soja e cana-de-açúcar, e terras de cultivo abandonadas, cerca de 23% do território florestal destruído.

De acordo com Nobre (2024), se o desmatamento continuar nas mesmas taxas das últimas décadas e o aquecimento global exceder significativamente 1,5°C, a Amazônia ultrapassará seu *tipping point* ou ponto crítico, que pode levar mais de 50% da floresta a se transformar em ecossistemas altamente degradados. Além disso, se a estação seca continuar a se prolongar, o ponto de ruptura irreversível (ponto de “não retorno”) será alcançado em 2050. Nesse caso, entre 50% e 70% da floresta se degradaria dentro de 30 a 50 anos. E isso libertaria mais de 250 bilhões de toneladas de CO<sub>2</sub> e levaria à extinção de milhares de espécies.

Diante deste cenário, a Economia Ecológica, como campo de estudo, aponta para os limites ao crescimento econômico, relacionado à escala sustentável de produção, às leis da termodinâmica e ao ponto de “não retorno”. Para Georgescu-Roegen (1971), o sistema econômico não pode contrariar as Leis da Física. A limitação se deve à lei da entropia, pela qual não é possível qualquer atividade produtiva de transformação de matéria e energia (primeira lei da termodinâmica) sem um processo de degradação entrópica irreversível gerador de resíduos (segunda lei da termodinâmica). Ainda assim, é possível reduzir a quantidade de resíduos por meio do aumento da eficiência ecológica, mas há limites entrópicos intransponíveis a partir de certo ponto (Romeiro, 2012).

A transformação requer energia e gera inevitavelmente resíduos altamente entrópicos. Com o crescimento contínuo da produção, o subsistema econômico deverá, eventualmente, ultrapassar a capacidade do ecossistema global em sustentá-lo. Assim, a entropia é uma via de mão única de

mudança irreversível, um aumento contínuo de desordem no universo (Doms; Lima, 2019). E, inevitavelmente, quaisquer recursos transformados em algo útil têm de se desintegrar, decair, decompor ou dissipar em algo inútil, retornando sob a forma de resíduo ao sistema de suporte que gerou o recurso.

Romeiro (2012) pontua que o total dos resíduos inevitavelmente gerados pela extração, transformação e consumo de recursos naturais, em um dado período, chamado de “*throughput*”<sup>8</sup>, não pode ultrapassar a capacidade de carga da Terra e que, portanto, o crescimento zero é a única maneira de impedir que isso aconteça. Dessa forma, para a Economia Ecológica é preciso sempre procurar primeiramente estimar a escala sustentável de uso dos recursos naturais. Para a economia ambiental neoclássica, a escala de uso é determinada pela alocação mais eficiente, isto é, aquela que minimiza os custos do ajuste, sem levar em conta a sustentabilidade no longo prazo. Desse modo, para a economia ambiental, os bens e serviços ecossistêmicos a serem utilizados (a escala) são tratados como variáveis de ajuste. Para a economia ecológica, ao contrário, eles devem ser tratados como parâmetro físico de sustentabilidade ecológica, aos quais deverão se ajustar às variáveis não físicas da tecnologia e das preferências individuais” (Romeiro, 2012, p. 81).

Resumidamente, a Economia Ecológica não se coloca frontalmente contra o uso de recursos do capital energético à disposição da humanidade. Na verdade, as demandas energéticas do atual modelo de crescimento econômico e a atual impossibilidade técnica da utilização integral do fluxo de energia solar de baixa entropia, exigem que parcelas cada vez maiores desse estoque sejam empregadas. Entretanto, o que ela critica é o uso irresponsável desses recursos e a desconsideração da finitude da base física que sustenta o sistema econômico (Andrade, 2008).

Nesse sentido, a sustentabilidade ecológica (sustentabilidade forte) deve ser vista como a preservação dos serviços ecossistêmicos essenciais (insubstituíveis por capital); mesmo ainda no caso das matérias primas, é preciso utilizá-las com maior eficiência ecológica, de modo a ampliar o horizonte temporal da sua disponibilidade, possibilitando a manutenção de estoques físicos de capital natural. É preciso ter claro que a limitação biofísica determina a capacidade de autorregulação do planeta Terra. A exploração de recursos naturais se encontra em um patamar tão intenso que não é mais possível conceber que se vive em um ecossistema ilimitado. Por isso, torna-se necessário zerar o crescimento da produção material/energética (Romeiro, 2012; Daly; Farley, 2016).

Qualquer subsistema, como a economia, em algum momento deve, necessariamente, parar de crescer e se adaptar a um equilíbrio dinâmico, algo semelhante a um estado estacionário (*steady-state economy*). Logo, a humanidade precisa fazer a transição para um modelo de desenvolvimento econômico que respeite os limites físicos inerentes ao ecossistema global e garanta a continuação do funcionamento no futuro – em uma biosfera finita, exige novas maneiras de pensar e práticas produtivas que possam ser modelos de sustentabilidade no combate às mudanças climáticas (Georgescu-Roegen, 2005; Romeiro, 2012; Daly; Farley, 2016).

É incontestável que as antropizações causadas por atividades insustentáveis praticadas na Amazônia já converteram parte da floresta em áreas abertas, como em áreas de pastagem. No entanto, com o reflorestamento, no futuro, irão se transformar em áreas de floresta secundária, que é um

---

(8) Refere-se aos fluxos materiais e energéticos provenientes do meio ambiente que entram e saem do sistema econômico (Daly; Farley, 2016).

caminho natural quando ocorre o sistema de corte e queima. Esse processo é uma estratégia tradicional e acessível financeiramente para os produtores locais, dado que produz um volume grande de cinzas que, incorporadas ao solo, aumentam a sua fertilidade (Alencar; Souza, 2021).

Pedroso Júnior, Murrieta e Adams (2008), indicam que a agricultura de corte e queima é praticada há milhares de anos em áreas de florestas tropicais. Contudo, é crescente na literatura acadêmica e no debate político o papel que a agricultura de corte e queima vem desempenhando no desmatamento e demais impactos ambientais e socioeconômicos. Esse processo seria consequência das mudanças no uso do solo, da intensificação agrícola e do aumento demográfico que alteram as práticas e comprometem a sustentabilidade dos sistemas agrícolas tradicionais.

Nas florestas tropicais, como a Amazônia, onde parte significativa das espécies vegetais silvestres não é comestível ou possui difícil acesso para coleta, a agricultura de corte e queima foi uma estratégia adaptativa importante para a economia de subsistência praticada na região (Sponsel, 1986). Sua prática envolve uma gama de técnicas que denotam seu caráter diversificado e itinerante, com o aproveitamento do capital energético da floresta em recomposição (Pedroso Júnior; Murrieta; Adams, 2008). O estudo de Altieri (1999) atesta a sustentabilidade desses sistemas quando praticados tradicionalmente e sob baixas densidades populacionais, mantendo, ou mesmo, promovendo a biodiversidade local e garantindo a subsistência de muitas populações rurais.

Porém, é importante enfatizar que, historicamente, a produção rural familiar usa a floresta no sistema de corte e queima. No mundo ideal, não deveria ocorrer o desmatamento, mas tendo em vista a necessidade dos pequenos agricultores em cultivar alimentos, a antropização é crucial para a subsistência das populações locais. Com efeito, o sistema é realizado pela produção rural familiar, de forma responsável e dentro de uma escala de uso sustentável, isto é, mediante uma escala mínima para ser provedora de alimentos, “justamente pela forma ancestral de agricultura de corte e queima” (Maciel, 2021, p. 21).

Os produtores rurais familiares utilizam a técnica do aceiro – que são faixas de terreno sem vegetação que impedem a propagação do fogo, assim, fazem a prevenção e combate a incêndios (Senar, 2018). Na prática, a agricultura de corte e queima está associada à rotação de culturas e o aceiro serve para restringir a queimada a um ponto específico, enquanto a população local mantém o controle do fogo para o fim particular, diferente das queimadas criminosas e dos incêndios fora do controle. Logo, o elemento-chave é a baixa escala e o aspecto sustentável vinculado à reprodução social, que não perturba efetivamente o sistema.

Em relação ao carbono, logo após o processo de corte e queima, pode-se emitir CO<sub>2</sub>. Porém, em curto período, com o avanço da floresta secundária, tende-se a voltar a sequestrar o carbono. Desse modo, o sistema de corte e queima possibilita que a floresta se regenere. Em razão disso, a produção agrícola e o desmatamento não precisam caminhar na mesma direção. A agrofloresta permite que as árvores de cultivo cresçam ao lado da vegetação nativa, caracterizando-se como uma fonte de renda sustentável, ao mesmo tempo que restaura a floresta tropical nativa, combatendo as mudanças climáticas ao capturar e armazenar carbono naturalmente (Thompson, 2021).

Conforme Oliveira et al. (2021), os sistemas agroflorestais (SAFs) são sistemas de uso da terra em que árvores são consorciadas – simultânea ou sequencialmente – com plantas herbáceas, arbustivas, culturas agrícolas e/ou forrageiras, em um mesmo local de acordo com o arranjo espacial



e temporal pré-determinados. De acordo com os autores, são vários os modelos e combinações possíveis para esses sistemas, que são apontados como ferramentas interessantes no que tange à reintrodução do componente arbóreo na paisagem rural, com objetivos ecológicos, como a melhoria de conectividade na paisagem, resgate da biodiversidade nativa, regeneração da saúde dos solos, fortalecimento da floresta secundária e captura de carbono. Cujo foco está na obtenção de produtos agrícolas e florestais madeireiros e não madeireiros com vistas à geração de emprego e renda para as populações rurais.

Os sistemas agroflorestais são apontados como uma alternativa para melhorar a sustentabilidade e resiliência de paisagens degradadas. Hillbrand et al. (2017), destacam que os SAFs são ferramentas adequadas para melhorar as características físicas, químicas e biológicas do solo (aumentando sua fertilidade), controlar a erosão e melhorar a disponibilidade de água. Além disso, a restauração de paisagens degradadas, utilizando os sistemas agroflorestais, pode aumentar a resiliência das comunidades rurais a choques, incluindo as secas e a escassez de alimentos, e ajudar a mitigar mudanças climáticas. Assim como, busca promover meios de subsistência para as comunidades rurais, fornecendo maior variedade de alimentos e produtos florestais que aumentam a soberania alimentar.

Para Nobre (2024), ainda que muitos cientistas considerem que a região sul da Amazônia já passou do ponto de “não retorno”, o autor acredita que ainda é possível reverter o quadro, mas, para isso, é preciso aumentar a governança na região; eliminar o desmatamento, a degradação e o fogo; e conservar e restaurar a floresta desenvolvendo o que é chamado de uma nova sociobioeconomia de floresta em pé e rios fluindo. Nessa direção, grande parte das áreas desmatadas e degradadas podem ser usadas para restauração florestal e sistemas agroflorestais inclusivos, produzindo grandes quantidades de espécies nativas e alimentos.

Ferreira (2024), elucida que o termo sociobioeconomia, prevê alguns critérios fundamentais, caracterizando-se como um caminho para afastar o ponto de “não retorno” na Amazônia. O conceito de sociobioeconomia está enraizado nas práticas e na cultura local e em princípios como a equidade. Assim como, nas atividades que levam à conservação e restauração dos ecossistemas, que aumentam a cooperação e participação social, protegem os direitos humanos e territoriais, promovem benefícios sociais, e integram conhecimentos diversos, como o científico e o tradicional.

Nesse sentido, as unidades de conservação, de uso sustentável, como as Reservas Extrativistas (Resex), despontam como o modelo de desenvolvimento sustentável na Amazônia, protagonizado pela produção rural familiar. Segundo Maciel, Mangabeira e Kassai (2021), as unidades de conservação, como no caso da Resex Chico Mendes, no estado do Acre, surgiram como forma de solucionar os problemas relacionados à luta pela posse da terra na região amazônica, bem como às questões ambientais derivadas das atividades insustentáveis, como a produção de madeira e a pecuária extensiva. Conforme os autores, apesar do crescimento do desmatamento verificado nos últimos anos, a Resex Chico Mendes, mantém mais de 90% de sua cobertura florestal e corrobora com a tese de que as áreas protegidas funcionam como barreiras ao avanço do desmatamento, cumprindo com o seu papel de proteção ambiental.

A floresta em pé leva sustento às famílias e, dessa forma, a sua conservação é fundamental. Nesse aspecto, interrelacionam-se o caráter coprodutivo e o aspecto sustentável do estilo de vida da produção rural familiar na região. Esse processo, conforme Albuquerque e Melo (2018), assemelha-

se a socioecossistemas, que é uma abordagem que considera os diversos elementos humanos, inclusive seus sistemas de uso e exploração dos recursos naturais, como parte da paisagem, oferecendo propriedades emergentes inspiradoras para entender as relações pessoas-natureza, frutos da combinação dos sistemas sociais e dos ecossistemas, e como um influencia o outro.

### 3 O estado do Acre e a Resex Chico Mendes

A abertura da Amazônia para a colonização desde a década de 1970, oportunizou a expansão da pecuária, conflitos por terra e o desmatamento generalizado. De acordo com Freitas Junior e Barros (2021), a produção bovina brasileira tem crescido de maneira mais intensa na Amazônia Legal<sup>9</sup>. Os autores apontam para a intensificação da produção na região, dado que a taxa de crescimento do rebanho se mostrou entre 5,6% e 15,68% mais elevada na Amazônia Legal do que no país, enquanto o crescimento da densidade bovina (rebanho por km<sup>2</sup>) foi superior em 11,11% a 21,47%. O gado é o principal fator de pressão ao desmatamento na Amazônia e tem como consequência direta a diminuição das áreas de florestas primárias.

A história da luta dos seringueiros no estado do Acre pela defesa da floresta é um marco para a questão ambiental brasileira. Ao defenderem um modelo de desenvolvimento sustentável baseado na extração de látex, esses trabalhadores demonstraram que era possível conciliar a economia local com a conservação da biodiversidade e do meio ambiente. Contudo, a pressão pela expansão da fronteira agrícola e a valorização da pecuária bovina levaram a uma mudança radical no cenário regional. Atualmente, a criação de gado se disseminou por vastas áreas da Amazônia acreana, transformando a paisagem e os modos de vida da população local, com impactos socioambientais (Hoelle, 2021).

De acordo com Holle (2020), a diversidade das práticas de criação de gado no Acre explica a economia variada existente na região. O autor indica que é possível encontrar desde grandes fazendeiros e um rol de estratégias de modos de vida com o gado praticado pelos pequenos proprietários de terra. Somado a isso, alguns seringueiros veem o gado como uma parte das suas estratégias de vida que inclui além disso, o extrativismo florestal, a agricultura de corte e queima e o trabalho assalariado. Essas práticas podem mudar em decorrência de oportunidades e limitações, bem como o alcance que a produção terá para subsistência ou para o comércio.

Dos territórios da Amazônia, o Acre carrega a particularidade de concentrar a maior a quantidade de *commodities* florestais, que são a Seringueira e a Castanheira, em termos relativos ao território. Essas são duas espécies com potencial produtivo dentro da economia de base florestal. Além disso, no estado há uma significativa quantidade de parques de proteção ambiental, de reservas extrativistas e indígenas, o que se apresenta como uma vantagem para a contenção do desmatamento.

Uma das expressões mais importantes é a Resex Extrativista Chico Mendes, unidade de conservação federal de uso sustentável, gerenciada pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), concedida para uso sustentável dos extrativistas distribuídos por sete municípios do Acre<sup>10</sup>, possuindo 970.570 hectares (Maciel et al., 2024), localiza-se na região mais

---

(9) Constituem a Amazônia legal os estados da região Norte do Brasil (Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins) além de Mato Grosso e Maranhão.

(10) Os municípios são: Assis Brasil, Brasiléia, Capixaba, Epitaciolândia, Sena Madureira, Rio Branco e Xapuri.

impactada pelo desmatamento no estado, cercada por grandes fazendas de gado. Em mais de trinta anos de existência, a área protegida já perdeu mais de 6% de sua cobertura florestal. O plano de manejo permite a criação de gado, mas limita a 15 hectares por propriedade, o que renderia, no máximo, 45 cabeças. Mas a realidade é outra e muitas famílias têm mais de 100 cabeças de gado (Pontes, 2020).

A criação da reserva, fruto de uma luta histórica que custou a vida de Chico Mendes, está ameaçada por diversas práticas ilegais. A abertura de novas áreas para pastagens, a retirada ilegal de madeira e a venda irregular de lotes de terra são apenas alguns exemplos dos problemas que assolam a região. A diminuição da competitividade da economia extrativista, aliada à perda da identidade dos moradores com o movimento que originou a área protegida, tem impulsionado a substituição das atividades tradicionais, como a coleta de castanha e a extração de látex, pela criação de gado.

Segundo Maciel (2021), a criação de gado, historicamente, esteve presente na vida dos moradores da Resex Chico Mendes, mas com um papel secundário. O animal era visto como um bem de valor, utilizado para suprir necessidades pontuais. Com o declínio das atividades extrativistas e as dificuldades de comercialização dos produtos da floresta, a pecuária ganhou um novo significado. A facilidade de venda do gado, com pagamento à vista, tornou essa atividade uma alternativa atrativa para garantir a renda familiar, transformando-se, em alguns casos, na principal fonte de sustento dos moradores da reserva.

No entanto, Maciel, Almeida e Menezes (2021), apontam para a inviabilidade econômica da produção comercial de gado bovino de corte, sendo uma atividade válida apenas como reserva de valor. A lógica da produção comercial, que exige maiores investimentos e busca por maior eficiência, entra em conflito com as restrições ambientais da reserva. A combinação de manejo extensivo e limites de desmatamento torna a pecuária bovina na Resex Chico Mendes economicamente inviável em grande escala.

A proliferação de ramais na região tem intensificado as ameaças à floresta como, por exemplo, a pressão por asfaltamento e a exploração ilegal de madeira de lei. Essa dinâmica coloca em risco o equilíbrio ambiental e a sustentabilidade da atividade extrativista. A preservação da cultura extrativista e o fortalecimento da cadeia produtiva do extrativismo é um desafio que exige um esforço conjunto de diversos atores. O apoio governamental, por meio de políticas de subsídio e incentivos, é fundamental para garantir a sustentabilidade dos produtos extrativistas, capazes de competir com outras atividades mais predatórias.

Nesse compasso, são buscadas formas de incentivar alternativas produtivas de baixa emissão de carbono, que promovam o uso da terra de forma sustentável, em oposição ao modo de produção capitalista tradicional, insustentável, que leva à exaustão dos recursos naturais. As soluções baseadas na natureza, como a conservação das florestas e a recuperação de áreas degradadas são as grandes vantagens do Brasil para se posicionar em uma nova economia do século XXI. Mas, para essa missão, torna-se primordial realizar um balanço de carbono adequado à realidade produtiva dos atores sociais envolvidos no ecossistema.

Em vista disso, a produção rural familiar é fundamental na discussão das mudanças climáticas e no balanço de carbono – na direção de manter a floresta em pé, como sumidora de carbono – e promover um modelo de produção rural familiar rentável, com qualidade de vida para a população

local e livre de desmatamento. Esse é um passo decisivo para o futuro da floresta Amazônica, a partir de um modelo produtivo no qual as pessoas e a natureza prosperam juntas.

### **3.1 A produção rural familiar na Resex Chico Mendes e a coprodução com a natureza**

Seja qual for a discussão sobre caminhos para a promoção da sustentabilidade ecológica, torna-se necessário, indispensavelmente, incorporar o papel da produção rural familiar, comunidades locais e povos originários no processo de desenvolvimento. Aryal et al. (2024), destacam que a maior parte das florestas globais são gerenciadas pela produção rural familiar e comunidades locais. Quase um quarto (1/4) da área terrestre global é ocupada por povos indígenas ou comunidades locais, como pequenos agricultores, e mais de um quinto (1/5) da área das florestas tropicais são manejadas por essas populações. No contexto de justiça ambiental, a exploração rural familiar da terra se destaca por manejar áreas florestais, podendo desempenhar um papel importante no auxílio à mitigação das mudanças no clima.

Para Chayanov (1981), a exploração rural familiar – que é conceitualmente um modo de produção – independentemente do tamanho e do tipo de sistema produtivo, manifesta-se no modo de vida camponês, sendo uma alternativa ao sistema de produção capitalista, ou mais especificamente, à agricultura em escala industrial intensiva em recursos naturais finitos. Conforme Maciel et al. (2024), a questão-chave da convivência desse modo de produção alternativo com o capitalismo é a interferência deste em comunidades rurais, cuja lógica de reprodução se baseia em valores extramercados, mas com dependência parcial deles. No modelo de produção rural familiar, as razões de reprodução estão além da eficiência econômica e da lógica do mercado. Em outras palavras, o sentido que move as unidades produtivas familiares não é a busca pelo lucro, mas o custo social associado à reprodução coletiva da família, o qual não é devidamente incorporado ao mecanismo de preços pelo mercado.

Maciel et al. (2024) complementam que os movimentos de resistência em busca de justiça ambiental, com emblemáticos casos de sucesso, como o contexto da Resex Chico Mendes, demonstram que a produção rural familiar é um modo de produção que trabalha de forma coprodutiva e interativa com a natureza. Ao respeitar os limites biofísicos do ecossistema, promove a biodiversidade local e relevantes serviços socioambientais. Dessa forma, assume-se que a produção rural familiar é inerentemente sustentável, dado que ela respeita a segunda lei da termodinâmica (a lei de entropia) e tem o potencial de auxiliar na resolução dos problemas socioambientais, em especial no espaço rural.

A partir de um olhar setorial, a produção rural familiar tem o potencial de contribuir para o processo de desenvolvimento regional sustentável, ao fortalecer as relações de coprodução com a natureza, ao respeitar os limites biofísicos e trabalhar dentro do limite de resiliência ecossistêmica (capacidade de carga), através da preocupação em preservar o meio ambiente, conservar a paisagem natural, garantir a segurança alimentar e fortalecer as comunidades locais. Assim, opõe-se ao modelo empresarial de produção ao fornecer um conjunto de soluções para enfrentar as pressões ambientais, sociais e econômicas. Além disso, visa manter o ciclo natural produtivo, logo, não produz apenas empregos e bem-estar econômico, mas também benefícios sociais, ecológicos e culturais, com a potencialidade de amenizar os efeitos das mudanças climáticas, através da menor dependência de insumos baseados em combustíveis fósseis.

A categoria social é plural, complexa, heterogênea e inclui diversas dinâmicas particulares que caracterizam o espaço rural. Para além de um sistema produtivo, caracteriza-se com um meio de vida, com atores, reprodução social e dinâmicas próprias de sua existência (Ploeg, 2006). Nesses termos, o modelo de produção rural familiar possui vantagens sociais, econômicas e ambientais por ser mais democrático, sustentável e com maior eficiência quando associado à forma convencional. Posicionando-se, como um modelo de agricultura ambientalmente prudente, socialmente justo e economicamente viável.

A produção rural familiar se caracteriza como um modo de vida e se baseia na coprodução (entre as pessoas e a natureza). Por essas razões, em relação ao carbono, sua emissão tende a ser muito baixa e, em alguns casos, próxima de zero. Os indivíduos garantem a sua reprodução social, utilizando os recursos naturais e, simultaneamente, através do processo produtivo, conservam a natureza e preservam a biodiversidade. Assim, a baixa emissão de CO<sub>2</sub> indica justamente a manutenção do sistema produtivo em resiliência. À vista disso, a discussão sobre o balanço de carbono, torna-se emergente, no contexto da produção rural familiar, ao considerar que ela tem todos os elementos para ser caracterizada como Carbono Net Zero (“*net zero carbon emissions*” que, em tradução livre, significa zero emissões líquidas de carbono). A terminologia se refere ao compromisso em zerar as emissões diretas e indiretas de gases de efeito estufa na atmosfera, em especial, o CO<sub>2</sub>.

Este compromisso está inserido em um contexto de forte mobilização mundial, capitaneada pela ONU por meio da Convenção do Clima (em prol da neutralização das emissões líquidas de carbono até 2050), que objetiva limitar o aquecimento global ao máximo de 2°C até o fim deste século. O compromisso “*net zero carbon emissions*” declara que a humanidade depende de um impulso sem precedentes às tecnologias limpas, o que requer, de forma geral, aplicações imediatas e em grande escala das diversas tecnologias já disponíveis e a garantia da maior eficiência energética possível. Logo, há um compromisso mundial firmado em prol da neutralidade das emissões de carbono, a fim de limitar o aquecimento global, e as estratégias nacionais e planos de adaptação para aliviar os impactos negativos das mudanças climáticas são essenciais para um futuro de baixo carbono e resiliente ao clima (Teixeira, 2021).

Isto posto, no tópico seguinte, apresenta-se a proposição teórico-analítica para a mensurar as emissões de CO<sub>2</sub> nos sistemas produtivos diversificados de produção familiar na Amazônia, alinhada aos princípios da economia ecológica e da ecoeficiência.

#### **4 Proposição teórico-analítica para a mensuração das emissões de CO<sub>2</sub> na produção rural familiar**

A proposta teórico-analítica considera a carência de protocolos e coeficientes técnicos para mensurar o grau de emissão de CO<sub>2</sub> nos sistemas produtivos diversificados de produção rural familiar, em particular nas unidades de conservação da Floresta Amazônica. Ela é fundamentada em compilações de dados secundários de trabalhos científicos e modelos já existentes disponíveis para estimar emissões de GEEs dos setores agropecuário e de uso da terra, como o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, que desenvolveu um protocolo para a contabilização de GEEs em nível nacional (IPCC, 2008); o método GHG Protocol Agrícola (Greenhouse Gas Protocol, 2015); e o balanço de carbono na produção agrícola familiar na Amazônia, no âmbito dos Programas Cacao e Pecuária na região da rodovia Transamazônica (Solidaridad Brasil, 2018).

Devido à variedade de usos do solo e práticas de manejo existentes no contexto da produção rural familiar, como no caso da Resex Chico Mendes, foi necessário promover adaptações em função de que essas ferramentas não consideram as principais fontes e sumidouros de GEEs presentes nesse tipo de sistema produtivo. Dessa forma, esta proposta se diferencia de outros trabalhos científicos por desenvolver um balanço de carbono específico para a produção rural familiar, em unidades de conservação, de uso sustentável da terra, com potencial de ser aplicado a outras escalas de produção.

A sistematização oferecida está em harmonia com a agenda estratégica nacional do governo brasileiro que prevê uma política setorial para enfrentamento às mudanças do clima no setor agropecuário, o “Plano de Adaptação e Baixa Emissão de Carbono na Agricultura - ABC+”. O Plano ABC+ está sendo executado no ciclo 2020-2030, com o objetivo de promover a adaptação às mudanças do clima e o controle das emissões de GEEs na agropecuária brasileira, com o aumento da eficiência e resiliência dos sistemas produtivos (Brasil, 2023). Nesse sentido, fomenta-se sistemas produtivos mais sustentáveis, resilientes, capazes de controlar as emissões de GEEs, garantir a oferta de alimentos e bioenergia, em quantidade e qualidade, com conservação dos recursos naturais. Destaca-se, aqui, os Sistemas Agroflorestais (SAFs) como estratégia para fazer frente aos desafios das mudanças climáticas (Garcia et al., 2022).

A estruturação de diretrizes para determinação do grau de emissão de carbono em sistemas de produção familiar, em unidades de conservação da Floresta Amazônica, pauta-se na importância da avaliação do impacto ambiental e reside na contribuição para a gestão sustentável de projetos e processos. A presente proposta se baseia no cálculo do impacto ambiental com base em métricas quantitativas. Para a sua estruturação, são registradas informações sobre a utilização de mão de obra e insumos no processo produtivo, quantificando o impacto ambiental em termos de emissões de carbono e consumo de recursos.

Os dados reúnem dois tipos de informações principais: i) *dados de operações realizadas*: que contém o detalhamento sobre o tempo de trabalho em dias e horas e o tamanho dos lotes trabalhados; e ii) *dados de materiais*: que são as informações sobre a quantidade de materiais utilizados categorizados por tipo de produto e unidade de medida. Para determinar o impacto ambiental associado ao emprego de trabalho, emprega-se o procedimento estatístico fundamentado na mediana<sup>11</sup> das variáveis reunidas.

Para a coleta das informações foi utilizado o banco de dados do projeto de pesquisa intitulado “Análise Socioeconômica de Sistemas Básicos de Produção Familiar no Estado do Acre<sup>12</sup>”, denominado ASPF, em atividade desde 1996, atualmente coordenado pelo Centro de Ciências Jurídicas e Sociais Aplicadas (CCJSA) da Universidade Federal do Acre (UFAC), com o objetivo de realizar um diagnóstico socioeconômico das unidades de produção familiares rurais no estado do Acre. O objeto de estudo são as famílias extrativistas que residem na Resex Chico Mendes, fazendo parte de um sistema de produção familiar rural extrativista, na região acreana (Maciel et al., 2024).

O projeto faz o levantamento de campo por amostragem, seguindo o critério de que o extrativista resida na colocação (unidade de produção) há no mínimo dois anos. A amostra é definida a partir de três etapas: i) *Estratificação da área*; ii) *representatividade dentro de cada estrato*; iii)

---

(11) Em estatística, a mediana é a medida de tendência central que indica o valor que divide um conjunto de dados em duas partes iguais. O cálculo da mediana fornece o valor típico do conjunto de dados, posto que ela não é afetada por valores extremos (Devore; Cordeiro, 2014).

(12) Ver: <https://aspf.wordpress.com/>.

*amostragem aleatória simples*, totalizando 10% das unidades de produção. Para garantir a representatividade, trabalha-se com a mediana, como medida de tendência central, por se tratar de população heterogênea, com valores extremos. O levantamento das informações tem como referência o calendário agrícola da região, período de maio de um ano até abril do ano seguinte.

As variáveis relevantes incluem: \*Homem Dia (HD): indicando o total de dias trabalhados, ajustado conforme o tamanho do lote; \*Homem Hora (HH): que representa a soma das horas de trabalho convertida em HD ao ser dividida por 8 (oito horas de trabalho diário - de acordo com a legislação brasileira do trabalho - CLT); e o \*Tamanho do Lote: que se refere ao volume ou quantidade de trabalho executado por lote. O GIAD (Grau Agregado de Desempenho ou Índice Geral de Impacto Ambiental) é o resultado ambiental das atividades e dos materiais utilizados, descrito em um único número.

O processo de cálculo do GIAD envolve as seguintes etapas: primeiro são coletados dados sobre as operações realizadas em cada atividade para determinar o valor de impacto ambiental, com base nos critérios estabelecidos. Em seguida, somam-se todos os valores de impacto ambiental obtidos para cada operação. Por último, o total de impacto das operações é dividido pelo número total de operações e insumos. Essa normalização ajusta o valor para refletir a proporção do impacto ambiental das operações em relação ao total de lotes pesquisados e o resultado se torna o GIAD para operações. A fórmula para calcular o valor total do GIAD para operações é a seguinte:

$$vltotal = (\text{Mediana (Tamanho do Lote)} + \text{Mediana (HD)} / 8) / \text{Mediana (HH)}.$$

Em que:

- *Mediana (HD)* - é a mediana dos valores de Homem Dia coletados.
- *Mediana (HH) / 8* - é a conversão do Homem Hora em uma unidade comparável com homem dia.
- *Mediana (Tamanho do Lote)* - é a mediana dos tamanhos de lote pesquisados.

A classificação do impacto ambiental (qualidade) é feita em categorias, baseadas em faixas de valores para *vltotal* e para cada faixa é atribuída um valor de impacto ambiental (ID), variando de 0 (baixo) a 13 (muito alto), conforme o Quadro 1 a seguir.

Quadro 1  
Indicadores de desempenho para as operações em cinco categorias.

Categorias	Desempenho
Baixo	$vltotal \leq 10$
Pouco baixo	$10 < vltotal \leq 11$
Moderado	$11 < vltotal \leq 12$
Alto	$12 < vltotal \leq 13$
Muito alto	$vltotal > 13$

Fonte: Elaboração dos autores.

O cálculo do GIAD para os dados referentes aos Insumos segue um padrão bem semelhante. A coleta de dados sobre o impacto dos insumos, considera que para cada categoria de insumo é

atribuído um valor de impacto ambiental com base nas quantidades consumidas. Assim, todos os valores em relação ao impacto ambiental dos insumos são somados para se chegar a um total geral.

O total de impacto dos insumos ocorre através do cálculo do GIAD dos Insumos que considera a divisão do número total de operações e insumos. O valor reflete a proporção do impacto ambiental dos insumos em relação ao conjunto de dados disponíveis. O impacto ambiental associado aos insumos também se baseia no cálculo da mediana das quantidades total de insumos consumidos, calculado para cada tipo de insumo. A fórmula para calcular a quantidade pode ser observada a seguir:

$$\text{Quantidade} = \text{Mediana (Quantidade de Insumos)}$$

Assim, o impacto dos insumos é classificado em categorias baseadas em faixas de quantidade, cada faixa é associada a um valor de impacto ambiental (ID), que varia de 0 (baixo) a 60 (muito alto), de acordo com o Quadro 2 a seguir.

Quadro 2  
Indicadores de desempenho para os insumos em cinco categorias.

Categorias	Desempenho
Baixo	quantidade $\leq 30$
Pouco baixo	$30 < \text{quantidade} \leq 40$
Moderado	$40 < \text{quantidade} \leq 50$
Alto	$50 < \text{quantidade} \leq 60$
Muito alto	quantidade $> 60$

Fonte: Elaboração dos autores.

Por fim, para calcular o GIAD final é realizado uma somatória  $\sum$  (GIADs das operações e dos insumos), levando em conta o impacto ambiental de ambos os elementos. Em seguida, o resultado desse somatório é o GIAD final que reflete o impacto ambiental total, considerando tanto as operações quanto os insumos.

Em relação ao método da quantificação do grau de desempenho de cada indicador associado, para o nível do poder de comparação, todos os valores serão transformados para a escala decimal, sendo o valor final do grau de desempenho a soma dos valores ponderados dos contextos dos indicadores de mão de obra e insumos. Ou seja, os valores obtidos para cada indicador serão transformados para a escala decimal positiva para que os indicadores possam ser somados dentro de cada um dos dois contextos, e posteriormente ponderados, para que se obtivessem valores globais do grau de desempenho para cada unidade produtiva avaliada.

Assim sendo, a proposta teórico-analítica apresentada para a mensuração das emissões de CO<sub>2</sub> na produção rural familiar na Amazônia, dialoga com os pressupostos da Economia Ecológica, uma vez que as soluções baseadas na conservação natureza, potencializam o equilíbrio sintrópico, marcado pela preservação de energia no ambiente e manutenção de uma escala sustentável de utilização dos recursos naturais, permitindo a sua resiliência. Dessa forma, a estimativa das emissões de CO<sub>2</sub> pode comprovar o compromisso, no caso da Resex Chico Mendes, com a conservação ambiental, o desenvolvimento sustentável e o fortalecimento do extrativismo.



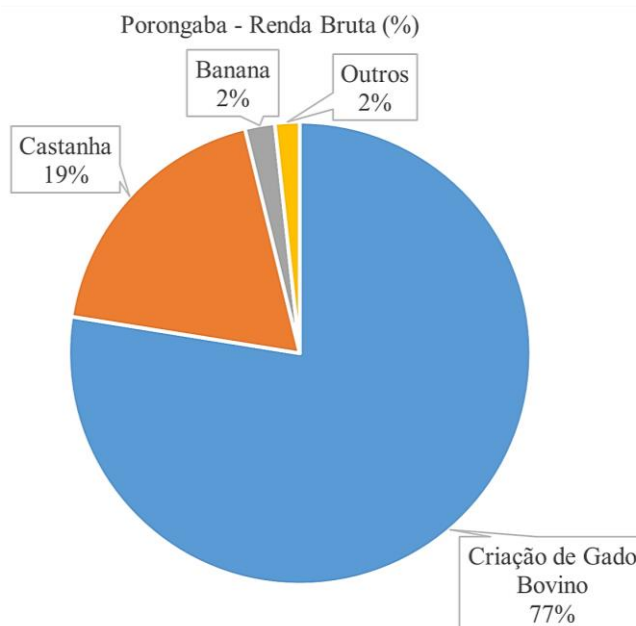
A Economia Ecológica enfatiza a regeneração de ecossistemas e a criação de uma sociedade que respeite os limites biofísicos e ecológicos, promova a justiça social e garanta a qualidade de vida das comunidades tradicionais, tanto agora quanto no futuro. A proposta teórico-analítica apresenta-se como uma ferramenta poderosa para avaliar a sustentabilidade de produtos agroflorestais, incentivando práticas de produção que evitem o uso predatório de recursos naturais e a geração de resíduos de alta entropia. Além disso, reconhece que a produção rural familiar, ao proporcionar trabalho digno em harmonia com a capacidade de suporte dos ecossistemas, contribui para a sustentabilidade ecológica.

#### 4.1 O GIAD no Seringal Porongaba, Resex Chico Mendes

Para validação da metodologia em torno do GIAD, foi realizada uma pesquisa de campo a partir de cinco unidades de produção extrativista do seringal<sup>13</sup> Porongaba, que faz parte da Resex Chico Mendes, no município de Eitaciolândia, Acre. Esta área é considerada emblemática na região dessa unidade de conservação, por enfrentar amplas pressões por mais desmatamentos, haja vista sua localização geográfica, próxima a fazendas de pecuária de gado bovino, cidades e uma rodovia de integração internacional, na qual algumas unidades produtivas já apresentam passivo ambiental em termos de desmatamento.

A situação dessa área pode ser explicada justamente pelos produtos que geram renda bruta nas unidades produtivas pesquisadas, uma vez que, no ano agrícola pesquisado, período de 2022/2023, cerca de 77% da renda bruta das famílias foi gerada pela criação e comercialização de gado bovino, conforme a Figura 1, cuja atividade é inerentemente insustentável por sua forma extensiva de produção.

Figura 1  
Geração de renda entre as famílias pesquisadas no Seringal Porongaba, Resex Chico Mendes, Acre - 2022/2023



Fonte: Elaboração dos autores.

(13) Composto por diversas “colocações” ou unidades produtivas familiares.

Não por acaso, a opção pela criação de gado bovino é realçada pela renda bruta mediana auferida pelos extrativistas pesquisados, em torno de R\$ 4.000,00 mensais, equivalente a 2,6 salários mínimos/mês vigente no Brasil. Porém, essa atividade não é uma alternativa produtiva do ponto de vista comercial, dado seu caráter extensivo, uma vez que é limitada pelo tamanho máximo de desflorestamento, em torno de 15 hectares por colocação, permitido no plano de manejo da Resex Chico Mendes, atendendo os princípios dessa política de comando e controle na região, que estabelece uma escala de uso sustentável para o ecossistema florestal.

Desse modo, o ICMBio, responsável pelas unidades de conservação, já identificou várias áreas com passivos ambientais além do permitido pela legislação, inclusive em três colocações que são objeto de estudo da pesquisa, para autuar e embargar as colocações envolvidas nos ilícitos ambientais. Em parceria com o ICMBio, algumas colocações estão colocando em prática o reflorestamento das áreas abertas com a implementação de sistemas agroflorestais, para fortalecer a sustentabilidade desse modelo de desenvolvimento na região.

O presente trabalho calculou o impacto ambiental da mão de obra, dos insumos e dos materiais utilizados no processo produtivo das colocações extrativistas pesquisadas, desde 2023. De acordo com a Tabela 1, o resultado ambiental do GIAD, a partir da utilização da mão de obra, insumos e materiais nos processos produtivos, por hectare (ha), nas colocações extrativistas, indica baixo impacto ambiental, muito próximo de zero. Sendo que o GIAD da mão de obra é justamente zero, demonstrando o caráter coprodutivo com a natureza. E essa simbiose com o meio ambiente também se reflete no baixo (ou baixíssimo) impacto ambiental na utilização de insumos e materiais, característico do processo entrópico ancestral das atividades extrativistas de produtos florestais não madeireiros, como é o caso da borracha natural e castanha-do-Brasil, duas importantes *commodities* da região.

Tabela 1  
Grau Agregado de Desempenho (GIAD) da mão de obra, insumos e materiais utilizados no processo produtivo, por hectare (ha), das colocações extrativistas pesquisadas no Seringal Porongaba, Resex Chico Mendes, Acre – 2022/2023

Indicador	Período
	2022/2023
GIAD da Mão de obra	0,00
GIAD dos insumos e materiais	0,82
GIAD Final	0,82

Fonte: Elaboração dos autores.

A valoração adequada de tais *commodities* se tornam fundamentais para a manutenção e fortalecimento do uso sustentável das Reservas Extrativistas, como é o caso da Chico Mendes, mediante a geração de renda suficiente para a garantia da reprodução social das famílias no interior da floresta. E, conforme Maciel *et. (2024)*, isto já vem acontecendo desde 2019, com o pagamento por serviços socioambientais na comercialização de borracha nativa oriunda da Resex Chico Mendes e outras regiões extrativistas da Amazônia, tornando-se uma alternativa produtiva sustentável à criação de gado bovino ou qualquer outra atividade insustentável do ponto de vista socioambiental.

Assim, alcançando zero emissões líquidas de carbono (*net zero carbon emissions*) a produção familiar rural, em particular em unidades de conservação de uso direto, como é o caso das RESEX, pode auxiliar na mitigação dos impactos das mudanças climáticas, manejando adequadamente as florestas primárias ou secundárias.

## 6 Considerações finais

O estudo objetivou apresentar uma proposta teórico-analítica para mensurar as emissões de CO<sub>2</sub> na produção rural familiar na floresta Amazônia. A pesquisa foi construída, baseada em princípios da economia ecológica, a partir da perspectiva produtiva e da reprodução social da produção rural familiar na Reserva Extrativista Chico Mendes, no estado do Acre.

A crescente ameaça representada pelo aumento das emissões de GEEs e as projeções alarmantes de eventos climáticos extremos apontam para a urgência da adoção um novo modelo de desenvolvimento que se distancie do atual padrão de crescimento linear e insustentável. Nesse contexto, a transição para uma economia de baixo carbono, que considere as especificidades regionais e culturais, emerge como uma necessidade premente, e a produção rural familiar representa um caminho promissor nesse sentido, dada sua inerente característica coprodutiva com a natureza.

As estratégias de mitigação climática envolvem a preservação e restauração de ecossistemas degradados, com o reflorestamento como estratégia principal. A criação da Resex Chico Mendes é fruto da histórica luta dos seringueiros da Amazônia contra a invasão de suas terras e a busca por uma reforma agrária que reconhecesse seus direitos e modos de vida. Liderados por Chico Mendes, os seringueiros propuseram um modelo inovador de conservação ambiental que combina a proteção da floresta com a garantia da subsistência das comunidades locais através da utilização sustentável dos recursos naturais.

A abordagem teórico-analítica apresentada corrobora com indicadores para avaliar o potencial em relação ao carbono dos sistemas produtivos rurais familiares amazônicos. Essa avaliação é fundamental para a implementação de mecanismos como o Pagamento por Serviços Socioambientais (PSSA), que remuneram os produtores pela conservação da floresta, através da valoração econômico-ecológica multidimensional dos serviços prestados, incluindo as dimensões sociocultural e ecológica. E, ao fornecer uma abordagem para a mensuração de CO<sub>2</sub>, esses indicadores podem contribuir para a estruturação de Títulos Verdes e Créditos de Carbono, incentivando a adoção de práticas sustentáveis na região. Assim como, melhorar a renda e a reprodução social dos produtores e auxiliar na composição do preço justo aos produtos agrofloretais.

Os resultados da pesquisa efetuada pelo presente trabalho, a partir de um estudo de caso no seringal Porongaba, dentro da Resex Chico Mendes corroboraram a hipótese da pesquisa com a asserção do caráter coprodutivo da produção rural familiar com a natureza, demonstrando o impacto ambiental *zero* da mão de obra familiar na atividades produtivas no interior da floresta, bem como do baixíssimo impacto ambiental dos insumos e materiais utilizados nos processos produtivos, próximos de *zero*, que destacam o aspecto da ancestralidade do manejo sustentável das florestas ao longo do tempo.

Destarte, a presente proposta teórico-analítica pode ser aplicada para a produção rural familiar em outros biomas e contexto semelhantes, mediante ajustes desde que aprimoradas para atender as

especificidades locais. Dessa forma, novas pesquisas são necessárias para validar e aprimorar a abordagem, comparando a eficiência em diferentes sistemas produtivos.

Nesse sentido, o próximo passo da presente pesquisa será avaliar o balanço de carbono das unidades produtivas familiares (colocações) da Resex Chico Mendes, em parceria com o projeto ASPF, a partir de uma amostragem estatisticamente representativa, cujo levantamento das informações socioeconômicas está previsto para o segundo semestre de 2025, de acordo com o período agrícola 2024/2025. Os resultados serão avaliados e discutidos mediante a evolução dos levantamentos efetuados pelo projeto ASPF nos últimos 28 anos.

Com a sua aplicabilidade, de forma inédita, tem-se o potencial de contribuir com a discussão acerca do papel da produção rural familiar na redução de emissões de CO<sub>2</sub>. E colaborar para o compromisso mundial do carbono *net zero* firmado em prol da neutralidade das emissões de carbono, a fim de limitar o aquecimento global.

### Referências bibliográficas

ALBUQUERQUE, U. P. de; MELO, F. P. L. Socioecologia da Caatinga. *Ciência e Cultura*, v. 70, n. 4, p. 40-44, 2018.

ALENCAR, A.; SOUZA, M. L. *Assentamentos sustentáveis na Amazônia: agricultura familiar e sustentabilidade ambiental na maior floresta tropical do mundo*. 1. ed. Brasília, DF: IPAM, 2021.

ALTIERI, M. A. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 74, n. 1-3, p. 19- 31, 1999.

ANDRADE, D. C. Economia e meio ambiente: aspectos teóricos e metodológicos nas visões neoclássica e da economia ecológica. *Leituras de Economia Política*, v. 14, p. 1-31, 2008.

ARYAL, K.; MARASENI, T.; SUBEDI, B. P.; LAUDARI, H. K.; GHIMIRE, P. L.; KHANAL, S. C.; ZHANG, H.; TIMILSINA, R. REDD+ at risk: emerging ten questions that REDD+ must answer. *Environmental Science and Policy*, v. 156, 2024.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. *Programas e Estratégias – Plano ABC+*. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/planoabc-abcmais/abc/programas-e-estrategias>. Acesso em: 25 set. 2024.

CHAYANOV, A. V. Sobre a teoria dos sistemas econômicos não capitalistas. In: GRAZIANO da SILVA, J.; STOLCKE, V. *A questão agrária*. São Paulo: Brasiliense, 1981. p. 133-163.

COPERNICUS GLOBAL CLIMATE HIGHLIGHTS REPORT 2024. *Global Climate Highlights 2024*. Climate Change Service. 2025. Disponível em: <https://climate.copernicus.eu/global-climate-highlights-2024#:~:text=2024%20had%20a%20global%20average,exceed%201.5%20above%20that%20level>.

Acesso em: 17 jan. 2025.

DALY, H.; FARLEY, J. *Economia ecológica*. São Paulo: Annablume Cidadania e Meio Ambiente, 2016.

DEVORE, J. L.; CORDEIRO, M. T. A. *Probabilidade e estatística para engenharia e ciências*. Cengage Learning Edições Ltda., 2014.

DOMS, D.; LIMA, L. F. Territorialização dos Processos de Land Grabbing no Brasil: a luta de classes nas disputas por territórios e modelos de desenvolvimento. In: ENCONTRO NACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA ECOLÓGICA (ECOECO), 13, Campinas, 2019. *Anais...*

FERREIRA, J. N. *Cientistas alertam para a proximidade do ponto de não retorno no sul da Amazônia*. Notícias. Belém: Universidade Federal do Pará (UFPA), 16 jul. 2024. Disponível em: <https://ufpa.br/cientistas-alertam-para-a-proximidade-do-ponto-de-nao-retorno-no-sul-da-amazonia/#:~:text=Segundo%20Carlos%20Nobre%2C%20ainda%20que,e%20restaurar%20a%20floresta%20e>. Acesso em: 31 out. 2024.

FREITAS JUNIOR, A. M. de; BARROS, P. H. B. de. A expansão da pecuária para a Amazônia legal: externalidades espaciais, acesso ao mercado de crédito e intensificação do sistema produtivo. *Nova Economia*, v. 31, n. 1, p. 303-333, 2021.

GARCIA, J. R.; VAHDAT, V. S.; HARFUCH, L. ANTONIAZZI, L. B.; BUAINAIN, A. M. Agricultura familiar de baixa emissão de carbono no Brasil. *Revista Política Agrícola*, n. 4, out./nov./dez. 2022.

GATTI, L. V. et al. Amazonia as a carbon source linked to deforestation and climate change. *Nature*, v. 595, n. 7867, p. 388-393, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03629-6>.

GEORGESCU-ROEGEN, N. *The entropy law and the economic process*. Cambridge: Harvard University Press, 1971.

GEORGESCU-ROEGEN, N. Energia e mitos econômicos. *Economia-Ensaios*, v. 19, n. 2, p. 7-51, 2005.

GREENHOUSE GAS PROTOCOL. *Metodologia do GHG Protocol da Agricultura*. São Paulo: WRI BRASIL/Unicamp, 2015. p. 1-55.

HILLBRAND, A. et al. *Agroforestry for landscape restoration: exploring the potential of agroforestry to enhance the sustainability and resilience of degraded landscapes*. Roma: FAO, 2017. DOI: <https://doi.org/10.4060/i7374e>.

HOELLE, J. A chegada da Cultura Caubói no Acre, Brasil. *Caderno de Geografia*, v. 30, p. 461-483, 2020.

HOELLE, J. *Caubóis da floresta: o crescimento da pecuária e a cultura de gado na Amazônia brasileira* [livro eletrônico]. Rio Branco: Edufac, 2021. 242p.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. National. *2006 IPCC guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Greenhouse Gas Inventories Programme. EGGLESTON H. S. et al. (Ed.). Japan: Institute for Global Environmental Strategies, 2008. Disponível em: [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/support/Primer\\_2006GLs.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/support/Primer_2006GLs.pdf). Acesso em: 23 nov. 2024.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate Change 2023: Synthesis Report. Summary for Policymakers*. [The Core Writing Team; Lee H.; Romero, J. (Ed.)]. IPCC: Geneva, Switzerland, 2023. Disponível em: [https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_SYR\\_SPM.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_SPM.pdf). Acesso em: 3 jun. 2024.

KRUSE, B. C. Considerações pungentes ao mercado de crédito de carbono. *Revista Perspectivas Sociais*, v. 9, n. 1, p. 14-39, 2023.

LIMA, L. F.; OLIVOS, M. A. T.; ROMEIRO, A. R.; BUENO, C. S. O neoestruturalismo ecológico e as três lacunas do desenvolvimento sustentável. *Revista Economistas*, v. 53, p. 48-53, 2024.

LOVEJOY, T. E.; NOBRE, C. Amazon tipping point. *Science Advances*, v. 4, n. 2, p. eaat2340, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1126/sciadv.aat2340>.

LOVEJOY, T. E.; NOBRE, C. Amazon tipping point: Last chance for action. *Science Advances*, v. 5, n. 12, p. eaba2949, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1126/sciadv.aba2949>.

MACIEL, R. C. G. *Mindset* das famílias da Resex Chico Mendes em termos de uso da terra, participação das mulheres e jovens nas decisões familiares e sucessão familiar. In: MACIEL, R. C. G.; MANGABEIRA, J. A. C.; KASSAI, J. R. (Org.). *Reserva Extrativista “Chico Mendes”: a socioeconomia 25 anos depois*. [Livro eletrônico]. 1 ed. Triunfo: Omnis Scientia, 2021.

MACIEL, R. C. G.; ALMEIDA, A. de M.; MENEZES, H. C. da S. Avaliação econômica da pecuária de gado bovino na reserva extrativista (Resex) Chico Mendes. In: MACIEL, R. C. G.; MANGABEIRA, J. A. C.; KASSAI, J. R. (Org.). *Reserva Extrativista “Chico Mendes”: a socioeconomia 25 anos depois*. [Livro eletrônico]. 1 ed. Triunfo: Omnis Scientia, 2021.

MACIEL, R. C. G.; MANGABEIRA, J. A. C.; KASSAI, J. R. (Org.). *Reserva Extrativista “Chico Mendes”: a socioeconomia 25 anos depois*. [Livro eletrônico]. 1 ed. Triunfo: Omnis Scientia, 2021. 164p.

MACIEL, R. C. G.; MANGABEIRA, J. A. C.; LIMA, L. F.; ROMEIRO, A. R.; OLIVEIRA, O. F.; SILVA, V. F.; FILHO, F. N.; THOMAZI, G. Valuation and payment for socio-environmental services in the Chico Mendes Extractive Reserve, Amazon, Brazil. *Journal of Environmental Protection*, 15, p. 1087-1106, 2024. DOI: <https://doi.org/10.4236/jep.2024.1512064>.

MELNIKOVA, I.; YOKOHATA, T.; ITO, A.; NISHINA, K.; TACHIIRI, K.; SHIOGAMA, H. Emergent constraints on future Amazon climate change-induced carbon loss using past global warming trends. *Nature Communications*, v. 15, n. 1, p. 7623, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-024-51474-8>.

MOREIRA, D. N.; MANZATTO, A. G. As potencialidades que favorecem ao desenvolvimento sustentável na Amazônia. *Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento*, v. 12, n. 3, p. 751-777, 2023.

NOBRE, C. Como salvar a Amazônia do ponto de não retorno. *Ecoa Uol*, 30 jul. 2024. Opinião. Disponível em: <https://www.uol.com.br/ecoa/colunas/carlos-nobre/2024/07/30/amazonia-tipping-point.htm>. Acesso em: 31 out. 2024.

OLIVEIRA, R. E. de et al. As agroflorestas como estratégia de resiliência no portal da Amazônia. In: OLIVAL, A de A et al. (Org.). *Na trilha das mudanças: ciência e resiliência da agricultura familiar na Amazônia Norte Mato-Grossense*. Cáceres: Unemat, 2021. 309p.

PEDROSO JÚNIOR, N. N.; MURRIETA, R. S. S.; ADAMS, C. A agricultura de corte e queima: um sistema em transformação. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas*, v. 3, n. 2, p. 153-174, 2008.

- PLOEG, J. D. V. da. *O modo de produção camponês revisitado*. Porto Alegre: UFGRS, 2006.
- PONTES, F. Na reserva Chico Mendes, no Acre, um retrato da destruição da Amazônia. *National Geographic*, 5 nov. 2020. Meio Ambiente. 2020. Disponível em: <https://www.nationalgeographicbrasil.com/meio-ambiente/2019/08/na-reserva-chico-mendes-no-acre-um-retrato-da-destruicao-da-amazonia>. Acesso em: 05 jan. 2025.
- ROCKSTRÖM, J. et al. Safe and just Earth system boundaries. *Nature*, v. 619, n. 7968, p. 102-111, 2023.
- ROMEIRO, A. R. Desenvolvimento sustentável: uma perspectiva econômico-ecológica. *Estudos Avançados*, v. 26, p. 65-92, 2012.
- SENAR. Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. *Fogo: prevenção e controle no meio rural*. Brasília: Senar, 2018, 88p.
- SOLIDARIDAD BRASIL. *Balço de carbono na produção agrícola familiar na Amazônia: cenários e oportunidades*. São Paulo: Solidaridad; Imaflora, 2018. 46p.
- SPONSEL, L. E. Amazon ecology and adaptation. *Annual Review of Anthropology*, v. 15, n. 1, p. 67-97, 1986.
- THOMPSON, I. Restaurar a Amazônia? Os pequenos produtores são essenciais. *The Nature Conservancy*, 1 set. 2021. Artigos e estudos. 2021. Disponível em: <https://www.tnc.org.br/conecte-se/comunicacao/artigos-e-estudos/restaurando-a-amazonia-com-pequenos-produtores/>. Acesso em: 03 nov. 2024.
- TIMOTHY, M. L. et al. Quantifying the human cost of global warming. *Nature Sustainability*, v. 6, n. 10, p. 1237-1247, 2023.
- UNEP. United Nations Environment Programme. *Global Resources Outlook 2024: bend the trend: pathways to a liveable planet as resource use spikes*. Nairobi: International Resource Panel, 2024.
- VIEIRA, C. A. C. Das crises cíclicas à crise estrutural do capital. *Revista Fim do Mundo*, n. 9, p. 30-60, 2023.