

MAPEANDO O EFEITO DO DESMATAMENTO NAS CHUVAS

UM ESTUDO DE CASO DO ESTADO DO MATO GROSSO



CLIMATE
POLICY
INITIATIVE



DESTAQUE
OUTUBRO 2021

A CHUVA E O PAPEL DA FLORESTA AMAZÔNICA

A Floresta Amazônica presta uma série de serviços ecológicos fundamentais para o Brasil e outros locais, incluindo o sequestro de carbono e a regulação da qualidade do ar. Sem esses benefícios, o Brasil e outros países perderiam um dos principais pilares que sustentam seu desenvolvimento e existência. Nas discussões climáticas, a floresta costuma ser reduzida a um mecanismo de sequestro de carbono e a perda florestal é usada apenas para contabilizar as emissões; no entanto, outro serviço ecológico importante e que merece maior consideração é a capacidade da floresta de controlar as chuvas em escala continental, algo que afeta a produção agrícola, a geração de energia e o abastecimento urbano de água.

Neste destaque, o Climate Policy Initiative/Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (CPI/PUC-Rio) mostra que o desmatamento da Amazônia afeta as chuvas no estado do Mato Grosso - um dos mais importantes polos agrícolas do mundo, com mais de três milhões de habitantes e oito usinas hidrelétricas. Como estudo de caso, avalia-se que o desmatamento da região do Rio Xingu pode reduzir em 7% a precipitação média anual histórica do estado do Mato Grosso. Esse impacto varia consideravelmente entre as regiões do estado e ao longo das estações climáticas. A estimativa de redução da estação chuvosa motivada pelo desmatamento pode chegar a 8% da média histórica das chuvas sazonais, sendo o centro e o norte do estado os locais mais afetados. No período de seca, o impacto estimado do desmatamento pode causar uma redução de 15% da média sazonal histórica, sendo que o centro e noroeste do estado os locais mais afetados.

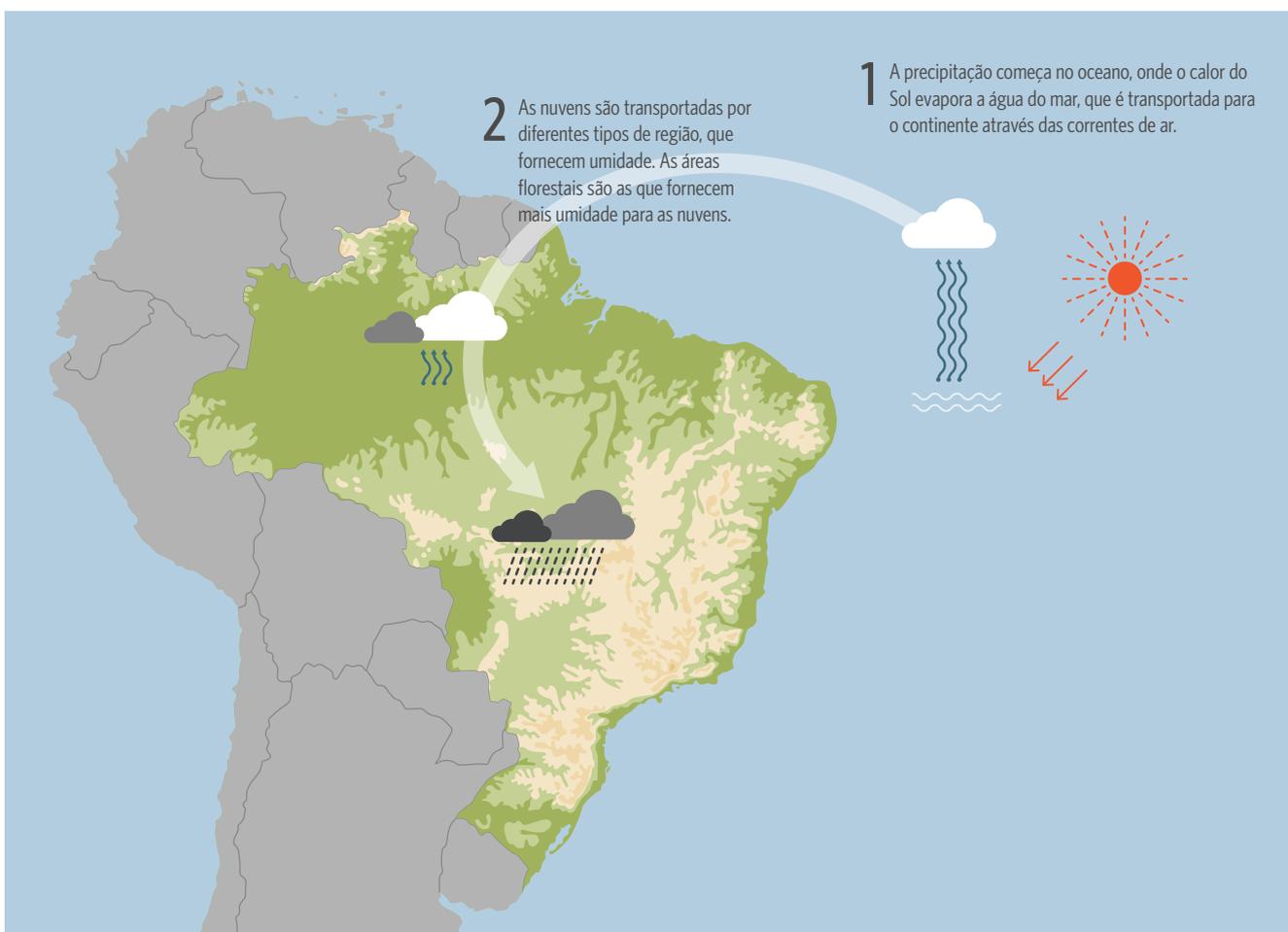
Tabela 1. Impacto do Desmatamento na Redução de Precipitação no Mato Grosso

	 ESTAÇÃO CHUVOSA	 ESTAÇÃO SECA
MAIOR ESTIMATIVA DE REDUÇÃO	↓ 8%	↓ 15%
REGIÕES MAIS AFETADAS	 Centro Norte	 Centro Noroeste

Fonte: CPI/PUC-Rio, 2021

A precipitação continental começa no oceano, onde a energia do sol converte água salgada em vapor d'água que é, então, transportado para as terras continentais pela circulação atmosférica. Com isso, cada parcela de ar percorre tipos de terreno diferentes, incluindo áreas densamente povoadas, enormes paisagens de monocultura de soja e áreas de floresta tropical densa. Cada tipo de terreno sustenta e mantém a umidade de parcelas de ar de forma diferente. De todos esses tipos, as áreas florestais são as que mais mantêm e umidificam o ar. A consequência desse processo é clara: o ar que passa sobre a floresta traz mais chuvas. Por conseguinte, o desmatamento reduz as chuvas.

Figura 1. Trajetória da Chuva



Fonte: CPI/PUC-Rio, 2021

Vale ressaltar que esse processo chuvoso ocorre em áreas enormes com milhares de quilômetros de extensão, o que significa que o desmatamento da Amazônia afeta as chuvas não só no Brasil, mas também na Argentina e em outros países da América do Sul.

Este destaque sintetiza as conclusões do CPI/PUC-Rio, usando um modelo de transporte atmosférico para atrelar o desmatamento na Amazônia às chuvas no estado do Mato Grosso. Além disso, este estudo apresenta uma estrutura geral que pode ser adaptada como ferramenta de análise dos efeitos do desmatamento sobre as chuvas em diferentes locais.¹

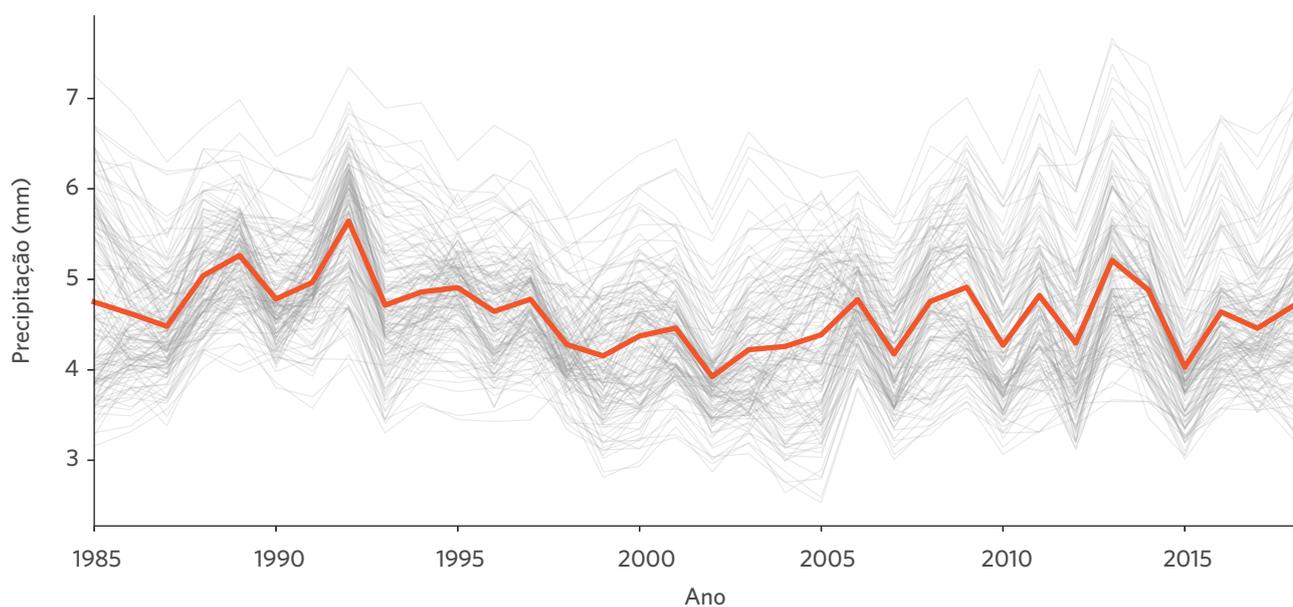
¹ Spracklen, Dominick, et al. "The Effects of Tropical Vegetation on Rainfall". *Annual Review of Environment and Resources* 43 (2018): 193-218. [bit.ly/3zPtaxF](https://doi.org/10.1146/annurev-environ-011117-014111).

COMO O DESMATAMENTO AFETA A CHUVA: O ESTUDO DE CASO DO MATO GROSSO

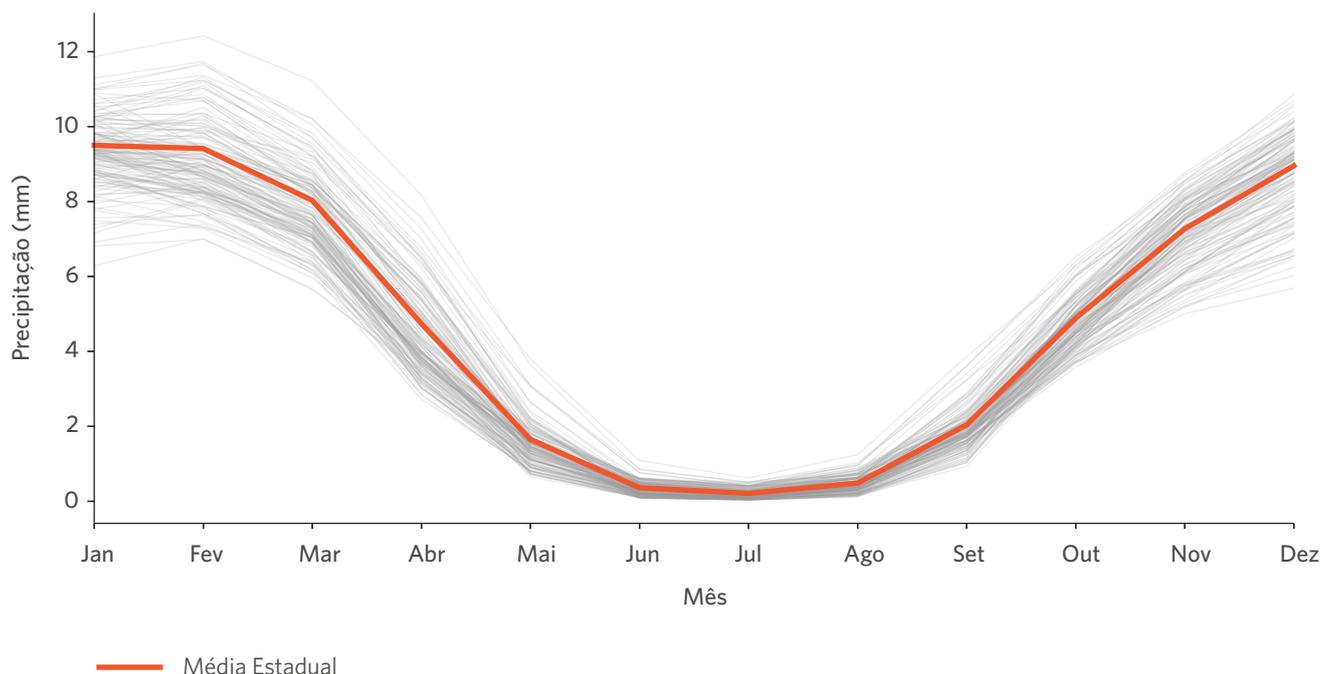
Os níveis de chuva no estado do Mato Grosso vêm diminuindo e o desmatamento pode acentuar essa redução. A Figura 2a mostra uma ligeira queda na precipitação média anual geral no período de 35 anos entre 1985 e 2020. Os resultados deste estudo, no entanto, indicam que a precipitação pode diminuir ainda mais com o aumento do desmatamento. Além disso, a lacuna já acentuada entre os períodos de chuva e seca (Figura 2b) pode aumentar ainda mais.

Figura 2. Chuva no Mato Grosso, 1985-2015

2a. Precipitação Anual



2b. Precipitação Mensal

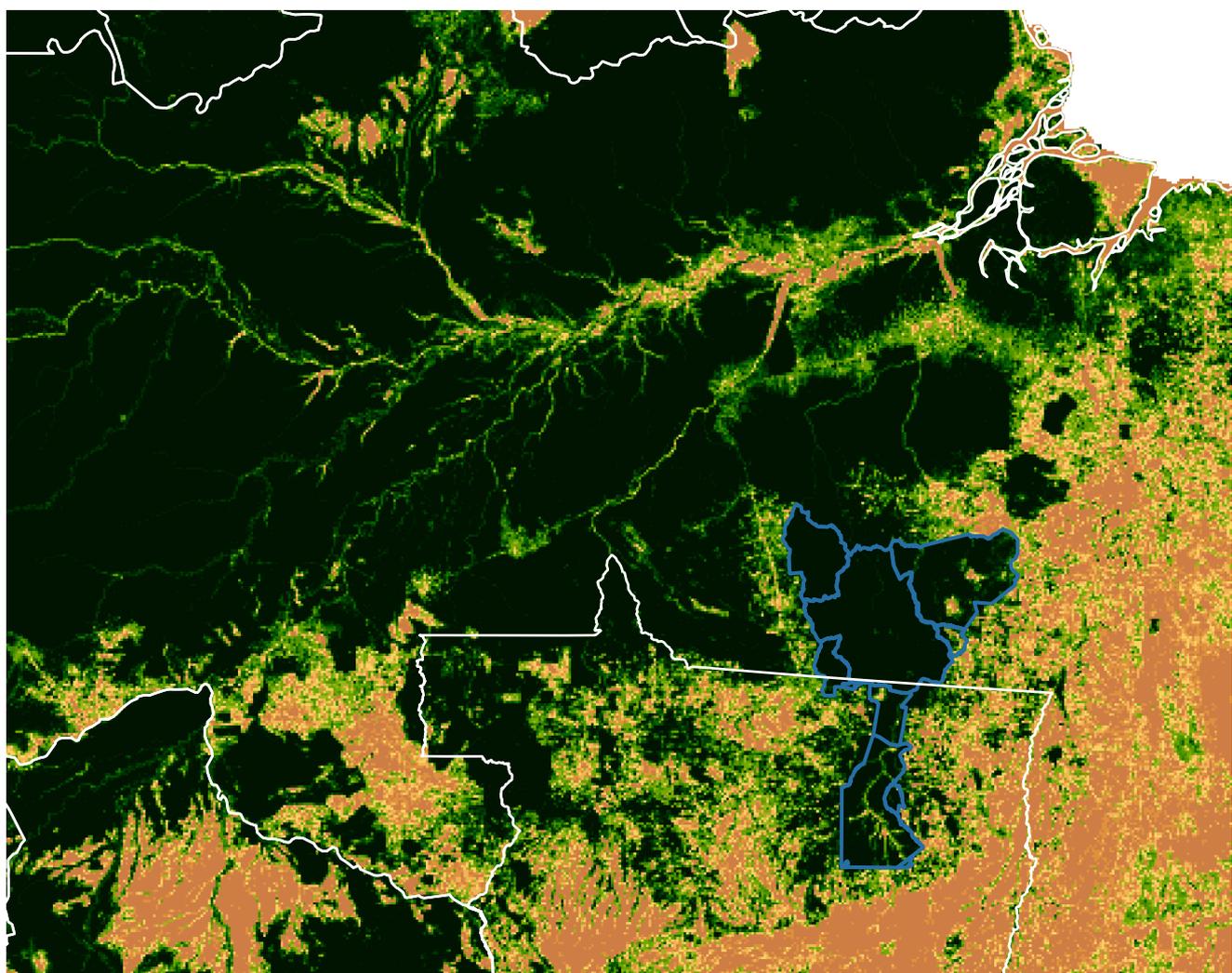


Estes números mostram a precipitação média anual (Figura 2a) e a precipitação média mensal (Figura 2b) em cada município do estado do Mato Grosso. Na Figura 2a, há uma ligeira tendência de queda, principalmente entre 1985 e 2005, já a Figura 2b ilustra a diferença considerável entre a estação seca (de maio a agosto) e a estação chuvosa (de setembro a abril).

Fonte: CPI/PUC-Rio com dados de ERA5, 2021

Para aprofundar a investigação desse fenômeno, o autor considerou o que aconteceria se o desmatamento se estendesse pelas Terras Indígenas da Bacia do Rio Xingu (Figura 3). Essa bacia compreende onze Terras Indígenas com extensão total de 140.000 km². Com exceção da região norte, o entorno dessa área já foi completamente desmatado pela expansão do plantio de soja e das pastagens para gado.

Figura 3. Territórios Indígenas na Bacia do Rio Xingu



— Territórios Indígenas

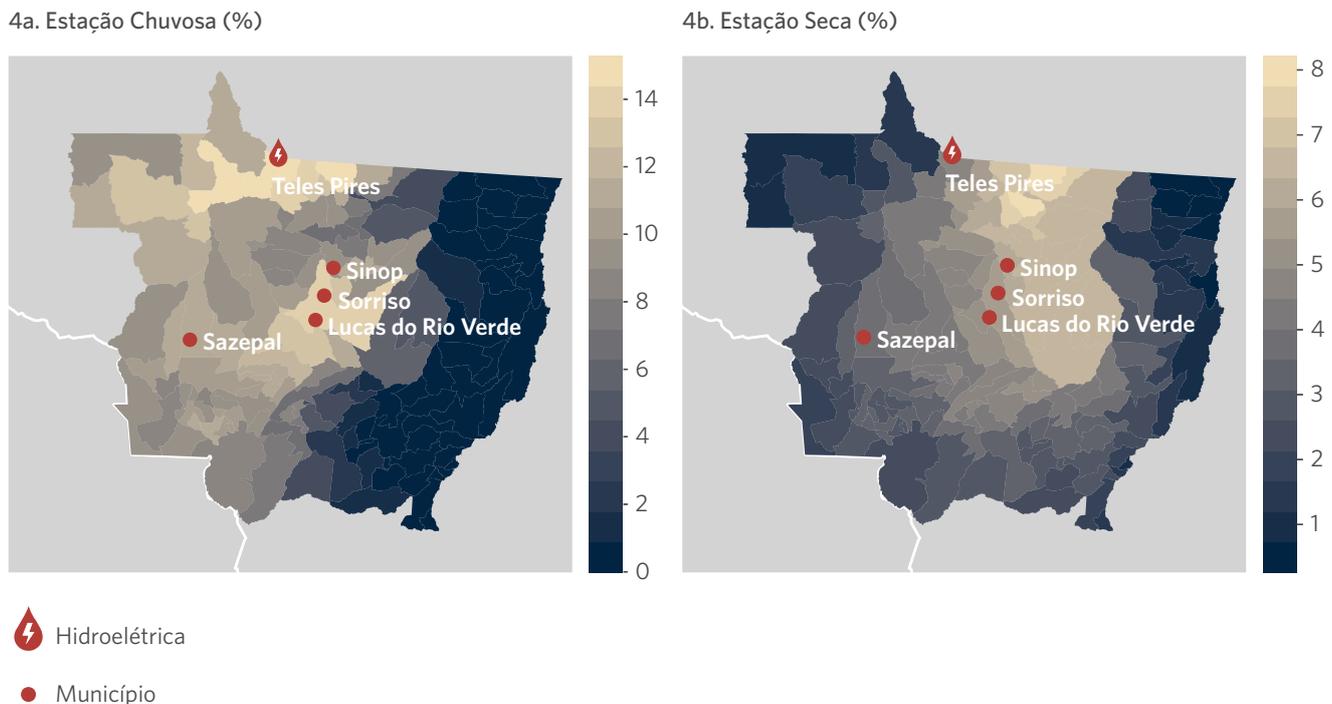
Esta figura mostra a localização das Terras Indígenas da Bacia do Rio Xingu. Essa é a região que, no cenário contrafactual, é totalmente desmatada.

Fonte: CPI/PUC-Rio com dados de FUNAI e MapBiomias, 2021

Qual é o volume de chuva que os territórios da Bacia do Rio Xingu proporcionam ao estado do Mato Grosso? Quais são as regiões do estado que mais se beneficiam desse serviço ecológico? Para responder a essas perguntas, é preciso construir um cenário contrafactual em que todas as Terras Indígenas do Xingu são desmatadas. Este exercício contrafactual indica uma redução média de 7% da precipitação média anual histórica no estado do Mato Grosso.

A Figura 4 ilustra a redução das chuvas causada pelo desmatamento do Xingu nas estações chuvosa e seca em termos de proporção da média histórica. Durante a estação chuvosa, o nível de chuva deve diminuir até 8% da média histórica. O efeito é muito mais pronunciado no período de seca, no qual o nível de chuvas pode diminuir até 15% da média histórica. O centro do estado, onde estão os produtores agrícolas mais produtivos, é fortemente afetado nas duas estações. O norte do estado, onde fica a Usina Hidrelétrica de Teles Pires, é uma das áreas mais afetadas no período das chuvas. No entanto, devido aos padrões de vento, as chuvas na parte leste do estado praticamente não se alteram.

Figura 4. Variação Contrafactual nas Chuvas Devida ao Desmatamento na Bacia do Rio Xingu



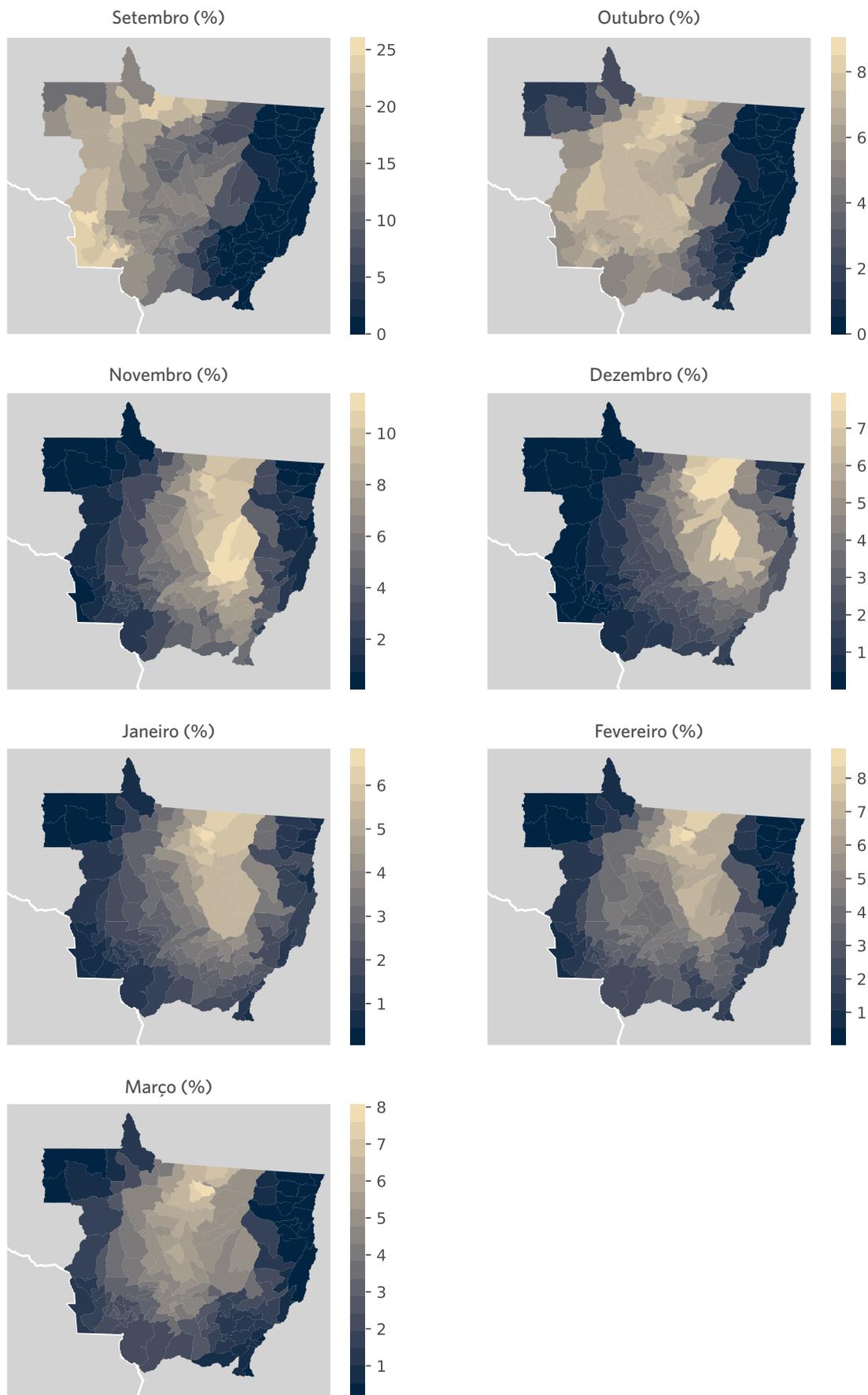
Estes mapas mostram o impacto do desmatamento na região do Xingu sobre as chuvas, em termos de proporção da média histórica. Valores mais elevados (em amarelo) significam maior impacto do desmatamento nas chuvas. Na estação seca (Figura 4a), o desmatamento na região do Xingu pode diminuir as chuvas em até 14% da média histórica. Na estação chuvosa, o desmatamento na região do Xingu pode diminuir as chuvas em até 8% da média histórica.

Fonte: CPI/PUC-Rio com dados de ERA5, FUNAI e MapBiomas, 2021

Este exercício destaca uma série de resultados importantes. Em primeiro lugar, os resultados mostram a importância das áreas protegidas para a previsibilidade das chuvas e de todas as atividades econômicas que elas ajudam a sustentar. Em segundo lugar, o impacto do desmatamento na redução das chuvas é considerável. A redução de 8% nos níveis de chuva na estação chuvosa e a de 15% na estação seca afetarão a produtividade agrícola, o abastecimento urbano de água e os reservatórios das usinas hidrelétricas. Terceiro, é importante destacar que esses efeitos não são iguais entre as diversas regiões do Mato Grosso e ao longo do ano. De modo geral, agricultura, energia e abastecimento urbano de água no Mato Grosso se beneficiam do aumento das chuvas, mas o momento em que mais se beneficiam varia de um mês para o outro. Essas variações nos efeitos, portanto, geram diferenças consideráveis na exposição às mudanças na chuva induzidas pelo desmatamento, não apenas em diferentes regiões, mas também em diferentes setores. Quem sairá ganhando e quem sairá perdendo com o desmatamento depende de um sistema complexo (embora previsível) de transporte atmosférico. Por exemplo, a expansão das pastagens na região do Xingu pode beneficiar os pecuaristas locais em detrimento da diminuição das chuvas no período de cultivo para os produtores de soja na região central do estado.

O CPI/PUC-Rio também detalhou o efeito do desmatamento na região do Xingu sobre a precipitação, mês a mês. A Figura 5 ilustra o efeito nos meses da estação chuvosa. Vale notar a variação da magnitude e também da distribuição espacial dos efeitos ao longo dos meses. No período de chuvas, à medida que os padrões do vento mudam, os efeitos maiores se deslocam de oeste para leste. A Figura 6 apresenta um padrão diferente no período de seca, sendo o centro do estado a região mais afetada ao longo dos meses. Isso é importante porque os setores se beneficiam do aumento das chuvas de forma diferente a cada mês. Por exemplo, os produtores de soja tiram maior proveito das chuvas durante os períodos de cultivo (de outubro a dezembro); já uma barragem a fio d'água se beneficia mais das chuvas nos momentos em que a demanda por energia chega ao máximo (de fevereiro a março).

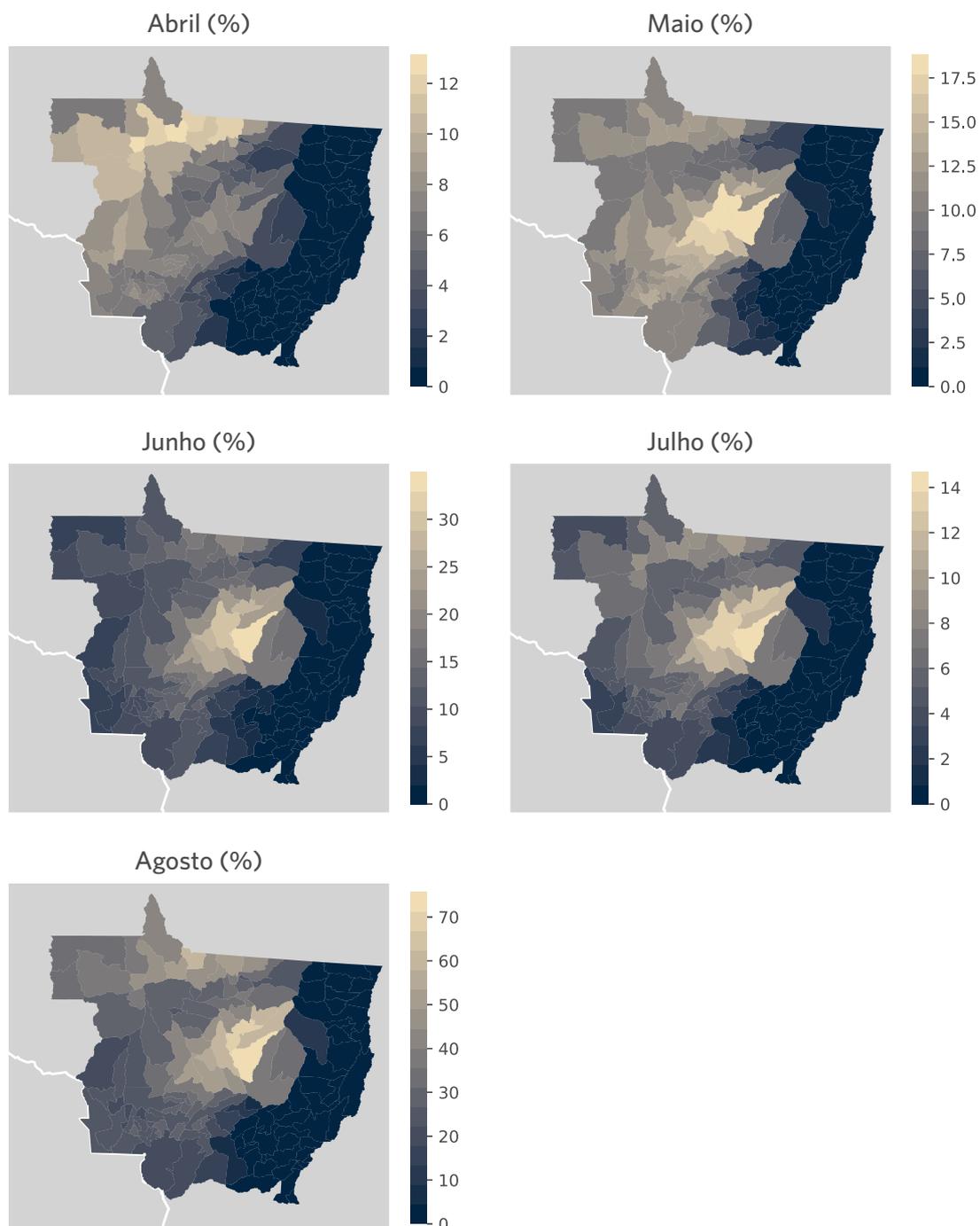
Figura 5. Variação Contrafactual nas Chuvas Devida ao Desmatamento na Bacia do Rio Xingu na Estação Chuvosa, Mês a Mês



Estes mapas mostram o impacto do desmatamento na região do Xingu sobre as chuvas no período de chuvas, em termos de proporção da média histórica. Valores mais elevados (em amarelo) significam maior impacto do desmatamento nas chuvas. Cada mapa mostra o efeito do desmatamento nas chuvas naquele mês. Por exemplo, o desmatamento na Região do Xingu pode diminuir as chuvas em dezembro em até 7% da média histórica desse mês.

Fonte: CPI/PUC-Rio com dados de ERA5, FUNAI e MapBiomass, 2021

Figura 6. Variação Contrafactual nas Chuvas Devida ao Desmatamento na Bacia do Rio Xingu na Estação Seca, Mês a Mês



Esses mapas mostram o impacto do desmatamento na região do Xingu sobre as chuvas no período de seca, em termos de proporção da média histórica. Valores mais elevados (em amarelo) significam maior impacto do desmatamento nas chuvas. Cada mapa mostra o efeito do desmatamento nas chuvas naquele mês. Por exemplo, o desmatamento na Região do Xingu pode diminuir as chuvas em abril em até 12% da média histórica desse mês.

Fonte: CPI/PUC-Rio com dados de ERA5, FUNAI e MapBiomas, 2021

Finalmente, é importante reconhecer que todo estudo tem suas ressalvas. Este estudo não combina as sinergias da mudança climática e do desmatamento de outras regiões com o desmatamento do Xingu. Além disso, os efeitos hidrológicos do desmatamento no próprio Rio Xingu não são considerados, embora possam contribuir ainda mais para a diminuição da precipitação e do abastecimento hídrico de modo geral. Os diversos aspectos deste exercício contrafactual indicam o limite inferior do efeito do desmatamento sobre as chuvas.

CONCLUSÃO

As florestas tropicais oferecem uma variedade de serviços ecológicos essenciais para as atividades socioeconômicas. Este estudo do CPI/PUC-Rio apresenta uma estrutura para analisar os efeitos do desmatamento nas chuvas em regiões localizadas a centenas ou milhares de quilômetros de distância de onde o desmatamento ocorreu. Essa ferramenta pode auxiliar no pleito dos governos e populações pelo fortalecimento dos esforços de conservação em políticas específicas que são conhecidas por gerar desmatamento. A ferramenta também pode ser adaptada a outras regiões, tanto no Brasil quanto na América do Sul.

O desmatamento da Bacia do Rio Xingu é um caso que ilustra a enorme quantidade de atores que seriam impactados se a região não for protegida, além da subsequente variação generalizada das chuvas e secas. Identificar e quantificar os ganhos e perdas associados ao desmatamento é um passo necessário para aumentar a transparência e a responsabilização (*accountability*) das políticas públicas na Floresta Amazônica.

METODOLOGIA: UM MODELO CLIMÁTICO QUE MEDE A RELAÇÃO ENTRE O DESMATAMENTO E A CHUVA

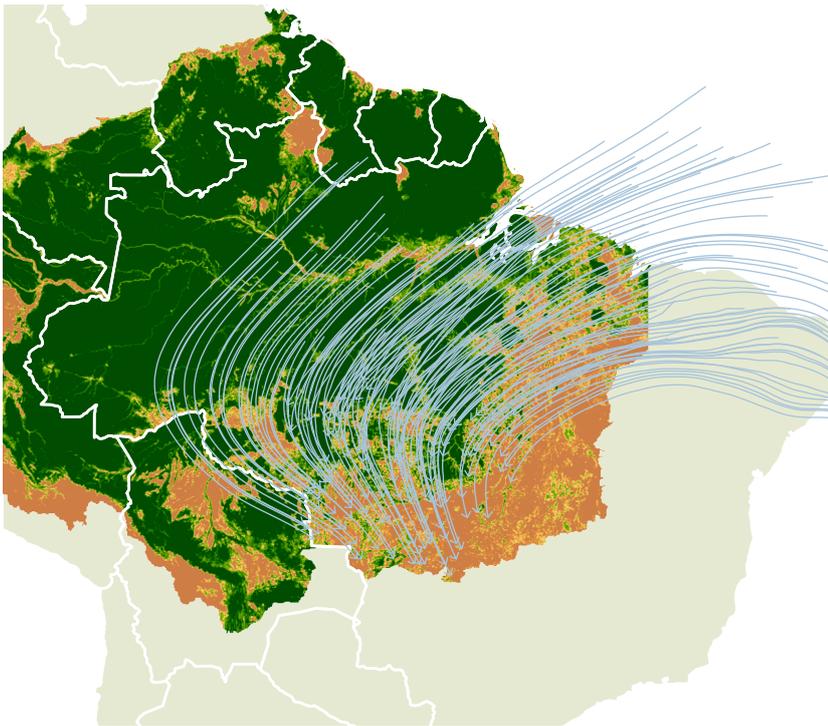
Da mesma forma que é possível seguir um rio a montante até chegar à sua nascente, é possível seguir a direção do vento para identificar seu trajeto a partir do oceano. Esse caminho é chamado de trajetória regressa do transporte atmosférico. Os modelos de transporte atmosférico reconstróem a trajetória regressa de uma parcela de ar que se encontra acima de determinado local no momento da chuva. O autor usa dados médios mensais da velocidade e direção do vento do ERA5 para construir trajetórias regressas referentes a todos os meses entre 1985 e 2020.

A Figura 7 mostra um conjunto de trajetórias regressas de cinco dias no estado do Mato Grosso referentes a dois meses diferentes selecionados em 2002 para ilustrar como funcionam as trajetórias regressas. Eles identificam um padrão distinto ao longo dos meses do ano, com a estação chuvosa recebendo ventos da Amazônia (de norte a sul), enquanto a estação seca recebe ventos de fora da Amazônia (de leste a oeste). Cada linha azul representa uma trajetória

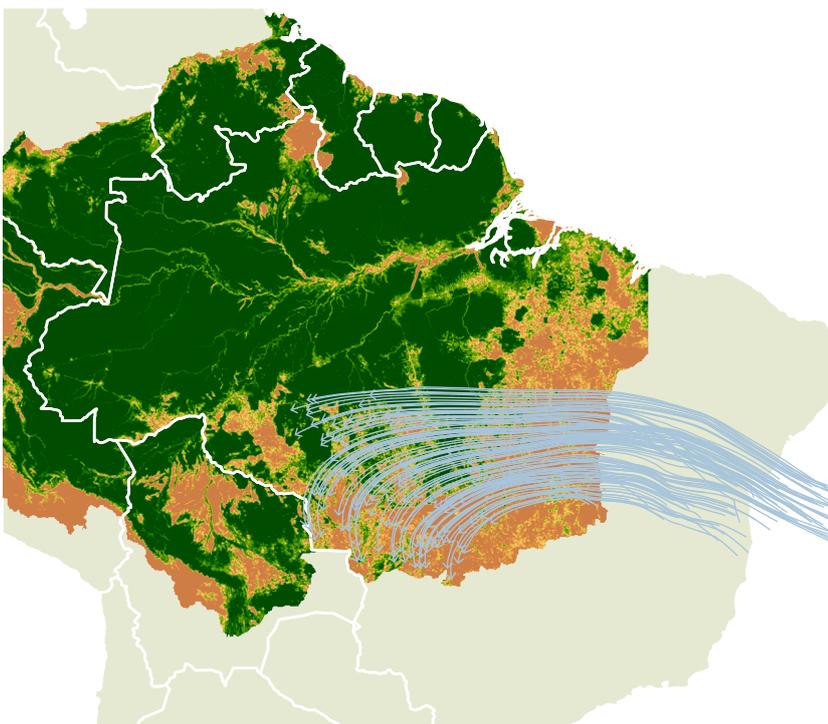
de vento que termina em algum ponto do Mato Grosso, sendo que o vento cobre diversos tipos de terreno. A principal variável explicativa do modelo é a contagem de quantos pixels (locais) com cobertura florestal foram cobertos pelo vento. Quanto maior for essa variável, maior a probabilidade de a parcela de ar manter e aumentar sua umidade.

Figura 7. Trajetórias Regressas de Transporte Atmosférico, 2002

7a. Trajetórias Regressas em Fevereiro de 2002



7b. Trajetórias Regressas em Julho de 2002



 Amazônia
 Trajetórias Regressas

Estes mapas ilustram as trajetórias regressas do transporte atmosférico relativas a dois meses específicos (fevereiro de 2002 e julho de 2002). A linha azul representa a trajetória do vento a partir do oceano até um ponto no estado do Mato Grosso. Vale notar que as direções das trajetórias variam consideravelmente entre os dois meses. Este é um padrão geral, com a estação chuvosa sendo caracterizada por trajetórias de norte a sul e a estação seca, por trajetórias de leste a oeste.

Fonte: CPI/PUC-Rio com dados de ERA5, 2021

Além da variabilidade natural da contagem de pixels florestais ao longo dos meses de um ano, a contagem média ao longo dos anos tem apresentado um declínio constante devido ao desmatamento, conforme mostra a Figura 8a, que ilustra os desvios da contagem média de pixels florestais por ano em relação a cada município do estado do Mato Grosso. Este constante declínio causa uma queda anual do volume médio de chuva.

Para contar os pixels florestais pelas trajetórias, o CPI/PUC-Rio usa dados do MapBiomas sobre a Pan-Amazônia de 1985 a 2018. Esses dados classificam o uso das terras em todo o território amazônico por meio de dados de satélite. Originalmente com resolução de 30 metros, os dados são convertidos para 0,25 graus, onde cada pixel armazena a proporção de 30 metros de pixels classificados como florestas.

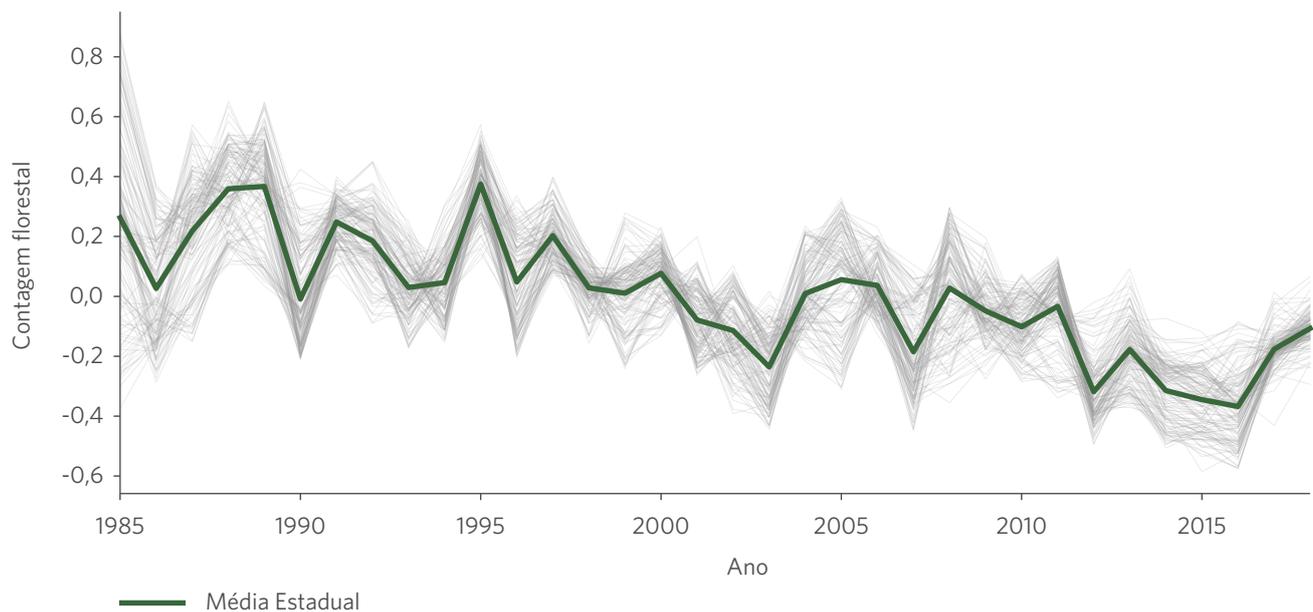
Para estimar formalmente o efeito da contagem florestal sobre as chuvas, usa-se o estimador de efeitos fixos descrito na Equação 1:

$$r_{lmy} = \alpha + \beta_m c_{lmy} + \gamma_{lm} + \gamma_y + \gamma X_{lmy} + \epsilon_{lmy}$$

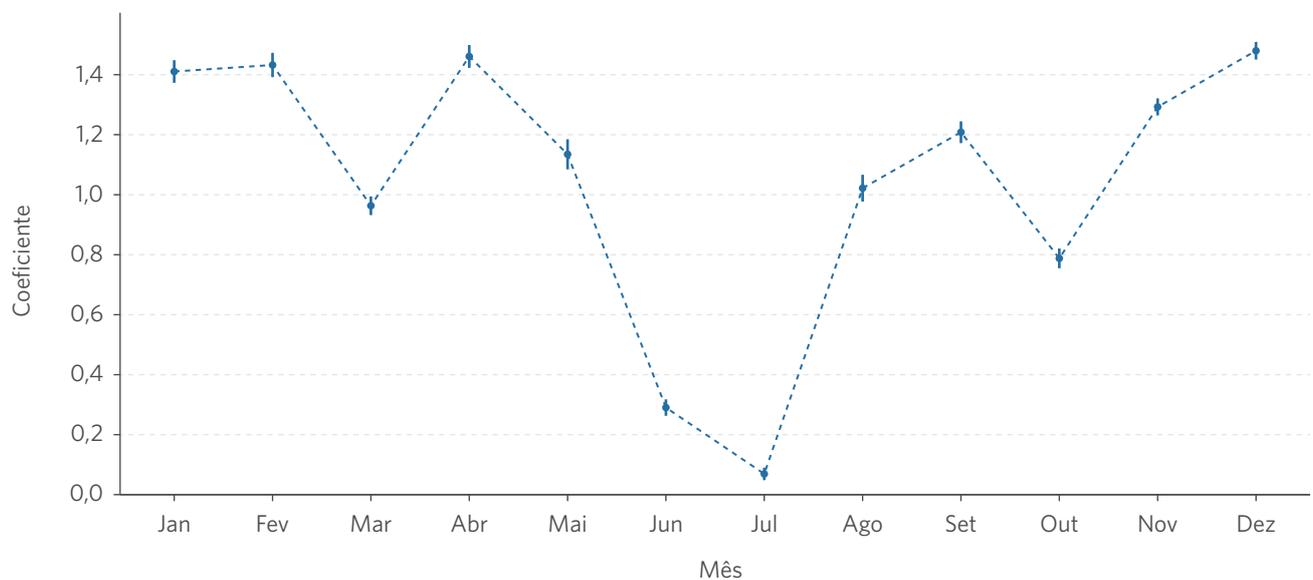
Os parâmetros de interesse são β_m , que representam o efeito da contagem florestal (c_{lmy}) sobre a chuva (r_{lmy}) referente a cada mês do ano. Outras variáveis, como a distância total percorrida (X_{lmy}) e os efeitos fixos de localização-mês e ano (γ_{lm} , γ_y), são usadas como controles para uma gama de possíveis variáveis que oferecem uma explicação alternativa para a relação observada entre as chuvas e a contagem florestal. A Figura 8b apresenta o principal resultado desta regressão. Cada coeficiente β_m representa o efeito do aumento de um desvio padrão na variável de contagem florestal sobre a chuva, medida em equivalente de milímetro por dia. Os erros-padrão mostram que, considerando-se o modelo, a incerteza relativa ao efeito é baixa.

Figura 8. Contagem Florestal e Precipitação, 1985-2015

8a. Contagem Florestal



8b. Cobertura Florestal na Precipitação



A Figura 8a apresenta a evolução da variável de contagem florestal (na forma de desvios em relação à média) ao longo dos anos em cada município do estado do Mato Grosso. Valores abaixo de zero significam que a contagem florestal está abaixo da média histórica. Destaca-se a queda constante em todas as séries devido ao aumento do desmatamento. A Figura 8b apresenta os coeficientes estimados do modelo de clima empírico descrito na Equação 1. Para cada mês (m) há um coeficiente estimado β_m . As pequenas linhas verticais mostram o desvio-padrão estimado. A magnitude do efeito é mais forte nos meses da estação chuvosa, mesmo que, proporcionalmente, esse efeito seja mais forte nos meses de seca.

Fonte: CPI/PUC-Rio com dados de ERA5 e MapBiomias, 2021

Existem duas diferenças principais entre o modelo da Equação 1 e os modelos encontrados atualmente na literatura. Primeiro, a variável de contagem florestal (C_{lmy}) poderia ser substituída por uma variável de Índice de Área Foliar (IAF). Para tal, o IAF teria que ser inserido em cenários contrafactuais de desmatamento, uma tarefa que não é simples, já que o IAF varia com o uso da terra e com a época do ano. Em segundo lugar, as trajetórias regressas são calculadas usando dados médios mensais sobre o vento, e não dados horários. Essa restrição simplifica muito o gerenciamento de dados e as necessidades computacionais. O estudo de caso do estado do Mato Grosso, por exemplo, pode ser realizado com um computador pessoal. Formalmente, essas duas diferenças podem incluir erros de medida em nossa variável explicativa da contagem florestal. Esse erro de medida pode distorcer as estimativas, subestimando o efeito do desmatamento sobre as chuvas.

O próximo passo é usar este modelo em combinação com um cenário contrafactual de desmatamento para entender o impacto do desmatamento localizado nas chuvas. Neste estudo, o autor considerou um cenário em que todas as Terras Indígenas do Xingu são desmatadas. Esse desmatamento impactará a variável de contagem florestal e, conseqüentemente, os níveis de chuva. Quais locais serão afetados depende das trajetórias regressas. Apesar da grande variação ao longo do tempo nos percursos de cada trajetória, o trajeto médio ajuda a elucidar os padrões de circulação atmosférica. O efeito médio, portanto, resulta no impacto que se espera do desmatamento sobre as chuvas.

AUTOR

RAFAEL ARAUJO

Analista Sênior, Infraestrutura Sustentável, CPI/PUC-Rio
rafael.araujo@cpiglobal.org

O autor gostaria de agradecer Jennifer Roche pelo trabalho de edição do texto original em inglês, Natalie Hoover El Rashidy e Giovanna de Miranda pelo trabalho de revisão e edição dos textos e Meyrele Nascimento e Nina Oswald Vieira pelo trabalho de design gráfico.

Citação sugerida

Araujo, Rafael. *Mapeando o Efeito do Desmatamento nas Chuvas: um Estudo de Caso do Estado de Mato Grosso*. Rio de Janeiro: Climate Policy Initiative, 2021.

OUTUBRO 2021

O Climate Policy Initiative (CPI) é uma organização com experiência na análise de políticas públicas e finanças. Nossa missão é contribuir para que governos, empresas e instituições financeiras possam impulsionar o crescimento econômico enquanto enfrentam mudanças do clima. Nossa visão é a de uma economia global sustentável, resiliente e inclusiva. No Brasil, o CPI é afiliado à Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio). Este trabalho é financiado por Norway's International Climate and Forest Initiative (NICFI). Nossos parceiros e financiadores não necessariamente compartilham das posições expressas nesta publicação.

Contato CPI/PUC-Rio: contato.brasil@cpiglobal.org
www.climatepolicyinitiative.org



Conteúdo sob licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional. Os textos desta publicação podem ser reproduzidos no todo ou em parte desde que a fonte e os respectivos autores sejam citados.