



Geopública 2025



SotM BR 2025
STATE OF THE MAP BRASIL

MODELOS BASEADOS EM AGENTES PARA SIMULAÇÃO DO IMPACTO DE POLÍTICAS PÚBLICAS DE INCENTIVO À DIVERSIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO

AGRÍCOLA
Marcos Aurélio Silva
Embrapa



Embrapa Tabuleiros Costeiros

<https://www.embrapa.br/tabuleiros-costeiros>



- Unidade Descentralizada da Embrapa com sede em Aracaju, Sergipe
- 177 empregados, 49 pesquisadores de diversas áreas
- Cinco Campos Experimentais em Sergipe
- Unidade de Execução de Pesquisa em Alagoas



Situação atual da diversidade da produção agropecuária no Brasil

Dados: Valor da produção das estimativas anuais do IBGE (PAM, PPM e PEVS)

Piedra-Bonilla, Braga e Braga (2020)

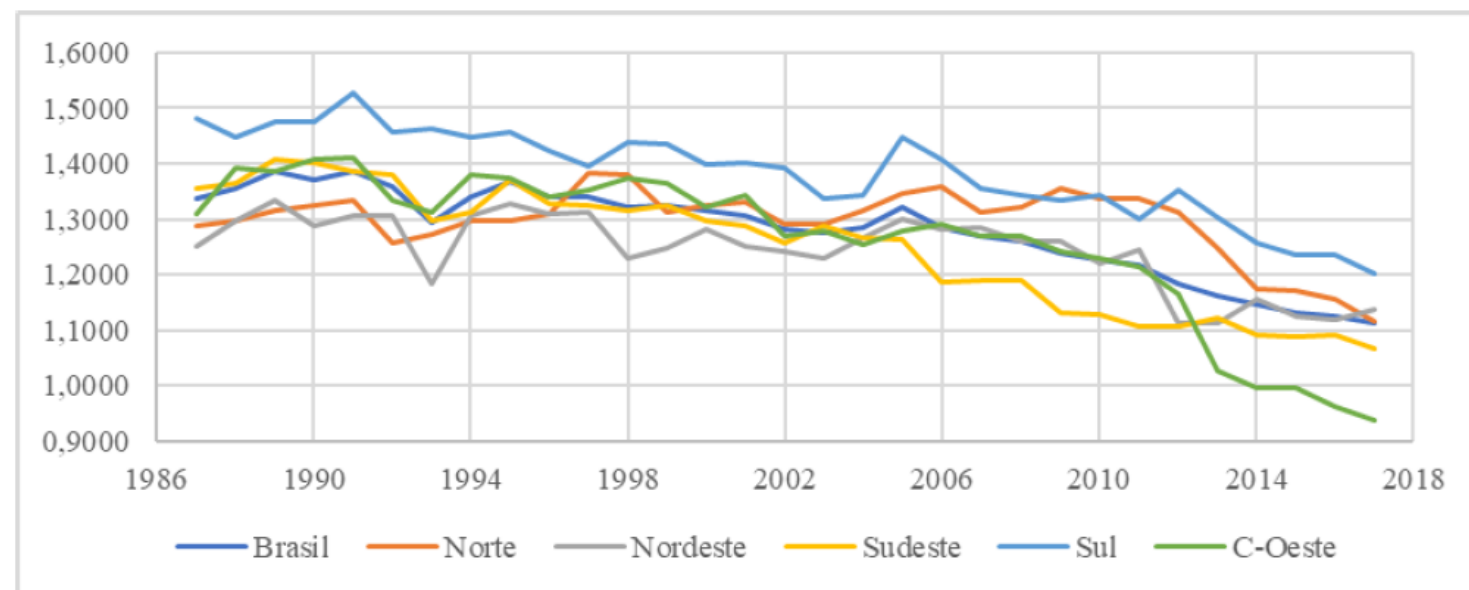
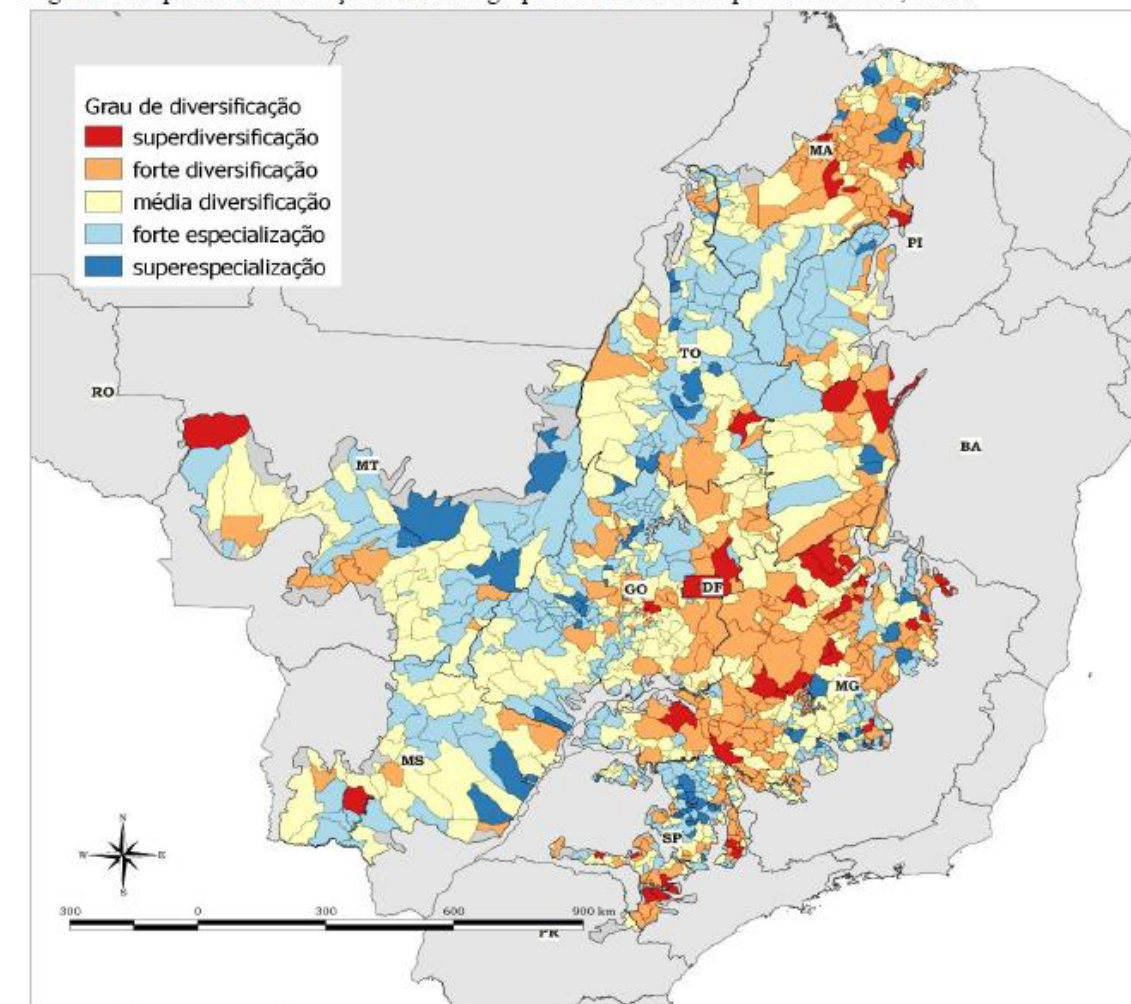


Figura 1. Evolução do Índice de Shannon para os municípios brasileiros, por região, no período de 1987 a 2017

Fonte: Resultados da pesquisa.

Fonte: PIEDRA-BONILLA, E.B.;BRAGA, C.A.S.;BRAGA, M. J. Diversificação agropecuária no Brasil: conceitos e aplicações em nível municipal. **Revista de Agronomia e Agronegócio**, v. 18, n. 2, p. 1–28, 2020.

Figura 2: Mapa da diversificação da renda agropecuária nos municípios do Cerrado, 2017.



Fonte: elaboração própria.

Fonte: CALDEIRA, C.; PARRÉ, J. L. Diversificação agropecuária e desenvolvimento rural no bioma Cerrado. **Revista Americana de Empreendedorismo e Inovação**, v. 2, n. 1, p. 344–359, 2020.

Como mensurar a diversidade da produção agropecuária?

Dado: estimativas anuais do IBGE para um determinado período

Exemplo: efetivo de animais.

Município	ANO	OVINO	CAPRINO	BUBALINO	EQUINO	SUINO	GALINACEOS	BOVINO
A	1999	0	0	0	0	0	0	1000
B	1999	100	100	100	100	100	100	100
C	1999	200	0	5000	600	100	0	2000

Como mensurar a diversidade da produção agropecuária?

Índice de Shannon [0,1]

$$I = - \sum_{i=1}^m p_i \log_m p_i$$

p_i : proporção do produto i
 m : número de produtos

Município	Shannon
A	0,00
B	1,00
C	0,50

Impactos da diversidade na sustentabilidade EMPREGO

Dados: Quantitativo por estabelecimento agregados por municípios Censo IBGE 2017.

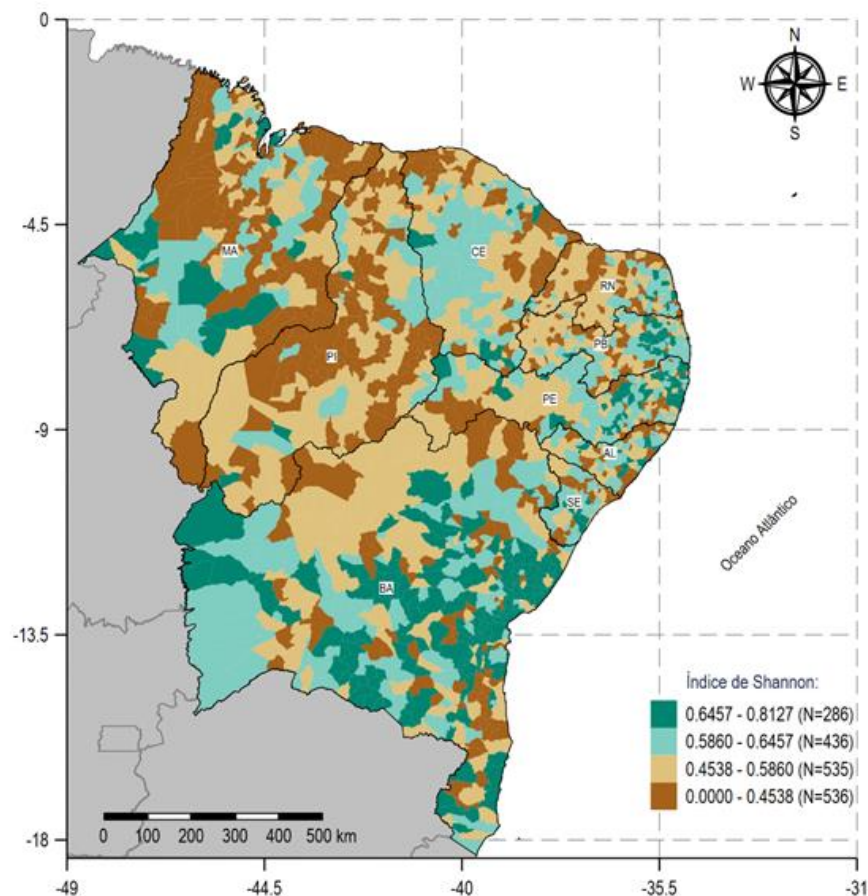


Figura 2 – Índice de Shannon para culturas permanentes no Nordeste, 2017

Fonte: Elaboração própria com base em dados do IBGE, 2017.

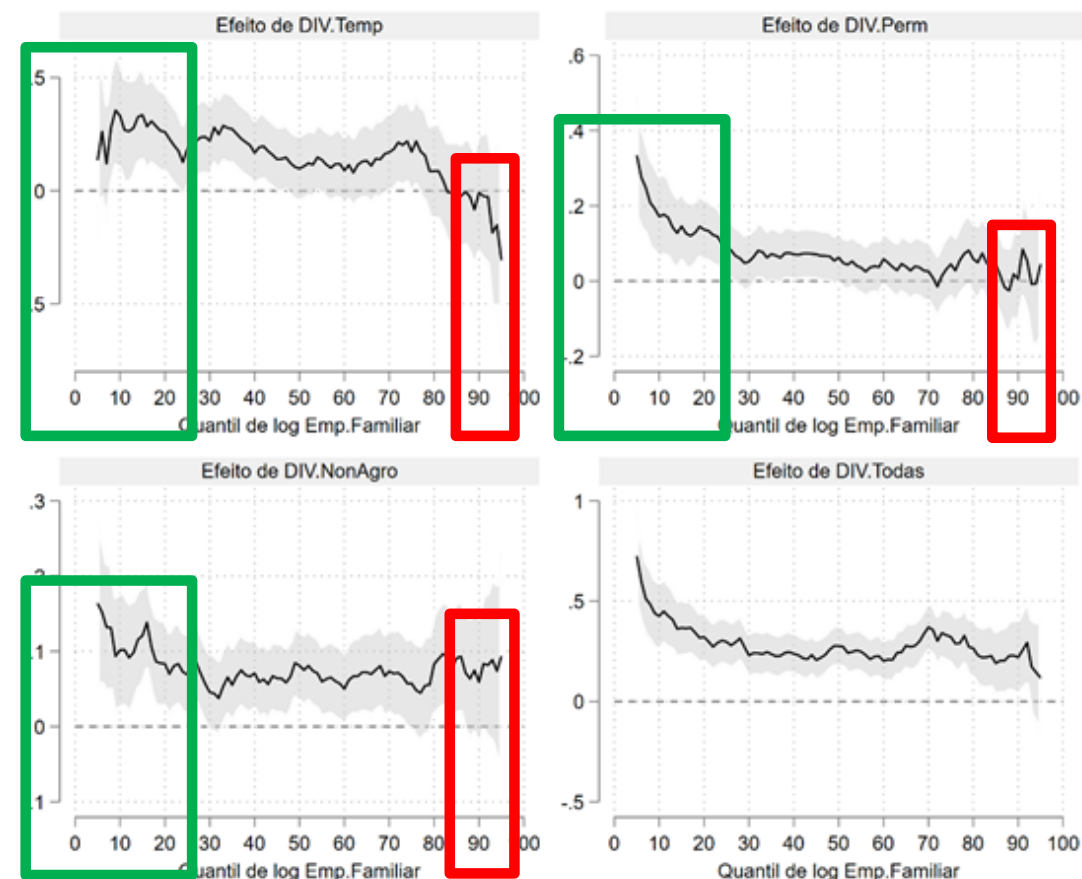


Figura 6 – Efeito da diversidade de atividades agrícolas e não-agrícolas sobre a distribuição do emprego da agricultura familiar no Nordeste, 2017

Fonte: Elaboração própria

Fonte: PÁDUA, D.S.L. **Pluriatividade e sua influência sobre o emprego da agricultura familiar na região Nordeste**. Dissertação Mestrado. Depto. Economia- UFS. 2023.

Efeito da diversidade sobre a produtividade

Efeito da Diversidade	Culturas Permanentes
Efeito com aumento de 0,1 no índice de diversidade no país.	Eleva a produtividade média de culturas permanentes no país em +8.68%
Efeito com aumento de 0,1 no índice de diversidade por região.	Destaque para o NE com elevação da produtividade média em 13,97% para aumento de 0,1 na diversidade de culturas temporárias
Efeito com aumento de 0,1 no índice de diversidade no país.	Eleva a produtividade média de culturas permanentes no país em +12.04%
Efeito com aumento de 0,1 no índice de diversidade por região.	Destaque para o NE com elevação da produtividade média em 18,62% para aumento de 0,1 na diversidade de culturas permanentes



Impactos da diversidade sobre a vegetação nativa

Dados: Valor da produção das estimativas anuais do IBGE (PAM, PPM e PEVS), efetivo de animais e área plantada cult. Temporárias.

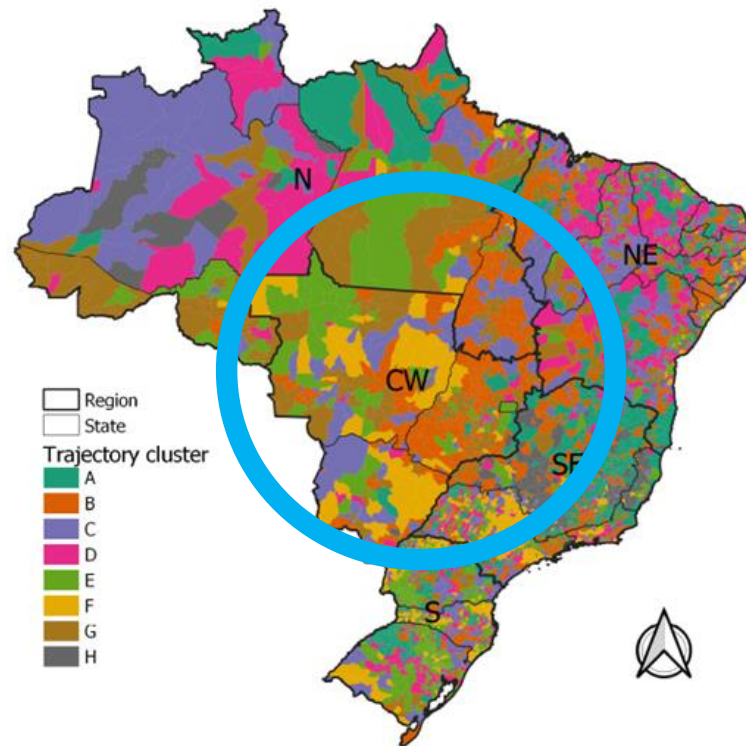
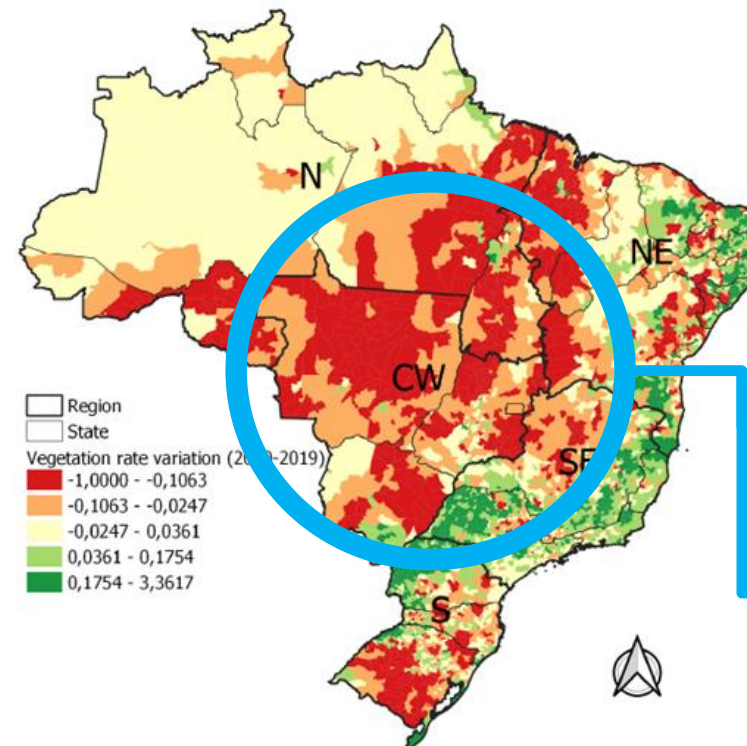


Fig. 6: Spatial projection of the trajectory clusters. Source: elaborated by the authors.



(a) Spatial distribution of the vegetation rate variation using quantile (equa count)

TABLE III: Distribution of the trajectory clusters (*c*) on Brazil's region and the mean for the var_veg variable for each one. Source: elaborated by the authors.

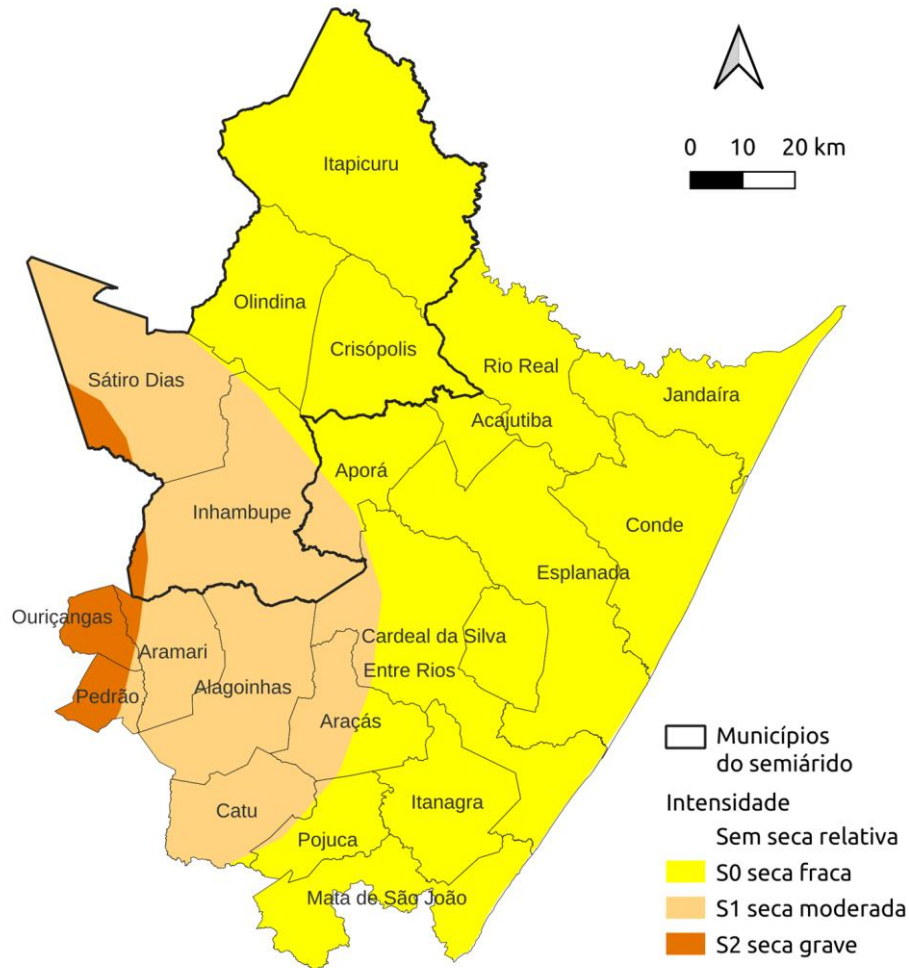
c	#*	Percentage per region (%)					var_veg (mean)**
		CW	N	NE	S	SE	
A	832	3.21	5.78	15.33	13.52	21.28	0.0811a
B	823	40.47	24.22	14.49	3.78	13.19	-0.0158b
C	776	10.49	20.00	21.29	10.33	7.91	0.0355c
D	748	3.00	9.33	24.19	10.92	7.67	0.0399cd
E	720	8.35	9.11	6.13	34.09	7.43	0.0575 d
F	668	13.92	4.22	4.79	18.05	16.97	0.1030a
G	638	19.49	25.33	12.49	7.05	7.49	0.0036b
H	365	1.07	2.00	1.28	2.27	18.05	0.0810a

*Number of municipalities per cluster.

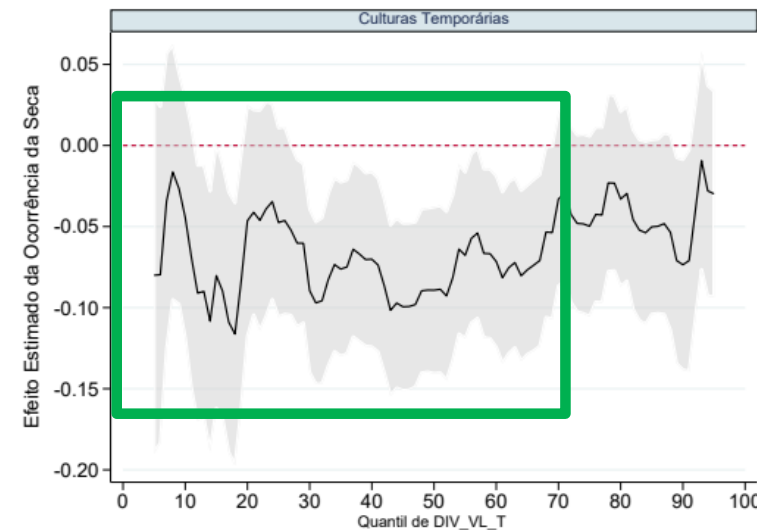
**Non statistically different cluster means by Kruskal-Wallis test, with a confidence level of 95%, are indicated with the same letter.

Efeito da ocorrência de seca sobre a diversidade da produção

Mapa da seca para o TILNAB no mês de agosto de 2014. Fonte Monitor de Secas/ANA.

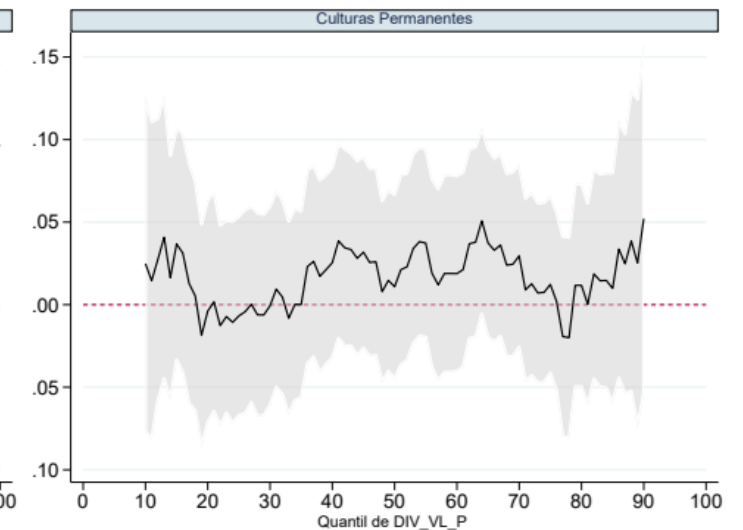


Culturas Temporárias



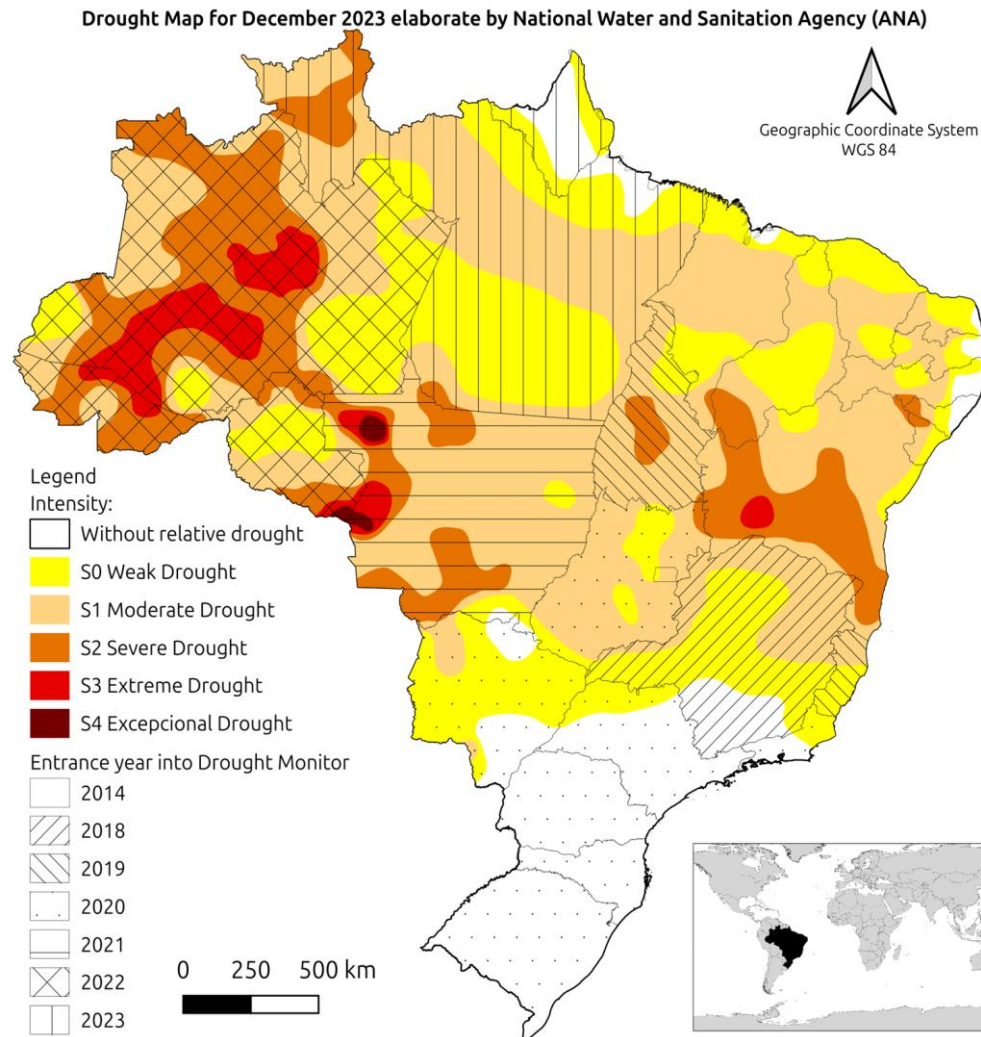
A diversidade de culturas temporárias sofre um efeito negativo e estatisticamente significativo da ocorrência da seca, embora não homogêneo. Sendo mais atingidos municípios com menor índice de diversidade.

Culturas Permanentes

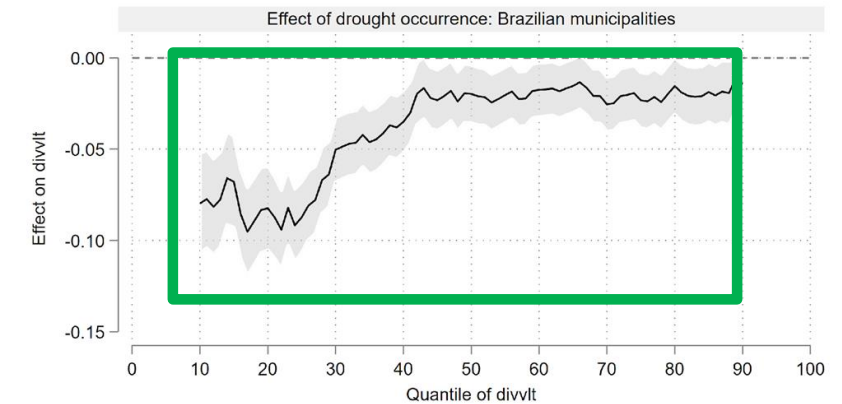


A ocorrência de seca apresenta efeito não significativo ao longo de toda a distribuição da diversidade, incluindo as caudas inferior e superior.

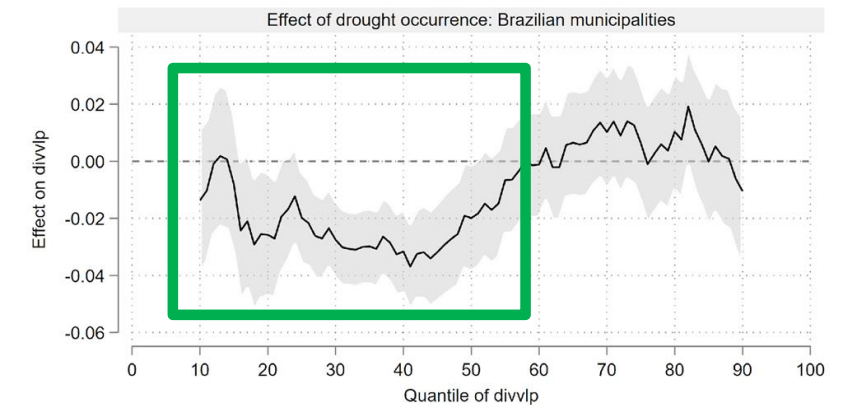
Efeito da ocorrência de secas extremas e excepcionais sobre a diversidade da produção



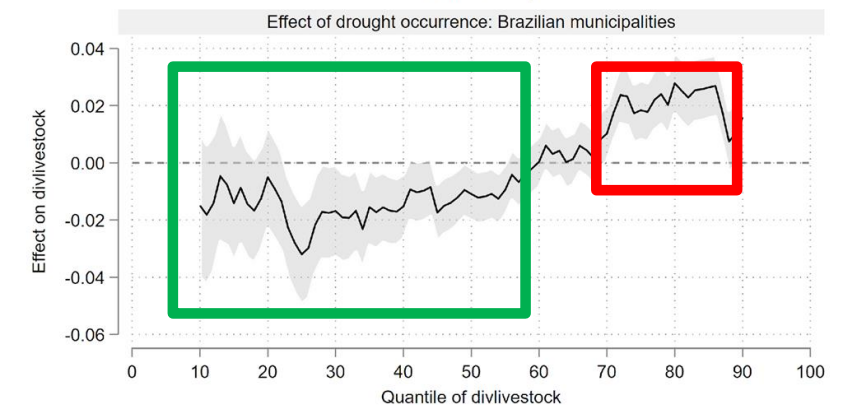
C. Temporárias



C. Permanentes



Efetivo Animais



Impactos da diversidade na sustentabilidade



Conservação da
vegetação nativa



Oferta de
empregos



Resiliência
climática



Aumento de
produtividade

Tendência atual de
**diminuição da
diversidade** da produção
agrícola Nacional

Com impactos negativos na:
Conservação de Recursos Naturais
Oferta de Empregos
Estabilidade Econômica
Segurança Alimentar



Necessidade de **políticas
públicas** de incentivo a
diversificação da produção
agrícola.

Num contexto de:
Variações climáticas e
Sazonalidade dos preços

Políticas públicas voltadas para a sustentabilidade agrícola - Europa

Incentivos econômicos diretos ao produtor

The common agricultural policy: 2023-27

The common agricultural policy is key to securing the future of agriculture and forestry, as well as achieving the objectives of the European Green Deal.



Conservação da biodiversidade

Serviços ecossistêmicos

Mitigação e adaptação a mudanças globais

Ações produtivistas:
mudança de pesticidas,
rotação de culturas, plantio
direto, mudança de culturas
etc.

Ações não-produtivistas:
conservação de vegetação
nativa, preservação de
mananciais de água etc.

Fonte: https://agriculture.ec.europa.eu/common-agricultural-policy_en



Sociedades Artificiais

Desenvolvimento regional
Políticas Públicas com enfoque territorial
Território = espaço geográfico + poder social

Sociedade como sistema social/redes sociotécnicas
Território como sistema socioterritorial

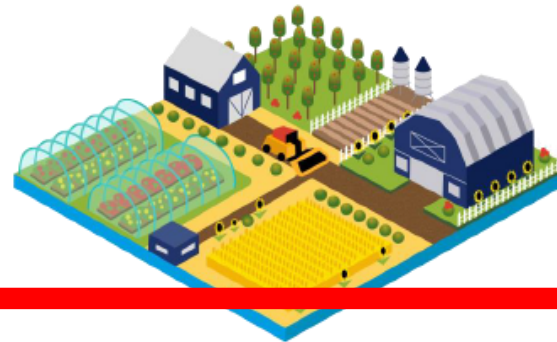


Modelos espaciais baseados em agentes para avaliação de políticas públicas



- BESTMAP is working on a new modelling framework for agriculture policy impacts
- We define Farm System Archetypes (FSAs) as units with typical behavioural characteristics of land manager and environmental/socio-economic baseline impact
- FSAs are derived for a population within each region from LPIS/FADN/FSS, EO and national datasets

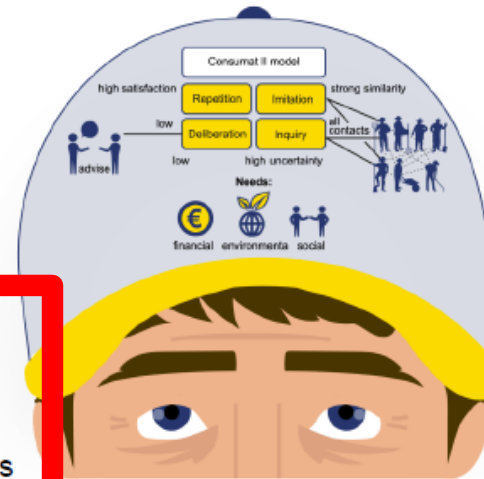
- For each FSA the environmental and socio-economic flows (e.g. of water, nutrients, sediment, GHG, money, employment) baseline are derived from models, meta-analysis and expert opinion. The baseline is modulated by the agri-environmental-climatic options (measure 10 schemes of CAP) the farmer implemented



- A behavioural-theory based Agent-Based modelling approach is used to predict how alternative policy scenarios impact update/adoption of current and new measures



- Output and result indicators with uncertainty are presented in an online dashboard
- Policymakers can change the scenario and get near real-time impact assessment
- Users can also set targets and run the model in 'reverse' mode to learn what policy scenarios can achieve the best impacts!



<https://agrimodels-cluster.eu/>

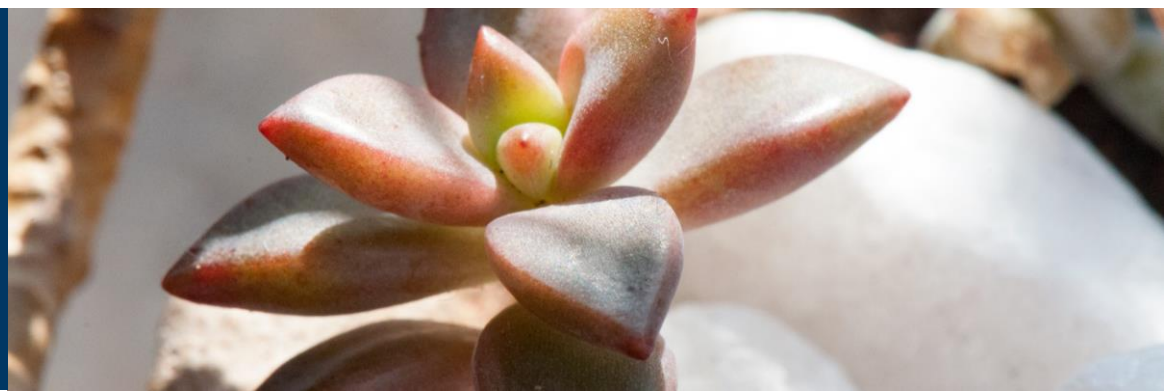


bestmap.eu [@BestmapEU](https://twitter.com/BestmapEU) [@BestmapEU](https://facebook.com/BestmapEU)

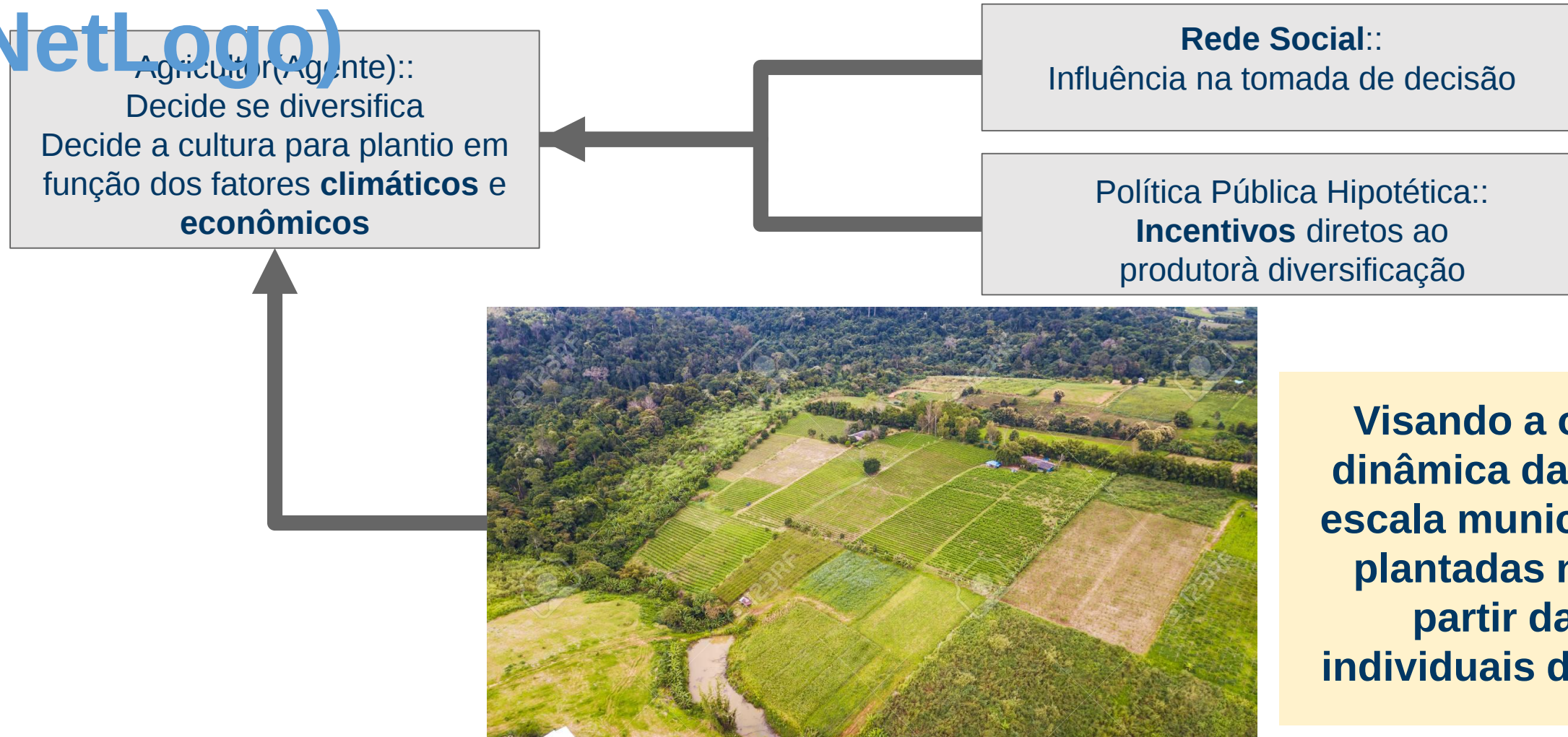
This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement no. 817501

Objetivo

Construir um modelo computacional de **sistemas socioagroambientais** baseado em agentes para simulação do efeito de **políticas públicas** voltada para a promoção da diversificação da produção agrícola municipal, a partir de diferentes contextos **socioeconômicos e climáticos**.

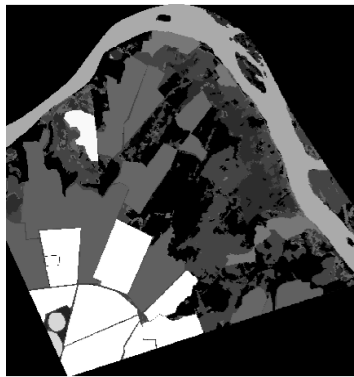


Modelo de Simulação de Uso e Ocupação da Terra Baseado em Agentes (ambiente NetLogo)



Componentes do Modelo

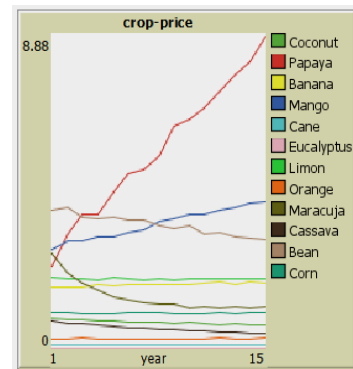
Submodelos que serão integrados no ambiente de programação baseado em agentes do NetLogo.



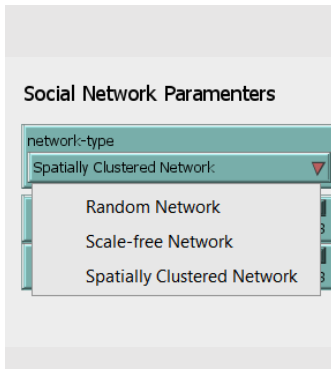
Uso da Terra
(Áreas de cultivo irrigada e não irrigada)



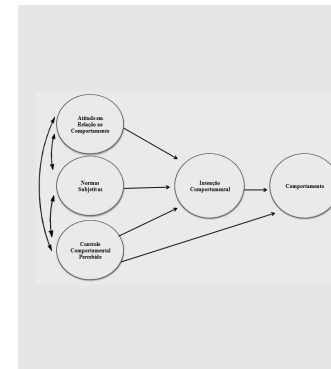
Fatores Climáticos
(Temperatura, umidade e precipitação)



Economia
(Preços)



Rede Social
(Influência dos produtores vizinhos)



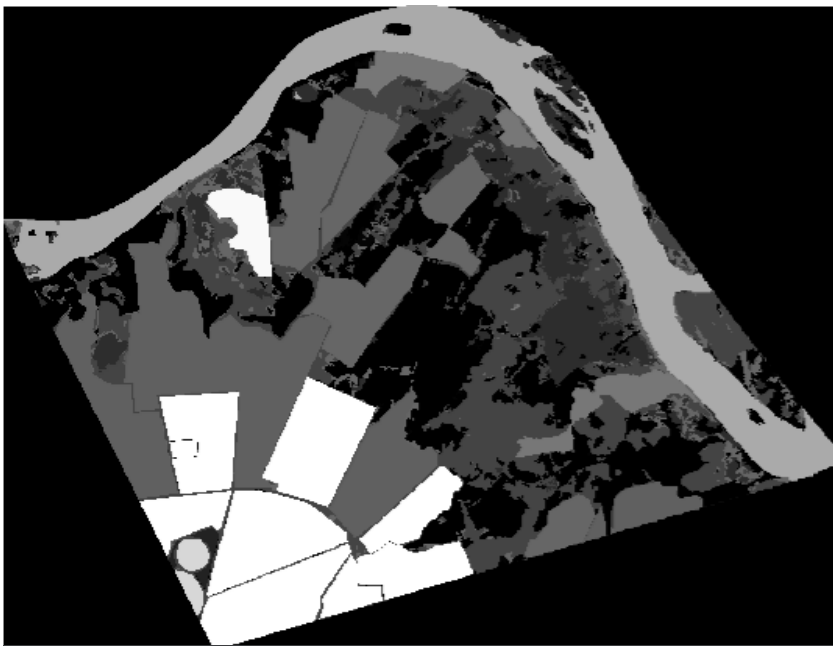
Comportamento
(Teoria do Comportamento Planejado)



Política Pública de Incentivo à Diversificação

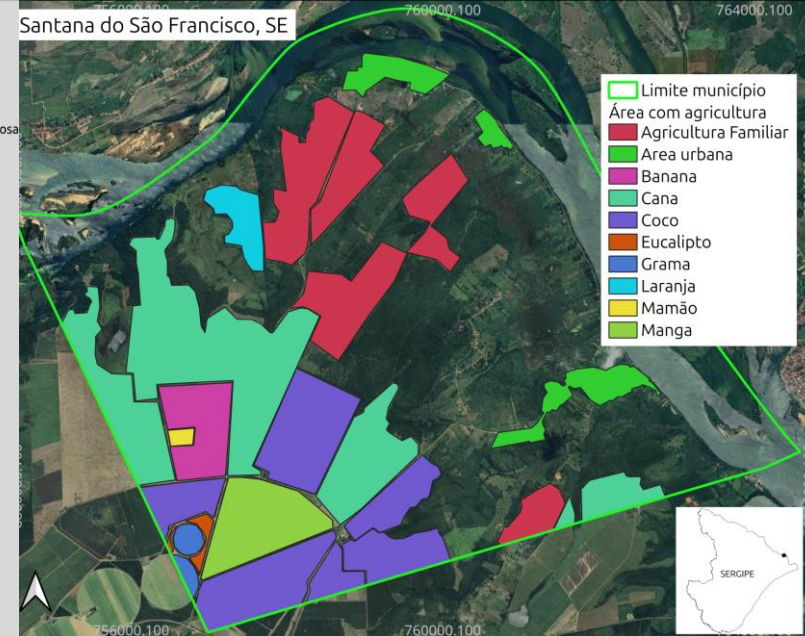
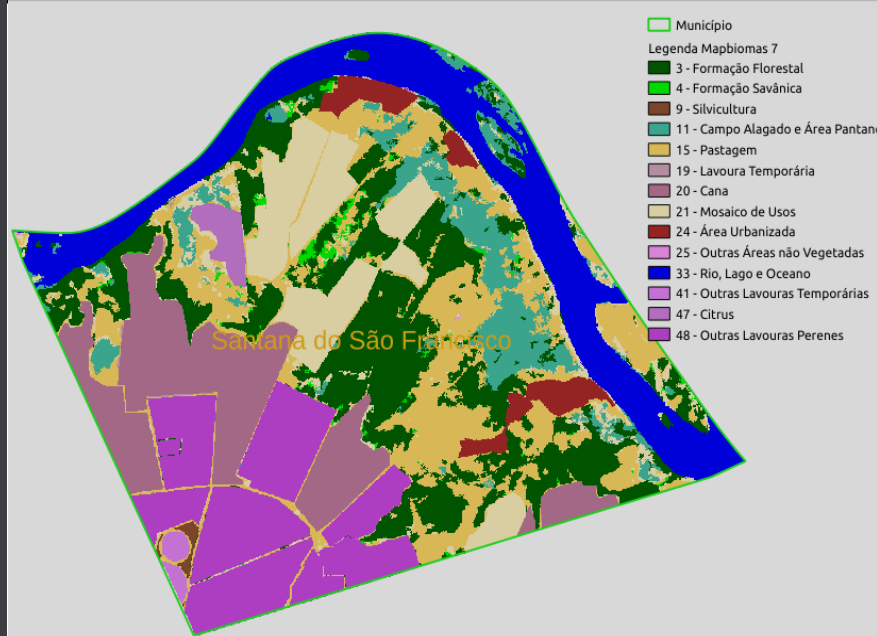
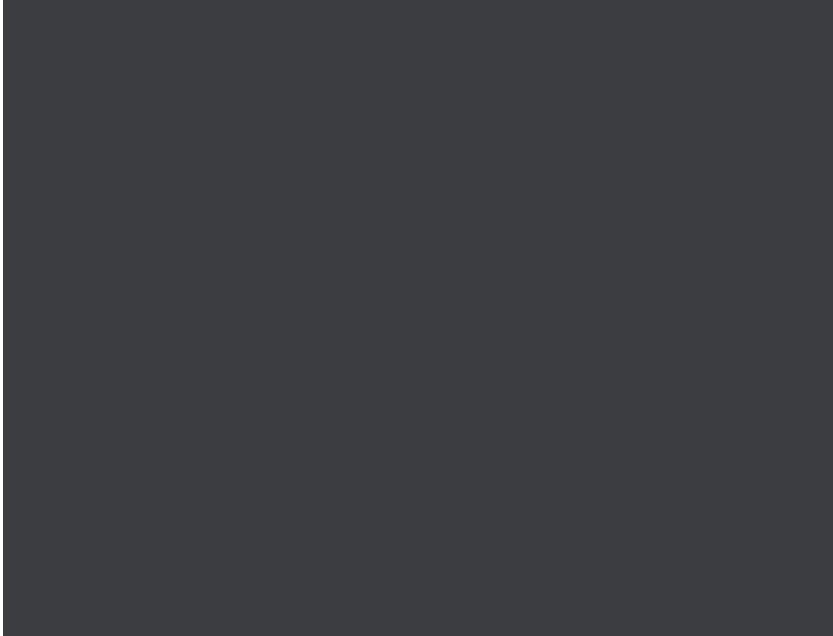
$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$$

Índice de Diversidade
(Mensurado a partir da área ocupada por cultura)



Uso da Terra

Foram produzidos mapas de uso da terra e cobertura vegetal com base em imagens de satélite e visitas de campo. Isso permitiu identificar as principais categorias de uso, como áreas agrícolas, pastagens, vegetação nativa e áreas urbanizadas, fornecendo um panorama espacial das atividades humanas na região estudada.





Fatores Climáticos

O estudo considerou variáveis climáticas como temperatura, umidade e precipitação, utilizando dados históricos de estações meteorológicas do INMET, modelado a partir de distribuições normal, beta e lognormal, respectivamente. Para simular as variações climáticas foram testados diferentes valores para o desvio padrão das variáveis.



Climate Paramenters

Rainfall

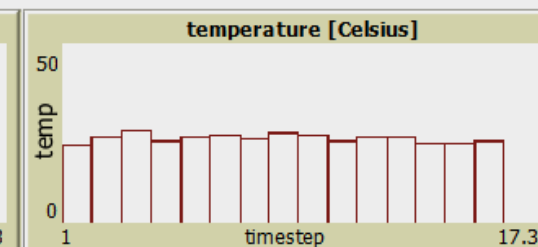
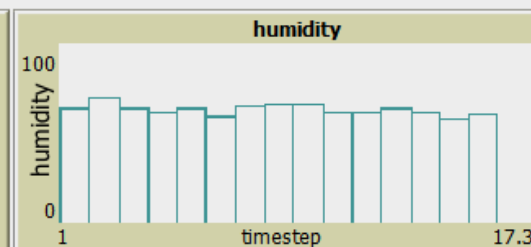
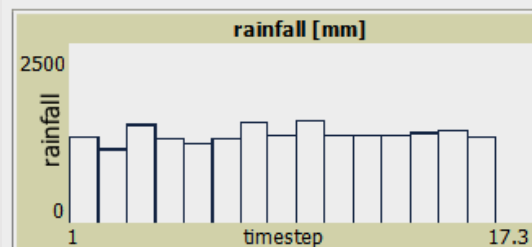
rain-mean	rain-std
1200	100

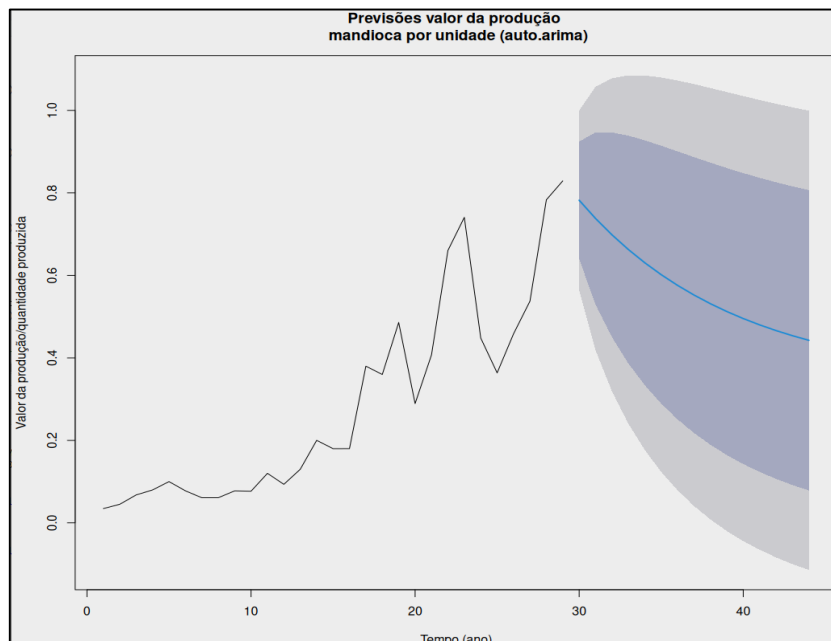
Humidity

humidity-mean	humidity-std
64	3

Temperature

temp-mean	temp-std
24	1





Economia | Preço

- Estimativa preço produto = valor da produção/quantidade produzida
- Previsão de preços para 15 anos usando modelos ARIMA
- Com variação determinada pelo parâmetro percentage-price-variation.

Fonte: PAM/IBGE

Price Paramenters

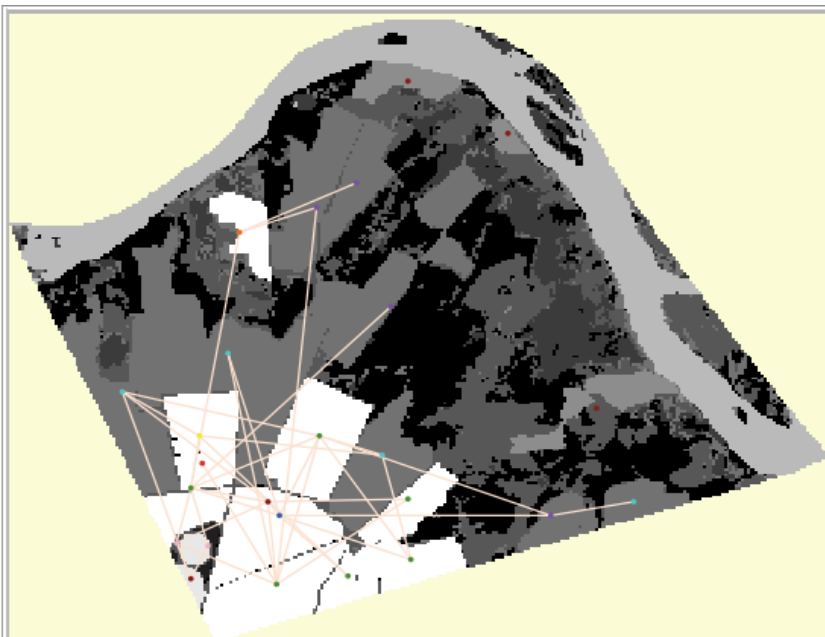
Variation

percentage-price-variation 0.03

inicial-year

2023

Produto	Funções de produtividade	
	T (°C)	U (%)
COCO	$f(T) = \begin{pmatrix} 0 & se & T < 10 \text{ ou } T > 40 \\ \frac{T-10}{17} & se & 10 \leq T < 27 \\ 1 & se & 27 \leq T \leq 32 \\ \frac{40-T}{8} & se & 32 < T \leq 40 \end{pmatrix}$	$f(T) = \begin{pmatrix} 0 & se & U < 40 \text{ ou } U > 90 \\ \frac{U-40}{20} & se & 40 \leq U < 60 \\ 1 & se & 60 \leq U \leq 90 \\ \frac{100-U}{10} & se & 90 < U \leq 100 \end{pmatrix}$

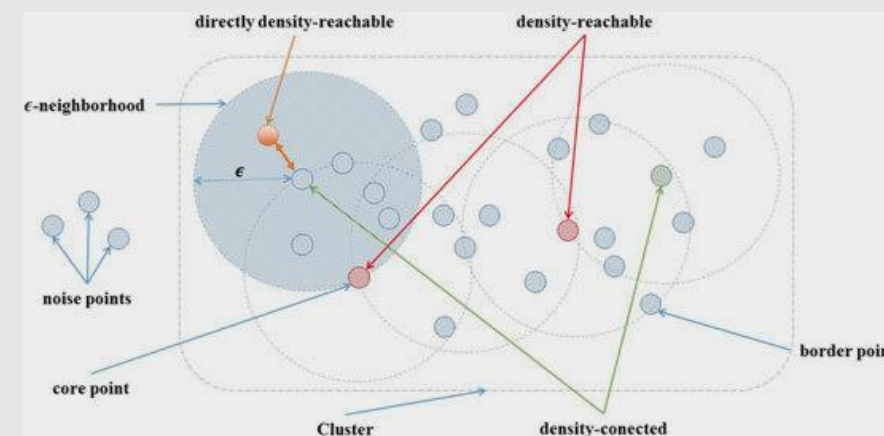
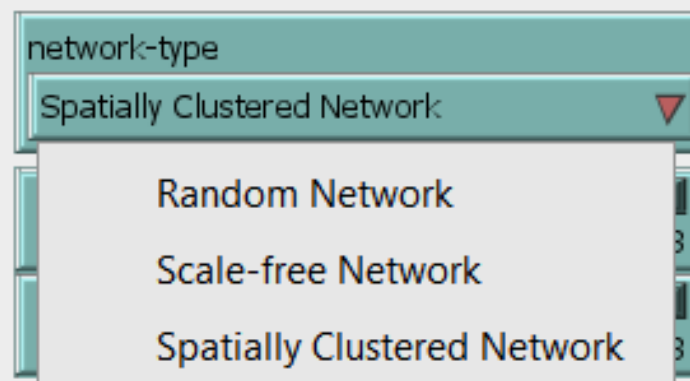


Rede Social do tipo Clusterizada Espacialmente

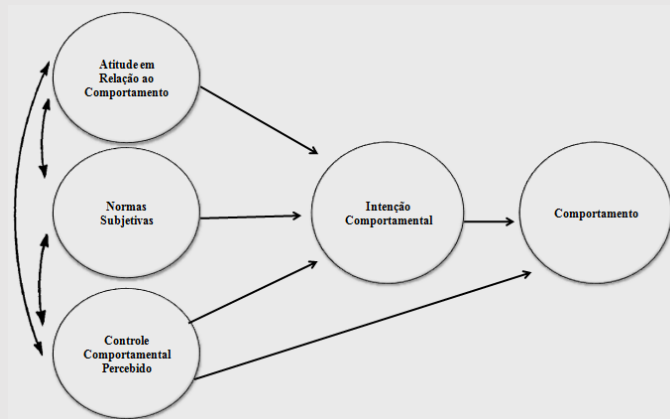
As decisões de diversificação foram afetadas pela percepção e comportamento dos pares, reforçando a importância da comunicação e disseminação de informações técnicas dentro da comunidade agrícola.

Foi implementado um submodelo de rede social para capturar a influência entre produtores vizinhos.

Social Network Parameters



TCP



Teoria do Comportamento Planejado (Diversificar ou não a produção?)

A Teoria do Comportamento Planejado (TCP) foi aplicada para entender as intenções e atitudes dos atores em relação à adoção de práticas sustentáveis. A metodologia incluiu entrevistas e questionários que investigaram crenças, normas sociais e percepção de controle sobre ações ambientais.

Atitude = Lucro Esperado +
Incentivo > Lucro Atual

Norma Subjetiva = Média
da Atitude dos Vizinhos

CCP = Se há área
disponível para diversificar

O processo de decisão de cultura se dá pela escolha da mais lucrativa, para isso são analisados o preço corrente de venda do produto e a função de produção da cultura em função da temperatura, umidade e precipitação.



Política Pública de Incentivo à Diversificação

Política Pública Hipotética baseada na Política Comum da União Europeia para Agricultura que remunera os agricultores em função da adoção práticas conservacionistas.

Public Policies

threshold-diversity

0.4

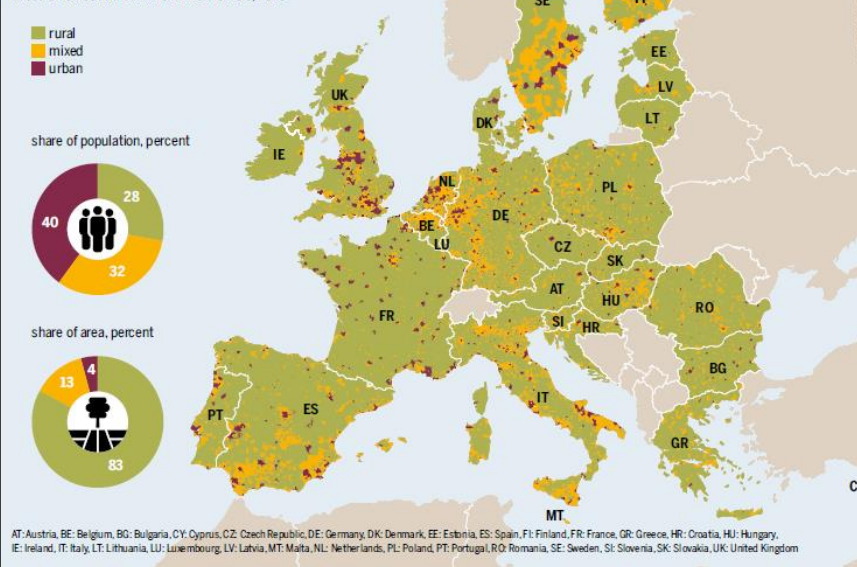
On Off diversification-incentive?

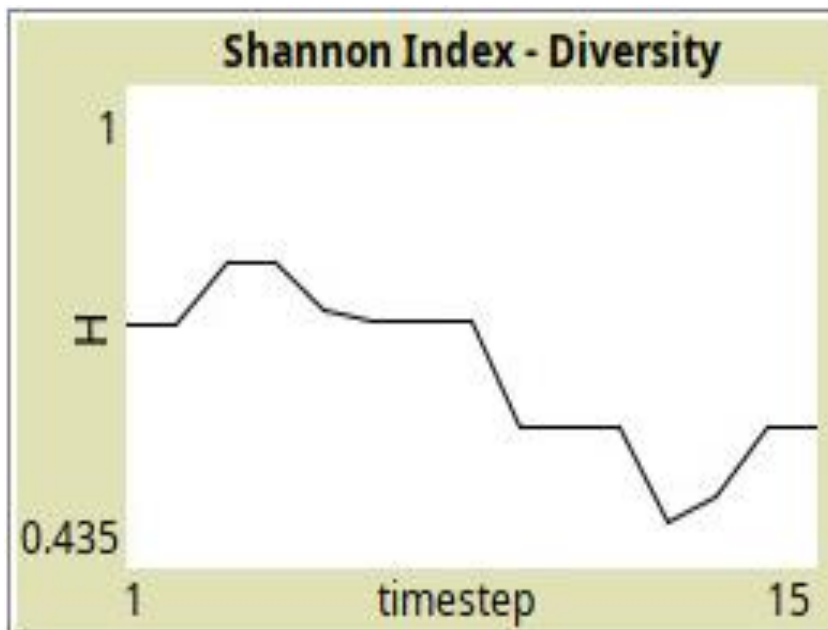
di-bonus

15

GREEN UNION

Rural as compared to mixed and urban regions in the EU, based on cities and administrative districts, 2015





Índice de Diversidade de Shannon (variável dependente)

O Índice de Diversidade de Shannon é medido a partir da proporção da área ocupada por cada cultura no município de Santana do São Francisco. O cálculo é efetuado a cada ano.

Pretende-se validar esse índice de diversidade anual a partir das estimativas anuais do IBGE e de imagens de satélite.

```
to-report shannon-index
  let H 0

  let table-crop-area generate-crop-area

  ;; Calcular a área total (soma de todas as áreas)
  let sum-crop-area sum table:values table-crop-area

  ;; Calcular o índice de Shannon
  foreach table:keys table-crop-area [
    crop ->
    let area-crop table:get table-crop-area crop
    if area-crop > 0 [
      let p area-crop / sum-crop-area
      set H H + (p * ln p) ;; Corrigido para usar logaritmo natural
    ]
  ]

  ;; Finalizar o cálculo de H
  set H H * -1

  ;; Normalizar para o intervalo [0, 1]
  let max-H ln table:length table-crop-area
  if max-H > 0 [ set H H / max-H ]

  report H
end
```

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$$

O modelo na plataforma NetLogo

Avaliando cenários (**15 anos**) de diversidade agrícola municipal a partir de uma política pública implementada num contexto de fortes variações climáticas e econômicas

AgriDiversity
Santana do São Francisco

Climate Parameters

Rainfall

rain-mean: 1200 rain-std: 500

Humidity

humidity-mean: 64 humidity-std: 30

Temperature

temp-mean: 24 temp-std: 15

Price Parameters

variation: percentage-price-var... 0.03

inicial-year: 2023

PREÇO

Public Policies

threshold-diversity: 0.4

On Off diversification-incentive?

di-bonus: 15

POLÍTICA PÚBLICA

Social Network Parameters

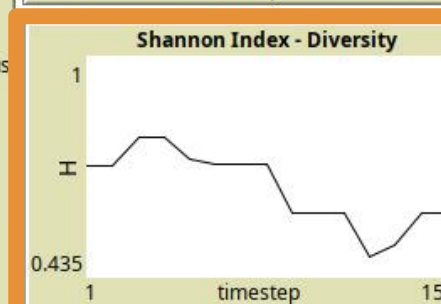
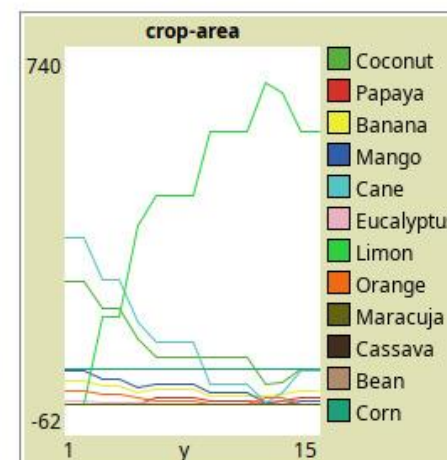
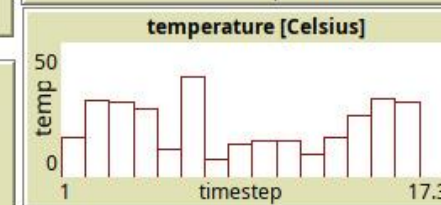
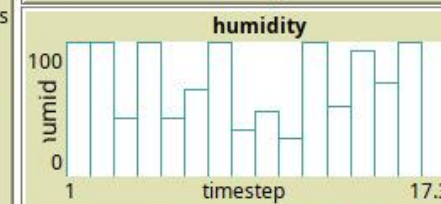
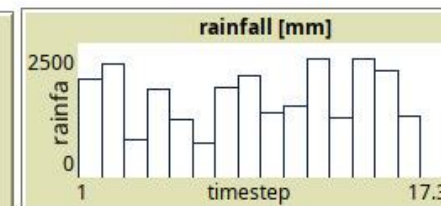
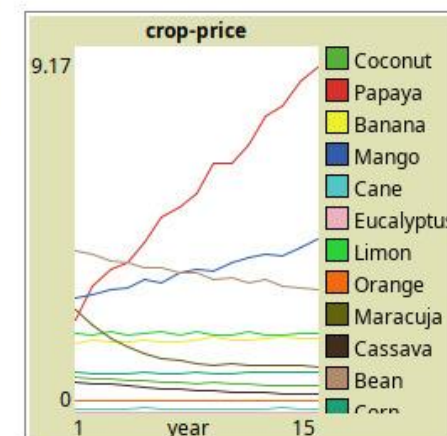
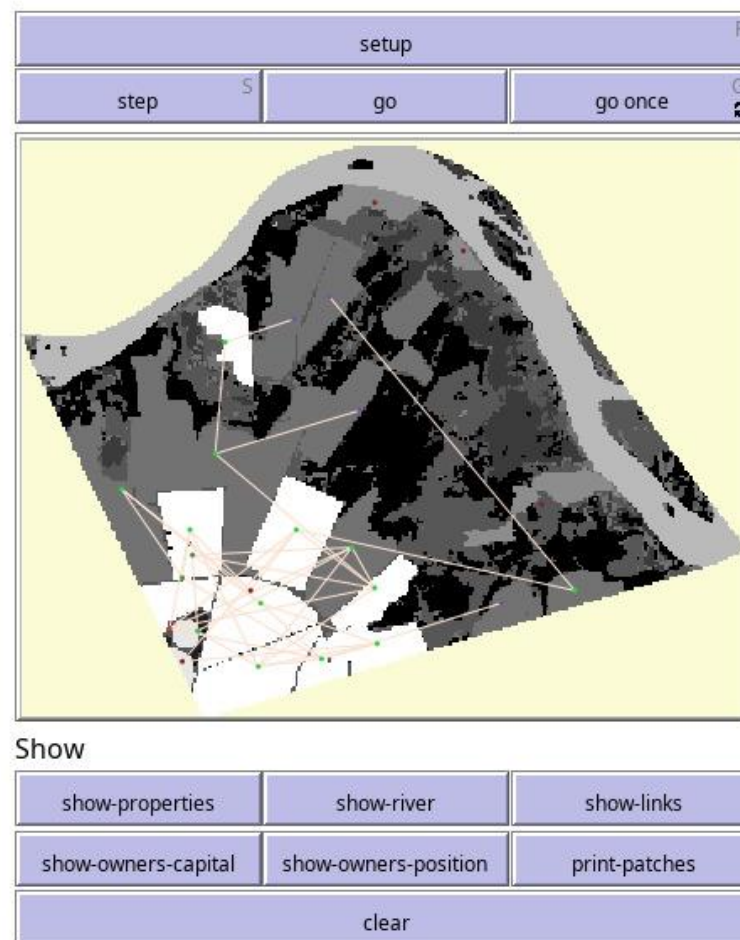
network-type: Spatially Clustered Network

average-node-degree: 3

D: 3

Behavioral Types

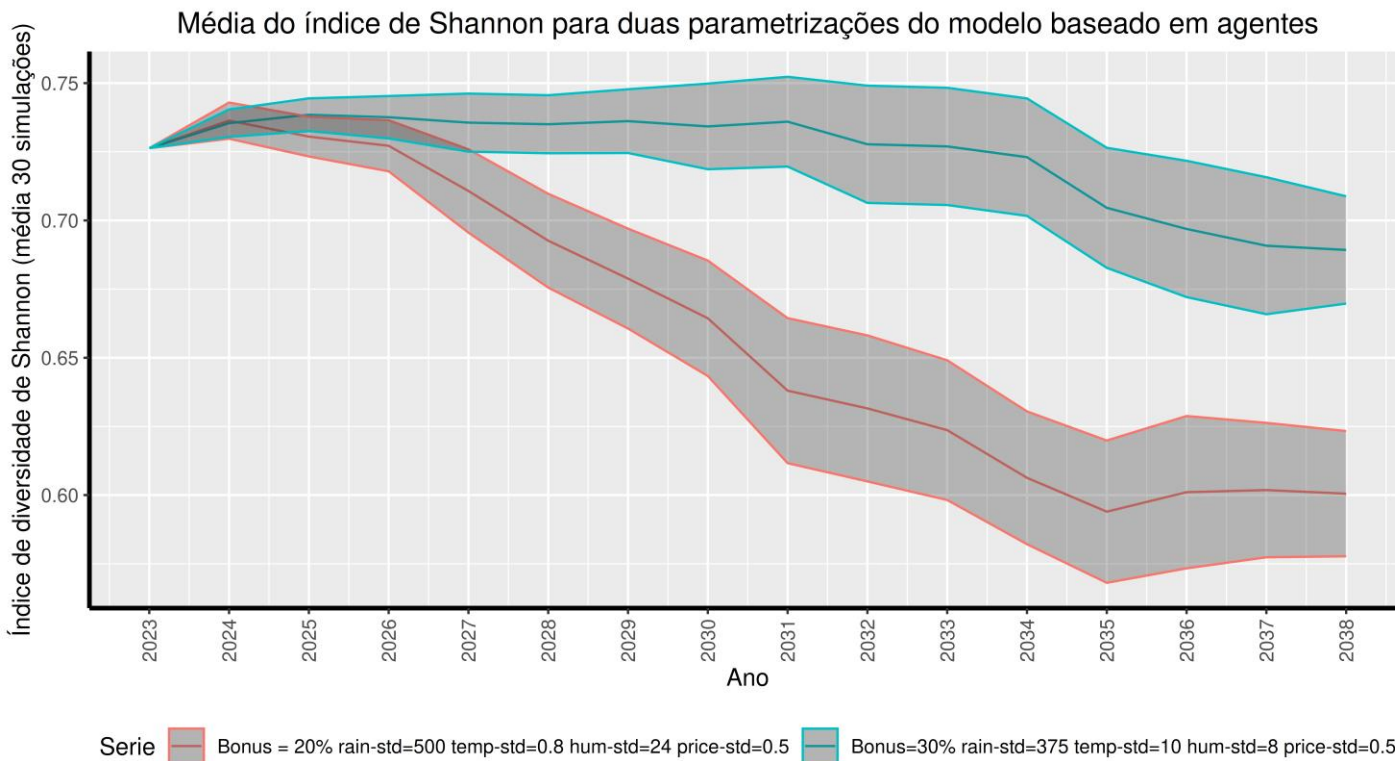
behavioral-type: Planned Behavior



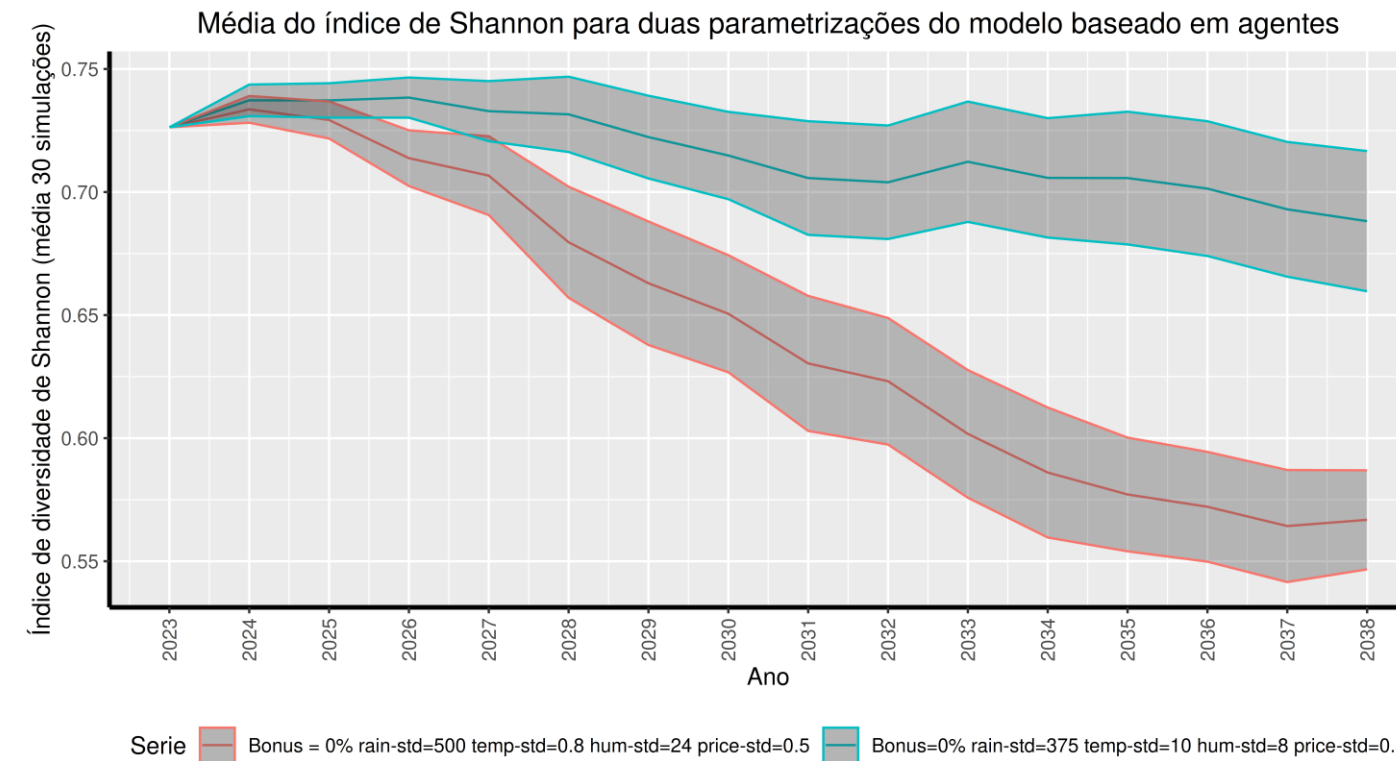
ÍNDICE DE DIVERSIDADE

Avaliação de diferentes cenários

Com Política Pública

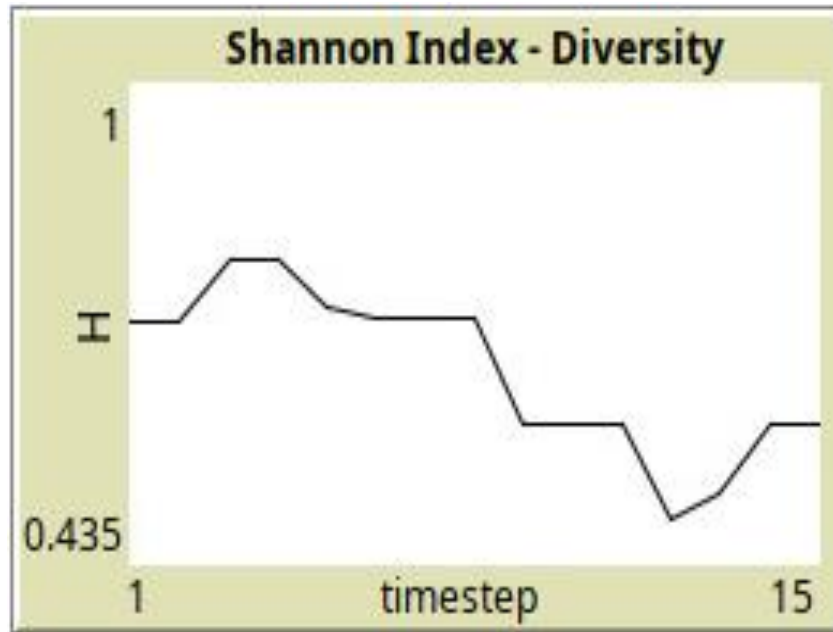


Sem Política Pública



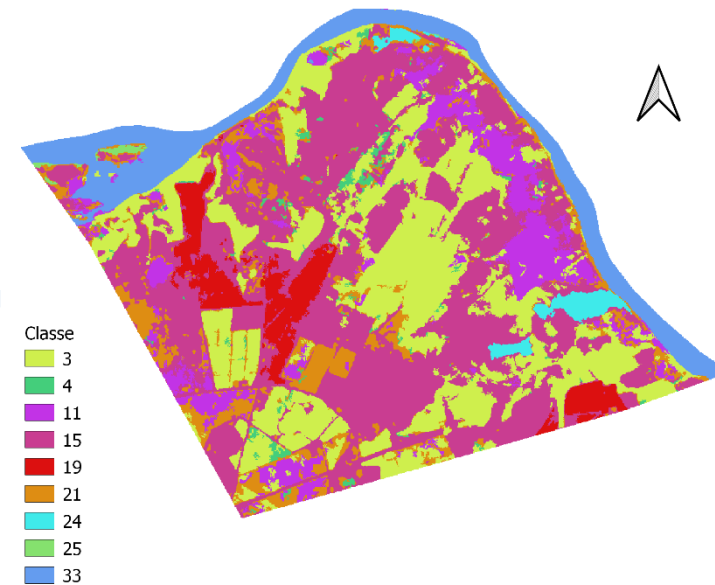
limite de diversidade a partir do qual o proprietário teria direito ao bônus (0.4 e 0.6)
desvio padrão dos parâmetros climáticos:
precipitação (375 e 500),
umidade (8, 16 e 24)
temperatura (0.8 e 10)
bônus (0%, 10%, 20% e 30%)
taxa de variação dos preços dos produtos (0.03 e 0.50).

Validação e calibração (diversidade)



Saída do Modelo

Estimativas IBGE



Projeto de pesquisa e desenvolvimento – Financiamento EMBRAPA

Desenvolvimento de sistema computacional espacial baseado em Inteligência Artificial para simulação do impacto de políticas públicas de incentivo à diversidade da produção agrícola

Acordo de Cooperação Técnica firmado entre Embrapa e SEI/BA
2025-2028

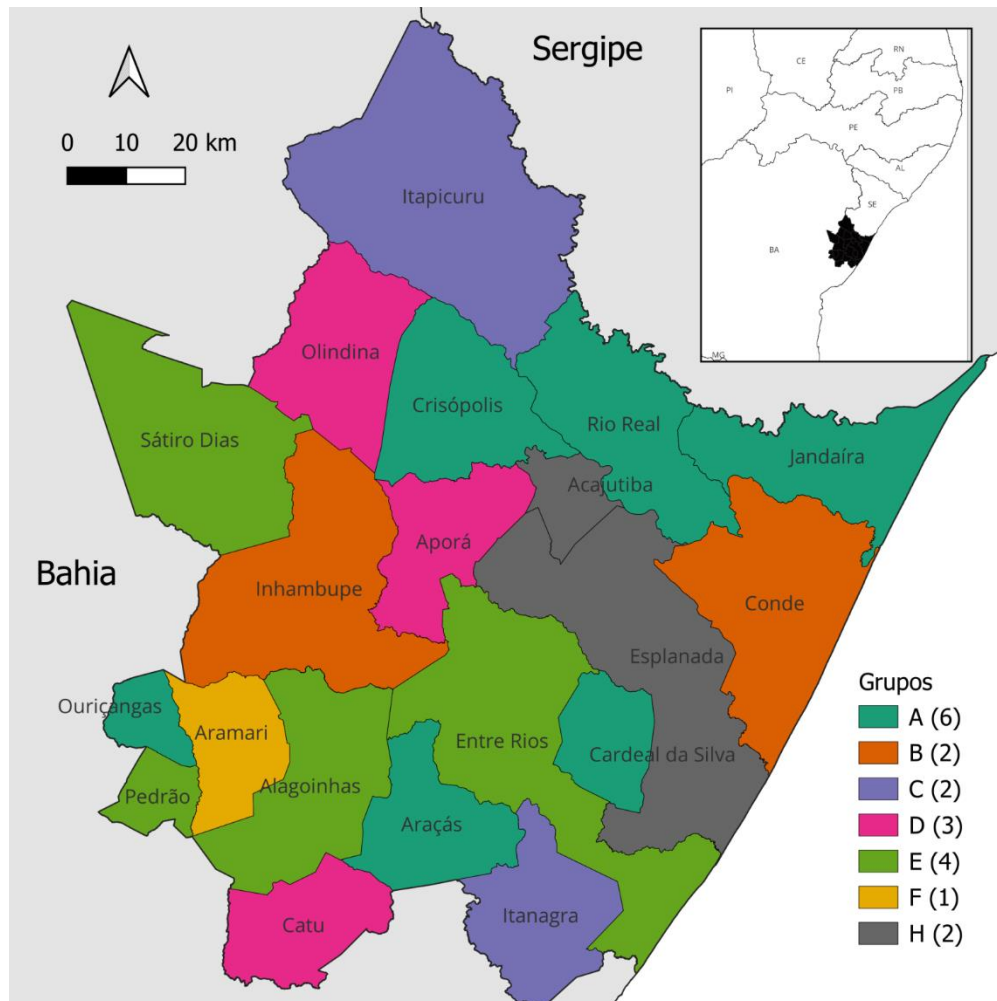


Geopública 2025



SotM BR 2025
STATE OF THE MAP BRASIL

Estudo de caso : o Território de Identidade Litoral Norte e Agreste Baiano



- Território com atuação da Embrapa nas áreas de sistemas de produção de coco e laranja orgânica
- Diferentes padrões de diversidade da produção agropecuária.

Território de Identidade Litoral Norte e Agreste Baiano (TILNAB) como seus vinte municípios agrupados segundo as oito tendências de diversidade estabelecidas por Silva et al. (2022) **IEEE Lat Am T**, v.20, 2022. Quase metade dos municípios estão em grupos (B, E, F e H) com tendência à diminuição da diversidade.

Parceiros



Geopública 2025



SotM BR 2025
STATE OF THE MAP BRASIL

Obrigado pela atenção!

Marcos Aurélio Silva
marcos.santos-silva@embrapa.br



Geopública 2025



SotM BR 2025
STATE OF THE MAP BRASIL