



Núcleo de Meio Ambiente
Universidade Federal do Pará
Rua Augusto Corrêa, 01, Guamá
Belém, Pará, Brasil
<https://periodicos.ufpa.br/index.php/agroecossistemas>

Tassio Koiti Igawa
Universidade Federal do Pará
tassio.igawa@gmail.com

Luciano Jorge Serejo dos Anjos
Universidade Federal Rural da Amazônia
ljsanjios@gmail.com

Peter Mann de Toledo
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
peter.toledo@hotmail.com

MUDANÇAS CLIMÁTICAS E A PRODUÇÃO DE CACAU NO BIOMA AMAZÔNICO BRASILEIRO

RESUMO: No contexto atual, projeções indicam que o setor agrícola é um dos mais vulneráveis aos impactos causados pelas mudanças climáticas. Dessa forma, este trabalho objetivou identificar a relação do cenário atual de adequação edafoclimática com a produção e a produtividade de cacau. Assim como, investigar a adequação edafoclimática em cenários futuros. Para tanto, foi realizada a determinação da correlação entre as variáveis com o uso da fórmula do coeficiente de correlação de Pearson. Os resultados indicaram que existe uma baixa ou nenhuma correlação no cenário atual com a produção e produtividade de cacau e também que haverá grandes perdas de adequação edafoclimáticas nos cenários futuros. Portanto, foi possível concluir que é necessário se realizar medidas que evitem a intensificação das mudanças climáticas como o combate ao desmatamento ilegal no sentido de evitar que os futuros cenários de mudanças climáticas ocorram.

PALAVRAS-CHAVE: Adequação edafoclimática, Agricultura, *Theobroma cacao* L.

CLIMATE CHANGE AND COCOA PRODUCTION IN THE BRAZILIAN AMAZON BIOME

ABSTRACT: In the current context, projections indicate that the agricultural sector is one of the most vulnerable to the impacts caused by climate change. Thus, this work aimed to identify the relationship of the current scenario of edaphoclimatic adequacy with the production and productivity of cocoa. As well as, investigate the edaphoclimatic suitability in future scenarios. For this purpose, the determination of the correlation between the variables was performed using the formula of Pearson's correlation coefficient. The results indicated that there is a low or none correlation in the current scenario with the production and productivity of cocoa. Furthermore, there will be large losses in soil and climate

Recebido em: 2021-03-29
Avaliado em: 2021-10-25
Aceito em: 2021-11-09

suitability in future scenarios. Therefore, it was possible to conclude that it is necessary to take measures to avoid the intensification of climate change, such as combating illegal deforestation in order to prevent future climate change scenarios from occurring.

KEYWORDS: Edaphoclimatic suitability, Agriculture, *Theobroma cacao* L.

CAMBIO CLIMÁTICO Y PRODUCCIÓN DE CACAO EM EL BIOMA DE LA AMAZONIA BRASILEÑA

RESUMEN: En el contexto actual, las proyecciones indican que el sector agrícola es uno de los más vulnerables a los impactos provocados por el cambio climático. Así, este estudio tuvo como objetivo identificar la relación del escenario actual de adecuación edafoclimática con la producción y productividad del cacao. Así como, investigar la idoneidad edafoclimática en escenarios futuros. Para ello, la determinación de la correlación entre las variables se realizó mediante la fórmula del coeficiente de correlación de Pearson. Los resultados indicaron que existe una correlación baja o nula en el escenario actual con la producción y productividad del cacao y también que habrá grandes pérdidas en la idoneidad del suelo y el clima en escenarios futuros. Por tanto, se pudo concluir que es necesario tomar medidas para evitar la intensificación del cambio climático, como combatir la deforestación ilegal para evitar que se presenten escenarios futuros de cambio climático.

PALABRAS CLAVES: Idoneidad edafoclimática, Agricultura, *Theobroma cacao* L.

INTRODUÇÃO

O cacau (*Theobroma cacao* L.) é uma espécie nativa do bioma amazônico, ao qual possui como centro de origem a região noroeste da América do Sul (ZARRILO et al., 2018). De modo geral, essa espécie é cultivada em sistemas agroflorestais por agricultores que possuem pequenas propriedades (VAAST, SOMARRIBA, 2014), com grande parte

da produção de cacau destinada a indústria de chocolate (MENEZES et al., 2016) e de seus derivados como doces de chocolate, chocolate em pó e manteiga de cacau (NURHADI, 2016).

O Brasil é o sétimo maior produtor mundial de cacau (FAO, 2019). Na região do bioma amazônico, os estados do Pará e de Rondônia são o primeiro e o terceiro maior produtores nacionais, respectivamente (IBGE,

2019). Portanto, trata-se de uma cultura extremamente importante para a economia da cadeia produtiva local e que é composta principalmente pela agricultura familiar, representando cerca de 90% das propriedades produtoras de cacau (IBGE, 2017).

No contexto atual, projeções indicam que as mudanças climáticas poderão promover grandes transformações ao qual a humanidade deverá enfrentar até o final do século XXI (SOUZA et al., 2019, FARRELL et al., 2018). Dentre elas, o setor agrícola é um dos mais vulneráveis aos impactos causados por tais alterações do clima (CLAPP; NEWELL; BRENT, 2018). De acordo com os dados da FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), a redução da produção agrícola ficará entre 10 e 25% em 2050 (FAO, 2016). Dessa forma, poderá ocorrer a redução da oferta de alimentos o que causará o aumento da insegurança alimentar, principalmente, nos países com maiores índices de pobreza (ROSEGRANT; TOKGOZ; BHANDARY, 2013). Diante disso, vê-

se que estudos com a finalidade de estimar os eventuais impactos nas cadeias de produção agrícola causadas pelas mudanças climáticas são de grande relevância.

As projeções com a finalidade de prever as mudanças climáticas vêm sendo o foco de diversos estudos devido a importância de se investigar os impactos que essas alterações no clima causarão a humanidade. O *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), na estrutura do *Coupled Model Intercomparison Project Phase 5* (CMIP5) do programa de pesquisa climática global, elaborou um conjunto de cenários futuros com base nas forçantes antropogênicas relacionadas a concentração de gases do efeito estufa denominados de *Representative Concentration Pathways* (RCPs). Nesse sentido, foram criados quatro cenários (RCP2.6, 4.5, 6.0 e 8.5), os quais são caracterizados de acordo com a estimativa das emissões dos gases do efeito estufa. Com isso o cenário RCP2.6 é aquele que possui as alterações climáticas menos intensas,

em contraposição ao cenário RCP8.5 (IPCC, 2013).

O objetivo desse trabalho consistiu em identificar a relação do cenário atual de adequação edafoclimática (grau de adequação das condições climáticas e características dos solos ao pleno desenvolvimento de determinada cultura), e a produção de cacau, assim como, identificar se haverá grandes transformações na adequação edafoclimática em cenários futuros (RCP 4.5 e 8.5) o que poderá indicar impactos negativos a produção de cacau nos municípios do bioma amazônico brasileiro.

MATERIAL E MÉTODOS

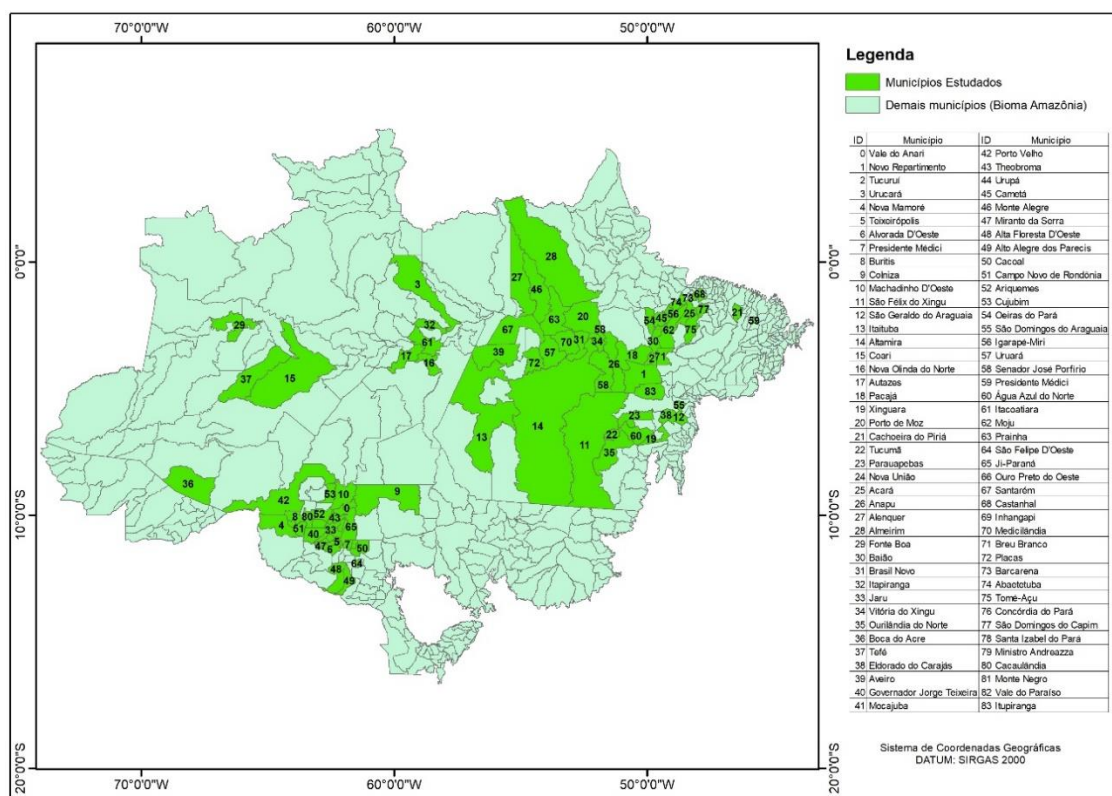
A princípio, foram obtidos dados referentes a adequação edafoclimática do cacau em um trabalho anterior (IGAWA, T.K., 2021). A adequação edafoclimática foi elaborada com o uso dos dados de ocorrência de cacau e a sua relação com as variáveis bioclimáticas por meio de modelos estatísticos (*Classification and Regression Trees* (CTA), *Generalized Boosted Regression* (GBM), *Random*

Forest (RF), *Generalized Linear Models* (GLM), *Generalized Additive Models* (GAM), *Multivariate Adaptive Regression Splines* (MARS), *Flexible Discriminant Analysis* (FDA), *Surface Range Envelope* (SRE), MaxENT e *Artificial Neural Network* (ANN)) com a finalidade de caracterizar a adequação climática. A partir desse procedimento, esses dados foram recortados nas áreas de solos que mais se adequam ao cultivo de cacau para determinar a adequação edafoclimática do cacau no bioma amazônico brasileiro, ou seja, as regiões mais adaptadas do ponto de vista pedológico e climático a plantação de cacau para o cenário atual e futuro (2050). Essa projeção futura para o ano de 2050 foi escolhida por ser um ano ao qual projeções como a da FAO (2017) indicam reduções de 10 a 25% na produção agrícola mundial. Então, este trabalho servirá para investigar se a produção de cacau seguirá a essa mesma tendência. Os cenários climáticos futuros escolhidos foram o RCP 4.5 e 8.5, pois no cenário RCP4.5, se dá com a estabilização da emissão de metano

e um leve aumento de dióxido de carbono até 2040 até atingir 650ppm de CO₂ na segunda metade do século XXI. Já o RCP8.5, é o cenário mais pessimista, caracterizado pelo aumento acentuado da emissão de dióxido de carbono, ao qual considera que ainda ocorrerá a alta dependência dos combustíveis fósseis e que não haverá a implementação de nenhuma política pública efetiva para redução de emissão de gases do efeito estufa (SILVEIRA et al., 2016).

Por fim, a etapa final de coleta de dados ocorreu com a obtenção dos dados referentes a área colhida (ha) e a quantidade produzida (ton.) de cacau no banco de dados da Produção Agrícola Municipal do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) referente ao ano de 2019 para 84 municípios da Amazônia brasileira que estão nas áreas contempladas pela adequação edafoclimática como pode ser visualizado na Figura 1.

Figura 1. Localização dos municípios produtores de cacau das áreas contempladas pela adequação edafoclimática



Fonte: Elaborado pelos autores

A fim de identificar se a adequabilidade edafoclimática influencia na disposição do atual cenário produtivo de cacau e também se os cenários futuros vão transformar a ponto de promover possíveis indicativos de prejuízos a produção de cacau. Foi realizada uma análise de correlação entre a produção e a produtividade com a adequação edafoclimática. Diante disso, foi utilizado o programa RStudio, versão 1.1463, ao qual a linguagem de programação é o R (R CORE TEAM, 2020). Para realizar as análises de correlação dos dados foi utilizada a função 'cor.test' (HOLLANDER; WOLFE, 1973; BEST; ROBERT, 1975). Além disso, os gráficos foram elaborados por meio do uso das bibliotecas 'ggplot2'

(WICKHAM et al., 2020) e 'ggExtra' (ATTALI; BAKER, 2019).

A partir da realização de testes de normalidade, foi possível identificar que os dados de entrada não apresentaram uma distribuição normal, deste modo, a correlação de Pearson foi descartada. Dessa forma, foi escolhida a correlação não paramétrica de Kendall Tau-b, por apresentar 'outliers' nos dados das variáveis analisadas e que, portanto, torna-se mais robusto que a correlação de Spearman (MIOT, 2018). A intensidade de correlação foi classificada de acordo com a Tabela 1, os quais os valores estão expressos em módulo. Por fim, foi elaborado um mapa com a finalidade de identificar a distribuição espacial dos possíveis municípios afetados com as mudanças climáticas.

Tabela 1. Força de correlação.

r	Interpretação
0 - 0.29	Pouca ou nenhuma correlação
0.3 - 0.49	Baixa correlação
0.50 - 0.69	Correlação moderada
0.7 - 0.89	Alta correlação
0.9 - 1	Muito alta correlação

Fonte: ASUERO et al. (2006).

Os municípios caracterizados como afetados pelas alterações do clima futuro são aqueles em que estão em faixas diferentes de adequação edafoclimática no cenário atual.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados indicaram uma relação positiva entre produção (ton.) e adequabilidade (Figura 2A), assim como, entre a produtividade (ton./ha) e adequabilidade edafoclimática (Figura 2B). Porém, indicam baixos valores de r (0,13 com valor de $p=0,05$ e 0,12 com valor de $p=0,12$), o que segundo a interpretação de Asuero et al. (2006), representa pouca ou nenhuma correlação. Isso pode caracterizar que as condições climáticas atuais estão favoráveis ao desenvolvimento pleno do cacau. De acordo com a Figura 2, todos os municípios produtores, os quais estão localizados em área de solos adequados ao cultivo de cacau, possuem adequação acima de 0,8.

A tomada de decisão de implantação do cultivo de qualquer cultura agrônoma necessita de um

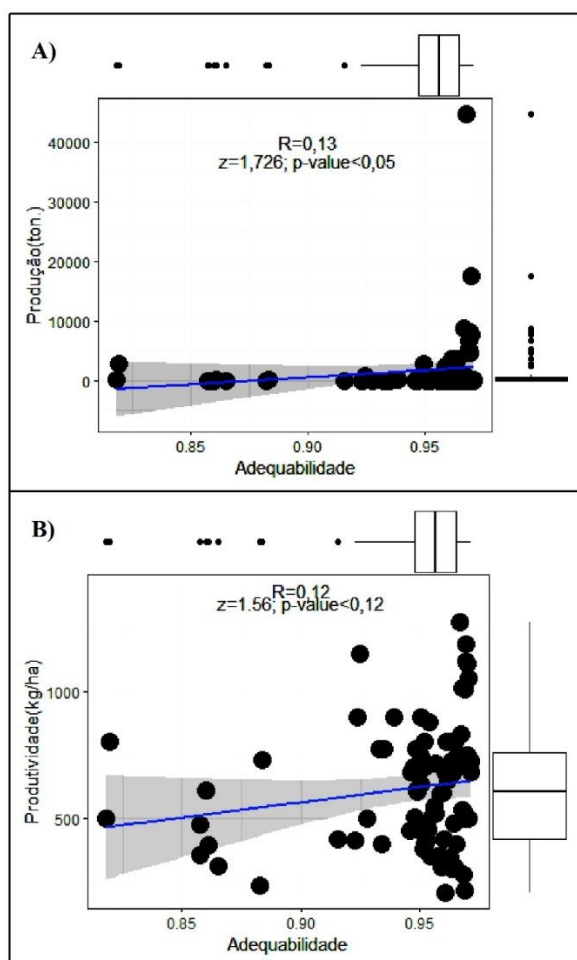
estudo prévio das características edafoclimáticas da propriedade, dessa forma, a influência antrópica na escolha das áreas destinadas ao plantio de cacau é o principal fator que contribuiu para o baixo nível de significância associado à relação da produção e produtividade com a adequabilidade edafoclimática. De acordo com a Figura 2, é possível comprovar o que foi supracitado a partir da observação de que a maior parte dos municípios produtores (68%) estão em locais com adequação edafoclimática acima de 0,95. Além disso, a Figura 2B, indicou que somente nos municípios com adequabilidade acima de 0,9 obtiveram valores de produtividade acima de 1.000kg/ha.

Conforme apresentado na Figura 3, existe uma probabilidade de perda de produtividade de cacau promovidas por alterações no clima ao qual deverão ter reflexo em grandes perdas na adequação edafoclimática. Isso pode ocorrer devido a essas novas condições climáticas serem desfavoráveis ao desenvolvimento do cacau, pois estudos indicam que os

ambientes nos biomas florestais da América do Sul serão mais quentes e secos até o final do século (ANJOS, 2021). Esse indicativo de um ambiente mais quente nas projeções futuras contribuirá para prejudicar o desenvolvimento do cacauero

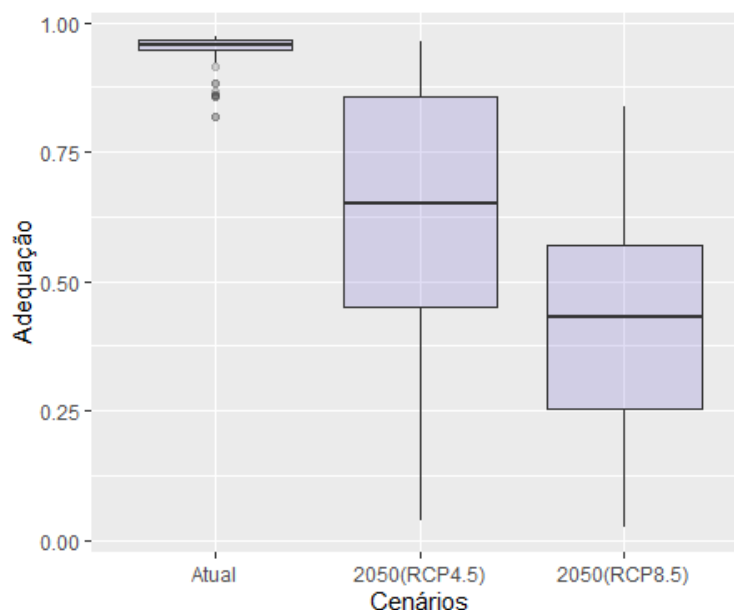
(NIETHER et al., 2018). Tendo em vista, que pode causar indiretamente um maior estresse no processo fisiológico da planta devido à uma maior demanda evapotranspirativa do ar (LÄDERACH et al., 2013).

Figura 2. (A) Relação entre a produção de cacau (toneladas) com a adequabilidade edafoclimática (B) Relação entre a produtividade (kg/ha) com a adequabilidade edafoclimática.



Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 3. Relação da adequação edafoclimática e os cenários atual e futuro (2050 – RCP4.5 e RCP8.5).



Fonte: Elaborado pelos autores.

De acordo com a Figura 4, é possível identificar a distribuição espacial da acentuada redução na adequação edafoclimática com base na alta quantidade de municípios afetados. No cenário RCP4.5, possivelmente 50 municípios analisados serão afetados pelas mudanças climáticas, isso representa 59,5% do total de municípios analisados. Já no cenário RCP8.5, que é considerado o mais pessimista em relação aos cenários de emissão dos gases de efeito estufa, 95% dos municípios serão afetados. Todos esses municípios estão uma faixa

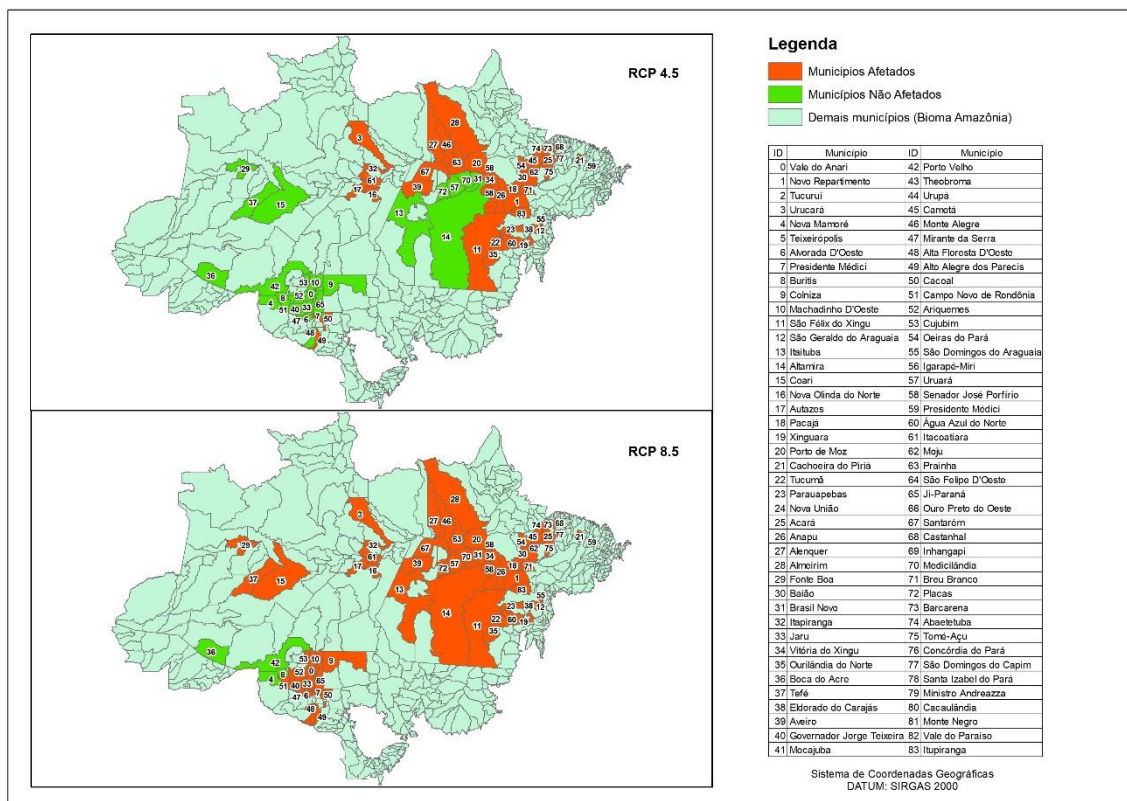
de adequação edafoclimática abaixo a do cenário atual. Portanto, serão afetados em diferentes graus de impacto ao qual dependerá da variabilidade espacial das mudanças no clima.

O cacau é considerado sensível a falta de água (DE ALMEIDA; TEZARA; HERRERA, 2016). Porém, as projeções caracterizam que as mudanças climáticas causarão um ambiente mais seco nos biomas florestais da América do Sul (ANJOS et al., 2021) o que promoverá danos ao desenvolvimento do cacau, devido a elevada demanda

hídrica do cacau, que deve ser superior a 1.400 mm/ano (LAHIVE; HADLEY; DAYMOND, 2018). A escassez hídrica poderá causar um efeito negativo na fisiologia da folha (CARR; LOCKWOOD, 2011). Além disso, a falta de água no solo promove a redução na produção e no crescimento da árvore de cacau

(ALVIM; KOZLOWSKI, 1977), já que as plantas mais jovens são as mais frágeis ao déficit hídrico do que as plantas mais velhas. Portanto, um período prolongado de seca proporcionará um impacto significativo no crescimento do cacau (MOSER et al., 2010).

Figura 4. Distribuição espacial dos municípios afetados com as mudanças climáticas nos cenários futuro (2050 – RCP4.5 e RCP8.5).



Fonte: Elaborado pelos autores

O cacau por ser uma planta nativa de sub-bosque da floresta amazônica (SCHROTH et al., 2004), é tipicamente

cultivado em sistemas agroflorestais (SOMARRIBA et al., 2013). De acordo com Niether et al. (2018), os sistemas

agroflorestais podem amortecer as condições climáticas extremas e reduzir o estresse no cacauero. Tais sistemas poderão promover diversos benefícios em termos ambientais como o aumento da retenção de água e do solo quando comparado com áreas de pastagem aberta, que geralmente possuem solos inclinados (SCHROTH et al., 2016). Além disso, o cultivo de cacau em sistemas agroflorestais também poderá contribuir para o aumento do sequestro de carbono, pois o armazenamento poderá ser de 2,5 vezes mais carbono do que o cacau plantado no sistema de monocultivo, além de contribuir para a redução das temperaturas médias protegendo dos extremos de temperatura (NIETHER, 2020).

Diante do exposto, os sistemas agroflorestais surgem como uma alternativa para o uso sustentável da terra o qual possibilita de forma conjunta a conservação dos recursos e a subsistência da população (WALDRON et al., 2017; TSCHARNTKE et al., 2011; SAJ et al., 2017). Portanto, o cultivo de cacau em sistemas

agroflorestais pode ser considerado como uma medida que proporciona o aumento da resiliência dos sistemas agrícolas às mudanças climáticas (ZOMER et al., 2016).

CONCLUSÃO

Portanto, foi possível concluir que a produção e a produtividade do cacau possuem nenhuma ou pouca correlação com a adequação edafoclimática, o que pode caracterizar que nessas áreas de cultivo de cacau o clima não é um fator limitante. Além disso, foi possível observar que nos cenários futuros a adequação edafoclimática provavelmente irá reduzir drasticamente o que possivelmente fará com que o clima se torne um fator limitante, que poderá trazer prejuízos a produção de cacau em 2050. Dessa forma, vê-se a necessidade de se realizar ações que impeçam o agravamento das mudanças climáticas como o combate ao desmatamento ilegal. Assim como, a implementação de medidas de mitigação às mudanças climáticas como o uso de Sistemas Agroflorestais.

REFERÊNCIAS

- ALVIM, P. de T.; KOZLOWSKI, T.T. **Ecophysiology of tropical crops**. Londres: Academy Press, 1977.
- ANJOS, L. J. S.; SOUZA, E. B. de; AMARAL, C. T.; IGAWA, T. K.; TOLEDO, P. M. de. Future projections for terrestrial biomes indicate widespread warming and moisture reduction in forests up to 2100 in South America. **Global Ecology and Conservation**, v. 25, p. e01441, 2021.
- ASUERO, A. G.; SAYAGO, A.; GONZÁLEZ, A. G. The correlation coefficient: An overview. **Critical Reviews in Analytical Chemistry**, v. 36, n. 1, p. 41–59, 2006.
- ATTALI, D.; BAKER, C. **Package 'ggExtra'. Version 0.9** [software]. 2019. Disponível em: <https://github.com/daattali/ggExtra>. Acesso em: 19 mar. 2021.
- BEST, D. J.; ROBERTS, D. E. Algorithm AS 89: The Upper Tail Probabilities of Spearman's rho. **Applied Statistics**, v.24, p. 377–379, 1975.
- CARR, M. K. V.; LOCKWOOD, G. The water relations and irrigation requirements of cocoa (*Theobroma cacao* L.): A review. **Experimental Agriculture**, v. 47, n. 4, p. 653–676, 2011.
- CLAPP, J.; NEWELL, P.; BRENT, Z. W. The global political economy of climate change, agriculture and food systems. **Journal of Peasant Studies**, v. 45, n. 1, p. 80–88, 2018.
- DE ALMEIDA, J.; TEZARA, W.; HERRERA, A. Physiological responses to drought and experimental water deficit and waterlogging of four clones of cacao (*Theobroma cacao* L.) selected for cultivation in Venezuela. **Agricultural Water Management**, v. 171, p. 80–88, 2016.
- FARRELL, A. D.; RHINEY, K.; EITZINGER, A.; UMAHARAN, P. Climate adaptation in a minor crop species: is the cocoa breeding network prepared for climate change? **Agroecology and Sustainable Food Systems**, v. 42, n. 7, p. 812–833, 2018.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. **Climate is changing. Food and agriculture must too**. 2016. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-i5758e.pdf>. Acesso em: 21 maio 2020.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. **Faostat**. 2019. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/TP>. Acesso em: 08 fev. 2021.
- HOLLANDER, M.; WOLFE, D. A. **Nonparametric Statistical Methods**. New Jersey: John Wiley & Sons, 1975.
- IGAWA, T.K. **Efeitos das mudanças climáticas e do uso da terra no cultivo de cacau no bioma amazônico brasileiro**. Belém, 2021. 96 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2021.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE.

Censo agropecuário. 2017. Disponível em:

<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2017>. Acesso em: 28 ago. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA – IBGE.

Produção agrícola municipal. 2019.

Disponível em:

<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1613>.

Acesso em: 08 fev. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA – IBGE

Produção agrícola municipal. 2019.

Disponível em:

<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1613>.

Acesso em: 08 fev. 2021.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC.

Informações das projeções climáticas.

2013. Disponível em:

https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_all_final.pdf.

Acesso em: 20 jan. 2020.

LÄDERACH, P.; MARTINEZ-VALLE, A.; SCHROTH, G.; CASTRO, N. Predicting the future climatic suitability for cocoa farming of the world's leading producer countries, Ghana and Côte d'Ivoire. **Climatic Change**, v. 119, n. 3–4, p. 841–854, 2013.

LAHIVE, F.; HADLEY, P.; DAYMOND, A. J. The impact of elevated CO₂ and water deficit stress on growth and photosynthesis of juvenile cacao (*Theobroma cacao* L.).

Photosynthetica, v. 56, n. 3, p. 911–920, 2018.

MENEZES, A. G. T.; BATISTA, N. N.; RAMOS, C. L.; SILVA, A. R. de A.; EFRAIM, P.; PINHEIRO, A. C. M.; SCHWAN, R. F. Investigation of chocolate produced from four different Brazilian varieties of cocoa (*Theobroma cacao* L.) inoculated with *Saccharomyces cerevisiae*. **Food Research International**, v. 81, p. 83–90, 2016.

MIOT, H. A. Análise de correlação em estudos clínicos e experimentais.

Jornal Vascular Brasileiro, v. 17, n. 4, p. 275–279, 2018.

MOSER, G.; LEUSCHNER, C.; HERTEL, D.; HÖLSCHER, D.; KÖHLER, M.; LEITNER, D.; MICHALZIK, B.; PRIHASTANTI, E.; TJITROSEMITO, S.; SCHWENDENMANN, L. Response of cocoa trees (*Theobroma cacao*) to a 13-month desiccation period in Sulawesi, Indonesia. **Agroforestry Systems**, v. 79, n. 2, p. 171–187, 2010.

NIETHER, W.; ARMENGOT, L.; ANDRES, C.; SCHNEIDER, M.; GEROLD, G. Shade trees and tree pruning alter throughfall and microclimate in cocoa (*Theobroma cacao* L.) production systems. **Annals of Forest Science**, n. 75, 2018.

NIETHER, W.; JACOBI, J.; BLASER, W. J.; ANDRES, C.; ARMENGOT, L. Cocoa agroforestry systems versus monocultures: a multi-dimensional meta-analysis. **Environmental Research Letters**, v. 15, n. 10, 2020.

NURHADI, E.; HIDAYAT, S. I.; INDAH, P. N.; WIDAYANTI, S. Policy strategies of cocoa for lead up agroindustrial food and drinks in Jember Regency,

Indonesia. **MATEC Web of Conferences**, v. 58, 2016.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Version 4.0.3 [software]. 2020. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 15 out. 2020.

ROSEGRANT, M. W.; TOKGOZ, S.; BHANDARY, P. The new normal? A tighter global agricultural supply and demand relation and its implications for food security. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 95, n. 2, p. 303–309, 2013.

SAJ, S.; DUROT, C.; SAKOUMA, K. M.; GAMO, K. T.; AVANA-TIENTCHEU, M. Contribution of associated trees to long-term species conservation, carbon storage and sustainability: a functional analysis of tree communities in cacao plantations of Central Cameroon. **International Journal of Agricultural Sustainability**, v. 15, n. 3, p. 282–302, 2017.

SCHROTH, G.; FONSECA, G. A. B.; HARVEY, C. A.; GASCON, C.; VASCONCELOS, H. L.; IZAC, A. M. N. **Agroforestry and biodiversity conservation in tropical landscapes**. Washington, DC: Island Press, 2004.

SCHROTH, G.; GARCIA, E.; GRISCOM, B. W.; TEIXEIRA, W. G.; BARROS, L. P. Commodity production as restoration driver in the Brazilian Amazon? Pasture re-agro-forestation with cocoa (*Theobroma cacao*) in southern Pará. **Sustainability Science**, v. 11, n. 2, p. 277–293, 2016.

SILVEIRA, C. DA S.; SOARES FILHO, F. de A. de; MARTINS, E. S. P. R.; OLIVEIRA, J. L.; COSTA, A. C.; NOBREGA, M. T.; SOUZA, S. A. de; SILVA, R. F. V. Mudanças climáticas na bacia do rio São Francisco: Uma análise para precipitação e temperatura. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 21, n. 2, p. 416–428, 2016.

SOMARRIBA, E. CERDA, R.; OROZCO, L.; CIFUENTES, M.; DA VILA, H.; ESPIN, T.; MAVISOY, H.; A´ VILA, G.; ALVARADO, E.; POVEDA, V.; ASTORGA, C.; SAY, E.; DEHEUVELS, O. Carbon stocks and cocoa yields in agroforestry systems of Central America. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 173, p. 46–57, 2013.

SOUZA, T. T. de; ANTOLIN, L. A. S.; BIANCHINI, V. de J. M.; PEREIRA, R. A. de A.; SILVA, E. H. F. M.; MARIN, F. R. Longer crop cycle lengths could offset the negative effects of climate change on brazilian maize. **Agrometeorology**, v. 78, n. 4, p. 622–631, 2019.

TSCHARNTKE, T.; CLOUGH, Y.; BHAGWAT, S. A.; BUCHORI, D.; FAUST, H.; HERTEL, D.; HÖLSCHER, D.; JUHRBANDT, J.; KESSLER, M.; PERFECTO, I.; SCHERBER, C.; SCHROTH, G.; VELDKAMP, E.; WANGER, T. C. Multifunctional shade-tree management in tropical agroforestry landscapes - A review. **Journal of Applied Ecology**, v. 48, n. 3, p. 619–629, 2011.

VAAST, P.; SOMARRIBA, E. Trade-offs between crop intensification and ecosystem services: the role of

agroforestry in cocoa cultivation.

Agroforestry Systems, v. 88, n. 6, p. 947–956, 2014.

WALDRON, A.; GARRITY, D.; MALHI, Y.; GIRARDIN, C.; MILLER, D. C.; SEDDON, N. Agroforestry Can Enhance Food Security While Meeting Other Sustainable Development Goals. **Tropical Conservation Science**, v. 10, p. 1–6, 2017.

WICKHAM, H.; CHANG, W.; HENRY, L.; PEDERSEN, T. L.; TAKAHASHI, K.; WILKE, C.; WOO, K.; YUTANI, H.; DUNNINGTON, D. **Package 'ggplot2'. Version 3.3.3** [software]. 2020.

Disponível em:

<https://github.com/tidyverse/ggplot2>.

Acesso em: 19 mar. 2021.

ZARRILLO, S.; GAIKWAD, N.; LANAUD, C.; POWIS, T.; VIOT, C.; LESUR, I.; FOUET, O.; ARGOUT, X.; GUICHOUX, E.; SALIN, F.; SOLORZANO, R. L.; BOUCHEZ, O.; VIGNES, H.; SEVERTS, P.; HURTADO, J.; YEPEZ, A.; GRIVETTI, L.; BLAKE, M.; VALDEZ, F. The use and domestication of *Theobroma cacao* during the mid-Holocene in the upper Amazon. **Nature Ecology and Evolution**, v. 2, n. 12, p. 1879–1888, 2018.

ZOMER, R. J.; NEUFELDT, H.; XU, J.; AHRENDTS, A.; BOSSIO, D.; TRABUCCO, A.; NOORDWIJK, M.; WANG, M. Global tree cover and biomass carbon on agricultural land: the contribution of agroforestry to global and national carbon budgets. **Scientific Reports**, v. 6, n. July, p. 1–12, 2016.