

**APLICAÇÃO DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS NA OBTENÇÃO DOS PADRÕES DE CLIMA E CULTURA DE MANDIOCA NA MESORREGIÃO DO NORDESTE PARAENSE**

**APPLICATION OF THE ANALYSIS OF MAIN COMPONENTS IN OBTAINING CLIMATE AND CASSAVA CULTURE PATTERNS IN THE MESOREGION OF THE NORTHEAST OF PARÁ**

**APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES EN LA OBTENCIÓN DE PATRONES DE CULTIVO DE CLIMA Y YUCA EN LA MESOREGIÓN DEL NORDESTE DE PARÁ**

Ilale Ferreira Lima<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0001-5342-2950>

Maria Isabel Vitorino<sup>2</sup> <https://orcid.org/0000-0003-3253-5301>

Layse Gomes Furtado<sup>3</sup> <https://orcid.org/0000-0002-2442-0945>

**RESUMO**

Compreender como os padrões espaciais e temporais do clima podem influenciar, ou até mesmo modular o rendimento de culturas agrícolas, se torna essencial nas atividades da agricultura e que no Brasil possui não só importância econômica, mas também socioambiental. A mandioca, por se tratar de uma lavoura que no geral é sem irrigação, depende exclusivamente da disponibilidade das chuvas para suprir suas necessidades hídricas. Assim o presente trabalho busca estabelecer, padrões espaciais de correlação entre a precipitação, o rendimento da mandioca e a área plantada da cultura, durante o período de 2000 a 2019, através da ferramenta estatística Análise Multivariada das Componentes Principais (ACP), conhecida também como Funções Ortogonais Empíricas (FOE) que têm sido muito aplicadas a estudos climáticos, ambientais e meteorológicos. A ACP mostrou-se eficiente para tal objetivo, de modo que nos experimentos realizados as três primeiras CP conseguiram explicar até 70% da variância total dos dados, revelando altas correlações entre a precipitação e rendimento na porção norte do Nordeste Paraense a partir de 2010. Além disso, foram observados outros padrões de correlações entre o rendimento e área plantada.

**Palavras-chave:** Componentes principais. Precipitação. Amazônia.

**ABSTRACT**

Understand in how spatial and temporal Weather patterns can influence, or even modulate the yield of agricultural crops, becomes essential in agricultural activities and that in Brazil it has not only economic, but also socio-environmental importance. Cassava, being a crop that in general is without irrigation, depends exclusively on the availability of rainfall to supply its water needs. Thus, the

<sup>1</sup> Bacharel em Meteorologia (UFPA) e Mestre em Ciências Ambientais – PPGCA/UFPA. E-mail: [hilalebrades@hotmail.com](mailto:hilalebrades@hotmail.com)

<sup>2</sup> Doutora em Meteorologia - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Professora Associada dos cursos de Graduação em Meteorologia e do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará. E-mail: [vitorino@ufpa.br](mailto:vitorino@ufpa.br)

<sup>3</sup> Doutoranda em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará. E-mail: [layse.furtadog@gmail.com](mailto:layse.furtadog@gmail.com)

present work seeks to establish spatial patterns of correlation between precipitation, cassava yield and the planted area of the crop, during the period from 2000 to 2019, through the statistical tool Principal Components Multivariate Analysis (PCA), also known as Empirical Orthogonal Functions (FOE) that have been widely applied to climatic, environmental and meteorological studies. The PCA proved to be efficient for this purpose, so that in the experiments carried out, the first three PCs were able to explain up to 70% of the total variance of the data, revealing high correlations between precipitation and yield in the Northern portion of the Northeast of Pará as of 2010. In addition, other patterns of correlations were observed between yield and planted area.

**Keywords:** Principal components. Rainfall. Amazon.

---

## RESUMEN

Comprender cómo los patrones espaciales y temporales del clima pueden influir, o incluso modular, el rendimiento de los cultivos agrícolas, se vuelve esencial en las actividades agrícolas y que en Brasil tiene importancia no solo económica, sino también socioambiental. La yuca, por ser un cultivo generalmente sin riego, depende exclusivamente de la disponibilidad de lluvia para cubrir sus necesidades hídricas. Así, el presente trabajo busca establecer patrones espaciales de correlación entre la precipitación, el rendimiento de yuca y la superficie sembrada del cultivo, durante el período 2000 a 2019, a través de la herramienta estadística Análisis Multivariado de Componentes Principales (PCA), también conocida como Funciones Ortogonales Empíricas. (FOE) que se han aplicado ampliamente a los estudios climáticos, ambientales y meteorológicos. El PCA demostró ser eficiente para este propósito, de modo que en los experimentos realizados, los tres primeros CP pudieron explicar hasta el 70% de la varianza total de los datos, revelando altas correlaciones entre la precipitación y el rendimiento en la porción norte del Nordeste de Pará desde 2010. Además, se observaron otros patrones de correlaciones entre rendimiento y área sembrada.

**Palabras clave:** Componentes principales. Precipitación. Amazonas.

---

## INTRODUÇÃO

A mandioca (*Manihot esculenta Crantz*) é um dos alimentos mundialmente mais consumidos e constitui uma das principais fontes econômicas de carboidratos principalmente nos trópicos, onde o cultivo ocorre em maior escala e intensidade e destaca-se pela sua rusticidade e grande capacidade de adaptação a condições desfavoráveis de clima e solo, além de sua multiplicidade de usos, desempenhando papel importante na alimentação humana e animal e na indústria de processamento de farinha e fécula seja para consumo humano, animal ou industrial (ALBUQUERQUE et al., 2008; CONAB, 2017).

O Brasil contribui com aproximadamente 15% da produção mundial, destacando-se como o segundo maior produtor mundial, atrás apenas da Nigéria (FAO, 2013). A contribuição da mandioca se encontra, principalmente, na alimentação das populações de baixa renda, em que mais de 700 milhões de pessoas recebem de 200 a 1.000 calorias diárias fornecidas por essa cultura. Ainda com relação à área colhida, em 2013, em ordem

decrecente, têm-se os dez principais países, em mil hectares: Nigéria (3.850); República Democrática do Congo (2.200); Brasil (1.525); Tailândia (1.385); Angola (1.167); Indonésia (1.065); Tanzânia (950); Gana (870); Vietnã (544); Serra Leoa (510.00). Esses países responderam, em 2013, por 69,16% de toda a área colhida (FAO, 2014).

A Amazônia é região do mundo onde a mandioca apresenta o maior número de formas de aproveitamento ou utilização (ALBUQUERQUE et al., 2008). Praticamente toda a produção de raízes de mandioca do Pará (mais de 90%) é consumida na forma tradicional de farinha de mesa, representando assim um dos principais componentes da dieta alimentar da população (SANTANA; AMIN, 2002; MODESTO JÚNIOR; ALVES, 2015). O Estado detém 60,66% das áreas cultivadas da Região Norte e conseqüentemente responde por 56,96% da produção de mandioca da Região. Entretanto, esses números não são sinônimos de eficiência produtiva, haja vista, sua produtividade ser baixa, em torno de 14.347,90 t/ha, abaixo da média nacional de 14.641,78 t/ha. (EMBRAPA, 2018).

Nesse contexto, entender como os padrões espaciais e temporais do clima podem influenciar, ou até mesmo modular o rendimento de culturas agrícolas, se torna essencial nas atividades da agricultura e que no Brasil possui não só importância econômica, mas também socioambiental (MANOSSO, 2005; SOUZA et al., 2017). A mandioca, por se tratar de uma lavoura que no geral é sem irrigação, depende exclusivamente da disponibilidade das chuvas para suprir suas necessidades hídricas (DIAS; MARTINEZ, 1986). Ainda neste sentido, haja vista os cenários das mudanças climáticas com redução de precipitação para a Amazônia em função do crescente aumento do desmatamento local pode afetar a produção da subsistência alimentar nacional (ALMEIDA et al., 2017).

Dessa maneira, torna-se fundamental compreender como o clima pode interferir no rendimento da mandioca no Nordeste Paraense. Assim o presente trabalho busca estabelecer, padrões espaciais de correlação entre a precipitação, o rendimento da mandioca e a área plantada da cultura, durante o período de 2000 a 2019.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

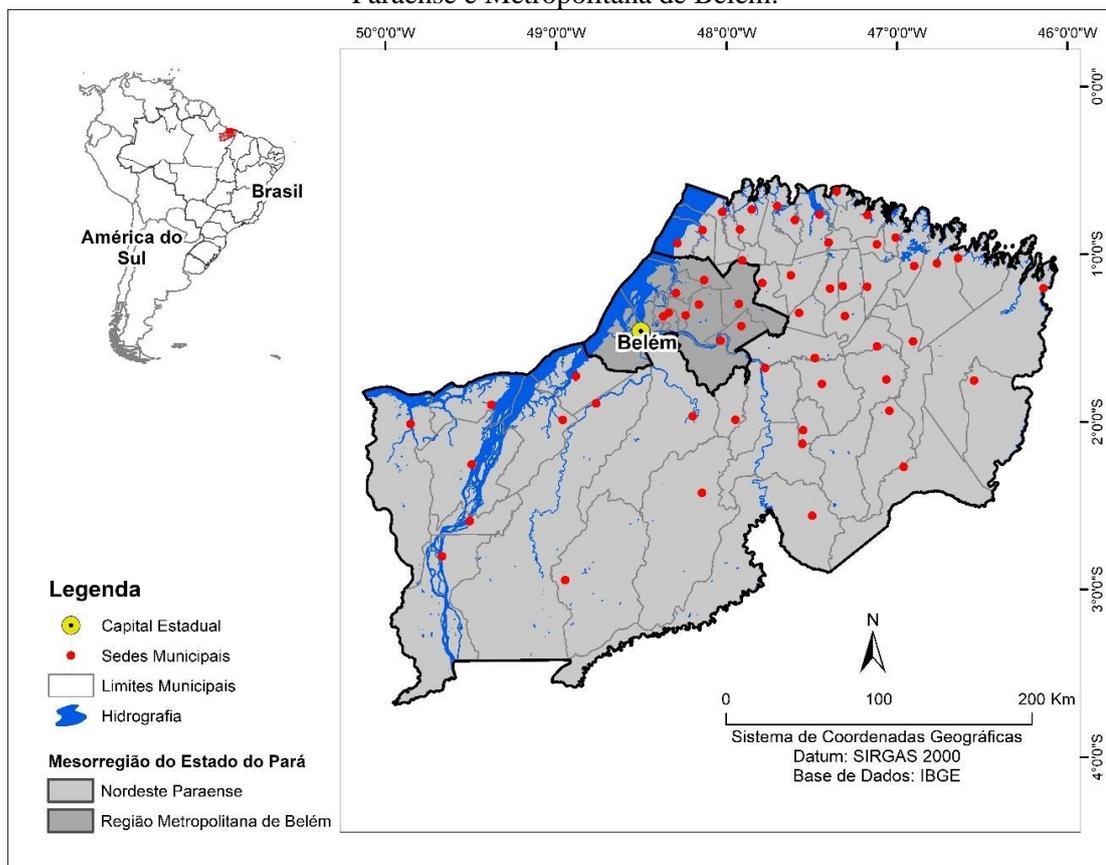
### **Área de estudo**

A mesorregião do Nordeste Paraense apresenta uma densa malha rodoviária, tendo como eixos principais as rodovias BR-316 (Pará – Maranhão), BR-010 (Belém-Brasília) e a BR-222, e eixos secundários, com várias rodovias estaduais, como a PA-252, PA253, PA-140, entre outras. Esta mesorregião é a mais antiga fronteira de colonização do estado do Pará

e abrange uma área de 83.316,02 km<sup>2</sup>. A formação étnica e cultural predominante do Nordeste Paraense é de indígenas, negros e portugueses, e possui grande influência da cultura nordestina em decorrência do fluxo migratório (BARBOSA et al., 2011). A maior parte de sua vegetação original já foi devastada ou fortemente alterada (CORDEIRO; ARBAGE; SCHWARTZ, 2017), pois está situada no arco do suposto desenvolvimento, iniciado com as transformações dos anos 60. A antropização se acelerou a partir do desmatamento para a construção da rodovia Belém-Brasília. A política nacional tinha por meta promover contingentes populacionais na Amazônia.

A infraestrutura existente na mesorregião, principalmente com relação à sua malha rodoviária e sua bacia hidroviária, favorece o escoamento dos produtos de pesca, agricultura, fruticultura, cadeia produtiva da mandioca, feijão-caupi, mineração, turismo, pecuária, produção de leite e derivados, assim como, chamado cultivo florestal e indústria cerâmica (SEIR, 2011). Os variados tipos de agricultores nessa mesorregião adotam diversos sistemas e subsistemas produtivos que, no geral, desenvolvem suas atividades apenas com a mão de obra familiar (agricultura familiar) (CORDEIRO; ARBAGE; SCHWARTZ, 2017). O desmatamento na região é outra questão preocupante, posto que em março de 2010 do desmatamento ocorrido em toda Amazônia Legal, 45% se deu no Pará, dentre os quais o município de Rondon do Pará ocupa o 8º lugar e Tomé-Açu o 9º lugar no ranking de municípios que mais desmataram, de acordo com o IMAZON (2010, 2011) (Figura 1).

**Figura 1** - Área de estudo, com localização das sedes municipais da mesorregião do Nordeste Paraense e Metropolitana de Belém.



Fonte - autores (2021)

## Dados

Como forma de caracterizar a precipitação espacialmente e temporalmente, foram utilizados produtos do conjunto de dados CHIRPS e para a extração e processamento desses dados, foi utilizado o software Grads. Os dados utilizados para essa análise são dos anos entre 2000 e 2019, para as Mesorregiões do Nordeste Paraense (NDP). A fim de se obter apenas um valor de precipitação que representasse toda a área, realizou-se a média de todos os pontos que o CHIRPS fornece dentro da região, de modo que essa média representasse um único valor para o município.

Foram utilizadas tabelas de Produção Agrícola Municipal (tabela nº 1612), disponibilizadas pelo IBGE através do Sistema de Recuperação Automática Sidra - IBGE ([www.sidra.ibge.gov.br](http://www.sidra.ibge.gov.br)), como fonte de dados agrícolas da mandioca. Utilizou-se o rendimento médio e área plantada da cultura dos municípios do NDP, para os anos de 2000 a 2019, desconsiderando os municípios da mesorregião Metropolitana de Belém (Ananindeua, Belém, Benevides, Marituba, Santa Bárbara do Pará e Santa Izabel do Pará) e Maracanã que

apresentaram ausência de dados em alguns anos, totalizando informações em 53 pontos (municípios).

Além disso, como forma de analisar o tipo de solo da região de estudo, foi gerado o mapa de pedologia, com informações provenientes do banco de dados do IBGE e MMA (Ministério do Meio Ambiente).

## Metodologia

A principal ferramenta estatística utilizada foi a Análise Multivariada das Componentes Principais (CP), conhecida também como Funções Ortogonais Empíricas (FOE) que têm sido muito aplicadas a estudos climáticos, ambientais e meteorológicos (LORENZ, 1956; AMANAJÁS; BRAGA, 2012; SANTOS et al., 2016; MOURA; VITORINO; ADAMI, 2018). Estudos usando FOE aplicam-se às diversas escalas espaciais e temporais (KIDSON, 1975; HARDY; WALTON, 1978; DIAZ; FULBRIGHT, 1981).

O uso dessas funções ou componentes se constitui numa ferramenta importante para a análise de uma quantidade grande de dados, proporcionando também uma interpretação rápida deles, através dos modos espaciais e temporais significativos (autovetores e autovalores), indicando regiões homogêneas. Em resumo, o tratamento matemático da FOE consiste em determinar uma transformação linear  $T$  gerada a partir de uma matriz de dados originais  $X$ , de modo que  $T$  retenha a máxima variância de  $X$ .

Foram realizados experimentos entre as variáveis para identificar qual deles representaria melhor o estudo. Dois foram assumidos: Experimento 1 que teve como finalidade estabelecer os padrões mais representativos da correlação existente entre a precipitação e o rendimento de mandioca e o Experimento 2 que forneceu o padrão de correlação entre rendimento médio e área plantada de mandioca, ambos de forma espacial e temporal.

A partir dos valores das variáveis já normalizados, no Experimento 1, a matriz foi formada com o tempo em anos ( $N$ ) disposto em linhas, e as variáveis precipitação e rendimento dispostas em 106 colunas, já que o experimento é composto por duas variáveis (precipitação e rendimento) e 53 municípios. No experimento 2, a configuração da matriz ficou disposta da mesma maneira, modificando apenas as variáveis do experimento. É importante destacar que, foram utilizadas para análise, somente a quantidade de CP que explicam a partir de 70% dos dados originais e nos dois Experimentos essa porcentagem alcançou as três primeiras CP.

Consideremos uma série de  $N$  pontos nos tempos  $t=1\dots N$ , onde cada ponto contém medições do campo  $\psi$  nas posições  $m=1\dots M$ , isto é, temos  $M$  séries de tempo  $\psi_m(t)$ , tendo cada uma com um comprimento  $N$ . O primeiro e o último tempo ( $t=1$  e  $t=N$ ) devem ser os mesmos para todas as  $M$  séries. Primeiramente removemos em cada uma das séries de tempo os seus valores médios,  $\mu_m$ , e em seguida normalizamos as séries de tempo dividindo cada uma delas pelo seu desvio padrão  $\sigma_m$ . A partir de uma matriz  $X$ , calcula-se a matriz de correlação e covariância  $S$ , normalizando-se a matriz  $X$  com média zero e variância um. A matriz  $S$  é obtida da seguinte forma:

$$S = 1/N(X \cdot X^T)$$

Onde  $X$  é a matriz de anomalia,  $X^T$  matriz transposta e  $N$  o total de casos no tempo, sendo que  $X^T X = X \cdot X^T$ . A matriz  $S$  é uma matriz simétrica quadrática e é diagonalizável por uma matriz ortogonal  $A$ , ou seja, a matriz de autovetores. A partir desta matriz, obtém-se os autovalores e autovetores, pelo método de variância máxima.

O cálculo pode ser expresso do seguinte modo:  $\det |S - \lambda I| = 0$ ;  $S \cdot a_i = \lambda_i \cdot I$ , onde  $a_i$  é o  $i$ ésimo autovetor,  $\lambda_i$  é o  $i$ ésimo autovalor e  $I$  a matriz identidade. Por último, é feito o cálculo dos coeficientes de expansão temporal ou componentes principais (CP), obtidos da relação entre a matriz da série temporal ( $X$ ) e da matriz de autovetor ( $A$ ):  $CP = X \cdot A$ .

Os valores dos autovetores foram interpolados através do método Inverse Distance Weighted (IDW) que indica um valor para algum local que não há medição ou informação utilizando-se os valores que existem em suas proximidades e que terão maior peso do que os valores mais distantes, ou seja, cada ponto possui uma influência no novo ponto, que diminui na medida em que a distância aumenta (BARTIER; KELLER, 1996). Assim, a influência de cada ponto é proporcional ao inverso da distância do ponto na grade.

O sistema IDW pode ser caracterizado como um interpolador tanto atenuador quanto exato, do tipo global, razoavelmente fiel aos dados amostrados, com rápida velocidade de processamento e que não estima valores do ponto vizinho amostrado maiores ou menores que os quantitativos máximos e mínimos dos dados informados (GOMES et al., 2018).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Padrões de Precipitação e Rendimento de Mandioca

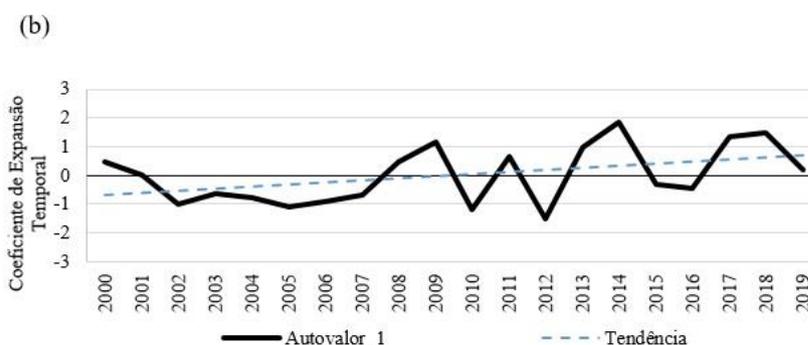
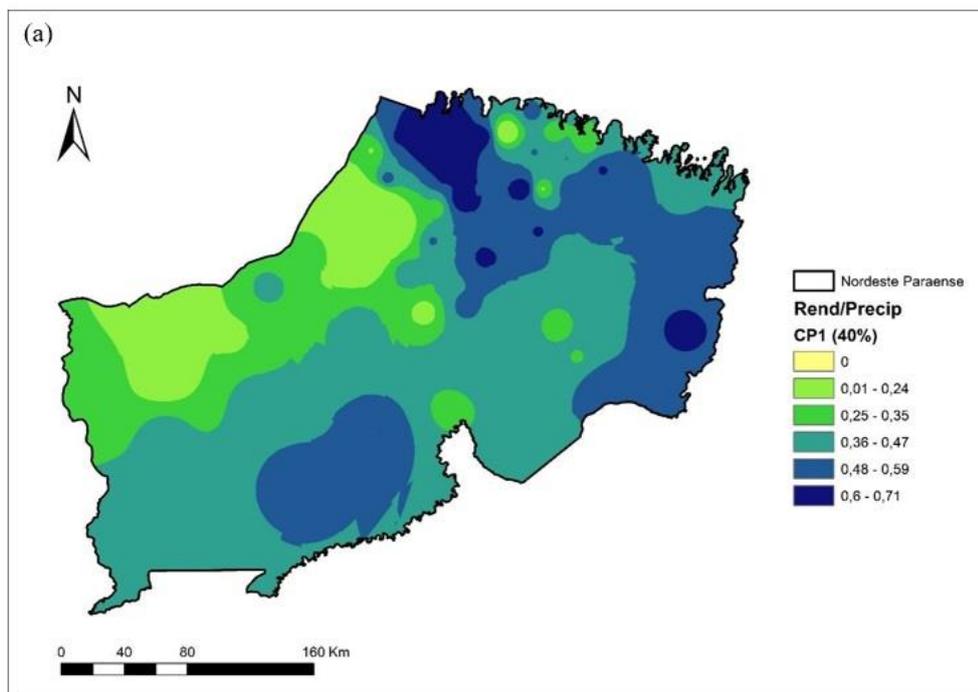
Os três primeiros modos das CP do rendimento médio da mandioca (Rend) e da precipitação (Precip) explicam 70% da variância total dos dados. Pode ser observado na Figura 2 (a,b) que a CP1 explica 40% da variância total dos dados, com maiores correlações positivas (maior 0,6) a nordeste da região, com tendência de aumento a partir de 2010. Estas correlações indicam que quando aumenta a precipitação, aumenta o rendimento. Estas áreas são de frequentes atuações dos sistemas meteorológicos precipitantes, como a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e a Linhas de Instabilidade (LI) (MOURA; VITORINO, 2012; COHEN; DIAS; NOBRE, 1995).

A Figura 2 (b) expõe a tendência de aumento das correlações na série durante todo o período, visto que a primeira e segunda década a maior frequência é de correlações negativas e positivas, respectivamente. Dessa forma, os menores valores na primeira década, são representados pela região com menores correlações (tons em verde) e já a segunda década pela região com as correlações de maior magnitude (tons em azul).

O ano de 2012 se destaca por apresentar magnitude menor (-1,5) e pode estar associado ao fato de que nesse ano, as chuvas apresentaram volume abaixo da média, por influência dos oceanos adjacentes (RONCHAIL et al., 2002; ZENG et al., 2008; MOURA; VITORINO; ADAMI, 2018) que também pode ser observado na Figura 2.

Já o ano de 2014, revelou a maior correlação da série (1,9), ano em que o oceano Atlântico apresentou anomalias de TSM negativas, favorecendo o deslocamento para o sul da Zona de Convergência Intertropical, logo, contribuindo significativamente com o quantitativo de chuvas (ARAÚJO et al., 2013). Além do mais, nesse mesmo ano, o rendimento de mandioca apresentou valores altíssimos para a região, já que no período entre 2010 e 2013, o Estado do Pará foi o mais financiado com crédito do Fundo Constitucional de Financiamento do Norte (FNO) para a atividade de mandiocultura (MODESTO JÚNIOR; ALVES, 2016).

**Figura 2** - Padrão da relação entre precipitação e rendimento na distribuição espacial e temporal do primeiro modo (CP1): Autovetor (a) e Autovalor (b), respectivamente.



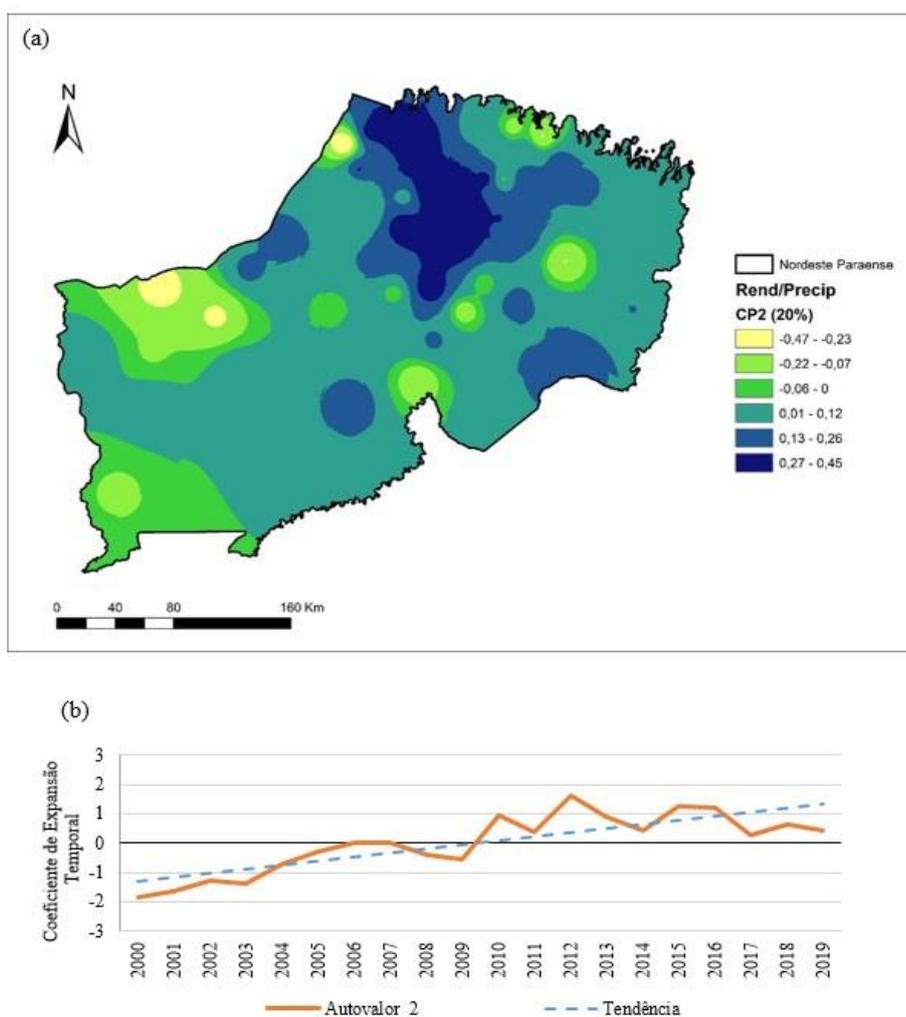
Fonte - autores (2021)

Na Figura 3 (a,b), a CP2 representa 20% de explicação da variância total dos dados. Neste modo, existem correlações negativas (inferiores a -0,4), nas quais no primeiro modo não aparecem. Estas, por sua vez, se encontram na porção oeste e oeste-sul. As correlações negativas indicam que à proporção que diminui a precipitação, o rendimento aumenta. A região destacada abrange municípios como Baião, Cametá, Igarapé-Miri e Limoeiro do Ajuru, possui grande variação de produtividade na raiz de mandioca, da qual é justificada por Modesto Júnior e Alves (2020) pelo fato de que a maioria dos agricultores familiares não fazer seleção do material de propagação, não realizar o controle eficiente de plantas daninhas

e nem adotarem espaçamentos adequados, neste caso, independente do clima, pelas práticas citadas, o rendimento da cultura tende a ser baixo.

Destaca-se a porção mais ao norte (tons em azul), com correlações positivas (superior a 0,4), que indica, assim como no primeiro modo: quanto maior o volume de precipitação, maior o rendimento de mandioca, com tendência de aumento em todo o período e picos nos anos de 2010 e 2012. Essa característica da precipitação na região é influenciada pelo favorecimento da umidade transportada de nordeste para a região, através dos ventos alísios que contribuem para os altos volumes de chuvas (SANTOS et al., 2017).

**Figura 3** - Padrão da relação entre precipitação e rendimento na distribuição espacial e temporal do segundo modo (CP2): Autovetor (a) e Autovalor (b), respectivamente.



Fonte - autores (2021)

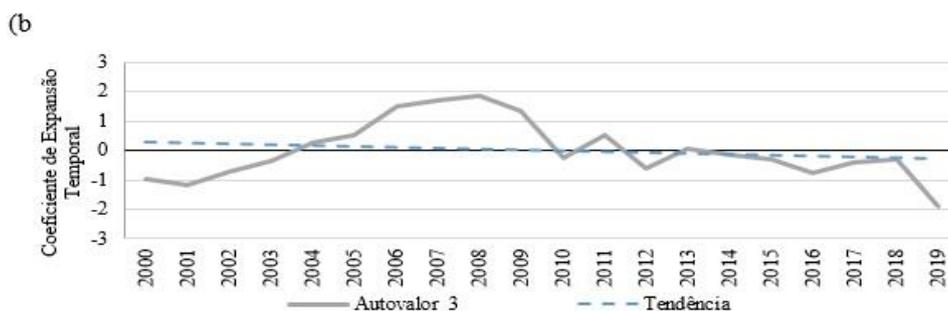
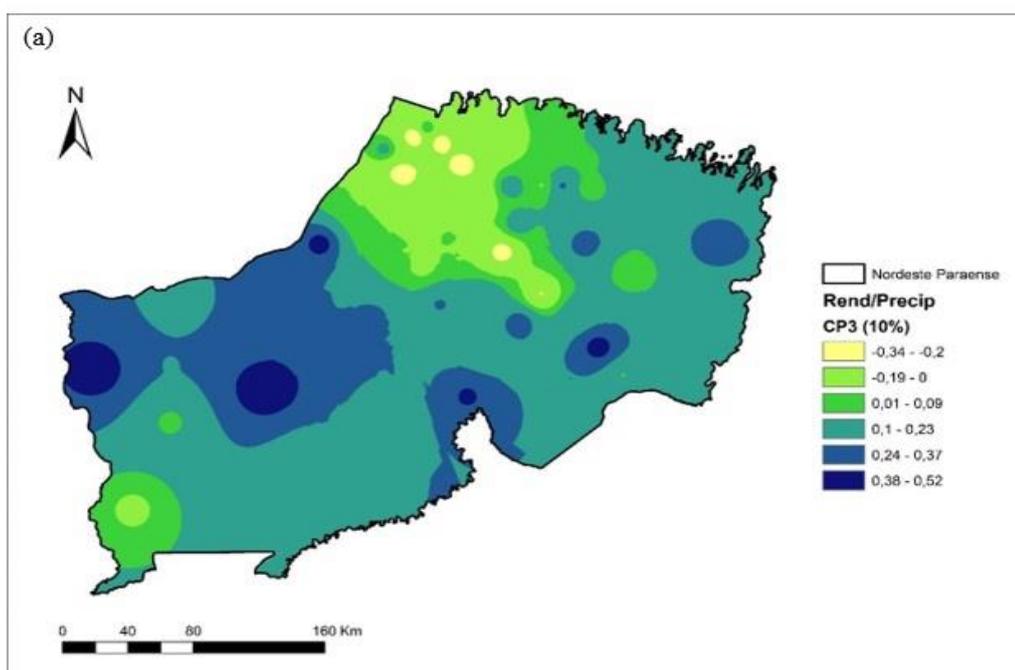
Na Figura 4 (a,b) é apresentado a CP3, o terceiro modo do padrão espacial, que explica 10% da variância total dos dados e mostra um padrão invertido, em relação as outras

CP. Na região mais ao norte, próximo ao litoral, a correlação é negativa, inferior a -0,3, com tendência de diminuição a partir de 2010. Sendo assim, nesse modo, de acordo com o aumento da precipitação ocorre diminuição do rendimento.

A porção oeste apresenta correlações positivas que chegam a serem maiores que 0,5, onde além do alto volume de precipitação, há valores altos de rendimento. Nessa região se encontra o município Acará que no período estudado, possui um dos maiores valores de rendimento (SOUZA et al., 2017; ALVES; MODESTO JÚNIOR, 2020).

Neste terceiro modo existe uma tênue tendência de diminuição, de maneira geral, com menor amplitude, se comparada às CP1 e CP2, o que corrobora com o padrão espacial, já que ocorre a inversão do padrão de correlação. Nesta CP, as correlações encontradas, que possuem 10% de representatividade, ocorrem com menor frequência dentro da amostra.

**Figura 4** - Padrão da relação entre precipitação e rendimento na distribuição espacial e temporal do terceiro modo (CP3): Autovetor (a) e Autovalor (b), respectivamente.



Fonte - autores (2021)

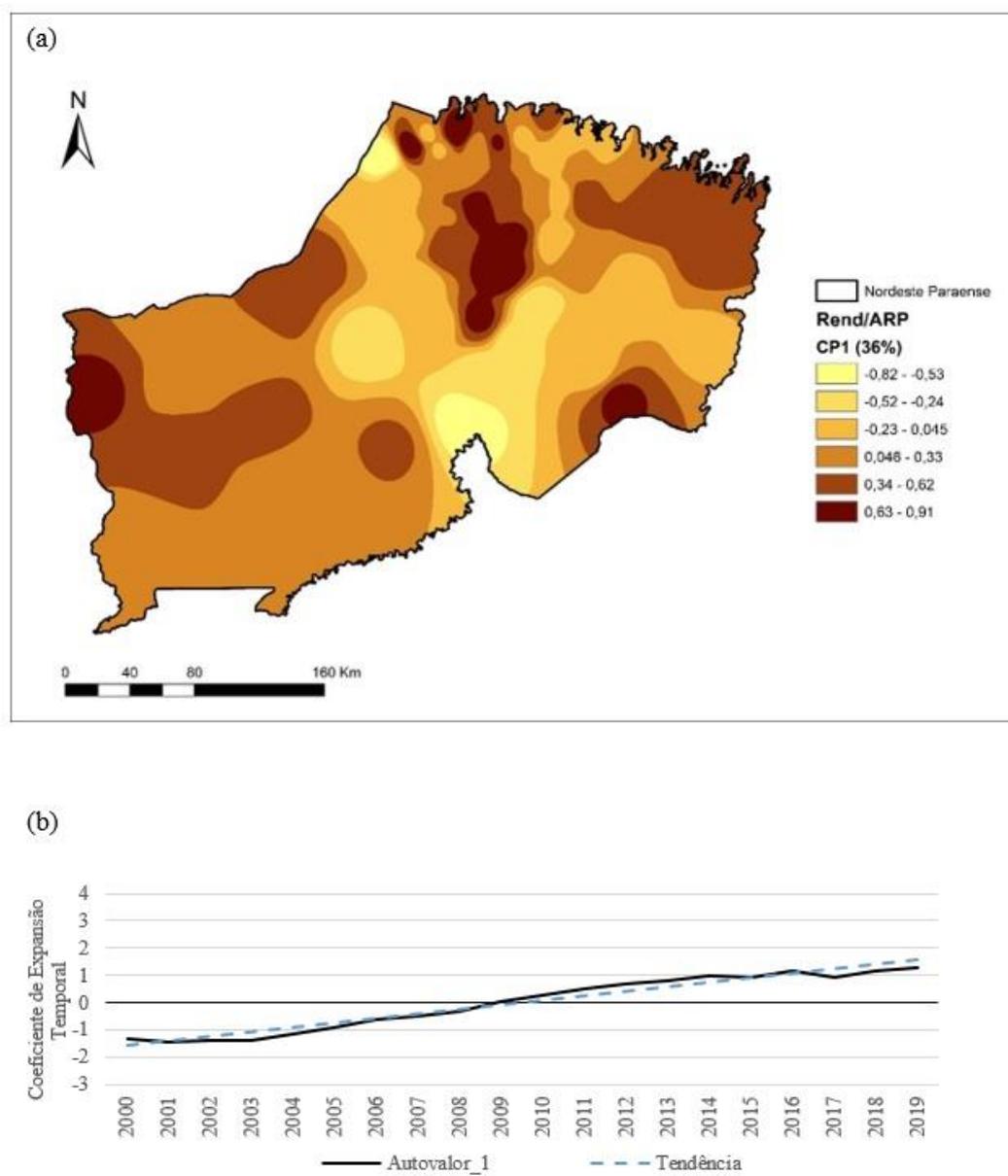
A relação que existe entre a quantidade de água necessária para que a cultura tenha bom rendimento, é complexa. Segundo a FAO (2013) a otimização da produção de mandioca sem irrigação requer atenção cuidadosa às datas, métodos e posição de plantio, e práticas de gestão do solo que ajudem a conservar a água, pois apesar da cultura poder ser cultivada em áreas com índice pluviométrico anual de 400 mm, rendimentos máximos de raízes na Tailândia, por exemplo, estão correlacionados com um índice pluviométrico total de cerca de 1.700 mm. Na Nigéria, os rendimentos da raiz aumentaram seis vezes quando a quantidade de água fornecida por irrigação suplementar por gotejamento era igual à das chuvas da estação.

### **Padrões de Rendimento e Área Plantada**

O segundo experimento, fornece o padrão de correlação entre o rendimento da mandioca (Rend) e da área plantada (ARP), onde os três primeiros modos explicam 60% da variância total dos dados. Na Figura 5 (a,b) é observado o primeiro modo espacial (CP1) que explicou 36% da variância total. A maioria da região apresenta correlações positivas (até 0,91), no entanto, no centro, o padrão de correlação se inverte (até -0,82), de modo que a primeira década é marcada por correlações negativas, ou seja, à medida que havia aumento (diminuição) de área plantada, o rendimento diminui (aumentou) e já na segunda década, o aumento de área plantada, favoreceu o rendimento positivamente.

Nesta região, encontram-se municípios como Ipixuna do Pará, Aurora do Pará, Acará, Tome-Açú e Moju, importantes produtores da cultura (GUSMÃO; HOMMA; WATRIN, 2016; TREMACOLDI, 2016; SOUZA et al., 2017) o que nos infere que em parte dos dados, na primeira década do estudo, a área plantada não foi determinante no incremento do rendimento nessas áreas. Além disso, o preparo da área em Acará é de corte-queima que proporciona poluição ambiental, erosão, perda de nutrientes, entre outros (MODESTO JÚNIOR; ALVES, 2016), sendo assim, esse sistema não permite um bom rendimento depois do primeiro ano de plantio (SOUZA et al., 2017).

**Figura 5** - Padrão da relação entre rendimento e área plantada na distribuição espacial e temporal do terceiro modo (CP1): Autovetor (a) e Autovalor (b), respectivamente.



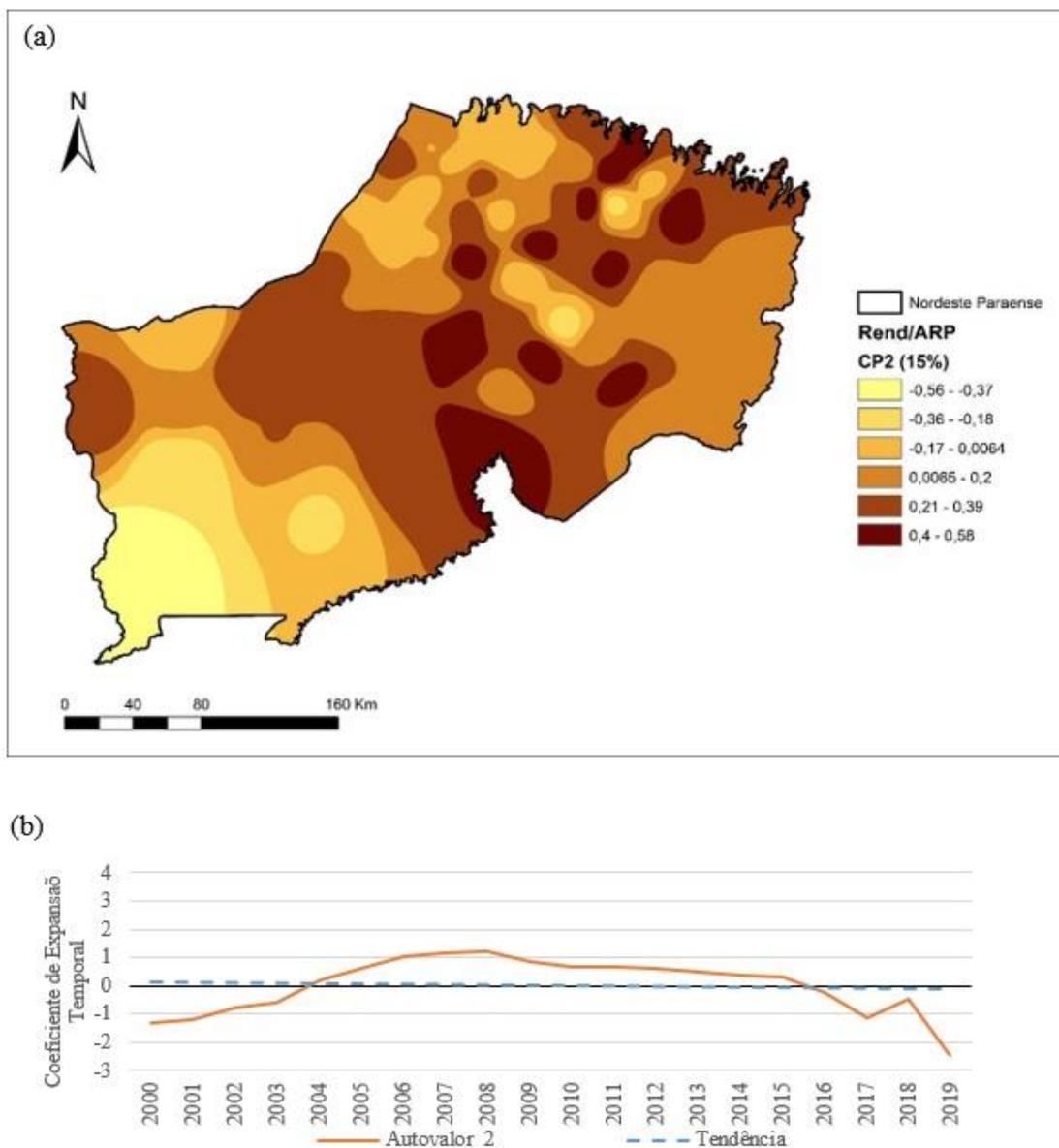
Fonte - autores (2021)

O segundo modo (CP2) do padrão espacial, é apresentado na Figura 6 (a, b) e possui 15% de variância total explicada dos dados. Neste modo, é notória a maior proporção de correlações positivas na área de estudo, no entanto, sua magnitude apresenta redução chegando a 0,56. Já oeste-sul a correlação se deu de forma negativa, com valores até -0,56, com uma tênue tendência a redução a partir de 2009, indicando que as correlações durante o período passam a ser negativas.

Os municípios de Baião, Mocajuba, Tailândia e uma porção de Moju que se encontram na região de correlação negativa, passaram por uma estagnação, no início do

período na produção de mandioca que esteve associado a escassez de mão de obra, migração, expansão de pecuária, reflorestamento e agricultura mecanizada de grãos (GUSMÃO; HOMMA; WATRIN, 2016).

**Figura 6** - Padrão da relação entre rendimento e área plantada na distribuição espacial e temporal do terceiro modo (CP2): Autovetor (a) e Autovalor (b), respectivamente.

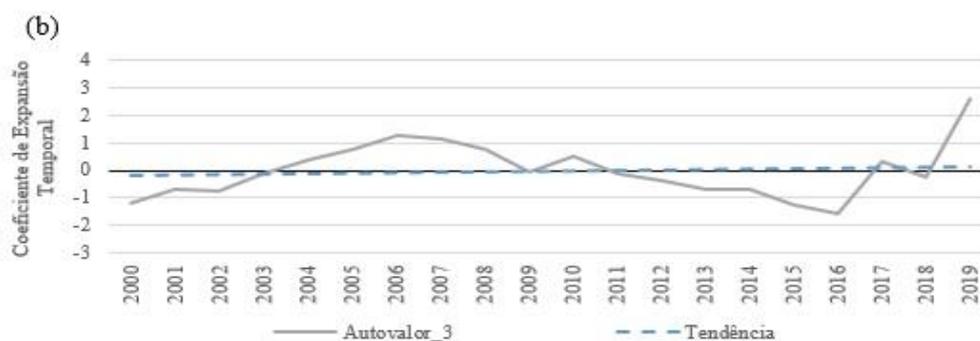
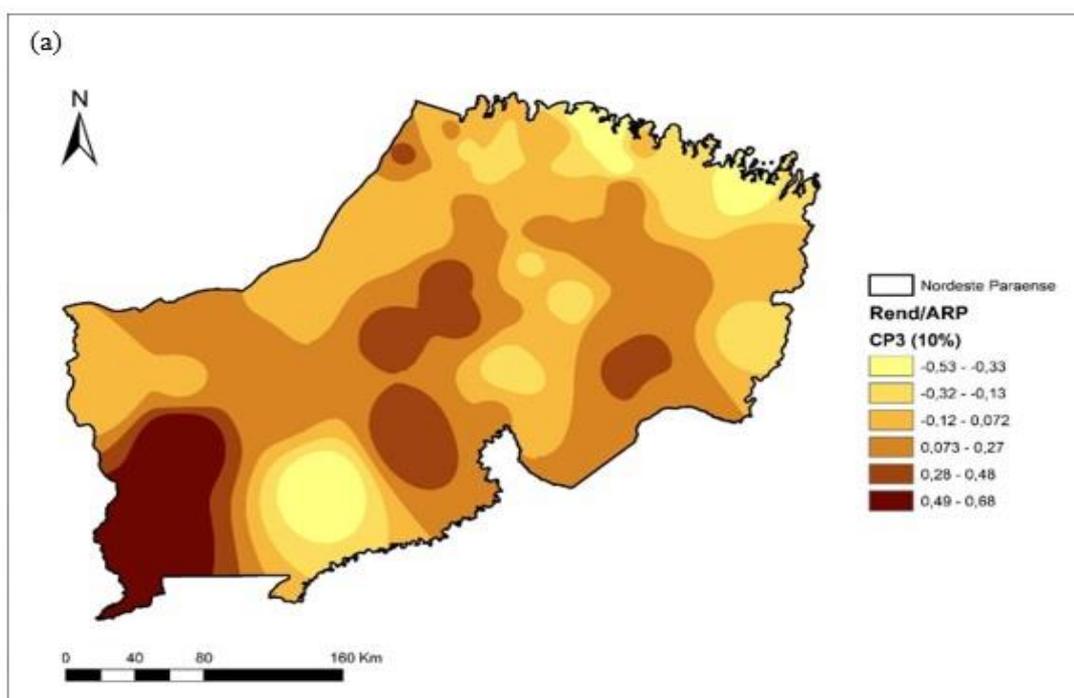


Fonte - autores (2021)

Por fim, a CP3 é apresentada na Figura 7 (a,b) e apresenta 10% da variância total explicada dos dados. Neste modo existe a inversão dos padrões, se comparado com as componentes anteriores. Notam-se casos mais isolados, como por exemplo, no oeste-sul, onde existe um padrão de correlação negativa (até -0,53), com acentuada tendência de redução a

partir de 2010. Nessa região encontram-se o município de Tome-Açu, que teve sua área plantada e produção de mandioca reduzida em meados de 2010 (GUSMÃO; HOMMA; WATRIN, 2016), promovido pelo lançamento do Programa de Produção Sustentável de Palma de Óleo no Brasil. De forma geral durante o período de estudo, nesta componente, é observada uma sutil tendência de aumento, no entanto, com baixa amplitude, o que nos infere que as correlações desse modo não possuem grande magnitude. No extremo oeste, observa-se uma pequena região com correlação positiva chegando até 0,68, sendo uma pequena parte da amostra.

**Figura 7:** Padrão da relação entre rendimento e área plantada na distribuição espacial e temporal do terceiro modo (CP3): Autovetor (a) e Autovalor (b), respectivamente.



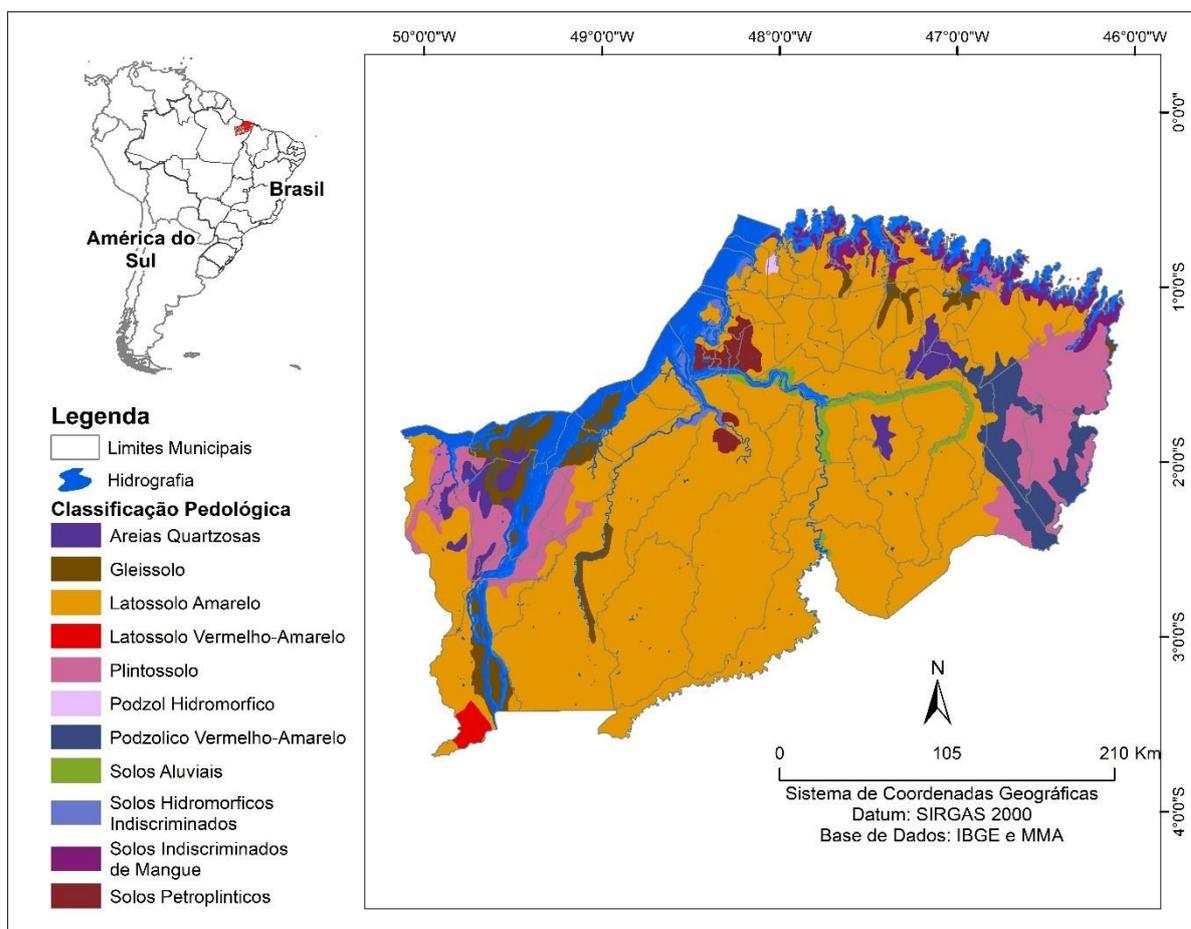
Fonte: autores (2021)

É necessário destacar que algumas áreas, devido à interpolação dos dados, se mostram muito homogêneas, já que possuem áreas grandes com apenas um ponto como informação, como exemplo, o município de Moju no centro-oeste da região.

Destaca-se ainda, que além da precipitação, ou seja, a disponibilidade de água na superfície, o fator solo é de grande importância, já que este irá determinar como as raízes da planta poderão ter acesso e conseguir reter a água da chuva. Como o principal produto da mandioca são as raízes, esta necessita de solos profundos e friáveis, sendo ideais os solos arenosos ou de textura média (MATTOS; CARDOSO, 2003).

A partir da figura 8, observa-se que praticamente toda a área de estudo possui como tipo de solo o Latossolo Amarelo o qual favorece o cultivo da mandioca, já que estes são solos profundos, coesos quando mais secos e friáveis (soltos) quando úmidos (KER, 1997; SCHAEFER; FABRIS; KER, 2008; MAIA; BUFON; LEÃO, 2018).

**Figura 8 -** Características de pedologia para área de estudo.



Fonte - autores (2021)

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo do presente estudo foi estabelecer, através da análise de componentes principais (ACP), quais padrões de relação espacial e temporal, existem entre as variáveis clima (precipitação), rendimento da mandioca e a área plantada da cultura, no período de 2000 a 2019, na mesorregião do Nordeste Paraense. Posto isto, a ACP mostrou-se eficiente para tal objetivo, de modo que em ambos os experimentos realizados as três primeiras CP conseguiram explicar até 70% da variância total dos dados.

No primeiro experimento, a precipitação foi um fator preponderante nas correlações positivas, principalmente no sentido espacial. Na primeira década do período, as correlações se deram em geral, de forma negativa. Na segunda década, com volumes de chuva acima do normal, incentivos governamentais e melhores técnicas no cultivo da mandioca, as correlações passaram a ser positivas. No segundo experimento, foi possível identificar que a correlação entre área plantada e rendimento médio da mandioca, apresenta magnitude maior se comparada à correlação do primeiro experimento, entretanto, a variância total explicada é mais baixa se comparada ao primeiro experimento, que leva em consideração variável do clima, mostrando a importância dela para o rendimento da cultura. Além do mais, o tipo de solo também é um fator de extrema importância que associado a precipitação irá influenciar de maneira significativa no rendimento da cultura.

A mandioca possui elevado valor socioeconômico e cultural, principalmente na região Norte, afinal, dessa cultura são derivados inúmeros produtos desde a raiz até a folha: maniva, farinha de mandioca e de tapioca, goma, tucupi e a própria raiz também conhecida popularmente como “macaxeira”. Devido a isso é de extrema importância estudos mais ricos com metodologias mais complexas que venham descrever de que maneira o rendimento da cultura é influenciada, para que assim sejam criadas metodologias de plantio que proporcionem melhor rendimento da cultura, conseqüentemente, colheitas com máximo de eficiência.

## REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, J. D. et al. Interferência de plantas daninhas sobre a produtividade da mandioca (*Manihot esculenta*). **Planta daninha**, v.26, p.279-289, 2008. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/pd/a/8rtYtG43tmP9jWmynQzMtMK/?lang=pt>>. Acesso em: 05 fev. de 2021.

ALMEIDA, O. et al. Percepção do impacto de eventos extremos sobre a produção pela população do estuário Amazônico. **Revista iberoamericana de economía ecológica**, v.27,

p.59-70, 2017. Disponível em:  
<<https://www.raco.cat/index.php/Revibec/article/view/328399>>. Acesso em: 13 jan. de 2021.

AMANAJÁS, J. C.; BRAGA, C. C. Padrões espaço-temporal pluviométricos na Amazônia Oriental utilizando análise multivariada. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, p. 423-434, 2012. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbmet/a/4Zvns7Sc8f3qtKPTK4Qd9yb/#>>. Acesso em: 23 jan. 2021.

ARAÚJO, R. G. et al. A influência do evento El Niño-Oscilação Sul e Atlântico Equatorial na precipitação sobre as regiões norte e nordeste da América do Sul. **Acta Amazonica**, v.43, p. 469-480, 2013. Disponível em: <[https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0044-59672013000400009](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0044-59672013000400009)>. Acesso em: 25 nov. de 2020.

BARBOSA, M. J. de S. et al. **Território Nordeste Paraense: desenvolvimento sustentável e gestão estratégica dos territórios rurais no Estado do Pará**. Belém: UFPA/MDA, 2011.

BARTIER, P. M.; KELLER, C. P. Multivariate interpolation to incorporate thematic surface data using inverse distance weighting (IDW). **Computers & Geosciences**, v.22, n.7, p.795-799, 1996. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0098300496000210>>. Acesso em: 05 fev. 2021.

COHEN, J. C. P.; DIAS, M. A. F. S.; NOBRE, C.A. Environmental conditions associated with Amazonian squall lines: a case study. **Monthly weather review**, v.123, n.11, p.3163-3174, 1995. Disponível em: <[https://journals.ametsoc.org/view/journals/mwre/123/11/1520-0493\\_1995\\_123\\_3163\\_ecawas\\_2\\_0\\_co\\_2.xml](https://journals.ametsoc.org/view/journals/mwre/123/11/1520-0493_1995_123_3163_ecawas_2_0_co_2.xml)>. Acesso em: 05 jan. 2020.

CONAB. **Mandioca: raiz, farinha e fécula** – março de 2017. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuario-eextrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-mandioca>>. Acesso em: 25 fev. 2021.

CORDEIRO, I. M. C. C.; ARBAGE, M. J. C.; SCHWARTZ, G. Nordeste do Pará: configuração atual e aspectos identitários. In.:CORDEIRO, I. M. C. C.; RANGEL-VASCONCELOS, L. G. T.; SCHWARTZ, G.; OLIVEIRA, F. de A. (org.). **Nordeste paraense: panorama geral e uso sustentável das florestas secundárias**. Belém, PA: EDUFRA, 2017.

DIAS, C. A. C.; MARTINEZ, A. A. Mandioca: informações importantes. **Coordenadoria de Assistência Técnica Integral**, n. 190, p. 20, 1986. Disponível em: <[https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&biblioteca=vazio&busca=autor a:%22DIAS,%20C.%20A.%20de%20C.%22](https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&biblioteca=vazio&busca=autor%20DIAS,%20C.%20A.%20de%20C.%22)>. Acesso em: 01 fev. 2021.

DIAZ, H. F.; FULBRIGHT, D. C. Eigenvector analysis of seasonal temperature, precipitation, and synoptic-scale system frequency over the contiguous United States. Part I: Winter. **Monthly Weather Review**, v. 109, n. 6, p. 1267-1284, 1981. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Henry-Diaz-8/publication/253200577\\_Eigenvector\\_Analysis\\_of\\_Seasonal\\_Temperature\\_Precipitation\\_and\\_Synoptic-Scale\\_System\\_Frequency\\_over\\_the\\_Contiguous\\_United\\_States\\_Part\\_I\\_Winter/links/00b7d53](https://www.researchgate.net/profile/Henry-Diaz-8/publication/253200577_Eigenvector_Analysis_of_Seasonal_Temperature_Precipitation_and_Synoptic-Scale_System_Frequency_over_the_Contiguous_United_States_Part_I_Winter/links/00b7d53)>

b0feaf84d3d000000/Eigenvector-Analysis-of-Seasonal-Temperature-Precipitation-and-Synoptic-Scale-System-Frequency-over-the-Contiguous-United-States-Part-I-Winter.pdf>. Acesso em: 05 mar. 2020.

EMBRAPA. **Mandioca em números**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/congresso-de-mandioca-2018/mandioca-em-numeros#:~:text=O%20Estado%20do%20Par%C3%A1%20det%C3%A9m,14.641%2C78%20t%2Fha>>. Acesso em: 05 fev. 2021.

FAO. **Dados da produção mundial da mandioca**. 2014. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>>. Acesso em: 08 jan. 2021.

FAO. **Produzir mais com menos: mandioca**. Informe de política. Um guia para a intensificação sustentável da produção. 2013. Disponível em: <<http://www.fao.org/ag/save-and-grow/cassava/pt/index.html>>. Acesso em: 10 fev. 2021.

GOMES, M. G. et al. Aplicação do interpolador IDW para elaboração de mapas hidrogeológicos paramétricos na região da Serra Gaúcha. **Scientia cum industria**, v. 6, n. 3, p. 38-43, 2018. Disponível em: <<http://www.ucs.br/etc/revistas/index.php/scientiacumindustria/article/view/6853>>. Acesso em: 15 fev. 2021.

GUSMÃO, L. H. A.; HOMMA, A. K. O.; WATRIN, O. dos S. Cartographic analysis of concentration and geography of cassava in Pará State, Brazilian Amazon. **Geografia Ensino & Pesquisa**, v. 20, n. 3, p. 51-62, 2016. Disponível em: <<https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20173041512>>. Acesso em: 15 jan. 2021.

HARDY, D. M.; WALTON, J. J. Principal components analysis of vector wind measurements. **Journal of Applied Meteorology**, v. 17, n. 8, p. 1153-1162, 1978. Disponível em: <[https://journals.ametsoc.org/view/journals/apme/17/8/1520-0450\\_1978\\_017\\_1153\\_pcaovw\\_2\\_0\\_co\\_2.xml](https://journals.ametsoc.org/view/journals/apme/17/8/1520-0450_1978_017_1153_pcaovw_2_0_co_2.xml)>. Acesso em: 03 mar. 2020.

IMAZON. **Boletim de Desmatamento/SADDezembro 2010/ Janeiro 2011**. Disponível em: <<https://amazon.org.br/boletim-do-desmatamento-sad-dezembro-2010-e-janeiro-2011/>>. Acesso em: 23 fev. 2021.

KER, J. C. Latossolos do Brasil: uma revisão. **Geonomos**, v.5, n.1, p. 17-40, 1997. Disponível em: <<https://periodicos.ufmg.br/index.php/revistageonomos/article/view/11493>>. Acesso em: 02 jul. 2021.

KIDSON, J. W. Tropical eigenvector analysis and the Southern Oscillation. **Monthly Weather Review**, v. 103, n. 3, p. 187-196, 1975. Disponível em: <[https://journals.ametsoc.org/view/journals/mwre/103/3/1520-0493\\_1975\\_103\\_0187\\_teats\\_2\\_0\\_co\\_2.xml](https://journals.ametsoc.org/view/journals/mwre/103/3/1520-0493_1975_103_0187_teats_2_0_co_2.xml)>. Acesso em: 23 fev. 2020.

LORENZ, E. N. **Empirical orthogonal functions and statistical Weather prediction**. 1956. Disponível em: <<http://muenchow.cms.udel.edu/classes/MAST811/Lorenz1956.pdf>>. Acesso em: 20 fev. 2020.

MAIA, F. C. de O.; BUFON, V. B.; LEÃO, T. P. Retention curves and available water capacity in latosols. **Engenharia Agrícola**, v. 38, p. 546-552, 2018. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/eagri/a/s3vkHtpfG7x8qzf3NTmwGD/?format=html&lang=en>>. Acesso em: 02 jul. 2021.

MANOSSO, F. C. A produtividade de soja, trigo e milho e suas relações com a precipitação pluviométrica no município de Apucarana-PR no período de 1968 a 2002. **Geografia**, v. 14, p. 87-98, 2005. Disponível em: <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/geografia/article/view/6750>>. Acesso em: 16 jan. 2021.

MATTOS, P. L. P.; CARDOSO, E. M. R. Cultivo da mandioca para o Estado Pará. **Embrapa Mandioca e Fruticultura**, v. 13, 2003. Disponível em: <[https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mandioca/mandioca\\_para/solos.htm](https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mandioca/mandioca_para/solos.htm)>. Acesso em: 02 jul. 2021.

MODESTO JÚNIOR, M. S.; ALVES, R. N. B. **Cultura da mandioca: aspectos socioeconômicos, melhoramento genético, sistemas de cultivo, manejo de pragas e doenças e agroindústria**. Brasília, DF: EMBRAPA, 2016.

MODESTO JÚNIOR, M. S.; ALVES, R. N. B. Produção de farinha de mandioca e de farinha de tapioca no Estado do Pará como oportunidades de negócios para empreendedores e agricultores na Amazônia. In.: DENARDIN, V. F.; KOMARCHESKI, R. **Farinheiras do Brasil: tradição, cultura e perspectiva da produção familiar de farinha de mandioca**. 1. ed. Matinhos: UFPR Litoral, 2015.

MODESTO JÚNIOR, M. S.; ALVES, R. N. B. **Roça sem fogo: da tradição das queimadas à agricultura sustentável na Amazônia**. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2020.

MOURA, M. N.; VITORINO, M. I. Variability of rainfall in time and space associated with Intertropical Convergence Zone. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 4, p. 475-483, 2012. Disponível em: <[https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-77862012000400010&script=sci\\_abstract&tlng=es](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-77862012000400010&script=sci_abstract&tlng=es)>. Acesso em: 5 nov. 2020.

MOURA, M. N.; VITORINO, M. I.; ADAMI, M. Análise de componentes principais da precipitação pluvial associada à produtividade de soja na Amazônia legal. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, 2018. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/55109>>. Acesso em: 23 dez. 2020.

RONCHAIL, J. et al. Interannual rainfall variability in the Amazon basin and sea-surface temperatures in the equatorial Pacific and the tropical Atlantic Oceans. **International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 22, n. 13, p. 1663-1686, 2002. Disponível em: <[https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/joc.815?casa\\_token=Zo7sCqIDmp0AAAA:7cxe7U1uth-CornDzwCR0SuY9kt1mrdv\\_7\\_gg0oOJbu74QdV-4cpnGI6upGWSitzhoCmY0tOQvS063o](https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/joc.815?casa_token=Zo7sCqIDmp0AAAA:7cxe7U1uth-CornDzwCR0SuY9kt1mrdv_7_gg0oOJbu74QdV-4cpnGI6upGWSitzhoCmY0tOQvS063o)>. Acesso em: 25 fev. 2021.

SANTANA, A. C.; AMIN, M. M. **Cadeias produtivas e oportunidades de negócios na Amazônia**. Belém: UNAMA, 2002.

SANTOS, M. R. et al. O. Análise da distribuição espaço-temporal da chuva, na mesorregião metropolitana de Belém-Pará: contribuições da técnica de sensoriamento remoto. **Caminhos da Geografia**, v. 18, n. 62, p. 49-58, 2017. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/35069>>. Acesso em: 10 jul. 2020.

SANTOS, M. R. et al. Padrões de precipitação mensal na mesorregião metropolitana de Belém: uso do CMORPH e componentes principais. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 7, p. 2301-2311, 2016. Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/233871>>. Acesso em: 05 fev. 2021.

SCHAEFER, C. E. G. R.; FABRIS, J. D.; KER, J. C. Minerals in the clay fraction of Brazilian Latosols (Oxisols): a review. **Clay Minerals**, v. 43, n. 1, p. 137-154, 2008. Disponível em: <<https://www.cambridge.org/core/journals/clay-minerals/article/abs/minerals-in-the-clay-fraction-of-brazilian-latosols-oxisols-a-review/D7F78269F40171B35BDF5FFCFD9EB5B7#>>. Acesso em: 02 jul. 2021.

SECRETARIA DE ESTADO DE INTEGRAÇÃO REGIONAL DO PARÁ. **Regionalização do Estado do Pará, instrumento de planejamento de ação do Estado**. Belém: Seir, 2011.

SOUZA, P. F. et al. Impactos dos anos climáticos extremos no rendimento da lavoura temporária de Mandioca na região rural da metrópole de Belém-Pará. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, 2017. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/51459>>. Acesso em: 10 jun. 2020.

TREMACOLDI, C. R. Manejo das principais doenças da cultura da mandioca no estado do Pará. In.:MODESTO JÚNIOR, M.; ALVES, R. N. B. **Cultura da mandioca: aspectos socioeconômicos, melhoramento genético, sistemas de cultivo, manejo de pragas e doenças e agroindústria**. 1. ed. Brasília, DF: EMBRAPA, capítulo 10, p. 161-170, 2016.

ZENG, N. et al. Causes and impacts of the 2005 Amazon drought. **Environmental Research Letters**, v. 3, n. 1, p. 1-9, 2008. Disponível em: <<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/3/1/014002/meta>>. Acesso em: 05 jan. 2021.

---

**Artigo recebido em: 29 de março de 2023.**

**Artigo aceito em: 11 de outubro de 2023.**

**Artigo publicado em: 01 de janeiro de 2024.**