

Variabilidade da precipitação e a produção de arroz na bacia hidrográfica do rio Branco

Variability of rainfall and the rice production in Branco River basin

Layrson de Jesus Menezes Gonçalves¹
Edson José Paulino da Rocha²
Aline Maria Meiguins de Lima^{3(*)}
Edivaldo Afonso de Oliveira Serrão⁴
Cleber Assis dos Santos⁵

Resumo

O rio Branco é o principal afluente do rio Negro e representa o tributário mais importante da margem esquerda da bacia do rio Amazonas. Seu território é coincidente com o Estado de Roraima, o que amplia sua importância hídrica e econômica. Para analisar a variabilidade da precipitação e sua relação com a produção de arroz na bacia do rio Branco, foram utilizados dados de 20 estações pluviométricas e dados da produção de arroz, ambos no período de 2001 a 2010. A precipitação média da bacia foi determinada pelo método de Thiessen (mensal e anual) e relacionada com a produção de arroz usando correlação linear simples. A variabilidade temporal da precipitação foi feita através de análises estatísticas (desvio padrão, máximos e mínimos, mediana, quartis, aglomeração hierárquica). A distribuição espacial da precipitação mostra um comportamento crescente de NE para SW, com a zona de maior produção de arroz coincidente com os mínimos de precipitação. A variabilidade entre o período mais e menos chuvoso é significativa e pode ocasionar uma sensível redução da entrada de água pela precipitação nas

-
- 1 Meteorologista; Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Meteorologia no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE; Endereço: Avenida dos Astronautas, 1758, Jardim Granja, CEP: 12227-010, São José dos Campos, São Paulo, Brasil; E-mail: layrsonmenezes@hotmail.com
 - 2 Dr.; Meteorologista; Professor Associado da Universidade Federal do Pará, UFPA; Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq; Endereço: Rua Augusto Correa, 01, Guamá, CEP: 66075090, Belém, Pará, Brasil; E-mail: eprocha@ufpa.br
 - 3 Dra.; Geóloga; Professora da Universidade Federal do Pará, UFPA; Endereço: Rua Augusto Corrêa, 01, Guamá, Caixa-postal: 479, CEP: 66075-110, Belém, Pará, Brasil; E-mail: alinemeiguins@gmail.com (*) Autora para correspondência.
 - 4 Graduando no curso de Meteorologista; Bolsista de Monitoria no Laboratório de Estudos e Modelagem Hidroambientais (LEMHA), da Faculdade de Meteorologia/Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará – UFPA; Endereço: Rua Augusto Corrêa - até 937 - lado ímpar, Guamá, CEP: 66075-110, Belém, Pará, Brasil; E-mail: oliveiraserrao@gmail.com
 - 5 Graduando no curso de Meteorologista; Integrante do Grupo de Pesquisa da UFPA no Laboratório de Estudos e Modelagem Hidroambientais (LEMHA); Endereço: Rua Augusto Corrêa, 01, Guamá, CEP: 66075-110, Belém, Pará, Brasil; E-mail: cleber_ufpa@yahoo.com.br

Recebido para publicação em 19/03/2015 e aceito em 31/12/2015

bacias dos rios Uraricoera e Tacutu que compõem o alto rio Branco. A variabilidade interanual das chuvas na região está associada à ocorrência dos fenômenos de El Niño/La Niña que provocam diminuição/aumento da chuva na bacia. A variação da produção anual de arroz tem relação com essas oscilações, porém os efeitos do aumento/diminuição da área plantada e a curta série de dados adotada não permitem uma correlação mais direta.

Palavras chaves: regionalização; bacia hidrográfica; regime pluviométrico; produção de arroz.

Abstract

The *Branco* River is the main tributary of the *Negro* River, that is the most important tributary of the Amazon River, in the left bank. Its territory coincides with the State of *Roraima*, which increases their hydric and economic importance. This purpose of this work was to analyze the variability of precipitation and its relation to rice production in the *Branco* River basin, with database of 20 rainfall stations and rice production, both from 2001 to 2010. The average of rainfall was determined by Thiessen method (monthly and annual), and related to rice production using simple linear correlation. The temporal variability of precipitation was evaluated by statistical analysis (standard deviation, maximum and minimum, median, quartiles, hierarchical clustering). The spatial distribution of precipitation shows an increasing pattern of NE to SW, where the area of higher production of rice coincides with the minimum of precipitation. The variability between the more and less rainy period is significant and can lead to a significant reduction of the input water by precipitation in the basins of rivers of Uraricoera and Tacutu in the upper *Branco* River. The inter-annual variability of rainfall in the region is associated with the occurrence of the phenomena of El Niño/La Niña causing decreased/increased rainfall in the basin. The variation of annual rice production is related to these fluctuations, but the effects of the increase/decrease in planted area and a short series of data adopted do not allow a more direct correlation.

Key words: regionalization; watershed; rainfall; rice production.

Introdução

O conhecimento da disponibilidade hídrica no âmbito de uma bacia hidrográfica é parte fundamental dos estudos hidrológicos (RIBEIRO et al., 2005). Segundo Rocha (2010), a bacia hidrográfica pode ser

considerada um sistema físico no qual a entrada é o volume de água precipitado e a saída é o volume de água escoado pelo exutório. Em termos gerais, ela provê uma bem definida unidade física para estudos hidrológicos, destacando a principal forma de entrada de água (*input*) por meio da

precipitação pluviométrica.

O Brasil, devido sua grande extensão territorial, possui diferentes regimes pluviométricos de norte a sul, com uma grande variedade de climas com características distintas. A região Norte é marcada por um clima equatorial chuvoso, com chuvas de primavera, verão e outono, sendo que, na parte noroeste, da região praticamente não se observa estação seca (MENEZES et al., 2008).

O ciclo hidrológico da bacia Amazônica apresenta grandes diferenças nas características do balanço hídrico entre o norte e o sul da bacia (MARENGO, 2006). Este é marcado por um efeito sazonal a sul, com uma maior diferença entre as taxas de evapotranspiração (ET) e precipitação (P) na estação seca, indicando que o papel da evaporação (evapotranspiração) é relativamente mais importante na estação seca do que na estação chuvosa.

Os mecanismos responsáveis pela precipitação na Amazônia resultam da combinação ou da atuação predominante da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), das linhas de instabilidade, da penetração de sistemas frontais, da fonte de vapor d'água representada pela floresta amazônica e pela atuação da cordilheira dos Andes (ALVES et al., 2007; NOBRE et al., 2009). Leivas et al. (2011) destacam que, mesmo na Amazônia, os sistemas convectivos de mesoescala formam-se, preferencialmente, sobre regiões mais elevadas indicando que a topografia é um fator dominante.

Yoon e Zeng (2010) ressaltam que o evento de estiagem do ano de 2005 (na bacia Amazônica) recebeu contribuição das variações de temperatura registradas na faixa atlântica tropical, tendo sido este um dos piores nos últimos 100 anos, afetando

o rio Amazonas e seus afluentes. Porém, quando se observam os efeitos a nordeste (bacias dos rios Branco e Negro), estes não foram sentidos, principalmente quando comparados aos ocorridos em 1926, 1983 e 1998, decorrentes da influência dos eventos de El Niño na região (ZENG et al., 2008).

No estudo da distribuição da precipitação pluviométrica em uma dada região, destaca-se a determinação de regiões homogêneas, classificadas, segundo a análise de agrupamento, para se estudar a similaridade ou a dissimilaridade entre indivíduos, sendo necessária a aplicação de métodos que realcem o padrão comum (MELLO; SILVA, 2009). Dentre os estudos executados com este objetivo destacam-se: Martin et al. (2008) determinaram a variabilidade espacial e temporal por meio de dados diários de precipitação pluvial para o estado de São Paulo; Santos et al. (2008) identificaram regiões pluviometricamente homogêneas na bacia hidrográfica do rio Goiana (PE), através da análise estatística de agrupamento; Fachine e Galvêncio (2008) determinaram regiões pluviometricamente homogêneas no âmbito da bacia hidrográfica do rio Brígida (PE); e Silva et al. (2009) definiram áreas espacialmente homogêneas de níveis de precipitação e estudaram a variabilidade sazonal da precipitação nas regiões Sudeste e Sul do Brasil.

O rio Branco é um importante contribuinte da margem esquerda do rio Negro que, juntamente com o rio Solimões, forma o rio Amazonas. A bacia hidrográfica do rio Branco tem cerca de 192.000 km² de área, localiza-se, predominantemente, no estado de Roraima, podendo-se confundir praticamente com este Estado em termos territoriais, e está integrada ao desenvolvimento das principais atividades

socioeconômicas.

A bacia do rio Branco é marcada pelas mais altas topografias da bacia Amazônica, o que caracteriza a forma de cultivo como arroz de terras altas, que apresenta uma grande vulnerabilidade a ocorrência de eventos extremos de precipitação, identificando os períodos de maiores déficits e excessos em relação à precipitação normal (FERNANDES; HEINEMANN, 2011; HEINEMANN; SENTELHAS, 2011). A sequência de chuvas e períodos de estiagem causam impactos sobre o desenvolvimento do plantio do arroz; além disso, devem ser consideradas as alterações na variabilidade intrasazonal a interanual dessas anomalias que podem controlar ou afetar sua manutenção em longo prazo (MUZA; CARVALHO, 2006).

Em Roraima, o arroz ocupa cerca de 20.000 ha, com uma produção suficiente para abastecer o Estado e exportar o excedente para outras cidades, sendo a principal Manaus. A predominância é do cultivo em várzeas

(70 a 80%) (SAKAZAKI et al., 2008). A orizicultura é uma importante consumidora de água, sendo que, na bacia do rio Branco, os principais cultivos estão situados às margens do rio Branco e seus afluentes, à montante do centro consumidor de Boa Vista (capital do Estado) (CORDEIRO et al., 2010).

No presente trabalho, desenvolveu-se a regionalização de precipitações na bacia hidrográfica do rio Branco, situada na região amazônica, no extremo norte do Brasil. De forma complementar, buscou-se analisar de maneira comparativa os efeitos da distribuição mensal e anual (2001 a 2010) da precipitação sobre a produção de arroz (*Oryza sativa* L.) no mesmo período.

Material e Métodos

Área de estudo e dados

A área de estudo é a bacia hidrográfica do rio Branco, que representa o principal afluente da bacia do rio Negro (Figura 1),

Figura 1 - (a) Localização da bacia do rio Branco; (b) Divisão hidrográfica adotada

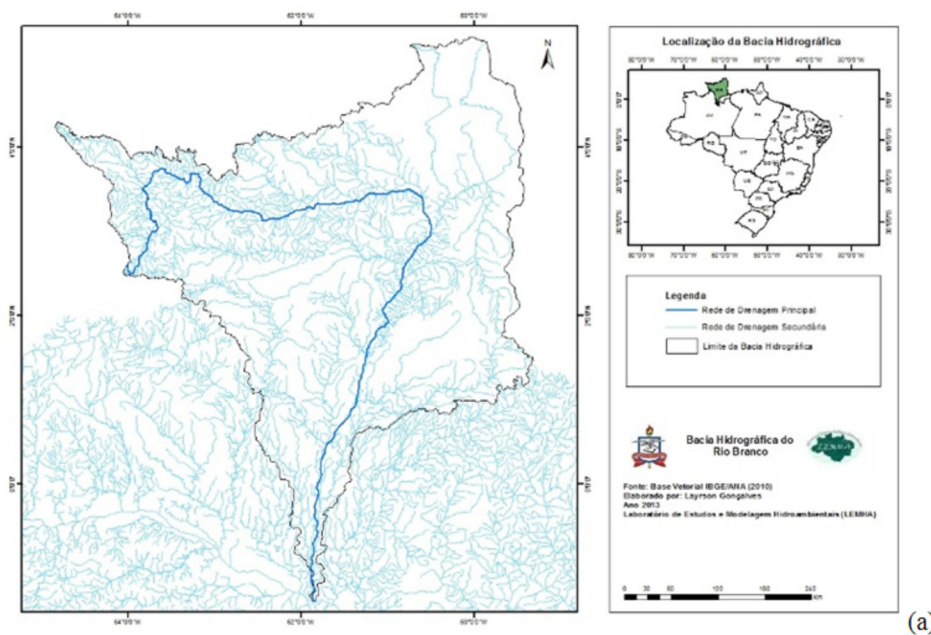
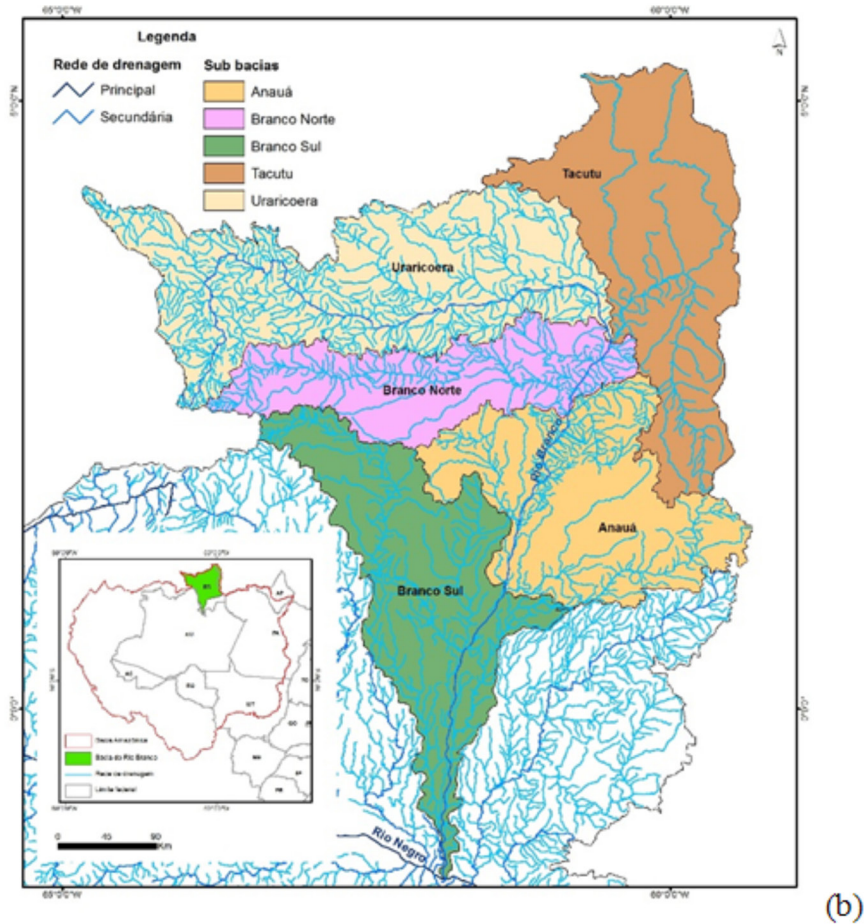


Figura 1 - (a) Localização da bacia do rio Branco; (b) Divisão hidrográfica adotada



compondo o conjunto de bacias que drenam a margem esquerda da bacia Amazônica. A base de informações empregada é oriunda do sistema Hidroweb da Agência Nacional das Águas (ANA), sendo referente aos dados de precipitação pluviométrica (20 estações, 2001 a 2010) e as bases vetoriais da rede de drenagem e bacias hidrográficas. Estes foram arquivados e, em seguida, analisados e consistidos por uma sequência de metodologias estatísticas mensais e anuais.

A classificação de bacias, adotada, correspondeu à definição de rios principais, ou seja, de maior área de drenagem (SILVA et al., 2008; NICOLODI et al., 2009), que

delimitou as bacias hidrográficas: Branco Sul, Anauá, Branco Norte, Tacutu e Uraricoera.

A área definida pela bacia do rio Branco apresenta um clima quente e úmido, com duas estações no ano: inverno (período de chuva) e verão (período seco). Nos planaltos mais elevados, a temperatura, no inverno, varia de 15 °C e 20 °C; nas partes mais baixas, a temperatura chega a 36 °C (MEDINA; LEITE, 1984). Em função da variabilidade sazonal da precipitação, durante o verão, o rio Branco fica quase que intranável para barcos grandes, o que dificulta muito o transporte fluvial entre Manaus e Caracarái (Roraima) (BARBOSA, 1997).

Análise morfométrica

A análise morfométrica consistiu na determinação dos parâmetros de: ordem dos cursos d'água segundo Strahler (1952), área de drenagem, perímetro total, comprimento do rio principal, comprimento do eixo da

bacia, comprimento total dos cursos d'água, coeficiente de compactidade, fator de forma, densidade de drenagem, extensão do percurso superficial e índice de sinuosidade (Tabela 1). Essa rotina foi executada no Arc Gis empregando o módulo *Spatial Analyst*.

Tabela 1 - Parâmetros morfométricos adotados

Parâmetros	Fórmula	Autores
Ordem	Sistema hierárquico de Strahler	Strahler (1952), Bagyaraj e Gurugnanam (2011), Pareta e Pareta (2012), Altaf et al. (2013) e Das et al. (2013).
Densidade de drenagem (Dd)	$Dd = Lu/A$; Lu = Comprimento total dos canais; A = Área da bacia (km ²)	
Coeficiente de compactidade (Kc)	$k_c = 0,282P/A^{1/2}$; P = Perímetro da bacia; A = Área da bacia	
Fator de forma (K)	$K = A/l^2$; A = Área da bacia; l = Comprimento da bacia tomado pelo seu curso mais longo	
Extensão do percurso superficial (Eps)	$Eps = 1/2Dd$; Dd = Densidade de drenagem	
Índice de sinuosidade (Is)	$Is = 1/dv$; l = Comprimento da bacia tomado pelo seu curso mais longo; dv = comprimento vetorial tomado a partir do curso principal	

Fonte: Gonçalves, L. J. M. et al. (2013).

Caracterização da distribuição da precipitação pluviométrica

Os procedimentos adotados na caracterização da precipitação pluviométrica da bacia do rio Branco foram: (a) consistência da série de dados pelo método da ponderação regional visando à homogeneização do período de informações; (b) regionalização da distribuição das chuvas pelos métodos aritmético e de Thiessen; e (c) análise estatística das distribuições (mensais e anuais).

Na consistência da série de dados pelo método da ponderação regional (OLIVEIRA et al., 2010) a falha da precipitação anual na

estação de interesse é estimada considerando (Equação 1): a precipitação (P_x) anual da estação a ter a falha na série preenchida (mm); a precipitação anual (P_i) da estação vizinha de ordem i para o ano em que se verificou a falha (mm); as precipitações médias anuais das estações a ter a falha na série preenchida (N_x) e da vizinha (N_i) de ordem i, respectivamente (mm); e o número de estações vizinhas (n).

$$P_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{N_x}{N_i} P_i \quad (1)$$

O Método de Thiessen (ALENCOÃO; PACHECO, 2001) atribui pesos relativos

(precipitação – média do período obtida a partir do acumulado anual) para cada posto pluviométrico, determinados pelas suas respectivas áreas de influência, onde as fronteiras dos polígonos são formadas pelas mediatrizes das linhas que unem dois postos adjacentes (Equação 2); para j postos, a área dentro da bacia designada para cada um é A_j , e P_j é a precipitação registrada no j -ésimo posto (\overline{PRP}).

$$\overline{PRP} = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i A_i)}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (2)$$

Na regionalização da distribuição das chuvas pelo método aritmético (FERNANDES CHIERICE; LANDIM, 2014) considera-se (\overline{PRP}) o equivalente à média grupal ou regional de P_i , tomada como a média aritmética simples de n postos de observação (Equação 3).

$$\overline{PRP} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n} \quad (3)$$

A espacialização anual da precipitação empregou o interpolador de Krigagem, que representa um método geoestatístico que estima valores em pontos não amostrados a partir de informações dos pontos amostrados, considerando a estrutura de dependência espacial da característica em estudo (MAZZINI; SCHETTINI, 2009; ALMEIDA et al., 2011). Baseia-se na álgebra de matrizes, onde P_x representa os valores observados na série; n o número de valores amostrados; A matriz de pesos de krigagem; e $P_{(b)}$ os pares de valores medidos em locais afastados entre si da distância b (Equações 4-6).

$$\overline{PRP} = \sum_{i=1}^n \lambda_i P_x \quad (4)$$

$$\lambda_i = A^{-1} \left(\frac{1}{2n_i} \sum_{i=1}^n [P_{(h+1)} - P_h]^2 \right) \quad (5)$$

$$A = \begin{bmatrix} 1, i = n + 1, j = 1, \dots, n \\ 0, i = n + 1, j = n + 1 \\ 1, i = 1, \dots, n, j = n + 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

A identificação das regiões homogêneas a partir das análises de agrupamento teve por finalidade reunir, segundo um critério de classificação, os valores em vários grupos, de tal forma que fosse possível avaliar a homogeneidade dentro do grupo e heterogeneidade entre grupos. Nesse processo, foram empregadas análises de média (mensal e anual), acumulado anual, desvio padrão, determinação de máximos e mínimos, mediana, quartis, aglomeração hierárquica e a distribuição de frequências de agrupamentos de dados em classes na forma de frequência absoluta (f_j) (MELLO; SILVA, 2009).

Na aglomeração hierárquica, considera-se o princípio das medidas de distância ou medidas de dissimilaridade (distância euclidiana); nesta, se dois indivíduos são similares, eles estão próximos um do outro, ou seja, eles são comuns em relação ao conjunto de variáveis e vice-versa (SANTOS et al., 2008). Onde $D_{i,j}$ é a distância euclidiana entre os postos (i primeiro posto e j o último posto), n corresponde ao número de postos, x_{ki} representa o valor do posto i , x_{kj} representa o valor da variável para o posto j (Equação 7).

$$D_{i,j} = \sum_{k=1}^n (x_{ki} - x_{kj}) \quad (7)$$

Resultados

Análise morfométrica

A bacia do rio Branco é de 7° ordem, com os demais parâmetros morfométricos

apresentados na tabela 2 (Figura 2a). Apresenta um comportamento diferenciado com relação à distribuição da rede de drenagem. Com uma direção do canal principal E-W as bacias do Uraricoera e Branco Norte marcam, junto com a bacia do Tacutu (N-S), o Alto rio Branco, onde se encontram as maiores altitudes da bacia.

altimétrica (PARETA; PARETA, 2012) (Figura 2b).

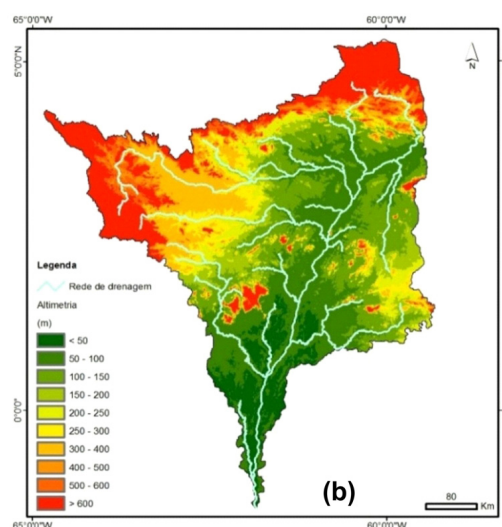
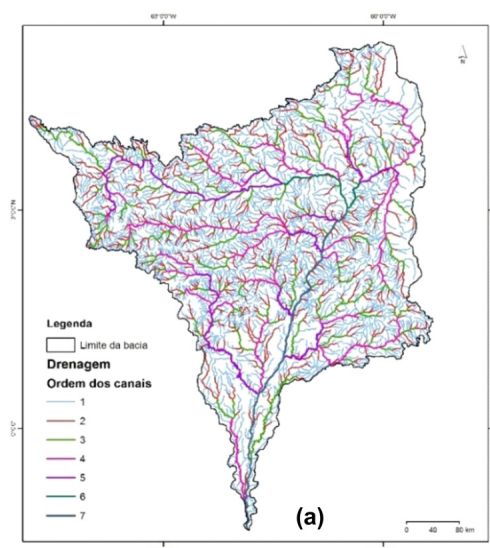
Figura 2 - (a) Ordem da rede de drenagem segundo Strahler; (b) Variação altimétrica da bacia do rio Branco

Tabela 2 - Parâmetros morfométricos calculados para a bacia do rio Branco

Parâmetros	Valores	Unidade
Área	192.342,74	km ²
Perímetro	3.316,79	km
Comprimento do rio Principal	2.179,11	km
Comprimento total da rede de drenagem	42.442,50	km
Densidade de drenagem	0,22	km/km ²
Coefficiente de compacidade	2,13	--
Altitude mínima	13,80	m
Altitude máxima	1.927,40	m
Amplitude altimétrica	1.913,60	m
Fator forma	0,32	--
Índice de sinuosidade	2,12	--
Índice de circularidade	0,22	--

Fonte: Gonçalves, L. J. M. et al. (2013).

Os padrões tornam-se predominantemente N-S no médio-baixo rio Branco, porém com vários afluentes ainda segundo E-W e NW-SE. Seu formato distancia-se do padrão circular (Fator forma, Coeficiente de compacidade e Índice de circularidade $\neq 1$) favorecendo o escoamento na bacia, aliado à significativa amplitude



Fonte: Gonçalves, L. J. M. et al. (2013).

Os padrões tornam-se predominantemente N-S no médio-baixo

rio Branco, porém com vários afluentes ainda segundo E-W e NW-SE. Seu formato distancia-se do padrão circular (Fator forma, Coeficiente de compacidade e Índice de circularidade $\neq 1$) favorecendo o escoamento na bacia, aliado a significativa amplitude altimétrica (PARETA; PARETA, 2012) (Figura 2b).

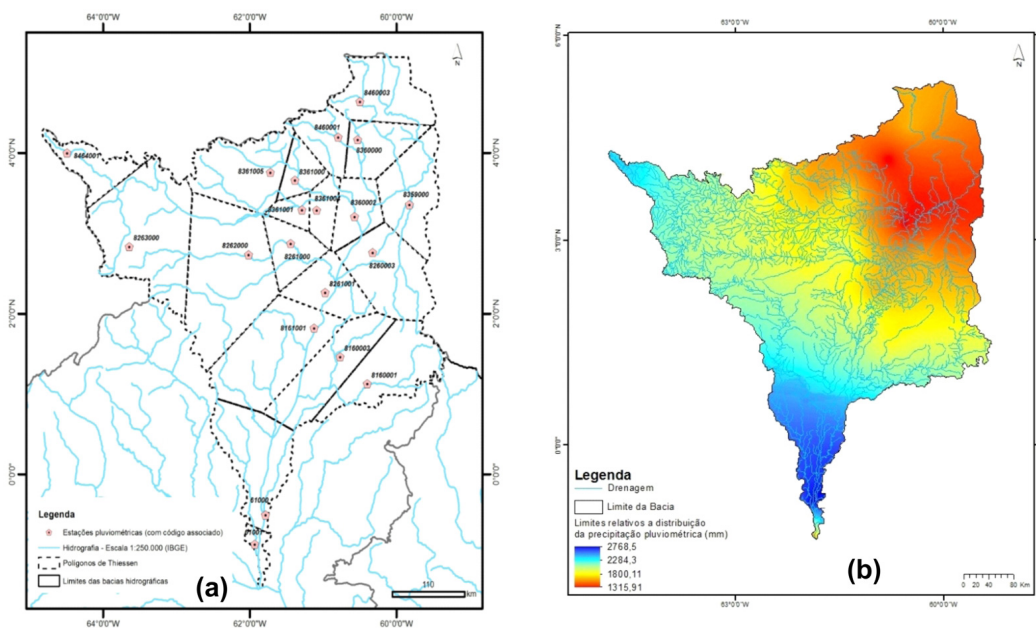
O valor da densidade de drenagem reflete a heterogeneidade da distribuição da rede (mais adensada a norte e menos a sul), além das dimensões da bacia, com uma área de 192.342,74 km². Em termos de altitude, grandes variações numa bacia acarretam

diferenças significativas na temperatura média, na evapotranspiração e possíveis variações de precipitação anual com a elevação (TEODORO, 2007). Essas características hidrológicas também favorecem a drenagem da bacia e, provavelmente, a atividades agrícolas que utilizam sistemas de irrigação, como a produção de arroz.

Distribuição espacial da precipitação

A distribuição da precipitação pluviométrica para a bacia do rio Branco foi avaliada considerando-se o período de dados analisados e sua representação para a região.

Figura 3 - (a) Definição dos Polígonos de Thiessen na bacia do rio Branco; (b) Distribuição da precipitação pluviométrica na bacia do rio Branco



Fonte: Gonçalves, L. J. M. et al. (2013).

Com base nestes, a precipitação média anual da bacia determinada pelo método de Thiessen foi de 1.919 mm (Figura 3a, Tabela 3).

A figura 3b apresenta a espacialização

da precipitação, empregando os valores totais anuais por meio da análise de krigagem. Os resultados mostraram que a bacia hidrográfica do rio Branco tem a região mais seca a NE,

Tabela 3 - Precipitação média da área de influência de cada pluviômetro

Código	Estação	Precipitação - média anual (mm)	Precipitação média de cada polígono (mm)
8160003	Agropecuária Boa Vista	1953,1	117,5
8460003	Água Fria	1788	99,5
8359000	Bom Fim	1550,2	82,9
8361001	Boqueirão	1840,7	21,2
8161001	Caracarai	2023,8	185,2
8361004	Colônia do Taiano	1749,2	30,9
8260003	Fazenda Castelão	1776,8	113,7
8160001	Fazenda Paraná	2169,6	136,2
8360002	Fazenda Passarão	1523,3	44,4
8361000	Fazenda São João	1887,9	37,2
8261001	Fazenda Três Poderes	1791,5	67,8
8261000	Fé e Esperança	2032,5	57,3
8360000	Maloca do Contão	1601,7	57,2
8464001	Missão Auaris -Jusante	2402,7	69,5
8263000	Missão Surucucu	2125,5	243,8
8262000	Posto Funai	1934,2	237,5
61000	Santa Maria do Boiaçu	2709,1	179,1
8361005	Tepequem	1763,7	113,2
61001	Terra Preta	2767,6	20,6
8460001	Vila Surumu	1512,1	43,1

Fonte: Gonçalves, L. J. M. et al. (2013).

apresentando valores de precipitação anual em torno de 1.316 mm; a região com registros mais elevados altos situa-se no sul com valores em torno de 2.768,5 mm.

O gradiente de chuvas, no sentido de NE-SW (máximos a SW), podem estar associados à posição do cavado tropical que favorece chuvas mais ao sul da bacia do rio Branco. As bacias do Tacutu e Anauá apresentam os menores valores de precipitação (média anual), enquanto que o Branco Sul corresponde à região mais drenada.

A configuração das chuvas com uma variabilidade de NE-SW é que demonstra ter influência sobre o desenvolvimento de culturas que demandem por uma maior intensidade de drenagem, como é o caso do arroz (HEINEMANN; STONE, 2009). A distribuição da precipitação apresentada na figura 4 (Região A) (INMET, 2008), com diferente série histórica (1961-2007), é concordante com o comportamento obtido a partir do período analisado.

O comportamento geral da distribuição

das chuvas, na bacia do rio Branco, indica um período de maior intensidade de maio a julho, com uma variação significativa de janeiro a março e de outubro a dezembro, marcando períodos menos chuvosos (Figura 5a, b). As formas de análise da distribuição pluviométrica, em termos de sua localização (média ou mediana), escala (amplitude interquartil) e assimetria (diferença entre quartil e mediana); possibilitam a avaliação da maior estabilidade nos parâmetros estimados. Esse tipo de análise (distribuição de frequência) das chuvas anuais dá uma estimativa da probabilidade para diferentes valores da variável estudada (FECHINE, 2008; MARCUZZO et al., 2012).

Figura 4 - Precipitação média anual, histórico de 1961-2007, segundo INMET (2008)

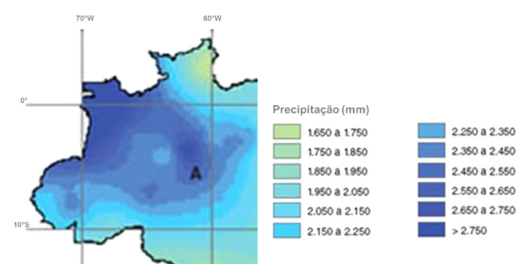
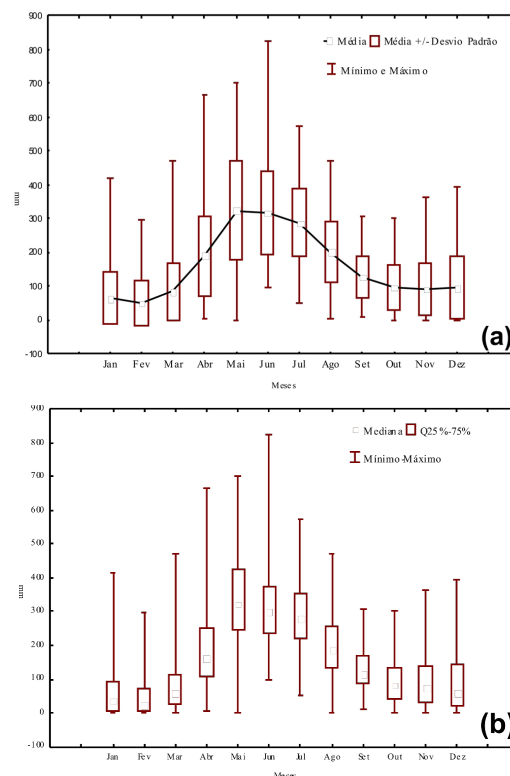


Figura 5 - Distribuições: (a) média, desvio padrão, máximos e mínimos; (b) mediana, quartis, máximos e mínimos. Histograma com o comportamento da precipitação: (c) Janeiro; (d) Fevereiro; (e) Março; (f) Abril; (g) Maio; (h) Junho.



	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Média	69,69	27,30	65,4	74,79	17,82	240,4	256,76	99,4	46,51	72,56	24,70	38,43
Mediana	54,25	32,15	63,3	58,8	19,3	232,55	279,8	84,3	44,4	64,15	11,85	32,8
Desvio padrão	54,41	17,612	51,435	56,92	15,12	108,06	74,01	51,59	22,28	37,08	28,77	33,70
Mínimo	0,1	1,9	1,4	4,1	0	103,8	102,9	43,4	16,1	26,7	0	0
Máximo	199,7	53,4	149,4	194,5	42,8	393	325,4	229,7	96,4	153,8	85,5	102,6
Q25%	37,05	9,2	13	36,3	2,3	133,65	211,9	69,35	27,8	42,8	1,15	12,25
Q75%	82,4	40,25	111,7	106,7	27,25	340,25	313,8	114,7	59,45	96,75	38,25	59,15

Fonte: Gonçalves, L. J. M. et al. (2013).

Barbosa (1997) já descrevia a precipitação anual no estado de Roraima como crescente, de NE para SW, saindo das formações de savana (ou cerrado) (1.000 - 1.400 mm/ano) e atravessando uma faixa de transição savana-floresta-floresta de altitude (1.700 - 2.000 mm/ano), até alcançar as florestas úmidas de baixo relevo (2.000 - 2.300 mm/ano) no sul do estado; a região mais seca se apresentaria no extremo NE, com índices girando em torno dos 1.100 mm/ano em relevo de altitude moderada (+/- 600 m) e alta concentração em um pequeno período do ano (geralmente entre maio e agosto).

Araújo et al. (2001) observaram, para Boa Vista (RR), uma precipitação anual média de 1.688 mm; onde os coeficientes de variação das médias mensais e do desvio-padrão elevados, evidenciaram grande

variabilidade da precipitação, com variações menores entre os meses de abril a agosto, e as maiores entre os meses de outubro a fevereiro que correspondem aos períodos mais e menos chuvoso, respectivamente.

Influência da precipitação sobre as áreas de cultivo de arroz

A figura 6, demonstra que as áreas de cultivo de arroz, no estado de Roraima concentram-se nas bacias dos rios Tacutu, Uraricoera e Branco Norte (ao longo dos rios Mucajaí, da Paca e Branco); na região de menores índices médios de chuva (entre 1300 e 1800 mm) e com maior variabilidade da precipitação, considerando os períodos mais e menos chuvosos. Entretanto a oferta hídrica da rede de drenagem é grande, favorecendo o plantio de arroz irrigado. No Estado de Roraima, o consumo estimado de água na

Figura 6 - Áreas de cultivo de arroz no estado de Roraima, segundo Sakazaki et al. (2008)



Fonte: Gonçalves, L. J. M. et al. (2013).

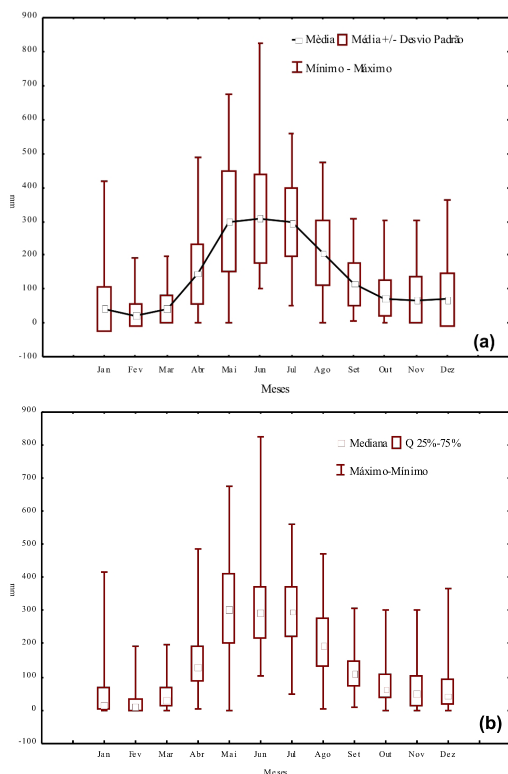
produção de arroz varia de 10.000 a 16.000 m³/ha (dependendo das classes do solo, da época de plantio, do ciclo de cultivo e da eficiência do sistema de irrigação utilizado).

No sistema de cultivo tradicional de arroz de terras altas, a umidade do solo é dependente exclusivamente das chuvas (CORDEIRO; MEDEIROS, 2010).

Considerando a região onde se concentram as áreas de plantio e a distribuição regional das chuvas, a análise da variabilidade da precipitação, tomando como referência apenas as estações localizadas a NE da bacia, demonstra de forma mais clara as diferenças existentes entre os períodos mais e menos chuvosos.

A região NE da bacia do rio Branco tem como trimestre mais chuvoso maio-junho-julho; e menos chuvoso janeiro-fevereiro-março; existindo uma grande variabilidade entre máximos e mínimos principalmente durante o período de maior concentração de chuvas (Figura 7a, b).

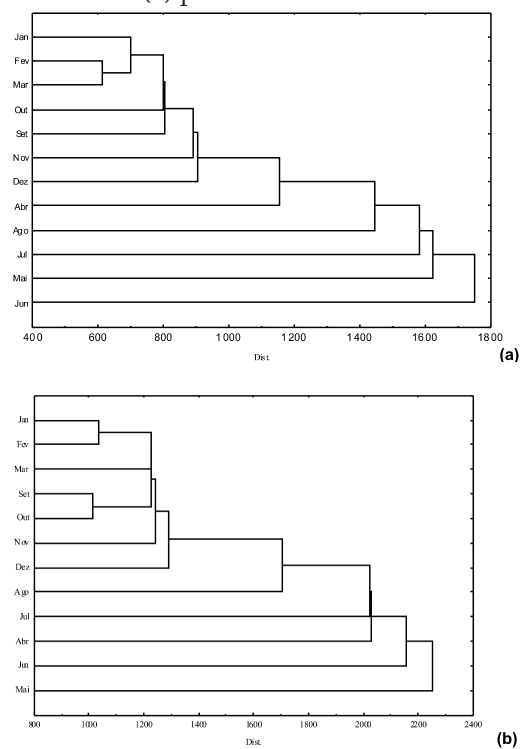
Figura 7 - Distribuições nas estações localizadas na área de influência do plantio de arroz em Roraima: (a) média, desvio padrão, máximos e mínimos; (b) mediana, quartis, máximos e mínimos.



Fonte: Gonçalves, L. J. M. et al. (2013).

A análise de agrupamentos compara o padrão geral da bacia e o da região NE, demonstrando as diferenças existentes entre eles, no arranjo entre os meses mais e menos chuvosos (Figura 8a, b): nos máximos de maio-junho-abril e junho-maio-julho; e nos mínimos outubro-setembro/março/fevereiro-janeiro e setembro/outubro/março-fevereiro/janeiro.

Figura 8 - Agrupamentos em função da distribuição da precipitação: (a) na área de influência do plantio de arroz, a NE da bacia do rio Branco; (b) para a bacia do rio Branco.



Fonte: Gonçalves, L. J. M. et al. (2013).

A figura 9 (a, b) apresenta a precipitação média do estado de Roraima, obtida por dois métodos distintos e a área (ha) de produção anual de arroz no estado em um período de dez anos (2001-2010). A tabela 4 apresenta os dados de produção

(ton) e produtividade (ton/ha) associados à área (ha) e às ocorrências de El Niño e La Niña. A escolha desse período é devida à disponibilidade de informação sobre a produção de arroz, que foi melhor definida pelos órgãos responsáveis pelo

Figura 9 - (a) Relação entre a produção anual de arroz e a precipitação média anual no período de 2001-2010. Para o ano de 2009: (b) Agrupamentos em função da distribuição da precipitação (média mensal) e (c) Precipitação média mensal.

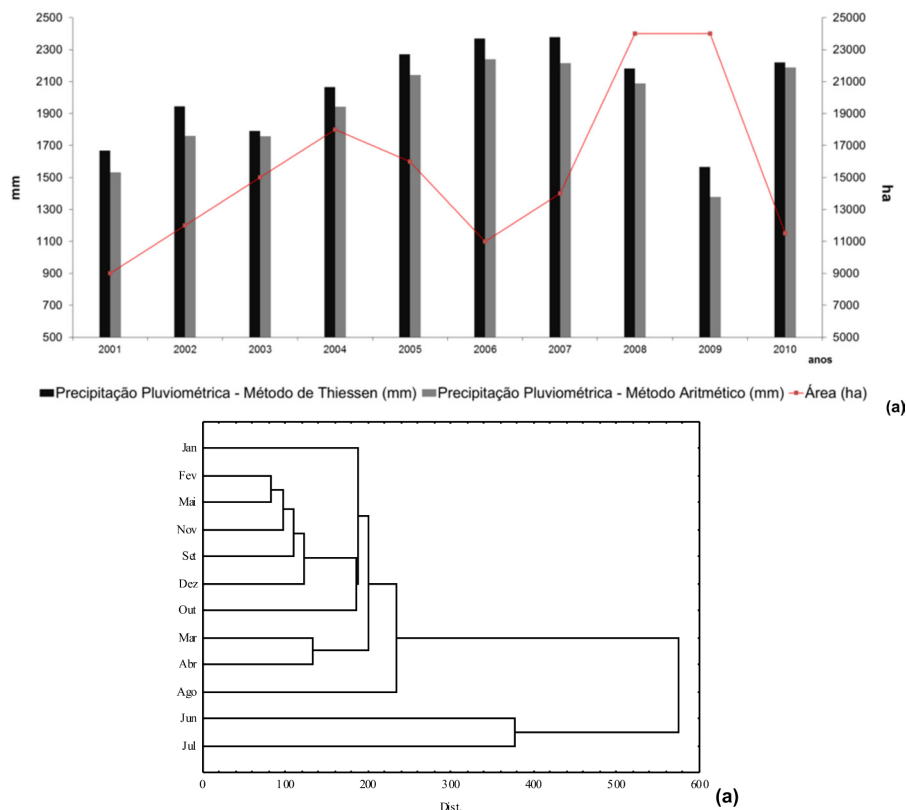


Tabela 4 - Relação entre a produção anual de arroz em Roraima (segundo Cordeiro e Medeiros, 2010), a precipitação média anual do Estado no período de 2001-2010 e as ocorrências de El Niño e La Niña obtidas no banco de dados do CPTEC/INPE (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais).

Ano	Área (ha)	Produção (ton)	Produtividade (ton/ha)	Precipitação pluviométrica		El Niño / La Niña
				Método de Thiessen (mm)	Método Aritmético (mm)	
2001	9000	56250	6250	1668,9	1532,1	La Niña - Moderado
2002	12000	75000	6250	1946,2	1759,9	El Niño - Moderado
2003	15000	93750	6250	1790,3	1758,4	El Niño - Moderado
2004	18000	114300	6350	2066,7	1942,3	El Niño - Fraco
2005	16000	104000	6500	2270,0	2142,2	El Niño - Fraco
2006	11000	71500	6500	2368,5	2239,2	El Niño - Fraco

(Continua...)

Tabela 4 - Relação entre a produção anual de arroz em Roraima (segundo Cordeiro e Medeiros, 2010), a precipitação média anual do Estado no período de 2001-2010 e as ocorrências de El Niño e La Niña obtidas no banco de dados do CPTEC/INPE (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). (...Conclusão).

Ano	Área (ha)	Produção (ton)	Produtividade (ton/ha)	Precipitação pluviométrica		El Niño / La Niña
				Método de Thiessen (mm)	Método Aritmético (mm)	
2007	14000	91000	6500	2378,7	2215,6	La Niña - Forte
2008	24000	152400	6350	2182,1	2087,7	La Niña - Forte
2009	24000	152400	6350	1566,4	1379,5	El Niño - Fraco
2010	11500	73025	6350	2219,6	2188,6	El Niño - Fraco

Fonte: Gonçalves, L. J. M. et al. (2013).

seu cálculo.

Observa-se que, do ano de 2001 a 2004, a produção se manteve com uma tendência positiva, acompanhando claramente o aumento da precipitação média do estado no período (considerando tanto os valores indicados pelo método de Thiessen, quanto pelo aritmético). No triênio 2005 a 2007, houve a maior produtividade associada ao período e maior pluviometria anual.

Observa-se que houve uma variação da área de plantio durante o período analisado (máximos em 2006 e 2010) que pode influenciar no total da produção, mas, no geral, com a precipitação se mantendo alta, observa-se que a produção aumenta novamente seguindo seu padrão.

A distribuição mensal das chuvas na área onde predomina o cultivo de arroz também é coincidente com o descrito por Reboita et al. (2010) e Reboita (2012) que indicam que o máximo de precipitação migra para o norte do equador durante o mês de abril, permanecendo até julho; em outubro, seriam observados os menores valores na porção norte da Amazônia.

Fernandes e Heinemann (2011) consideram o arroz de terras altas como

altamente sensível à deficiência hídrica. Fernandes et al. (2010) definem o período de estiagem como o déficit de precipitação pluvial e sua duração; já a “seca” agrícola como situações com redução na quantidade de água disponível, nas diferentes camadas do solo ocupadas pelo sistema radicular, que afetariam o rendimento das culturas.

A distribuição das chuvas na região, no período de 2001 a 2010, comparada à ocorrência dos fenômenos de ENOS (El Niño Oscilação Sul) e a variação da produção de arroz na região, indica que existe uma contribuição das chuvas para produção, mas não é esse o único fator relevante. A Figura 10 ilustra que a produção de arroz tem uma ótima correlação direta com aumento e redução da área de plantio. Nos anos de 2005 a 2008, a região teve o maior volume de chuvas, mesmo considerando que os anos de La Niña (forte) foram apenas 2007 e 2008 (MARENGO et al., 2011) (Figura 11).

O ano de 2009 apresentou as mais baixas precipitações para a região, com valores superiores a 150 mm (média mensal), apenas nos meses de junho e julho, havendo um longo período de estiagem variando de setembro a fevereiro, com valores inferiores a

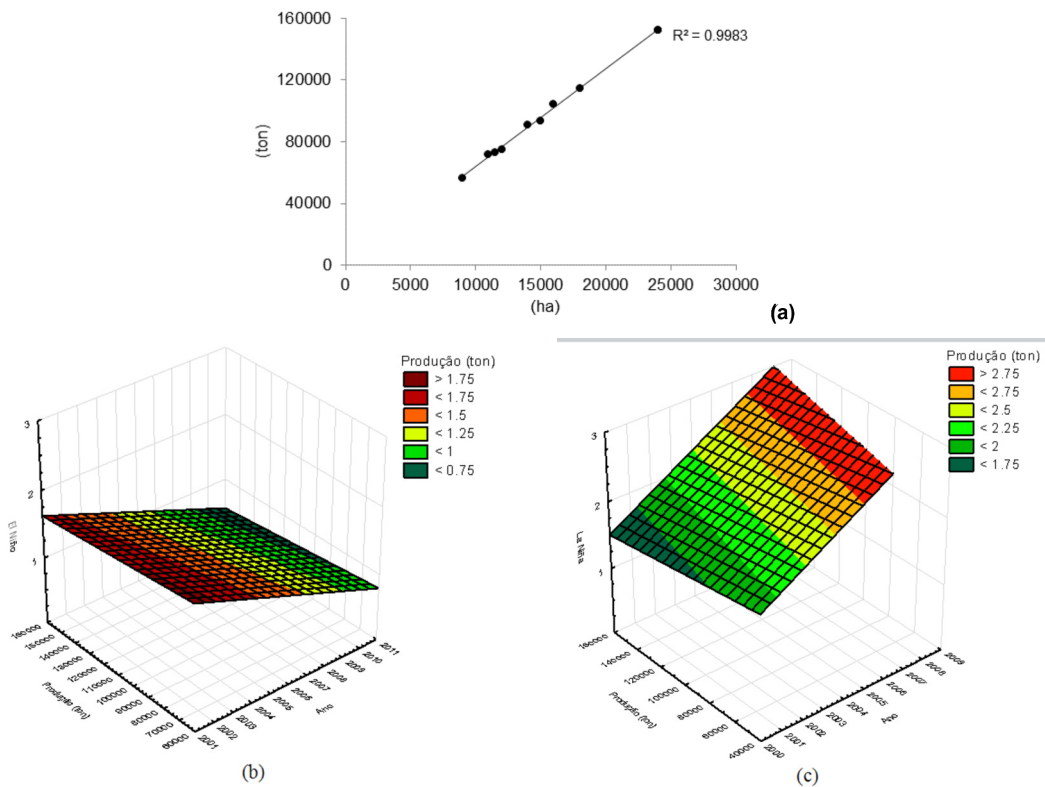
100 mm (média mensal). A ocorrência de El Niño é coincidente com esse período (1.379,5 mm, acumulado anual). (Figura 10b).

Carmona e Berlato (2002) analisaram os dados coletados de rendimento médio, de seis regiões orizícolas do estado do Rio Grande do Sul, no período de 1944 a 2000, comparando com os dados de precipitação pluvial, temperatura mínima e insolação; o observado foi que os eventos El Niño são desfavoráveis para a cultura do arroz irrigado, em 53% dos anos, enquanto que os eventos

La Niña são favoráveis em 60% dos anos.

Berlato et al. (2005) analisaram os efeitos de cada fase do ENOS, no período de 1922/2003, na série histórica de 84 anos de produtividade do milho no Estado do Rio Grande do Sul, como resultado obtiveram que a maior variabilidade da produtividade coincidiu com maior variabilidade da precipitação pluvial; onde a tendência mais acentuada de aumento da produtividade (na década de 90 e primeiros anos de 2000) coincidiu com a tendência de aumento da

Figura 10 - Relação entre: (a) área plantada (ha) x produção de arroz (ton); área plantada (ha) x produção de arroz (ton) segundo as condições de (b) El Niño e (c) La Niña, (1) Fraco, (2) Moderado, (3) Forte.



Fonte: Gonçalves, L. J. M. et al. (2013).

precipitação pluvial, causada pela ocorrência de pelo menos seis eventos de El Niño (anomalias positivas de precipitação pluvial,

na primavera-início de verão, no Rio Grande do Sul).

Minuzzi et al. (2007), ao analisarem

dados diários de 1950 a 2000 de estações pluviométricas localizadas na região Sudeste do Brasil (Minas Gerais e São Paulo), em áreas de maior produtividade e, climaticamente aptas para a cultura da soja, avaliaram que o El Niño não possui uma característica marcante na precipitação efetiva em escala decenal, sendo mais influentes nas áreas onde a faixa de saturação hídrica no solo variou até 50 mm.

Os resultados obtidos por Carmona e Berlato (2002), Berlato et al. (2005) e Minuzzi et al. (2007), demonstram que a influência dos ENOS na agricultura é vista como agente de anomalias climáticas, principalmente com relação às variáveis temperatura e precipitação, porém o reflexo é dependente também de outros fatores como, por exemplo, material genético mais adaptado e melhores técnicas de manejo. O avaliado para o estado de Roraima tem como limitante o curto período de levantamento da produção (2001-2010), porém os resultados obtidos já demonstram uma relação com os efeitos observados em séries de maior período.

Conclusão

A bacia hidrográfica do rio Branco apresenta uma precipitação anual que varia regionalmente com valores mínimos a nordeste da bacia e máximos ao sul, próximos à foz com o rio Negro. A variabilidade mensal configura um período mais chuvoso de maio a julho e outro menos chuvoso de outubro a dezembro.

O regime de chuvas sofre influência dos fatores regionais associados aos fenômenos de ENOS (El Niño Oscilação Sul), que favorecem (La Niña) e desfavorecem (El Niño) as chuvas provocadas pelos sistemas convectivos que atuam na região, principalmente os associados ao cavado tropical.

A regionalização da precipitação ao longo da bacia do rio Branco definiu a NE uma zona de maior variabilidade entre o período mais e menos chuvoso, e onde este último demonstrou ser mais intenso. Esta região coincide com a principal área de produção de arroz do estado de Roraima, que, para o período analisado, demonstrou ter sido influenciada pelo regime de chuvas e de forma cumulativa associada a fatores como a área de plantio e formas de manejo adotadas.

Referências

ALENCOÃO, A. M. P.; PACHECO, F. A. L. Estimativa de parâmetros hidrológicos: dois modelos, um caso de estudo. **Revista da Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos**, v. 31, n. 1, p. 15-23, 2001.

ALMEIDA, A. Q.; RIBEIRO, A.; PAIVA, Y. G.; RASCON, N. Jr. L.; LIMA, E. P. Geoestatística no estudo de modelagem temporal da precipitação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 4, p. 354-358, 2011.

ALTAF, F.; MERAJ, G.; ROMSHOO, S. A. Morphometric analysis to infer hydrological behaviour of liddler watershed, Western Himalaya, India. **Geography Journal**, v. 2013, p. 1-14, 2013.

ALVES, M. A. S.; MACHADO, L. A. T.; PRASAD, G. S. S. D. Estudo da variabilidade da cobertura de nuvens altas na Amazônia Central. **Acta Amazônica**, v. 37, n. 1, p. 71-79, 2007.

ARAÚJO, W. F.; ANDRADE Jr, A. S.; MEDEIROS, R. D.; SAMPAIO, R. A. Precipitação pluviométrica mensal provável em Boa Vista, Estado de Roraima, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 5, n. 3, p. 563-567, 2001.

BAGYARAJ, M.; GURUGNANAM, B. Significance of morphometry studies, soil characteristics, erosion phenomena and landform processes using remote sensing and GIS for Kodaikanal Hills, a global biodiversity hotspot in Western Ghats, Dindigul District, Tamil Nadu, South India. **Research Journal of Environmental and Earth Sciences**, v. 3, n. 3, p. 221-233, 2011.

BARBOSA, R. I. Distribuição das chuvas em Roraima. In: BARBOSA, R. I.; FERREIRA, E. J. G.; CASTELLÓN, E. G. (Org.). **Homem, ambiente e ecologia no estado de Roraima**. Manaus: INPA, p. 325-335, 1997.

BERLATO, M. A.; FARENZENA, H.; FONTANA, D. C. Associação entre El Niño Oscilação Sul e a produtividade do milho no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 5, p. 423-432, 2005.

CARMONA, L. C.; BERLATO, M. A. El Niño e La Niña e o rendimento de arroz irrigado no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 10, p. 147-152, 2002.

CORDEIRO, A. C. C.; MEDEIROS, R. D. Evolução do cultivo e custo de produção do arroz irrigado em Roraima. **Boletim da Embrapa**, n. 47, p. 1-6, 2010.

CORDEIRO, A. C. C.; SUHRE, E.; MEDEIROS, R. D.; VILARINHO, A. A. Sistemas de cultivo e manejo de água na produção de diferentes genótipos de arroz em várzea, no estado de Roraima. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 40, n. 3, p. 362-369, 2010.

DAS, A.; MONDAL, M.; DAS, B.; GHOSH, A. R. Analysis of drainage morphometry and watershed prioritization in Bandu Watershed, Purulia, West Bengal through Remote Sensing and GIS technology - A case study. **International Journal of Geomatics and Geosciences**, v. 2, n. 4, p. 995-1013, 2012.

FECHINE, J. A. L.; GALVÍNCIO, J. D. Análise das precipitações mensais da bacia hidrográfica do rio Brígida no semi-árido pernambucano, usando o método de WARDS. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 28, n. 2, p. 75-88, 2008.

FERNANDES CHIERICE, R. A.; LANDIM, P. M. B. Variabilidade espacial e temporal de precipitação pluviométrica na bacia hidrográfica do rio Mogi Guaçu. **Geociências**, v. 33, n. 1, p. 157-171, 2014.

FERNANDES, D. S.; HEINEMANN, A. B. Estimativa da variação da produtividade do arroz em diferentes escalas temporais do índice SPI. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 4, p. 335-343, 2011.

FERNANDES, D. S.; HEINEMANN, A. B.; PAZ, R. L. F.; AMORIM, A. O. Desempenho de índices quantitativos de seca na estimativa da produtividade de arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 8, p. 771-779, 2010.

HEINEMANN, A. B.; SENTELHAS, P. C. Environmental group identification for upland rice production in central Brazil. **Scientia Agricola**, v. 68, n. 5, p. 540-547, 2011.

HEINEMANN, A. B.; STONE, L. F. Efeito da deficiência hídrica no desenvolvimento e rendimento de quatro cultivares de arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 39, n. 2, p. 134-139, 2009.

LEIVAS, J. F.; RIBEIRO, G. G.; SARAIVA, I.; SANTO, J. S. E.; SOUZA, M. B.; FILHO, J. R. Avaliação dos prognósticos de precipitação simulada pelo modelo BRAMS na Amazônia Ocidental na estação chuvosa. **Acta Amazônica**, v. 41, n. 3, p. 347-354, 2011.

MARCUZZO, F. F. N.; OLIVEIRA, N. L.; PINTO FILHO, R. F.; FARIA, T. G. Chuvas na região centro-oeste e no estado do Tocantins: análise histórica e tendência futura. **Boletim Geográfico**, v. 30, n. 1, p. 19-30, 2012.

MARENGO, J. A.; TOMASELLA, J.; ALVES, L. M.; SOARES, W. R.; RODRIGUEZ, D. A. The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. **Geophysical Research Letters**, v. 38, n. 12, p. 1-5, 2011.

MARENGO, J. A. On the hydrological cycle of the Amazon basin: a historical review and current state-of-the-art. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, n. 3, p. 1-19, 2006.

MARTIN, T. N.; NERO, D. D.; VIEIRA Jr., P. A.; MANFRON, P. A. Homogeneidade espaço temporal e modelos de distribuição para a precipitação pluvial no estado de São Paulo. **Ceres**, v. 55, n. 5, p. 476-481, 2008.

MAZZINI, P. L. F.; SCHETTINI, C. A. F. Avaliação de metodologias de interpolação espacial aplicadas a dados hidrográficos costeiros quase sinóticos. **Brazilian Journal of Aquatic Sciences & Technology**, v. 31, n. 1, p. 53-64, 2009.

MINUZZI, R. B.; SEDIYAMA, G. C.; COSTA, J. M. N.; VIANELLO, R. L. Influência do El Niño nas épocas de plantio e fenologia da cultura da soja na região sudeste do Brasil. **Ceres**, v. 54, n. 313, p. 321-328, 2007.

MEDINA, B. F.; LEITE, J. A. Probabilidades de chuva em Boa vista, RR. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 19, n. 12, p. 1437-1441, 1984.

MELLO, C. R.; SILVA, A. M. Modelagem estatística da precipitação mensal e anual e no período seco para o estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 1, p. 68-74, 2009.

MENEZES, H. E. A.; BRITO, J. I. B.; SANTOS, C. A. C.; SILVA, L. L. A relação ente a temperatura da superfície dos oceanos tropicais e a duração dos veranicos no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 23, n. 2, p. 152-161, 2008.

MUZA, M. N.; CARVALHO, L. M. V. Variabilidade intrasazonal e interanual de extremos na Precipitação sobre o centro-sul da Amazônia durante o verão austral. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, n. 3a, p. 29-41, 2006.

NICOLODI, J. L.; ZAMBONI, A.; BARROSO, G. F. Gestão integrada de bacias hidrográficas e zonas costeiras no Brasil: implicações para a região hidrográfica Amazônica. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 9, n. 2, p. 9-32, 2009.

NOBRE, C. A.; OBREGÓN, G. O.; MARENGO, J. A.; FU, R.; POVEDA, G. Características do Clima Amazônico: aspectos principais. **Geophysical Monograph Series**, n. 186, p. 149-162, 2009.

OLIVEIRA, L. F. C.; FIOREZE, A. P.; MEDEIROS, A. M. M.; SILVA, M. A. S. Comparação de metodologias de preenchimento de falhas de séries históricas de precipitação pluvial anual. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 11, p. 1186-1192, 2010.

PARETA, K.; PARETA, U. Quantitative Geomorphological Analysis of a Watershed of Ravi River Basin, H. P. India. **International Journal of Remote Sensing and GIS**, v. 1, n. 1, p. 41-56, 2012.

REBOITA, M. S. Entendendo o tempo e o clima na América do Sul. **Terrae Didactica**, v. 8, p. 34-50, 2012.

REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 2, p. 185 - 204, 2010.

RIBEIRO, C. B. M.; MARQUES, F. A.; SILVA, D. D. Estimativa e regionalização de vazões mínimas de referência para a bacia do rio Doce. **Engenharia na Agricultura**, v. 13, n. 2, p. 103-117, 2005.

ROCHA, P. C. Indicadores de Alteração Hidrológica no Alto Rio Paraná: Intervenções Humanas e Implicações na Dinâmica do Ambiente Fluvial. **Sociedade & Natureza**, v. 22, p. 205-225, 2010.

SAKAZAKI, R. T.; ALVES, J. M. A.; LOPES, G. N. Arroz irrigado em Roraima. **Agroambiente**, v. 2, n. 1, p. 69-76, 2008.

SANTOS, A. M.; GALVÍNCIO, J. D.; MOURA, M. S. B. Homogeneização da precipitação pluviométrica na bacia hidrográfica do rio Goiana - PE, com método de análise de agrupamento. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 1 n. 1, p. 14-27, 2008.

SILVA, E. S.; TRINCA, L. A.; NERY, J. T. Áreas espacialmente homogêneas de níveis de precipitação nas regiões sudeste e sul do Brasil. **Revista Energia na Agricultura**, v. 24, n. 3, p. 34-59, 2009.

SILVA, N. S.; RIBEIRO, C. A. A. S.; BARROSO, W. R.; RIBEIRO, P. E. A.; SOARES, V. P.; SILVA, E. Sistema de Otto-codificação modificado para endereçamento de redes hidrográficas. **Revista Árvore**, v. 32, n. 5, p. 891-897, 2008.

STRAHLER, A. N. Dynamic Basis of Geomorphology. **Geological Society American Bulletin**, v. 63, p. 923-938, 1952.

TEODORO, V. L. I.; FULLER, B. B.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D. J. L. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Uniara**, v. 20, p. 137-156, 2007.

YOON, J.; ZENG, N. An Atlantic influence on Amazon rainfall. **Climate Dynamics**, v. 34, p. 249-264, 2010.

ZENG, N.; YOON, J. H.; MARENGO, J. A.; SUBRAMANIAM, A.; NOBRE, C. A.; MARIOTTI, A.; NEELIN, J. D. Causes and impacts of the 2005 Amazon drought. **Environmental Research Letters**, v. 3, n. 014002, p. 1-9, 2008.