

Potential of Irrigated Agricultural Production of Corn (*Zea mays* L.) in Semi-Arid Region using Geoprocessing

Paulo R. M. Francisco*, Viviane F. Silva**, Djail Santos***,
George do N. Ribeiro****, Gypson D. J. Ayres*****, Raimundo C. M. Rodrigues*****

*Doutorando em Eng. Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, paulomegna@gmail.com

**Dra. Profa. Associada, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, viviane.farias@professor.ufcg.edu.br

***Dr. Prof. Titular, Universidade Federal da Paraíba, UFPB, Areia-PB. santosdj@cca.ufpb.br

****Dr. Prof. Associado, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, george@ufcg.edu.br

*****Doutorando em Eng. Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, fgypsond@gmail.com

*****Dr. Prof. Ass. Universidade Estadual do Maranhão, UEM, calixto_80@hotmail.com

,Received 05 December 2023; accepted December 2013

ABSTRACT

This work aimed to evaluate and map the potential of irrigated agricultural production for corn for the watershed of the region of the middle course of the Paraíba River. Using SPRING, a map of soil irrigation potential and soil retention capacity was prepared and a partial map was generated through matrix crossing. Using average annual rainfall data, the climate condition map was prepared. After using LEGAL, the agricultural production potential map was generated through the matrix crossing between the partial map and the climate scenario. For maize, a Full climatic condition (C1) was identified in 2.02% of the basin's total; the full climatic condition with prolonged rainy season (C2) and the climatic condition moderated by excess water (C3) were not identified; the climatic condition Moderate by water deficiency (C4) in 0.86%; the unfit condition due to severe water deficit (C5) in 97.12% of the basin. The potential of irrigated agricultural production for maize did not show Very High (MA), High (A), Medium (M) and Low (B) potential, only the Very Low (MB) potential in 100% of the basin.

Keywords: geotechnologies, irrigation, agricultural production, technical classification.

Potencial da Produção Agrícola Irrigada do Milho (*Zea mays* L.) em Região Semiárida utilizando Geoprocessamento

RESUMO

Este trabalho objetivou realizar para a bacia hidrográfica da região do médio curso rio Paraíba, avaliar e mapear o potencial da produção agrícola irrigada para o milho. Utilizando o SPRING foi elaborado o mapa de potencial de irrigação dos solos e de capacidade de retenção dos solos e gerado o mapa parcial através do cruzamento matricial. Utilizando dados de pluviosidade média anual foi elaborado o mapa da condição climática. Após utilizando o LEGAL foi gerado o mapa de potencial de produção agrícola através do cruzamento matricial entre o mapa parcial e o de cenário climático. Para cultura do milho foi identificada condição climática Plena (C1) em 2,02% do total da bacia; a condição climática plena com período chuvoso prolongado (C2) e a condição climática moderada por excesso hídrico (C3) não foram identificadas; a condição climática Moderada por deficiência hídrica (C4) em 0,86%; a condição inapta por deficiência hídrica acentuada (C5) em 97,12% da bacia. O potencial de produção agrícola irrigada para a cultura do milho não apresentou potencial Muito Alto (MA), Alto (A), Médio (M) e Baixo (B), somente o potencial Muito Baixo (MB) em 100% da bacia.

Palavras-chave: geotecnologias, irrigação, produção agrícola, classificação técnica.

1. Introdução

Em toda extensão territorial brasileira, o milho (*Zea mays* L.) é cultivado, destacando-se das demais culturas e ocupando assim a segunda maior área cultivada do país (CONAB, 2007). No Brasil, o milho constitui uma das principais culturas

agrícolas. De acordo com o Levantamento Sistemático da Produção Agrícola do IBGE (2015), a produção nacional de grãos no ano de 2014 foi de aproximadamente 79 milhões de toneladas. De acordo com Silva et al. (2012), essa cultura é importante na composição de silagem e

rações, sendo a principal fonte de energia na dieta de rebanhos bovinos, caprinos, ovinos e na avicultura, e também para alimentação humana.

A cultura do milho apresenta pouca tolerância à falta de água. Cultivado em diversos sistemas produtivos, o milho é plantado principalmente nas regiões do Centro-Oeste, Sudeste e Sul. No Nordeste do Brasil os rendimentos da cultura são muito baixos, cultivado por pequenos agricultores que utilizam pouco ou nenhum recurso tecnológico. Entretanto, apesar dos baixos rendimentos, o milho é um cereal tradicional e apresenta aspectos culturais e históricos na região (Barros et al., 2012).

A irregularidade pluviométrica torna o cultivo agrícola de sequeiro uma atividade de alto risco. Com isso, semiárido brasileiro possui sua capacidade produtiva limitada, por causa das características intrínsecas em relação à vegetação, clima e solo (Cavalcanti & Resende, 2001).

Quanto ao clima, os fatores que afetam o crescimento da cultura de milho variam com a região. Nas regiões temperadas e subtropicais, a limitação maior se deve à temperatura do ar e a radiação solar. No Nordeste, destacam-se a precipitação, a temperatura e a evapotranspiração, pois afetam as atividades fisiológicas, interferindo diretamente na produção de grãos e de matéria seca (Silva et al., 2012).

O milho é cultivado em regiões com precipitação de 400mm anuais, caso do semiárido nordestino, com baixíssimos rendimentos, a valores superiores a 1.500mm anuais, sendo que a quantidade de água consumida pelo milho durante o seu ciclo está em torno de 600 a 800 mm (Aldrich et al., 1982), consistindo em uma das culturas mais afetadas pela variabilidade espaço-temporal da precipitação pluviométrica.

De acordo com EMBRAPA (2004), o milho necessita de no mínimo 350 a 500mm de chuva por ciclo, pluviometria menores irá exigir o uso de irrigação, sendo que a precipitação ideal gira em torno de 500 a 800mm. Porém, de acordo com Bergamaschi et al. (2006), a necessidade hídrica do milho varia de 200 a 400mm para o ciclo completo, mas estes valores variam com os diferentes locais e épocas de plantio.

A região Nordeste do Brasil caracteriza-se pela irregularidade espacial e temporal da precipitação e dos processos de escoamento e erosão dos solos, como também pelo alto potencial para evaporação da água em função da enorme disponibilidade de energia solar e altas temperaturas durante todo o ano. Assim, a região Nordeste do Brasil é considerada como uma região

anômala no que se refere à distribuição espacial e temporal da precipitação ao longo do ano (Souza et al., 1998).

O uso da irrigação viabiliza a produção agrícola especialmente em áreas áridas e semiáridas, como no caso do Nordeste brasileiro, onde a escassez hídrica representa uma séria limitação para o desenvolvimento socioeconômico, que se traduz em baixos níveis de renda e padrões insatisfatórios de nutrição, saúde e saneamento de parcela representativa da sua população. A adoção e a aplicação de metodologias atualizadas de classificação de terras para a irrigação podem permitir o planejamento do uso da terra com vistas ao desenvolvimento sustentável. Essas ações poderiam minimizar a degradação das terras e/ou da baixa taxa de retorno econômico, que afetam em muitos casos o pleno sucesso dos projetos irrigados (Amaral, 2005).

Com o advento da informática, o uso de geotecnologias, do Sistema de Informações Geográficas, a evolução dos sistemas computacionais para estudos de análise ambiental, têm proporcionado excelentes resultados no processo de automação da maioria dos trabalhos executados de forma convencional e tem permitido o processamento de um grande volume de informações relevantes para tomadas de decisão (Carvalho et al., 2009; Câmara & Medeiros, 1996; Fernandes et al., 1998). Um dos aspectos mais importantes do uso das geotecnologias é o potencial dos SIGs em produzir novas informações a partir de um banco de dados geográficos. Tal capacidade é fundamental para aplicações como ordenamento territorial e estudos de impacto ambiental, caso em que a informação final deve ser deduzida e compilada a partir de levantamentos básicos (Câmara et al., 1996).

Portanto, este trabalho objetiva para a região do médio curso rio Paraíba, avaliar e mapear o potencial da produção agrícola irrigada do milho utilizando técnicas de geoprocessamento.

2. Material e métodos

A área de estudo compreende a região do médio curso do rio Paraíba com área de 379.406,37 ha localizada no Estado da Paraíba (Figura 1), composta total e/ou parcialmente pelos municípios de Aroeiras, Alcantil, Barra de Santana, Boa Vista, Boqueirão, Barra de São Miguel, Caturité, Campina Grande, Fagundes, Gado Bravo, Itatuba, Natuba, Pocinhos, Puxinanã, Queimadas, Riacho de Santo Antônio, Santa Cecília e Umbuzeiro.

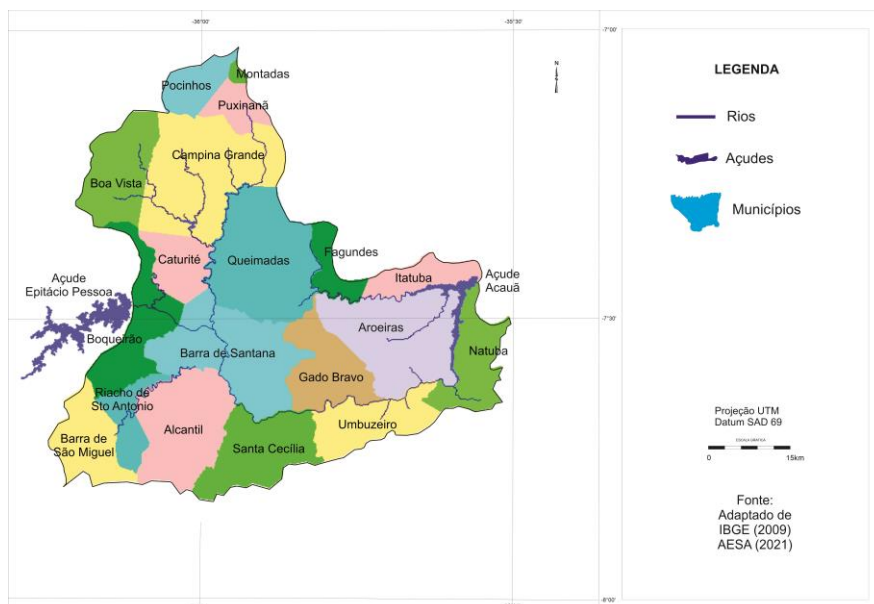


Figura 1. Área de estudo. Fonte: adaptado de IBGE (2009); AESA (2021).

Conforme Francisco (2010), a área de estudo engloba a encosta oriental do Planalto da Borborema, porção leste da bacia, com o clima, segundo a classificação de Köppen, do tipo As' - Tropical Quente e Úmido com chuvas de outono-inverno. A precipitação decresce do litoral para o interior da região (600 mm.ano^{-1}) devido, principalmente, a depressão do relevo. Na porção oeste da bacia, o clima é do tipo Bsh - Semiárido quente, precipitação predominantemente, abaixo de

600 mm.ano^{-1} , e temperatura mais baixa, devido ao efeito da altitude (400 a 700m).

A vegetação representativa da área de estudo é do tipo caatinga hiperxerófila (Francisco, 2010). Os solos predominantes na área de estudo, conforme Campos e Queiroz (2006) são Luvisolos Crômicos órtico típico, Neossolos Litólicos Eutróficos típico, e Vertissolo Cromado Órtico típico, Planossolo Nátrico Órtico típico (Figura 2).

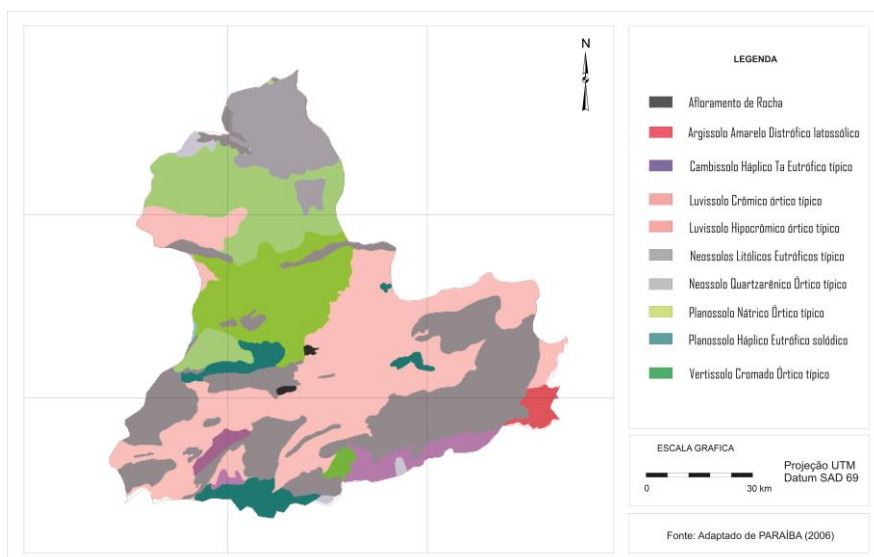


Figura 2. Mapa de solos da área de estudo. Fonte: adaptado de PARAÍBA (2006).

Baseada nas potencialidades e limitações de solo e de clima para cultura agrícola e considerando o uso da terra na condição de sequeiro (sem irrigação) e um cenário pluviométrico, foi elaborado o mapa do potencial de produção agrícola entre o cruzamento matricial do potencial de irrigação e de capacidade de retenção de água dos solos.

Para tal, foi utilizado o mapa de potencial de irrigação dos solos elaborado por Francisco et al. (2021) que utilizou a classificação do Bureau of Reclamation (BUREC, 1953) com adaptações desenvolvidas para as condições da região nordeste do Brasil por Cavalcanti et al. (1994), onde por este trabalho foi categorizado nas classes de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1. Classes do potencial de irrigação dos solos

Classes de Irrigação	
I 1	Terras aráveis, altamente adequadas para agricultura irrigada
I 2	Terras aráveis, com moderada aptidão para agricultura irrigada
I 3	Terras aráveis com aptidão restrita para agricultura irrigada
I 4	Terras aráveis de uso especial
I 5	Terras não-aráveis, mas em situação provisória
I 6	Terras não-aráveis

Também foi elaborado o mapa de capacidade de retenção de água dos solos baseado na metodologia do MAPA (2008) e de Francisco et al. (2011) utilizando as classes de capacidade de

uso (PARAÍBA, 1978), onde foi possível classificar e elaborar o mapa categorizado conforme a Tabela 2.

Tabela 2. Classificação da capacidade de retenção de água dos solos

Classe	Condições do solo
T1 - Tipo 1	Com teor de argila maior que 10% e menor ou igual a 15
T2 - Tipo 2	Com solos com teor de argila entre 15 e 35% e menos de 70% areia
T3 - Tipo 3	Com solos com teor de argila maior que 35%
AP - Área Proibida	Sendo expressamente proibido o plantio de qualquer cultura que esteja em solos que apresentem teor de argila inferior a 10% nos primeiros 50 cm de solo; em solos que apresentem profundidade inferior a 50 cm; em solos que se encontra em áreas com declividade superior a 45%; e em solos muito pedregosos, isto é, solos nos quais calhaus e matações ocupam mais de 15% da massa e/ou da superfície do terreno

Fonte: MAPA (2008).

Após, foi gerado o mapa parcial através do cruzamento matricial dos mapas de potencial de irrigação dos solos e de capacidade de retenção dos solos, utilizando o LEGAL do SPRING 5.5.6. As

classes foram definidas pelo mais alto grau de limitação imposto e categorizado pelas classes definidas conforme a Tabela 3.

Tabela 3. Classes do cruzamento matricial entre o mapa parcial de potencial de irrigação e o de capacidade de retenção de água no solo

Classes Irrigação	Capacidade retenção de água no solo			
	T1	T2	T3	AP
I1	MA1	MA2	MA3	MA4
I2	A1	A2	A3	A4
I3	M1	M2	M3	M4
I4	B1	B2	B3	B4
I5	MB1	MB2	MB3	MB4
I6	MB1	MB2	MB3	MB4

Legenda: I-Irrigação; T- Cap. Ret. Água no Solo; MA-Muito Alto; A-Alto; M-Médio; B-Baixo; MB-Muito Baixo.

Os dados de precipitações climatológicas médias mensais e anuais foram adquiridos da base de dados coletado pela Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA), para o período de 109 anos entre 1912 a 2021 dos postos pluviométricos e selecionando-se os que possuem 30 ou mais anos de observações e procedida de uma análise no tocante à sua consistência, homogeneização e no preenchimento de falhas em cada série, sendo utilizada uma planilha eletrônica e elaborado o cálculo de pluviosidade. O mapa foi espacializado utilizando

o software Surfer® 9 trial pelo método estatístico de interpolação por krigagem e após o mapa foi recortado utilizando os limites da bacia e importado ao SIG SPRING.

Utilizando o mapa de pluviosidade média anual foi elaborado o mapa da condição climática para a cultura do milho. A discriminação da condição climática foi adaptada de Francisco e Santos (2018) e da proposta de Varejão e Barros (2002). As classes foram definidas em 5 critérios determinadas de acordo com a Tabela 4.

Tabela 4. Classes de condição climática

Legenda	Condição Climática	Pluviosidade (mm)
C1	Plena	1.050-1.100
C2	Plena com período chuvoso prolongado	1.100-1.200
C3	Moderada por excesso hídrico	> 1.200
C4	Moderada por deficiência hídrica	1.000-1.050
C5	Inapta por deficiência hídrica acentuada	< 1.000

Fonte: adaptado de Francisco e Santos (2018).

Após foi elaborada uma linguagem no LEGAL do SPRING para geração do mapa de potencial de produção agrícola através do

cruzamento matricial entre o mapa parcial e o mapa de cenário climático, conforme a categorização das classes descritas na Tabela 5.

Tabela 5. Classes do potencial de produção agrícola das culturas

Potencial Parcial	Condição climática				
	C1	C2	C3	C4	C5
IT1	MA1	MA2	MA3	MA4	MB5
IT2	A1	A2	A3	A4	MB6
IT3	M1	M2	M3	M4	MB7
IT4	B1	B2	B3	B4	MB8
IT5-IT6	MB1	MB2	MB3	MB4	MB9

Legenda: C-Condição climática; I-Irrigação; T- Cap. Ret. Água no Solo; MA-Muito Alto; A-Alto; M-Médio; B-Baixo; MB-Muito Baixo.

3. Resultados e Discussão

De acordo com a Figura 3, observa-se Terras aráveis com aptidão restrita da classe 3, com área de 44.264,00 ha representando 11,67% da área total. Terras aráveis de uso especial da

classe 4 com área de 32.029,00 ha representando 8,44% do total. As Terras não aráveis da classe 6 apresentam área de 303.113,37 ha em 79,89% da bacia. Estas estão distribuídas em toda a região da bacia onde ocorre diversidade de solos.

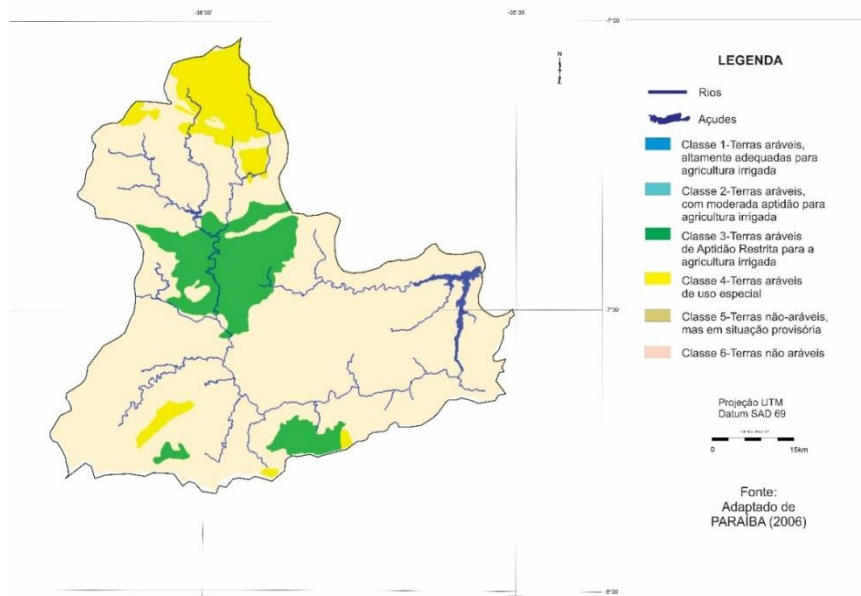


Figura 3. Potencial para irrigação da área de estudo. Fonte: Francisco et al. (2021).

Identifica-se 64.041,00 ha de terras do Tipo 1 (Figura 4) representando 16,88% da área total da bacia. As áreas de terras do Tipo 2 perfazem 71.135,00 ha, representando 18,75% da área total. As áreas de terras do Tipo 3 perfazem

um total de 64.284,00 ha, representando 16,94% da área. As áreas identificadas como proibidas totalizam 179.946,37 ha, representando 47,43% da área distribuídas pela bacia.

As áreas recomendadas para irrigação mapeadas por este trabalho (Figura 5) apresentam para a classe Média área de 44.250,12 ha representando 11,66% do total. A classe Baixa

com 32.016,51 ha de área representando 8,44% do total localizada ao norte da bacia. A classe Muito Baixa em 79,90% da área com 303.139,74 ha distribuída por toda a bacia hidrográfica.

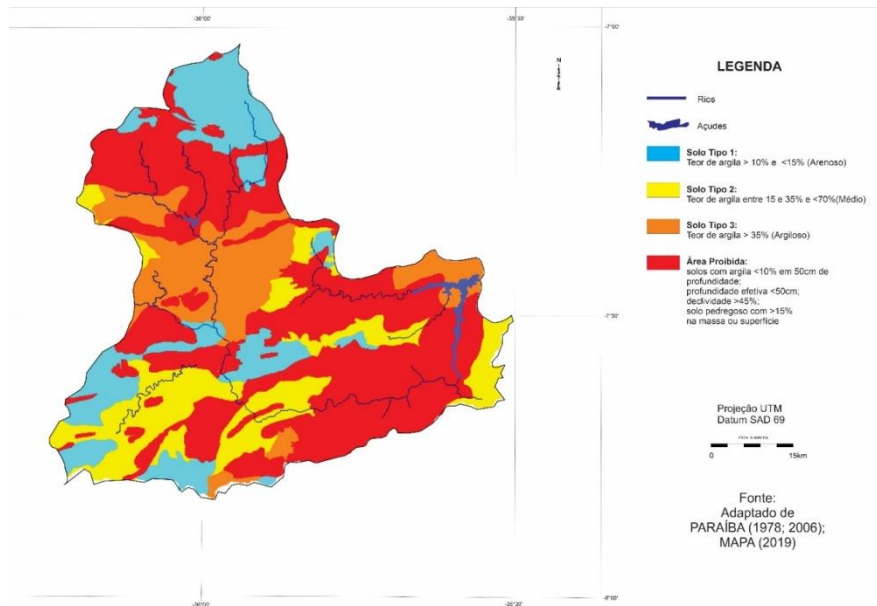


Figura 4. Capacidade de retenção de água no solo da área de estudo.
Fonte: Adaptado de PARAÍBA (1978; 2006); MAPA (2019).

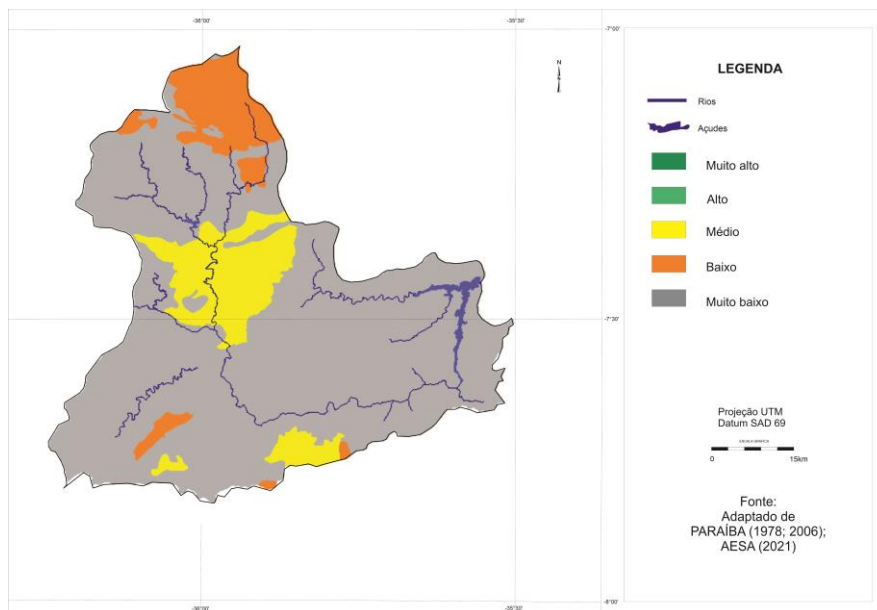


Figura 5. Recomendação para irrigação.
Fonte: Adaptado de PARAÍBA (1978; 2006); AESA (2021).

No mapa da condição climática para cultura do milho (Figura 6), observa-se que somente 2,02% da área da bacia em 7669,74 ha apresenta condição climática plena (C1). Essa área está localizada ao sudeste da bacia no município de Natuba divisa com Pernambuco. Observa-se que a condição climática plena com período chuvoso prolongado (C2) e a moderada por excesso hídrico (C3) não são identificadas na bacia para esta

cultura. Para a condição climática moderada por deficiência hídrica (C4), observa-se 13626,50 ha representando somente 0,86% do total. Essa área apresenta-se em uma pequena e estreita faixa entre a classe inapta (C5) localizada no município de Natuba. As áreas inaptas por deficiência hídrica acentuada (C5) perfazem um total de 368.474,13 ha (97,12%). Estas áreas ocorrem distribuídas por toda a bacia.

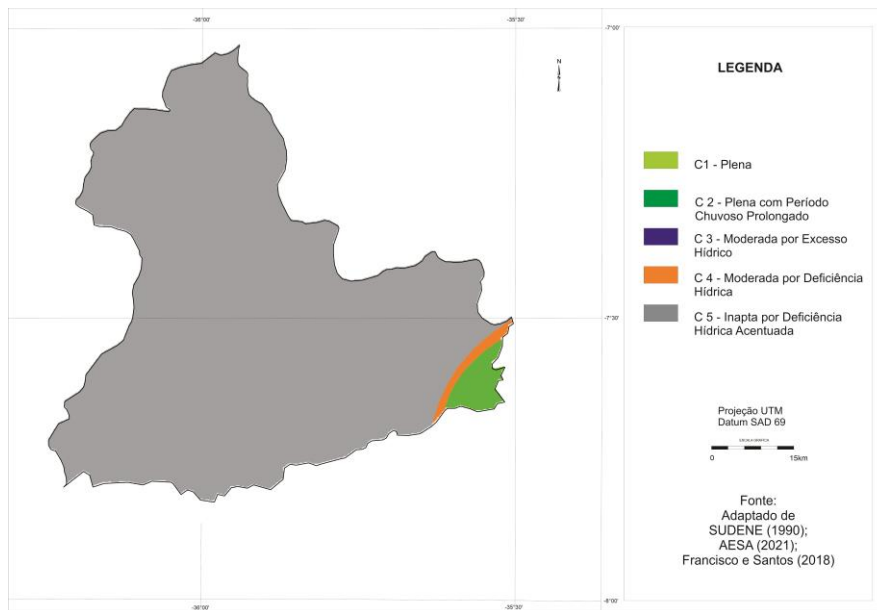


Figura 6. Condição climática para o milho.

Fonte: Adaptado de PARAÍBA (1978; 2006); AESA (2021); Francisco e Santos (2018).

A irregularidade pluviométrica torna o cultivo agrícola de sequeiro uma atividade de alto risco. Com isso, semiárido brasileiro possui sua capacidade produtiva limitada, por causa das características intrínsecas em relação à vegetação, clima e solo (Cavalcanti & Resende, 2001).

A cultura está entre as de maior consumo de água. A deficiência hídrica na planta é quase diária, em função da alta demanda evaporativa da atmosfera, notadamente nas regiões tropicais, onde as taxas de transpiração são elevadas. Nos dias mais quentes, a planta perde mais água do que consegue absorver, mesmo em condições de disponibilidade de água no solo. A escassez hídrica

na planta afeta todos os processos relacionados com seu desenvolvimento (Taiz & Zaiger, 2004).

Na Figura 7, no mapa de potencial de produção agrícola irrigada da cultura do milho, observa-se que somente a classe Muito Baixa está representada no mapeamento.

Estes ambientes desta classe abrangem o total da bacia em 379.406,37 ha, com ocorrência das subclasses MB1, MB4, MB7, MB8 e MB9 (Tabela 6). Notadamente em ambientes por apresentarem solos de potencial Médio, e condição climática Plena, Plena com período chuvoso prolongado e por Moderada por deficiência.

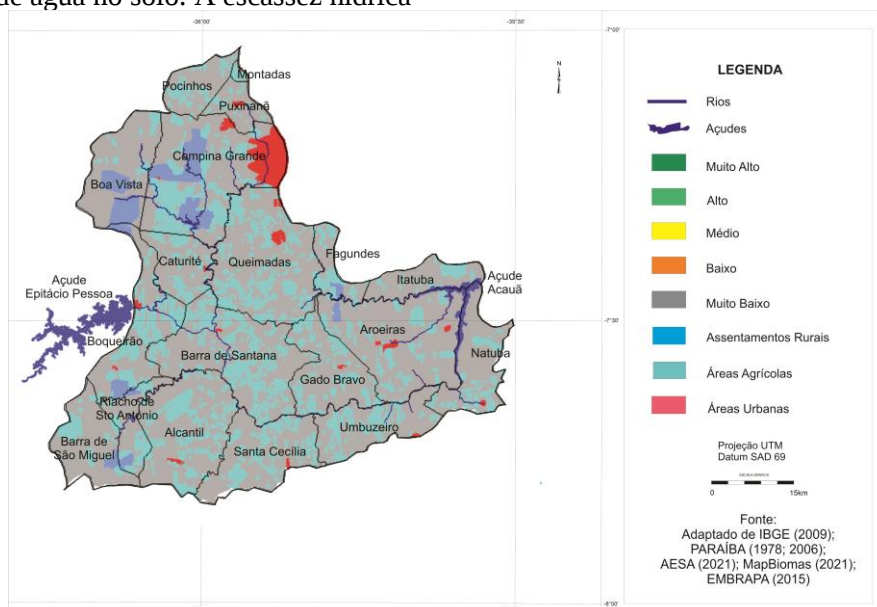


Figura 7. Potencial de produção agrícola para a mandioca.

Fonte: Adaptado de PARAÍBA (1978; 2006); AESA (2021).

Tabela 6. Classes de potencial de produção agrícola para o milho

Classe	Subclasse	Área (ha)	%
Muito Alta	MA1/ MA2	-	-
Alta	A1/ A2	-	-
Média	M1/M2/M3/M4/M5/M6/M7/M8	-	-
Baixa	B1/B2/B3/B4	-	-
Muito Baixa	MB1	7.062,34	1,86
	MB2/MB3	-	-
	MB4	3.209,58	0,85
	MB5/MB6	-	-
	MB7	39.654,36	10,45
	MB8	35.855,82	9,45
	MB9	293.624,27	77,39
Total		379.406,37	100,00

Para a cultura do milho, os resultados deste mapeamento do potencial de produção agrícola irrigado diferem com os dados do IBGE (2017) de produção, onde a cultura do milho é produzida em 7.792 ha, com destaque para Puxinanã, Queimadas, Campina Grande e Fagundes, localizado ao noroeste da bacia, e com 4.198 ha localizado ao leste da bacia em 2.158 ha nos municípios de Aroeiras, Itatuba, Natuba e Umbuzeiro.

Mesmo não apresentando áreas aptas mapeadas por este trabalho, mesmo com as deficiências da pluviosidade, indica que a experiência dos agricultores quanto à produção de subsistência, mesmo com riscos de perdas, podendo assim, serem ampliadas para irrigação, desde que sigam as recomendações da época de plantio e da cultivar mais adequada, como também o manejo adequado da irrigação.

PARAÍBA (1978) observou que, a exploração da cultura do milho tem uma grande difusão e encontra-se distribuída em todo o interior do Estado principalmente em áreas de subsistência e cultivadas em consórcio. Para Sousa e Peres (1998), a maior parte da produção de milho no Brasil é realizada em condições de sequeiro, estando sujeita às várias instabilidades climáticas.

Francisco et al. (2016), mapeando o potencial pedoclimático para o milho concluíram que, os ambientes de potencial Baixo e Muito Baixo ocorrem em maior magnitude na região semiárida e tendem aumentar sua abrangência à medida que se acentua o grau de deficiência hídrica. Resultado similar a este estudo na área da bacia.

A cultura está entre as de maior consumo de água. A deficiência hídrica na planta é quase diária, em função da alta demanda evaporativa da atmosfera, notadamente nas regiões tropicais, onde as taxas de transpiração são elevadas. Nos dias mais quentes, a planta perde mais água do que

consegue absorver, mesmo em condições de disponibilidade de água no solo. A escassez hídrica na planta afeta todos os processos relacionados com seu desenvolvimento (Taiz & Zaiger, 2004).

Quando o déficit hídrico ocorre durante o período crítico da cultura, a produtividade de grãos é afetada, reduzindo, principalmente, o número de grãos por espiga (Matzenauer, 1994; Bergonci et al., 2001). Nessas condições, o uso da irrigação torna-se fundamental, pois é no período crítico que ocorrem os maiores efeitos do déficit hídrico e também a maior eficiência do uso da irrigação, tanto na produção de matéria seca quanto na produtividade de grãos (Bergamaschi et al., 2004).

A variabilidade pluviométrica entre as regiões é fator que afeta a produtividade do milho. A cultura é altamente exigente em termos de disponibilidade de água (Gong et al., 2015), que é um dos aspectos chave para a sua produção (Artuzo et al., 2019). Quantidade e distribuição de chuva são geralmente os principais fatores de produtividade que influenciam na variabilidade sob condições de sequeiro (Bergamaschi et al., 2004; Araus et al., 2012). Estudos ecofisiológicos demonstraram como a seca afeta o rendimento de diferentes formas, dependendo do estágio da cultura. Durante o estabelecimento, a seca pode reduzir a germinação das plantas; enquanto o estresse hídrico, durante a expansão da área foliar, reduz a sua área e a interceptação da radiação solar (Yan et al., 2016).

4. Conclusão

O uso das técnicas de geoprocessamento proporcionou resultados satisfatórios no mapeamento das áreas.

Para cultura do milho foi identificada condição climática plena (C1) em 2,02% do total da bacia; a condição climática plena com período

chuvoso prolongado (C2) e a condição climática moderada por excesso hídrico (C3) não foram identificadas; a condição climática Moderada por deficiência hídrica (C4) em 0,86%; a condição inapta por deficiência hídrica acentuada (C5) em 97,12% da bacia.

O potencial de produção agrícola irrigada para a cultura do milho não apresentou potencial Muito Alto (MA), Alto (A), Médio (M) e Baixo (B), somente o potencial Muito Baixo (MB) em 100% da bacia.

Constatou-se que ocorre produção da cultura em alguns municípios da bacia na forma tradicional.

5. Agradecimentos

Ao CNPq e a Fapesq.

6. Referências

- AESA. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. 2021. Disponível em: <http://geo.aesa.pb.gov.br>. Acesso em: 9 de abril 2021.
- Aldrich, S.R.; Scott, W.O.; Leng, E.R. 1982. Modern corn production. 2 ed. Champaign: A&L Publication. 371p.
- Amaral, F.C.S. do. 2005. Sistema brasileiro de classificação de terras para irrigação: enfoque na Região Semi-Árida. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 218p. Convênio Embrapa Solos/CODEVASF.
- Araus, J.L.; Serret, M.D.; Edmeades, G. 2012. Phenotyping maize for adaptation to drought. *Frontiers in Physiology* 3, 305.
- Artuzo, F.D.; Foguesatto, C.R.; Machado, J.A.D.; Oliveira, L. de; Souza, A.R.L. de. 2019. O potencial produtivo brasileiro: uma análise histórica da produção de milho. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente* 12(2) 515-540.
- Barros, A.H.C.; Varejão-Silva, M.A.; Tabosa, J.N. 2012. Aptidão climática do Estado de Alagoas para culturas agrícolas. Relatório Técnico. Convênios SEAGRI-AL/Embrapa Solos n.10200.04/0126-6 e 10200.09/0134-5. Recife: Embrapa Solos, 86p.
- Bergamaschi, H.; Dalmago, G.A.; Bergonci, J.I.; Bianchi, C.A.M.; Müller, A.G.; Comiran, F.; Heckler, B.M.M. 2004. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 39(9) 831-839.
- Bergamaschi, H.; Dalmago, G.A.; Comiran, F. 2006. Déficit hídrico e produtividade na cultura do milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 41(2) 243-249.
- Department of the Interior of United States. Bureau of Reclamation Manual. Irrigated Land use: Land Classification. v.5. pt.2. Denver, 1953. 54p.
- Câmara, G.; Medeiros, C.B.; Casanova, M.A.; Hemerly, A.; Magalhães, G. 1996. Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica. Escola de Computação. SBC.
- Câmara, G.; Souza, R.C.M.; Freitas, U.M.; Garrido, J. 1996. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modeling. *Computers & Graphics* 20(3) 395-403.
- Carvalho, C.C.N.; Rocha, W. F.; Ucha, J.M. 2009. Mapa digital de solos: uma proposta metodológica usando inferência fuzzy. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 13(1) 46-55.
- Cavalcanti, A.C.; Ribeiro, M.R.; Araújo Filho, J.C.A., Silva, F.B.R. 1994. Avaliação do potencial das terras para irrigação no Nordeste. Embrapa. Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semiárido. Brasília: Embrapa-SPI. 38p.
- Cavalcanti, N.B.; Resende, G.M. 2001. Avaliação de barreiros e finalidade da água armazenada na região semiárida da Bahia. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 5(3) 568-570.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. 2007. Avaliação da Safra Agrícola 2006/2007 – Sétimo Levantamento. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <http://www.bibliotekevirtual.org/simposios/8SB-CMAC/8sbcmac-a046.pdf>. Acesso em: 7 de novembro de 2021.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2004. Manual de segurança e qualidade para a cultura do milho. Brasília: Embrapa/Sede. 78p.
- Fernandes, M.F.; Barbosa, M.P.; Silva, M.J. da. 1998. O uso de um sistema de informações geográficas na determinação da aptidão agrícola das terras de parte do setor leste da bacia do Rio Seridó, PB. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 2(2) 195-198.
- Francisco, P.R.M. 2010. Classificação e mapeamento das terras para mecanização do Estado da Paraíba utilizando sistemas de informações geográficas. 122f. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água). Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba. Areia.
- Francisco, P.R.M.; Lima, E.R.V. de; Santos, D.; Chaves, I. de B.; Beirigo, R.M. 2016. Mapeamento do potencial pedológico do Estado da Paraíba para o cultivo da mandioca (*Maniõth esculenta Crantz*). In: Encontro de Extensão,

- Pesquisa e Inovação em Agroecologia, 1, 2016, Sumé. Anais...Sumé.
- Francisco, P.R.M.; Moraes Neto, J.M. de; Silva, V.F.; Santos, D.; Ribeiro, G. do N. 2021. Potencial de irrigação da região do médio curso do rio Paraíba. In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, 7, 2021, Goiânia. Anais...Goiânia.
- Francisco, P.R.M.; Pereira, F.C.; Medeiros, R.M. de; Sá, T.F. de. 2011. Zoneamento de risco climático e aptidão de cultivo para o município de Picuí-PB. Revista Brasileira de Geografia Física 5 1043-1055.
- Francisco, P.R.M.; Santos, D. 2018. Aptidão Climática do Estado da Paraíba para as Principais Culturas Agrícolas. 1ª ed. EPGRAF: Campina Grande. 120p.
- Gong, F.; Wu, X.; Zhang, H.; Chen, Y.; Wang, W. 2015. Making better maize plants for sustainable grain production in a changing climate. *Frontiers in Plant Science* 6 8-35.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2009. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 7 de novembro de 2021.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2015. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola: Pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística 29(3) 1-81.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2017. Pesquisa Agrícola Municipal. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>. Acesso em: 20/10/2021.
- Matzenauer, R. 1994. Modelos agrometeorológicos para estimativa do rendimento de milho, em função da disponibilidade hídrica no Estado do Rio Grande do Sul. 172f. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.
- MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2019. Zoneamento Agrícola de Risco Climático. Portarias segmentadas. Disponível em: <http://indicadores.agricultura.gov.br/zarc/index.htm>. Acesso em: 9 de maio de 2021.
- MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Zoneamento Agrícola de Risco Climático. Instrução Normativa Nº 2, de 9 de outubro de 2008. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/riscos-seguro/programa-nacional-de-zoneamento-agricola-de-risco-climatico/documentos/INn2de09.10.2008.pdf>. Acesso em: 12 de outubro de 2021.
- PARAÍBA. Governo do Estado. 1978. Secretaria de Agricultura e Abastecimento. CEPA-PB. Zoneamento Agropecuário do Estado da Paraíba. Relatório ZAP-B-D-2146/1. UFPB-Eleto Consult Ltda. 448p.
- PARAÍBA. Governo do Estado. 2006. Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente. Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba, AESA. PERH-PB: Plano Estadual de Recursos Hídricos: Resumo Executivo e Atlas. Brasília, DF. 112p.
- Silva, A.B. da; Amaral, A.J. do; Barros, A.H.C.; Accioly, L.J. de O.; Santos, J.C.P. dos; Araújo Filho, J.C. de; Oliveira Neto, M.B. de; Parayba, R. da B.V.; Gomes, E.C. 2012. Potencial pedoclimático do Estado de Alagoas para a cultura do milho em manejo com alta tecnologia, manejo C e cenário chuvoso regular. In: Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 29, 2012, Águas de Lindóia. Anais...Águas de Lindóia.
- Sousa, S.A.V.; Peres, F.C. 1998. Programa computacional para simulação da ocorrência de veranicos e queda de rendimento. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 33(12) 1951-1956.
- Souza, E.B.; Alves, J.M.; Nobre, P. 1998. Anomalias de precipitação nos setores norte e leste do nordeste brasileiro em associação aos eventos do padrão de dipolo observados na bacia do atlântico tropical. *Revista Brasileira de Meteorologia* 13 45-55.
- Taiz, L.; Zeiger, E. 2004. *Fisiologia vegetal*. 3. ed. Porto Alegre: Artme. 719p.
- Yan, W.; Zhong, Y.; Shangguan, Z. 2016. Evaluation of physiological traits of summer maize under drought stress. *Acta Agricultura e Scandinavica* 66(2) 133-140.