



Risco Climático e Indicação de Época de Plantio do Maracujá no Estado do Tocantins



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Pesca e Aquicultura
Ministério de Agricultura e Pecuária*

BOLETIM DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO 30

**Risco Climático e Indicação de Época de
Plantio do Maracujá no Estado do Tocantins**

*Balbino Antonio Evangelista
Júlia Stephane Melo Eneas
Fernando Antonio Macena da Silva
Jones Simon
Taís Souza dos Santos Dias*

Embrapa Pesca e Aquicultura
Palmas, TO
2023

Embrapa Pesca e Aquicultura
Avenida NS 10, Loteamento Água Fria,
Caixa Postal nº 90,
Palmas, TO
Fone: (63) 3229-7800
www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações

Presidente
Roberto Manolio Valladão Flores

Secretário-Executivo
Diego Neves de Sousa

Membros
*Alexandre Uhlmann, Fabrício Pereira Rezende,
Hellen Christina de Almeida Kato, Jefferson
Cristiano Christofoletti, Luciana Cristine
Vasques Villela, Luiz Eduardo Lima de Freitas*

Supervisão editorial
Alexandre Uhlmann

Revisão de texto
Maria Cristina Ramos Jube

Normalização bibliográfica
Márcia Maria Pereira de Souza

Tratamento das ilustrações
Jonatham Cleimes

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica
Jonatham Cleimes

Ilustração da capa
Jonatham Cleimes

1ª edição
Publicação Digital (2023): PDF

Todos os direitos reservados

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Pesca Aquicultura

Risco climático e indicação de época de plantio do maracujá no estado do Tocantins / Balbino Antonio Evangelista... [et al.] – Palmas,

TO : Embrapa Pesca e Aquicultura, 2023.

PDF (39 p.) : il. – (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Pesca e Aquicultura, ISSN 2358-6273; 30).

1. Zoneamento climático. 2. Maracujá. 3. Passiflora edulis. 4. Balanço hídrico. I. Evangelista, Balbino Antonio. II. Embrapa Pesca e Aquicultura. III. Série.

CDD 551.68117

Andréa Liliane Pereira da Silva (CRB-2/1166)

© Embrapa, 2023

Sumário

Resumo	5
Abstract	6
Introdução.....	7
Materiais e Métodos	8
Resultados e Discussão	25
Considerações Finais.....	34
Agradecimentos.....	35
Referências	35

Risco Climático e Indicação de Época de Plantio do Maracujá no Estado do Tocantins

Balbino Antonio Evangelista ¹

Júlia Stephane Melo Eneas ²

Fernando Antonio Macena da Silva ³

Jones Simon ⁴

Taís Souza dos Santos Dias ⁵

Resumo – A variabilidade do tempo e clima é fator de risco de perda de rendimento das lavouras, especialmente em cultivos de sequeiro. O objetivo desta pesquisa foi indicar as épocas de plantio com baixos riscos da cultura do maracujá de sequeiro, com muda tradicional com cerca de 0,30 m de altura, no Estado do Tocantins. Utilizou-se o modelo SARRA (*Systeme d'Analyse Regionale des Risques Agroclimatiques*), no qual foi incorporado variáveis de clima, solo e da fenologia da cultura para estimar o balanço hídrico da cultura. Para avaliar o risco de perda de rendimento por restrição hídrica, foram simulados plantios decendiais em solos arenosos, de textura média e argilosos. Utilizaram-se os Índices de Satisfação das Necessidades de Água da cultura (ISNA), estimado pela razão ETr/ETm nas fases plantio/estabelecimento, crescimento inicial, crescimento final, e floração/frutificação (F4), resultado de análise frequencial (80%, 70% e 60%). Também foi estimada a probabilidade de ocorrência de temperatura extrema ($TMax \geq 39^{\circ}C$) durante a fase F4. Os ISNA e a $TMax$ foram espacializados, combinados e apresentados em sete mapas contendo as épocas de plantio do maracujá nos três tipos de solo, com riscos de 20%, 30% e 40%. Os meses de outubro e novembro são indicados como de baixos riscos para plantio do maracujá no Estado do Tocantins.

Termos para indexação: Zoneamento agrícola, modelagem agroclimática, balanço hídrico, *Passiflora* spp., análise espacial.

¹Geógrafo, D.Sc. em Engenharia Agrícola, analista da Embrapa Pesca e Aquicultura, Palmas, TO

²Engenheira-agrônoma, mestranda em Produção Vegetal, bolsista Capes, Universidade Federal do Tocantins (UFT), Gurupi, TO

³Engenheiro-agrônomo, D.Sc. em Engenharia Agrícola, pesquisador da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF

⁴Engenheiro-agrônomo, D.Sc. em Física do Ambiente Agrícola, pesquisador da Embrapa Pesca e Aquicultura, Palmas, TO

⁵Engenheira ambiental, mestranda em Engenharia de Sistemas Agrícolas, bolsista Capes, Universidade de São Paulo (USP), Piracicaba, SP

Climatic Risk and Indication of Planting Season for Passion Fruit in the State of Tocantins

Balbino Antonio Evangelista

Júlia Stephane Melo Eneas

Fernando Antonio Macena da Silva

Jones Simon

Taís Souza dos Santos Dias

Abstract – Weather and climate variability is a risk factor for crop yield loss, especially in rainfed crops. The objective of this research was to indicate the planting times with low risks of passion fruit culture, with traditional seedling about 0.30 m high, in Tocantins State. The SARRA model (*Systeme d'Analyse Regionale des Risques Agroclimatiques*) was used, in which climate, soil and crop phenology variables were incorporated to estimate the crop water balance. To assess the risk of yield loss due to water restriction, decadal plantings were simulated on sandy, medium-textured and clayey soils. The Crop Water Satisfaction Index (ISNA) was used, estimated by the ETr/ETm ratio in the planting/establishment, initial growth, final growth and flowering/fruiting (F4) phases, resulting from a frequency analysis (80%, 70% and 60%). The probability of extreme temperature occurrence ($T_{Max} \geq 39^{\circ}C$) during the F4 phase was also estimated. The ISNA and T_{Max} were spatialized, combined and presented in seven maps containing the passion fruit planting seasons in the three types of soil, with risks of 20%, 30% and 40%. The months of October to November are indicated as low risks for planting passion fruit in the State of Tocantins.

Index terms: Agricultural zoning, agroclimatic modeling, hydric balance, *Passiflora* spp., spatial analysis.

Introdução

O setor agropecuário desempenha papel fundamental na economia brasileira, com participação de 27,4% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional, em 2021, com o faturamento das lavouras bastante expressivo nesse total (IBGE, 2022b). A atividade agrícola se caracteriza como sendo de alto risco e, portanto, exige um planejamento adequado com identificação e quantificação dos riscos da produção para minimizar quedas na produtividade em razão dos fatores ambientais, especialmente os eventos climáticos adversos (Maciel et al., 2009).

O uso de ferramentas que permitem essa análise de comportamento e interação da cultura com os demais componentes edafoclimáticos é indispensável na gestão de riscos na agricultura, uma vez que favorece a exploração agrícola de maneira ecológica e econômica simultaneamente (Silva; Amaral, 2007). Nesse âmbito, o Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) possui papel de destaque por ser um forte aliado na gestão de risco agrícola, na racionalização do crédito agrícola e no desenvolvimento sustentável do agronegócio (Rossetti, 2001).

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo: i) delimitar as zonas de risco climático para a cultura do maracujá (*Passiflora* spp.) de sequeiro no Estado do Tocantins; e ii) indicar datas ou períodos de plantio para a cultura, considerando as características do clima, dos tipos de solos e fenologia das cultivares ou variedades recomendadas para o Tocantins, de forma a evitar que adversidades climáticas coincidam com as fases mais sensíveis da cultura, a fim de minimizar as perdas de rendimento.

Esta publicação apresenta aderência à meta 2.4 do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 2 – Fome Zero e Agricultura Sustentável, que prevê para até 2030: i) pelas Nações Unidas, acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável; e ii) pelo Brasil, garantir sistemas sustentáveis de produção de alimentos, por meio de políticas de pesquisa, de assistência técnica e extensão rural, entre outras, visando implementar práticas agrícolas resilientes que aumentem a produção e a produtividade e, ao mesmo tempo, ajudem a proteger, recuperar e conservar os serviços ecossistêmicos, fortalecendo a capacidade de adaptação às mudanças do clima, às condições meteorológi-

cas extremas, secas, inundações e outros desastres, e melhorando progressivamente a qualidade da terra, do solo, da água e do ar.

Importância econômica da cultura do maracujá

A produção brasileira de maracujá alcançou, em 2021, cerca de 684 mil toneladas e rendimento médio de 15,25 toneladas por hectare (IBGE, 2022a). Apesar da importância da cultura para o agronegócio brasileiro, houve pouco avanço em sua produção na última década. A adoção de manejos adequados, o avanço tecnológico e o cultivo em ambientes favoráveis refletem diretamente na produtividade e qualidade de frutos do maracujá azedo.

No território brasileiro, o maracujá é explorado comercialmente em todas as regiões fisiográficas e, conforme apontam os dados do IBGE (2022a), a produção nacional concentra-se na região Nordeste (69,6%), Sudeste (11,8%) e Sul (10,7%), com destaque para Bahia, Ceará, Santa Catarina, Pernambuco, Minas Gerais e São Paulo. No Sul e Centro-Oeste, onde predomina a fruticultura irrigada e conservacionista, a produtividade média é de 20,33 e 18,40 toneladas por hectare, respectivamente. Entretanto, o Norte e Nordeste apresentam rendimento inferior à média nacional (IBGE, 2022a).

A região Norte apresenta um lento desenvolvimento dessa frutífera, sendo, portanto, necessária a inserção de incentivos por meio de políticas públicas para potencializá-lo. O Tocantins, responsável por 847 toneladas de frutos em 2021 e com rendimento médio de 9,2 toneladas por hectare, concentra sua produção na porção ocidental do estado, mais precisamente na microrregião do Bico do Papagaio (IBGE, 2022a). Os municípios de Nova Olinda, Palmeiras do Tocantins, Miranorte, Sítio Novo do Tocantins, Fortaleza do Tabocão e Bernardo Sayão são considerados os principais produtores do Estado, sendo responsáveis por aproximadamente 65% da produção tocantinense, o que corresponde a 549 toneladas de frutos (Figura 1).

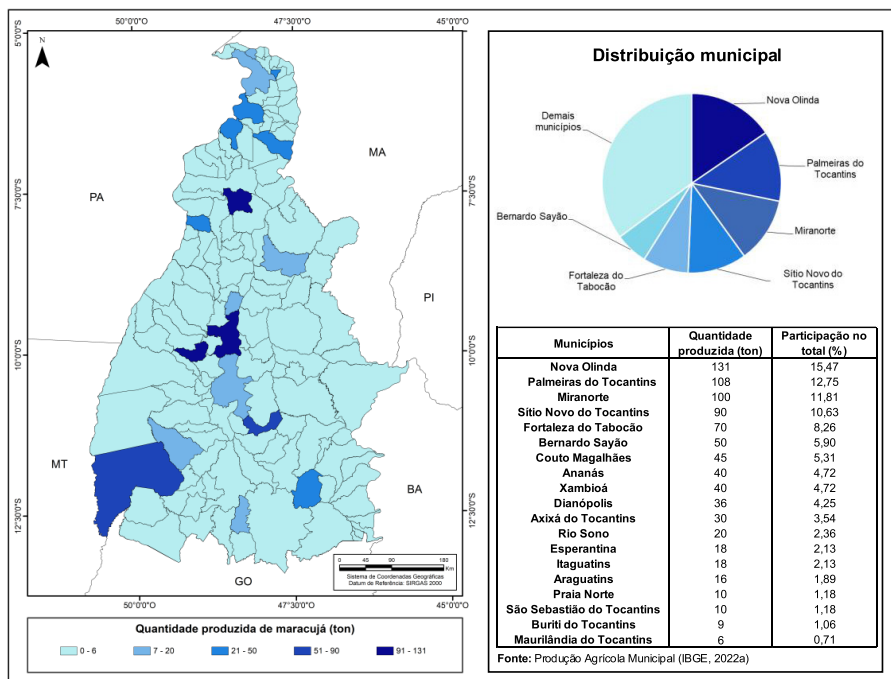


Figura 1. Quantidade produzida e rendimento médio de maracujá nos municípios tocantinenses.

O maracujá azedo apresenta boa aceitação sensorial do suco e valorização da fruta in natura. Quanto à comercialização, não há estimativas recentes, porém o último levantamento mostrou que 60% da produção nacional é destinada ao mercado interno de frutas (Pita, 2012) e o restante da produção segue, principalmente, para ao processamento, sendo o suco o principal produto (Rossi et al., 2001). Além do uso alimentar dos frutos, as folhas, flores, raízes, polpa, casca e sementes possuem propriedades medicinais e cosméticas, sendo algumas delas exploradas pela indústria de fitoterápicos e de produtos de beleza (Costa, 2017).

Características morfológicas do maracujazeiro

O maracujá (*Passiflora* spp.) é uma frutífera originária da América do Sul, amplamente difundida em regiões tanto de clima tropical, como de clima temperado. O gênero *Passiflora*, pertence à família das Passifloraceae,

apresenta mais de 500 espécies catalogadas, das quais 150 são endêmicas do Brasil; entretanto, apenas 60 dessas produzem frutos comerciáveis, sendo a espécie *Passiflora edulis* Sims responsável por 90% da produção nacional (Faleiro; Junqueira, 2016). Segundo Meletti (2011), em virtude do seu potencial produtivo, da sua ampla adaptação às diversas condições edafoclimáticas e da aceitabilidade de seus frutos pelos consumidores, a espécie mais cultivada e comercializada no Brasil é o maracujá azedo (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* Deg.).

O maracujazeiro azedo é uma planta herbácea, perene, trepadeira e de crescimento vigoroso, que pode atingir de 5 a 10 m de comprimento (Faleiro; Junqueira, 2016). O seu sistema radicular é do tipo axial pivotante e pouco profundo (Corrêa, 2004). A planta apresenta caule cilíndrico, lenhoso na base e herbáceo no ápice, com ramos semiflexíveis e trepadores de coloração verde escura (Silva, 2008). As folhas são simples, alternas, trilobadas, inteiras ou bilobadas, com margens serrilhadas. Os pecíolos apresentam duas glândulas nectaríferas côncavas próximas à base da lâmina foliar. As estípulas são evidentes e apresentam-se em formato triangular-subuladas. As gavinhas são solitárias e surgem das axilas das folhas (Beraldo; Kato, 2010). As flores, formadas também nas axilas das folhas, nascem em ramos do ano e se caracterizam como completas e hermafroditas com coloração variável (Corrêa, 2004). Essas estruturas reprodutivas apresentam uma só antese e, portanto, expressam a necessidade de serem fecundadas nessa ocasião, pois caso contrário, murcham e caem (Costa et al., 2008).

Os frutos são do tipo baga, com tamanho e forma variada, cujas características físico-químicas são dependentes de diversos fatores, como características genéticas, idade da cultura e sistema de manejo (Silva, 2008). O fruto do maracujá é formado basicamente de 30% polpa, 20% sementes e 50% casca (Pita, 2012).

O maracujazeiro azedo, por ser uma planta alógama com problemas de autoincompatibilidade, depende de polinização cruzada realizada por insetos polinizadores ou artificialmente (Silva, 2008). As mamangavas (*Xylocopa* spp.) são os agentes polinizadores mais eficientes. Quando esses insetos pousam sobre os estames de uma flor aberta, retêm os grãos de pólen e, ao migrarem para outras

flores, depositam-nos no estigma delas, efetivando a polinização (Costa et al., 2008). A polinização manual, por sua vez, é realizada durante a abertura das flores, que geralmente ocorre entre 12 e 20 horas, e possui maior eficiência (Silva, 2008). O responsável pela polinização deve retirar os grãos de pólen de uma flor pelo toque com os dedos e depositá-los em outra flor da mesma maneira (Gontijo, 2017). O procedimento deve ser realizado consecutivamente e sempre evitando a polinização em flores da mesma planta.

Métodos de produção de mudas

As mudas constituem o principal insumo na implantação de um pomar comercial longo e produtivo, sendo recomendada a adoção de mudas com padrão genético conhecido, provenientes de sementes ou propágulos de plantas matrizes com alta qualidade (Cavicchioli et al., 2016). Além disso, as mudas devem possuir boa sanidade, vigor e tamanho adequado (Costa et al., 2008).

Comercialmente, o comum é obter mudas de maracujá oriundas de sementes. Elas podem ser formadas em dois tipos ou sistemas: i) a muda simples ou tradicional e; ii) a muda avançada ou mudão (Faleiro; Junqueira, 2016). O sistema tradicional produz mudas em recipientes plásticos, como tubetes, que são mantidos em ambiente protegido até atingirem cerca de 0,30 m, quando são direcionadas para o campo; e o sistema de mudão se difere pelo maior tamanho do recipiente plástico e porte das mudas, sendo que nesse sistema as mudas são levadas para o campo com aproximadamente 1,50 m (Cavicchioli et al., 2016).

Atualmente, a tecnologia do mudão é comumente recomendada como alternativa para plantio em condições externas menos favoráveis, principalmente em áreas sujeitas à ocorrência de geadas (Paula et al., 2018) e de viroses (Machado et al., 2017). Estudos apontam que as mudas avançadas, com mais de 120 dias e altura entre 0,92 e 1,79 m, são economicamente mais viáveis, uma vez que apresentam menores índices de mortalidade e de problemas fitossanitários, em campo, quando comparadas às mudas simples (Junqueira et al., 2014). Independentemente do tipo de sistema adotado, é de suma importância a utilização de sementes novas e substrato fértil, livre de patógenos e com boa porosidade (Faleiro; Junqueira, 2016).

Fenologia do maracujazeiro

Mesmo considerada a importância socioeconômica do maracujazeiro, os estudos relacionados à caracterização da sua fenologia ainda são incipientes. Nesse sentido, Carvalho et al. (2014) afirmam que a disponibilidade de água, temperatura do ar e o sombreamento são responsáveis por modificações nas características fenológicas do maracujá.

A escala fenológica do maracujazeiro, comumente definida pela literatura, caracteriza a cultura em quatro estádios ou fases de desenvolvimento. A fase inicial (i), que inclui tanto o crescimento da muda em ambiente protegido quanto o desenvolvimento da planta após o transplante em campo, é definida pela presença de uma única haste cilíndrica com entrenós curtos e folhas simples. Ao surgir as primeiras folhas lobadas e gavinhas, inicia-se a fase vegetativa (ii) caracterizada pelo desenvolvimento vegetativo apical, marcada por diversas alterações morfofisiológicas, como alongamento dos entrenós e crescimento do ramo principal. A próxima fase é definida pelo crescimento vegetativo lateral (iii) do maracujazeiro em que ocorre o desenvolvimento dos ramos laterais, de onde vão surgir os ramos produtivos e as primeiras folhas trilobadas. A fase adulta (iv), que engloba o florescimento, a frutificação e a maturação dos frutos, é atingida quando ocorre o aparecimento dos primeiros botões florais.

Alguns autores acrescentam ao final do primeiro ciclo de produção da cultura uma fase de repouso vegetativo, que se inicia após a maturação dos frutos (Corrêa, 2004; Silva et al., 2006). Corrêa (2004) caracteriza o ciclo da cultura como sendo dividido em seis estádios de desenvolvimento, sendo eles: i) estágio de crescimento vegetativo inicial, com duração de 50 dias; ii) estágio de crescimento vegetativo apical, com duração de 80 dias; iii) estágio de crescimento vegetativo lateral, com duração de 130 dias; iv) estágio de floração, frutificação e maturação dos frutos no primeiro ano de produção, com duração de 190 dias; v) estágio de repouso vegetativo, com duração de 65 dias; e vi) estágio de floração e frutificação do segundo ano de produção, com duração de 121 dias.

Silva et al. (2006) também dividem o ciclo da cultura em seis fases ou estádios fenológicos, mas desconsideram a fase de muda, em viveiro, sendo elas: i) fase de crescimento vegetativo apical, com duração de 70 dias; ii) fase de crescimento vegetativo lateral, com duração média de 60 dias; iii) fase de floração e frutificação, com período total de 68 dias; iv) fase de maturação dos frutos, com duração média de 49 dias; v) fase de pós-maturação dos frutos ou repouso vegetativo, com duração média de 52 dias; e vi) fase de

renovação de ramos, com duração média de 46 dias.

Exigências edafoclimáticas

Em se tratando de exigências edáficas, Lunardi et al. (2009) recomendam o cultivo do maracujazeiro em ambientes de solos de textura média, profundos e bem drenados; com topografia plana ou ligeiramente ondulada, nível adequado de fertilidade e pH entre 5,0 e 6,5 (Costa et al., 2008). De acordo com Sousa (2000), o potencial de água no solo não deve ser superior a 20 kPa durante os períodos críticos da cultura.

Quanto às regiões e altimetria, Ferreira et al. (2002), afirmam que o maracujazeiro azedo, apesar de fácil adaptação às diferentes condições climáticas, se desenvolve melhor em regiões tropicais e subtropicais com altitudes de no máximo 1.000 m.

O cultivo geralmente é recomendado para locais que apresentam temperatura média anual no intervalo de 20 a 32°C, fotoperíodo maior que 11 horas de luz/dia e umidade relativa em torno de 60%, preferencialmente sem ocorrência de geadas e ventos fortes e frios (Faleiro; Junqueira, 2016). Via de regra, observa-se que a elevação da temperatura e luminosidade diária inferior a 11 horas afetam a indução floral e o potencial produtivo da cultura.

Quanto aos limites térmicos, Costa et al. (2008) afirmam que o maracujazeiro tem sido cultivado comercialmente em temperaturas entre 18 e 35°C; enquanto Almeida et al. (2015) advertem que se ocorrerem temperaturas inferiores a 16°C por longos períodos, o crescimento vegetativo e o potencial produtivo podem ser reduzidos. Faleiro e Junqueira (2016), por sua vez, apontam que temperaturas elevadas, em especial à noite, atrasam o florescimento e, se aliadas à baixa umidade relativa do ar, dificultam a fecundação das flores e o vingamento dos frutos.

O fotoperíodo interfere no florescimento e na formação dos frutos, bem como para a abertura das flores e curvatura dos estiletos (Costa et al., 2008; Almeida et al., 2015). Cavicchioli et al. (2006) confirmam que a luminosidade tem relação direta com o número de flores, ou seja, à medida que se reduz o fotoperíodo também será reduzido o número de flores. Ainda, via de regra,

nas regiões equatoriais, onde ocorre menor variação da temperatura e do fotoperíodo durante o ano, o maracujazeiro produz continuamente. Já em locais de maior latitude, há decréscimo da produção nos meses com dias curtos e baixas temperaturas.

Em estudo que faz referência à oferta e demanda hídrica da cultura do maracujazeiro, Ferreira et al. (2002) avaliaram que a cultura necessita de precipitações pluviométricas acima de 1.200 mm/ano, bem distribuídas ao longo do seu ciclo. Os picos de consumo de água são encontrados na fase de floração e frutificação (Costa et al., 2000). Quando a cultura é submetida a estresse hídrico, observa-se que, além da redução do número de botões florais e de flores abertas e da baixa qualidade dos frutos, também ocorre a redução do tamanho dos ramos e da área foliar (Menzel et al., 1986).

Costa et al. (2008) ressaltam que as plantas do maracujazeiro não são tolerantes a longos períodos de encharcamento do solo. Faleiro e Junqueira (2016), por sua vez, descrevem que chuvas intensas e frequentes interferem sensivelmente na polinização, fertilização e vingamento dos frutos.

Em estudo que quantifica o consumo de água, Sousa (2000) observou que durante o primeiro ano de produção do maracujazeiro, o consumo hídrico médio da cultura foi de 7,5 mm/dia. O consumo máximo de água foi de 10,5 mm/dia durante as fases de floração, frutificação e produção, sendo que o pico do consumo ocorreu entre 240 e 360 dias. Souza et al. (2009) também definiram que o maior consumo de água do maracujazeiro ocorre na fase de floração e frutificação.

Por se tratar de cultura exigente em umidade no solo, rendimentos máximos de produção, entre 35 e 45 t/ha, foram obtidos experimentalmente com um consumo de água em torno de 1.300 a 1.400 mm/ano (Carvalho et al., 2000; Sousa, 2000). Portanto, quando se pretende alcançar elevadas produtividades, o uso de suplementação de água via irrigação se torna indispensável, visto que o fornecimento de água de forma continuada, ou seja, sem restrição hídrica, favorece a floração e frutificação da cultura sem interrupções.

Outro indicador utilizado para quantificar o consumo de água é o coeficiente de cultura (K_c), sendo o produto desse índice com a evapotranspiração de referência (ET_0) responsável por estimar a evapotranspiração máxima da cultura (ET_m). Em estudo conduzido em ambiente de clima subtropical úmido, o maracujazeiro azedo cultivado em espaldeira apresentou K_c médio de 0,62 na fase de crescimento vegetativo apical, 0,92 na fase de crescimento vegetativo lateral, 1,22 na fase de floração e frutificação, 1,00 na fase de maturação dos frutos, 0,82 na fase de pós-maturação dos frutos e 1,00 na fase de renovação de ramos no segundo ciclo de produção (Silva et al., 2006). Em outros estudos, Silva e Klar (2002) obtiveram resultados similares, com índices variando entre 0,42 e 1,12; enquanto Souza et al. (2009) registraram valores que variaram entre 0,65 e 1,25 durante o ciclo de desenvolvimento do maracujazeiro.

Material e Métodos

O estudo foi realizado conforme as seguintes etapas: (i) obtenção dos dados dos postos meteorológicos/pluviométricos da área de estudo; (ii) realização do balanço hídrico da cultura do maracujá cultivado em sistema de sequeiro; (iii) análise espacial da razão entre a E_{Tr}/ET_m obtidas do programa SARRA/Sarrozon para cada fase fenológica do maracujá; (iv) análise das frequências de ocorrência do atendimento das necessidades hídricas da cultura; (v) análise espacial da ocorrência de temperatura máxima para os períodos decendiais; (vi) cruzamento dos mapas de ISNA e de temperatura máxima (T_{Max}); (vii) cruzamento dos mapas de saída ISNA x T_{Max} com a base política municipal do Tocantins; e (viii) sintetização e elaboração dos mapas finais contendo as épocas de plantio do maracujazeiro no Tocantins.

Caracterização da área de estudo

A pesquisa foi realizada no Estado do Tocantins, Unidade da Federação da Região Norte do Brasil (Figura 2). Segundo a classificação de Thornthwaite-Mather, o Tocantins apresenta seis zonas climáticas, com predomínio do tipo C2W (clima subúmido com deficiência hídrica moderada) que apresenta precipitação média anual entre 1.300 e 2.100 mm e temperatura média anual entre 25 e 27°C (SEPLAN, 2012). Esse clima se caracteriza por apresentar

um período chuvoso no verão, entre os meses de outubro e abril, e outro período seco no inverno, entre os meses de maio e setembro.

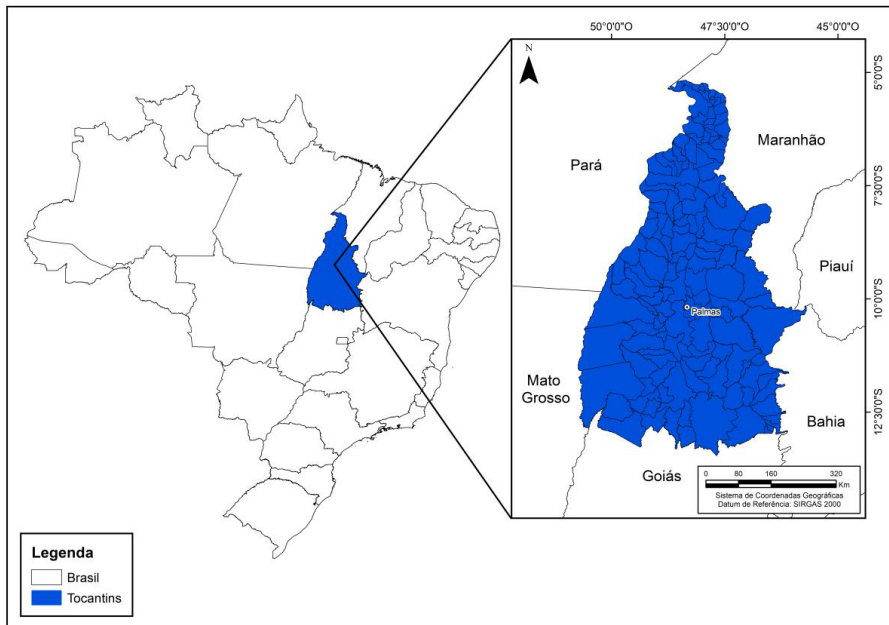


Figura 2. Localização geográfica da área de estudo - Estado do Tocantins.

Modelo e parâmetros utilizados no estudo

A modelagem agrometeorológica permite gerar conhecimento e criar ferramentas eficazes para suporte à tomada de decisões operacionais e estratégicas na produção agrícola. Na década de 70, os modelos baseados em processos ecofisiológicos, e relacionados com as condições meteorológicas, passaram a ser utilizados com maior frequência na pesquisa agropecuária brasileira. Um desses modelos, descrito por Doorenbos e Kassam (1979) e denominado de Método das Zonas Agroecológicas, é recomendado pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) como ferramenta de estudo em escala geográfica, buscando comparar regiões quanto aos seus aspectos climáticos e à variabilidade interanual do clima numa mesma região. O SARRA (*Systeme d'Analyse Regionale des Risques Agroclimatiques*), desenvolvido por Baron et al. (1996), é considerado um

modelo empírico e, assim como o modelo FAO, simula o desenvolvimento da planta em função do consumo de água e disponibilidades hídricas do solo.

Nesta pesquisa, utilizou-se o modelo SARRA, que incorpora funções que permitem analisar as relações entre os parâmetros que compõem o sistema clima-solo-planta por meio de regressões matemáticas e requer um número relativamente reduzido de variáveis de entrada quando comparado aos modelos mecanísticos ou de processos (complexos), o que permite a sua aplicação em escala regional.

Parâmetros e variáveis de entrada do modelo SARRA

Ao SARRA foram incorporados parâmetros e variáveis das componentes clima, solo e planta, conforme apresentado a seguir.

i. Precipitação pluviométrica: Foram incorporadas séries históricas de dados diários obtidas de 61 postos meteorológicos e pluviométricos instalados no Estado do Tocantins que pertencem a base CONPREES, uma plataforma colaborativa de análise e compartilhamento de dados meteorológicos, constituída para promover o intercâmbio de informações, melhorar a qualidade e a disponibilidade de dados meteorológicos e subsidiar os estudos de ZARC (Figura 3). Essa base agrega dados climáticos obtidos de estações de superfície de instituições públicas, como Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Agência Nacional de Águas (ANA) e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa); e de estações virtuais obtidas por sensoriamento remoto, especialmente dos satélites (TRMM, CHIRPS e NASAPOWER). Os dados disponibilizados na plataforma foram submetidos a análise de consistência e preenchimento de falhas que envolveu etapas de visualizações, comparações e uso de indicadores de qualidade de dados, sendo selecionadas estações com no mínimo 15 anos de dados e com até 5% de falhas. Vale destacar que os dados faltantes foram estimados usando a ponderação por vizinhança (Inverso do Quadrado da Distância - IDW), média diária da série histórica ou sensoriamento remoto.

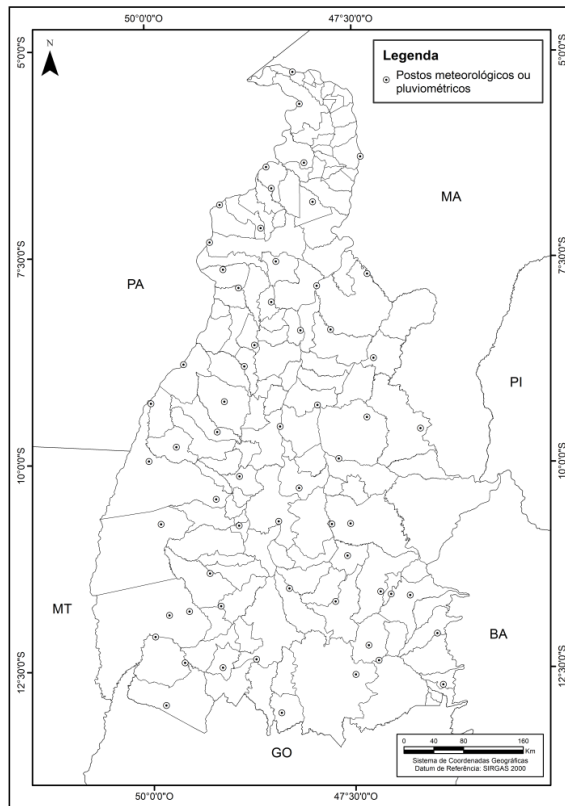


Figura 3. Distribuição espacial dos postos climatológicos disponíveis na área de estudo.

ii. Evapotranspiração potencial ou de referência (ET₀): Foram obtidos valores médios decendiais estimados pelo método de Hargreaves e Samani, previamente adaptado e recalibrado para as condições brasileiras (Monteiro et al., 2017), estimada a partir de dados de temperatura e radiação solar de cada postos climatológicos (Figura 3).

iii. Água disponível dos solos (AD): Para que fosse possível operacionalizar os estudos de risco climático na agricultura, os solos precisaram ser agrupados pelo critério de textura (teores de argila, areia e silte). Seguindo as orientações da Instrução Normativa n° 2, de 9 de outubro de 2008, publicada pelo Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA) e provenientes do estudo

de Lopes-Assad et al. (2007), os solos do Tocantins foram reclassificados em três tipos conforme a sua capacidade de armazenamento de água, e denominados como: i) Tipo 1 - solos arenosos com teores de argila entre 10% e 15%, de baixa capacidade de água disponível; ii) Tipo 2 - solos de textura média, com teores de argila entre 15 e 35%, com capacidade de água disponível mediana; e iii) Tipo 3 - solos argilosos, com teores de argila maior que 35%, de alta capacidade de água disponível. Na Tabela 1 são apresentados os valores médios de AD para cada tipo de solo.

iv. Capacidade de Água Disponível (CAD): Este indicador, que representa a reserva máxima de água disponível na zona radicular das plantas, foi estimado para cada tipo de solo como produto da profundidade efetiva do sistema radicular da cultura do maracujá e o valor médio de AD (Tabela 1).

Tabela 1. Reserva útil de água dos solos para a cultura do maracujazeiro.

Tipo de solo	Água Disponível média (AD) (mm/m)	Profundidade efetiva da raiz (Ze) (m)	Capacidade de Água Disponível (CAD) (mm)
Tipo 1	70	0,60	42
Tipo 2	110	0,60	66
Tipo 3	150	0,60	90

Fonte: Adaptado de Brasil (2021).

v. Duração do ciclo e fases fenológicas: A duração média do ciclo do maracujazeiro foi estabelecida em função da sua escala fenológica, sendo subdividida em 6 estádios de desenvolvimento, conforme descrito na Tabela 2 e ilustrado na Figura 4.

Tabela 2. Duração média do ciclo, em dias, e respectivas fases fenológicas do maracujazeiro.

Estádio fenológico	Água Disponível média (AD) (mm/m)	Profundidade efetiva da raiz (Ze) (m)
Fase 0 (F0)	Desenvolvimento da muda	60 dias
Fase 1 (F1)	Plantio/Estabelecimento	20 dias
Fase 2 (F2)	Crescimento inicial	60 dias
Fase 3 (F3)	Crescimento final	80 dias
Fase 4 (F4)	Floração e frutificação	70 dias
Fase 5 (F5)	Produção final	70 dias
Duração total do ciclo		360 dias

Fonte: Adaptado de Corrêa (2004) e Silva et al. (2006).

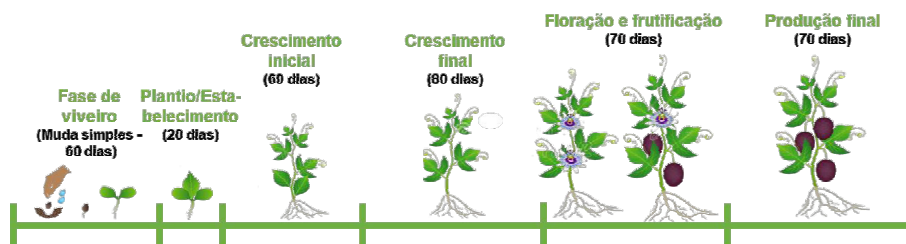


Figura 4. Representação da escala fenológica do maracujazeiro.

Fonte: Adaptado de Corrêa (2004) e Silva et al. (2006).

vi. Coeficientes de cultura (Kc): Este indicador, que expressa a demanda de água da cultura durante o seu ciclo de crescimento, desenvolvimento e produção, sendo função da evapotranspiração de referência (ET₀), foi estimado para períodos decendiais por meio de um modelo bilogístico ajustado a partir de valores obtidos por Silva et al. (2006). Conforme apresentado na Tabela 3, observam-se valores variando de 0,61 a 1,19.

Tabela 2. Duração média do ciclo, em dias, e respectivas fases fenológicas do maracujazeiro.

Decêndios após o plantio									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,61	0,62	0,63	0,65	0,68	0,72	0,78	0,86	0,94	1,02
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1,08	1,12	1,15	1,17	1,18	1,19	1,19	1,19	1,18	1,16
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1,13	1,08	1,02	0,97	0,94					

Fonte: Adaptado de Silva et al. (2006).

Simulação de plantio e variáveis de saída do modelo SARRA

Após incorporação dos parâmetros/variáveis de clima, solo e planta, descrito anteriormente, o *Systeme d'Analyse Regionale des Risques Agroclimatique* (SARRA), descrito por Baron et al. (1996), foi utilizado para realizar o balanço hídrico da cultura (BHC) do maracujá de sequeiro cultivado com plantio da muda tradicional. É importante salientar que esse não se trata do tradicional balanço hídrico de solo, visto que neste caso estão inseridos os indicadores de fenologia e demanda de água da cultura; sendo que o estudo analisa ainda a disponibilidade de água na zona radicular, aquela possível de ser absorvida pela cultura.

Nessa etapa do estudo, foram simulados plantios nos 36 decêndios do ano, nos três tipos de solo. Foram definidos os dias 05, 15 e 25 de cada mês como datas intermediárias para representar cada decênio de plantio.

Como parâmetros ou variáveis de saída do modelo, em cada simulação de plantio, para cada posto climatológico, foram obtidos os índices de evapotranspiração real (ET_r) e evapotranspiração máxima (ET_m) da cultura. A razão entre esses dois indicadores de demanda e oferta de água (ET_r/ET_m), denominado de Índice de Satisfação das Necessidades de Água da cultura (ISNA), foi adotada para analisar a disponibilidade hídrica da cultura em cada época de plantio, ou seja, o risco de a cultura não ter a quantidade de água suficiente para prover uma produção viável

Na análise de risco, foram utilizados os ISNA apresentados nas fases fenológicas F1 a F4 (Tabela 2), que resultaram da análise frequencial para obtenção dos índices referentes às frequências de ocorrência de 60%, 70% e 80% da série histórica, isto é, para representar os riscos de 40%, 30% e 20%, respectivamente. Para atender a essas frequências de sucesso ou riscos de insucesso (perda de rendimento), foram estabelecidos critérios ou limites de variação do ISNA para representar a sensibilidade ou tolerância da cultura aos efeitos na penalização do rendimento em decorrência da restrição hídrica nas fases mais críticas da cultura, conforme apresentados na Tabela 4. A delimitação das zonas de risco climático, bem como o estabelecimento de épocas de plantio do maracujá no Estado do Tocantins com baixos riscos de perda de rendimento, foram determinados com base na avaliação da disponibilidade hídrica, ou seja, pela ocorrência ou não de déficit hídrico nas fases de plantio/estabelecimento (F1), crescimento inicial (F2), crescimento final (F3) e floração e frutificação (F4).

Tabela 4. Definição do Índice de Satisfação da Necessidade de Água (ISNA) para cada fase crítica

Fases Críticas			
Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4
≥ 0,80	≥ 0,55	≥ 0,55	≥ 0,50

Análise espacial do risco de ocorrência de temperatura máxima extrema

Conforme apresentado na Seção 1 para fins de levantamento de indicadores edafoclimáticos, estudos apontam temperaturas entre 18 e 35 °C como ideais ao cultivo comercial do maracujazeiro; e os extremos térmicos de 16 °C e 39 °C, mínimo e máximo, respectivamente, como condições que retardam o crescimento vegetativo e florescimento, reduzem o potencial produtivo, impossibilitam a fecundação das flores e o vingamento dos frutos. Dessa forma, este estudo analisou a frequência de ocorrência de temperaturas iguais ou superiores a 39 °C, especialmente durante a floração e frutificação (F4), como condição de risco de ocorrência de abortamento de flores e/ou frutos.

Utilizando dados diários de temperatura máxima da base Xavier et al. (2016), foi realizada análise estatística para obtenção de índices de probabilidade de ocorrência de temperaturas iguais ou superiores a 39 °C. Esses índices foram

georreferenciados por latitude e longitude e, com a utilização de estimadores de krigagem ordinária, disponível no ArcGis, foi realizada a análise espacial para apresentação de risco de ocorrência de temperaturas máximas. O mapa resultante apresenta regiões de baixo risco cujas probabilidades são iguais ou inferiores a 20%, 30% e 40% de ocorrência de temperaturas iguais ou superiores a 39 °C.

Análise espacial dos indicadores do risco de ocorrência de deficiência hídrica (ISNA)

Consideradas as limitações dos modeladores matemáticos de análise ou estimação espacial concebidos por meio da estatística clássica ou determinística, surgiu a geoestatística, ou estatística probabilística ou estocástica. Esses novos interpoladores incorporam os conceitos de variável regionalizada, dependência espacial, variância, isotropia/anisotropia, incerteza, validação cruzada, entre outros, bastante discutidos em Issaks e Srivastava (1989) e Goovaerts (1997). Se uma determinada propriedade/ evento variar de um local para outro com alguma organização expressa por meio da dependência espacial, recomenda-se utilizar a geoestatística no seu estudo de variabilidade espacial.

Nesse sentido, no processo de análise espacial dos ISNAs e apresentação na forma de mapas de riscos de ocorrência de restrições hídricas, foi realizada a espacialização por krigagem ordinária, método geoestatístico disponível no software ArcGIS, da ESRI, versão 10.3.1, módulo *Geoestatistical Analyst* (ESRI, 2011). Esse estimador foi selecionado por apresentar resultados satisfatórios em trabalhos similares conduzidos por Assad et al. (2003) e Evangelista (2011).

Para definir as áreas ou zonas de riscos de ocorrência ou não de restrição hídrica, os índices de satisfação das necessidades hídricas (ISNA) resultados de cada simulação de épocas de plantio, de cada fase fenológica (F1 a F4), referentes às frequências (sucessos) de 80% (risco de 20%), 70% (risco de 30%) e 60% (risco de 40%), foram georreferenciados e apresentados em arquivos no formato de modelagem numérica de terreno (MNT), ou seja, X, Y e Z, sendo X a latitude sul, Y a longitude oeste e Z o ISNA.

Ressalta-se que foi gerado um total de 1.296 mapas resultados de simulações de plantio em 36 decêndios, três tipos de solo (tipo 1 - arenosos, tipo 2 - médios, e tipo 3 - argilosos), três frequências/riscos (80%/20%, 70%/30% 60%/40%) e para as quatro fases fenológicas da cultura do maracujazeiro. Para que uma simulação de época de plantio seja indicada nos três níveis

de riscos preconizados é necessário que as 4 fases da cultura atendam aos critérios de limites de ISNAS apresentados na Tabela 4. Ainda atendendo aos limites de risco de oferta/demanda hídrica, cada mapa de ISNA foi combinado/cruzado com o mapa de probabilidade de ocorrência de temperatura máxima extrema, gerando o mapa final.

Em síntese:

$$MP_Final = MP_ISNAf1 \times MP_ISNAf2 \times MP_ISNAf3 \times MP_ISNAf4$$

Já para definição das classes das áreas/zonas de risco, utilizaram-se operadores condicionais para estabelecimento das seguintes regras:

If (Se) $MP_ISNAf1 \geq 0,80$ && $MP_ISNAf2 \geq 0,55$ && $MP_ISNAf3 \geq 0,55$ && $MP_ISNAf4 \geq 0,50$ Them (então) $MP_Final =$ baixo risco.

Os 324 mapas finais de ISNAs, resultados do cruzamento dos mapas das quatro fases fenológicas, foram também combinados com o mapa de temperatura máxima extrema (TMax).

Assim:

If (Se) MP_ISNA_Classe baixo risco && MP_TMax_Classe Prob $\leq 20\%$ Them (Então) MP_ZARC Maracujá = baixo risco.

A etapa seguinte do estudo consistiu na combinação dos mapas finais (ISNA e TMax) com a base política municipal para, a partir do cálculo de área, identificar somente os municípios que apresenta pelo menos 20% do seu território nas regiões ou zonas de baixos riscos.

Finalmente, os 324 mapas de ZARC Maracujá foram analisados, sintetizados e apresentados em 9 mapas (três solos e três classes de risco) para indicação do período ou janelas de plantio com baixos riscos para cada município do estado do Tocantins.

Resultados e Discussão

Este estudo analisou os riscos de quebra de rendimento em razão de fatores climáticos que afetam a cultura do maracujá em sistema de sequeiro, com plantio de mudas tradicionais. Como resultado obtiveram-se 7 mapas nos quais estão indicadas as épocas ou os períodos mais favoráveis, de baixos riscos, de plantio para o Estado do Tocantins, sendo que as indicações são feitas para três tipos de solo (Figuras 5 a 11). De maneira geral, observa-se que o início do plantio se dá no segundo decêndio do mês de outubro (11/10) em solos argilosos (Tipo 3) e o término no final de novembro (30/11), sendo os solos arenosos (Tipo 1) indicados para plantio apenas entre 21 de outubro e 10 de novembro.

Na Figura 5, estão apresentadas as recomendações de períodos de plantio para a cultura do maracujá em solos Tipo 1 com risco de 40% de quebra de rendimento dos pomares. Em razão, principalmente, da baixa capacidade de água disponível (CAD) desse grupo de solos, observaram-se diversos municípios com alto risco climático, praticamente inviabilizando o plantio da cultura com riscos de 20% e 30%. Quando se analisa o cenário com risco de 40%, foram identificados 44 municípios localizados na porção centro-oeste do Estado com, pelo menos, uma janela/decêndio de plantio.

Para os solos Tipo 2, as recomendações de períodos de plantio, considerando os riscos de 20%, 30% e 40% de quebra de rendimento dos pomares, estão apresentadas nas Figuras 6 a 8. Observa-se de modo geral que a janela de plantio para esse grupo de solos se comporta de maneira semelhante à do Tipo 1, concentrando-se na porção ocidental (centro-oeste) do Estado. Entretanto, nesse tipo de solo ocorre redução da área e do número de municípios com alto risco, com apresentação de maiores períodos de plantio, sendo encontradas indicações para plantio em todos os riscos analisados. Assim, para riscos de 20%, 30% e 40% identificam-se, respectivamente, 16, 57 e 55 municípios com pelo menos um decêndio de plantio.

As recomendações de períodos de plantio para a cultura do maracujá em solos Tipo 3, considerando o risco de 20%, 30% e 40% de quebra de rendimento, estão apresentadas nas Figuras 9 a 11. Esse grupo de solos apresenta uma janela de plantio mais ampliada se comparada aos demais tipos, principalmente quando se consideram os riscos de 30% e 40%, visto que apresentam uma boa CAD e, portanto, favorecem o cultivo de maracujá de sequeiro no Estado com menor restrição hídrica, sendo este fator decorrente da estabilidade da estação chuvosa no Estado. Nesse grupo de solos são contemplados 37, 67 e 74 municípios com, ao menos, um decêndio de plantio

com riscos de 20%, 30% e 40%, respectivamente.

Uma forma de validar o presente estudo é comparar os resultados com a realidade de campo e com as estatísticas apresentadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Nesse sentido, observou-se que os principais municípios produtores de maracujá no Tocantins estão em sua maioria contemplados com indicação de épocas ou janelas de plantio dentro dos limites de riscos considerados (20%, 30% ou 40%). O município de Sítio Novo do Tocantins, cuja produção registrada é de 90 toneladas de frutos distribuídas em 10 hectares, é o único dentre os 6 principais produtores que não apresenta época de plantio favorável em pelo menos uma das condições analisadas.

Em Nova Olinda, para cultivo em solos de textura média, recomenda-se o plantio entre 01 e 10 de novembro, considerando 30% de risco de insucesso na implantação da cultura, e de 21 a 31 de outubro, considerando 40% de risco. Há também a indicação de plantio no mesmo município de 01 a 10 de novembro, 21 a 31 de outubro e 11 a 20 de novembro com probabilidade de sucesso de 80%, 70% e 60%, respectivamente, para solos argilosos.

Já em Palmeiras do Tocantins, onde predominam solos argilosos, recomenda-se o plantio entre 11 e 20 de novembro, assumindo risco de 40% de insucesso na implantação e rendimento da cultura. Ainda, considerando os solos argilosos, em Miranorte há indicação de plantio de 21 de outubro a 10 de novembro e 11 a 20 de outubro com probabilidade de sucesso de 80% e 60%, respectivamente.

Em Miranorte, o plantio do maracujá em solos de textura média deve ocorrer entre 21 e 31 de outubro, considerando risco de 30% de insucesso na implantação da cultura, e de 01 a 10 de novembro, considerando risco de 40%. Há ainda a indicação de plantio em solos arenosos no mesmo município de 21 a 31 de outubro com probabilidade de sucesso de 60% (risco de 40%) de obtenção de rendimento potencial da cultura para solos arenosos.

No município de Fortaleza do Tabocão, observa-se que o período de plantio em solos arenosos também deve ocorrer entre 21 e 31 de outubro, assumindo risco de 40%. Já em solos de textura média, recomenda-se o plantio de 21 a 31 de outubro e de 01 a 10 de novembro com probabilidades de sucesso de 70% e 60%, respectivamente. Nos solos argilosos as janelas de plantio vão de 21 de outubro a 10 de novembro, considerando risco de 20% de insucesso, e de 11 a 20 de novembro, considerando risco de 40%.

Em Bernardo Sayão a indicação de plantio em solos argilosos é de 21 de outubro a 10 de novembro, 11 a 20 de novembro e 11 a 20 de outubro, para probabilidade de sucesso de 80%, 70% e 60%, respectivamente. Já nos solos de textura média, o maracujá deve ser cultivado entre 21 de outubro e 10 de novembro, considerando 30% de risco de insucesso, e de 11 a 20 de outubro, considerando 40% de risco. Há ainda a indicação de plantio no mesmo município de 21 de outubro a 10 de novembro, mas com probabilidade de sucesso de 60% para solos arenosos.

Foram indicados 112 municípios para o cultivo de maracujá de sequeiro, com indicação de plantio entre os meses de outubro e novembro, com baixo risco de penalização do rendimento por restrições hídricas e térmicas. Os solos Tipo 2, com média CAD, com teor de argila entre 15 e 35%; e os Tipo 3, com alta CAD, argila maior que 35%, apresentam melhores cenários para plantio da cultura. Já os solos Tipo 1, os arenosos e baixa CAD, teor de argila entre 10% e 15%, são os mais restritivos e apresentam janela de plantio somente entre 21 de outubro e 10 de novembro, isto com probabilidade de sucesso apenas de 6 em cada 10 anos de cultivo (40% de risco de quebra de rendimento).

Independentemente do tipo de solo, a restrição hídrica é considerada a maior limitação ao cultivo de maracujá de sequeiro no Estado do Tocantins, uma vez que o desenvolvimento da cultura, de ciclo anual, depende do regime pluviométrico, ou seja, do volume e distribuição espaço-temporal das chuvas. No início da estação chuvosa, entre os meses de outubro e novembro, o Estado apresenta cenários favoráveis para o plantio e desenvolvimento do maracujazeiro de sequeiro, com possibilidade de melhor aproveitamento hídrico durante o período chuvoso.

Em alguns cenários também se observam restrições térmicas para implantação da cultura de maracujá de sequeiro no Tocantins. Entre os meses de junho e outubro é observada uma concentração de altos valores de temperatura máxima do ar, chegando na maioria das vezes a superar os 40°C. Ao analisar a fase crítica da cultura, há ocorrência de risco de quebra de rendimento, por restrições térmicas, para os plantios entre janeiro até meados do mês de maio.

Ressalta-se que, embora neste estudo haja municípios definidos como sendo de alto risco e sem janela de plantio, não se tem a pretensão de restringir o cultivo de maracujá nessas localidades. Entretanto, os resultados apresentados visam orientar as políticas de crédito agrícola, o planejamento do uso sustentável da terra e a gestão dos riscos da produção oriundos da

imprevisibilidade climática, minimizando principalmente aqueles superiores a 40% dos anos de cultivo.

Este estudo deve continuar na medida em que forem atualizadas as bases de dados e informações de solo, clima, cultura, recursos hídricos e manejo, especialmente. Os trabalhos devem ser aperfeiçoados na medida em que novas variáveis e conceitos forem sendo inseridos no estudo, cultivares melhoradas e adaptadas forem lançadas, e com adoção de tecnologias de cultivo que permitam aumentar o rendimento e também reduzir riscos.

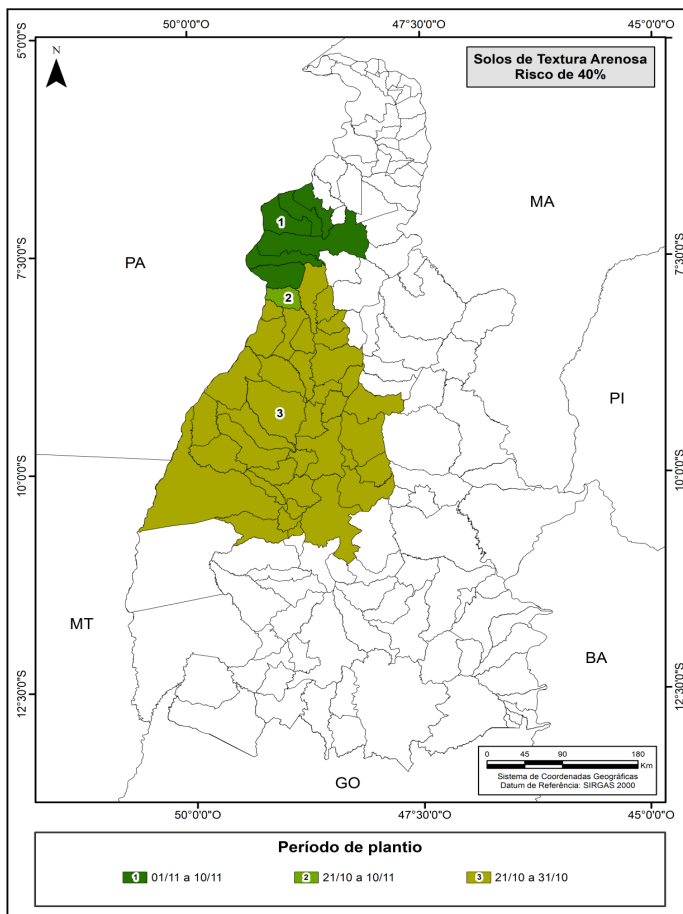


Figura 5. Recomendação de época de plantio da cultura do maracujá de sequeiro com muda tradicional em solos de textura arenosa (Tipo 1) no Estado do Tocantins, com risco de 40% de quebra de rendimento.

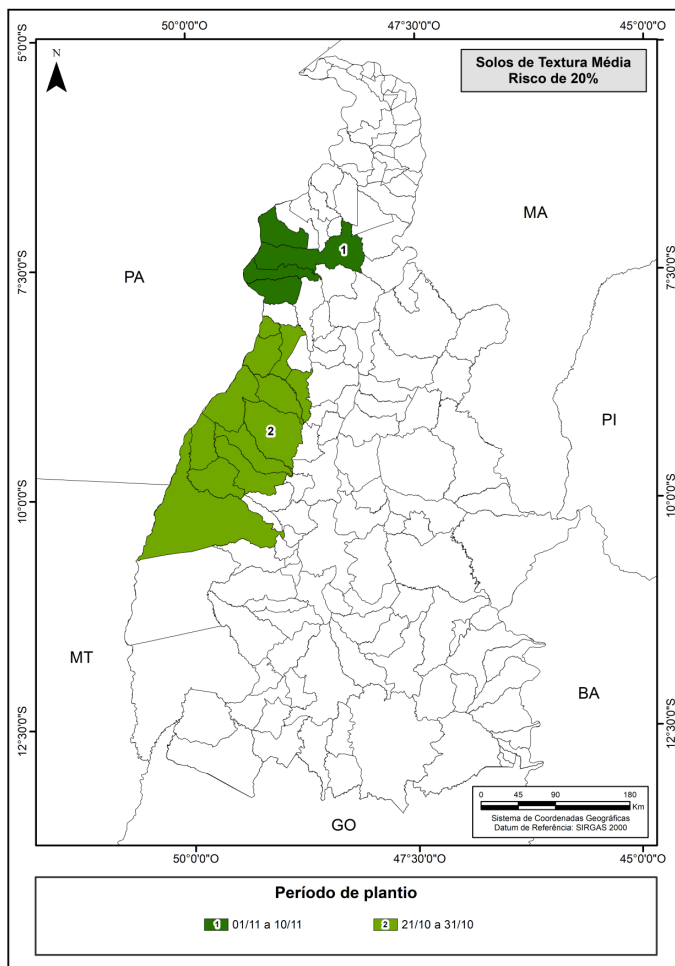


Figura 6. Recomendação de época de plantio da cultura do maracujá de sequeiro com muda tradicional em solos de textura média (Tipo 2) no Estado do Tocantins, com risco de 20% de quebra de rendimento.

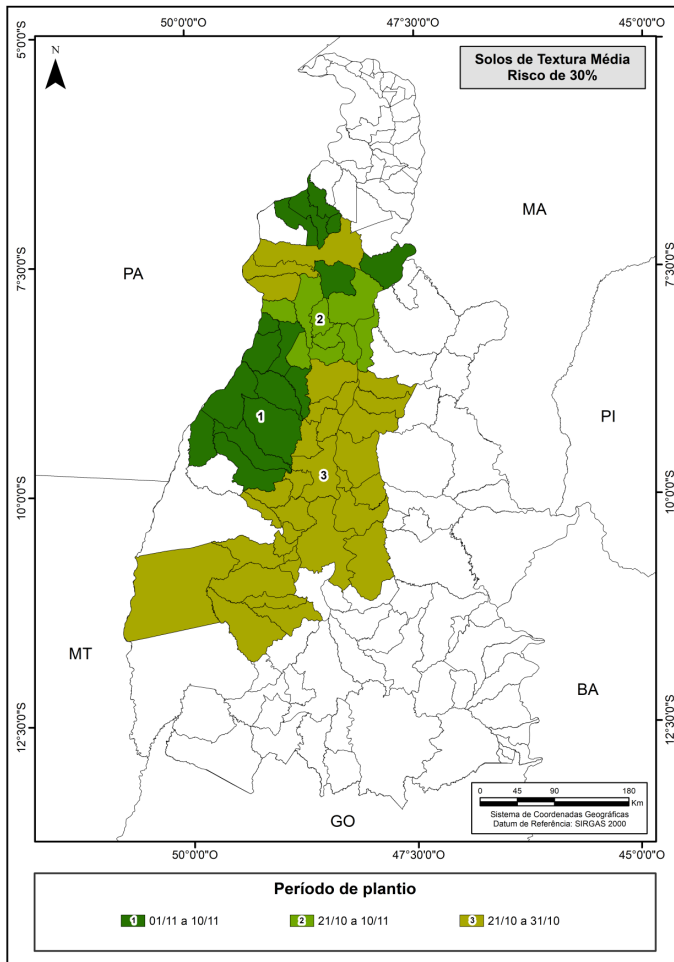


Figura 7. Recomendação de época de plantio da cultura do maracujá de sequeiro com muda tradicional em solos de textura média (Tipo 2) no Estado do Tocantins, com risco de 30% de quebra de rendimento.

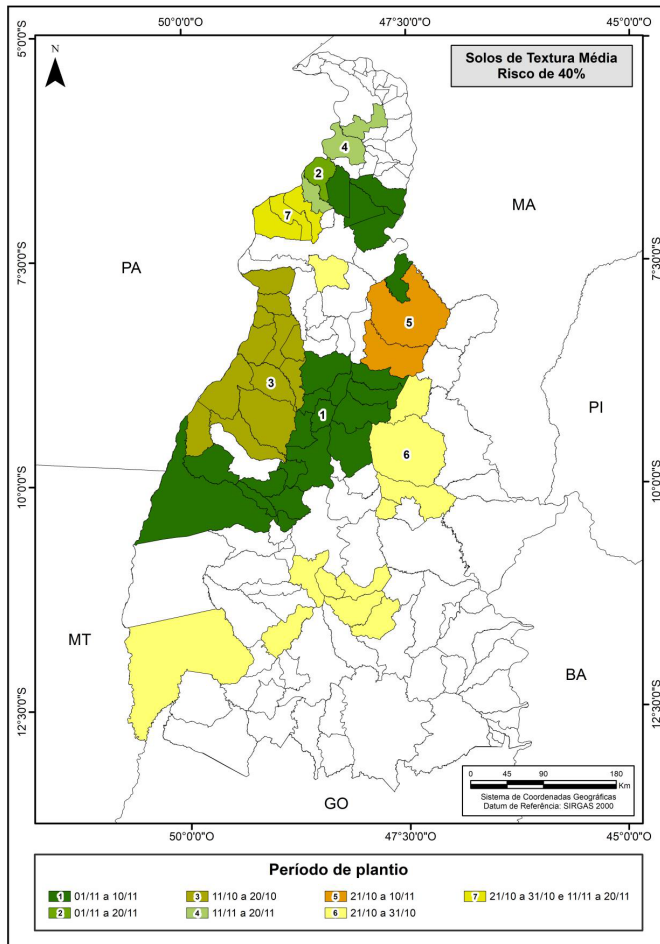


Figura 8. Recomendação de época de plantio da cultura do maracujá de sequeiro com muda tradicional em solos de textura média (Tipo 2) no Estado do Tocantins, com risco de 40% de quebra de rendimento.

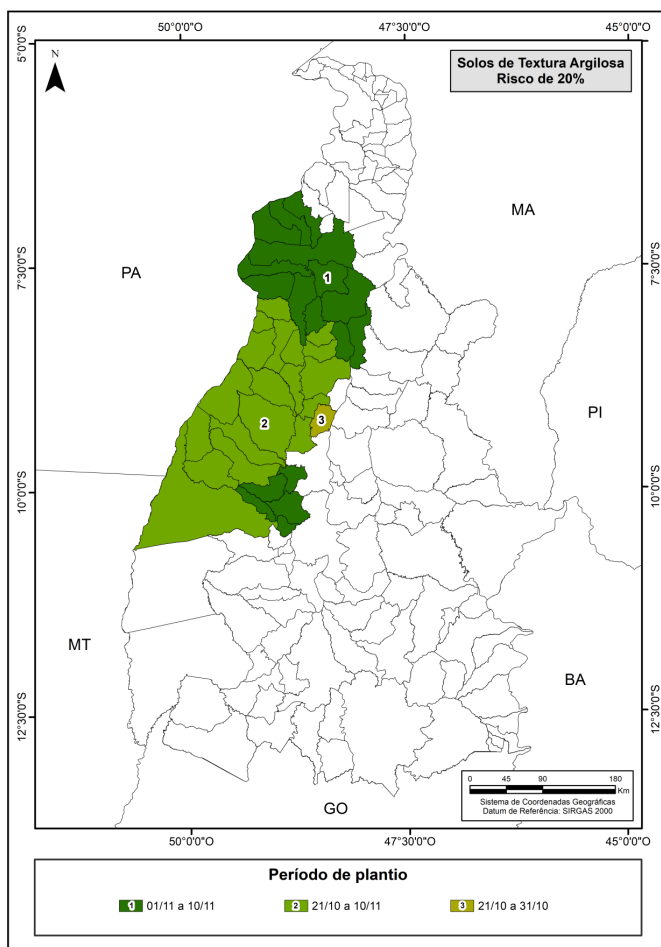


Figura 9. Recomendação de época de plantio da cultura do maracujá de sequeiro com muda tradicional em solos de textura argilosa (Tipo 3) no Estado do Tocantins com risco de 20% de quebra de rendimento.

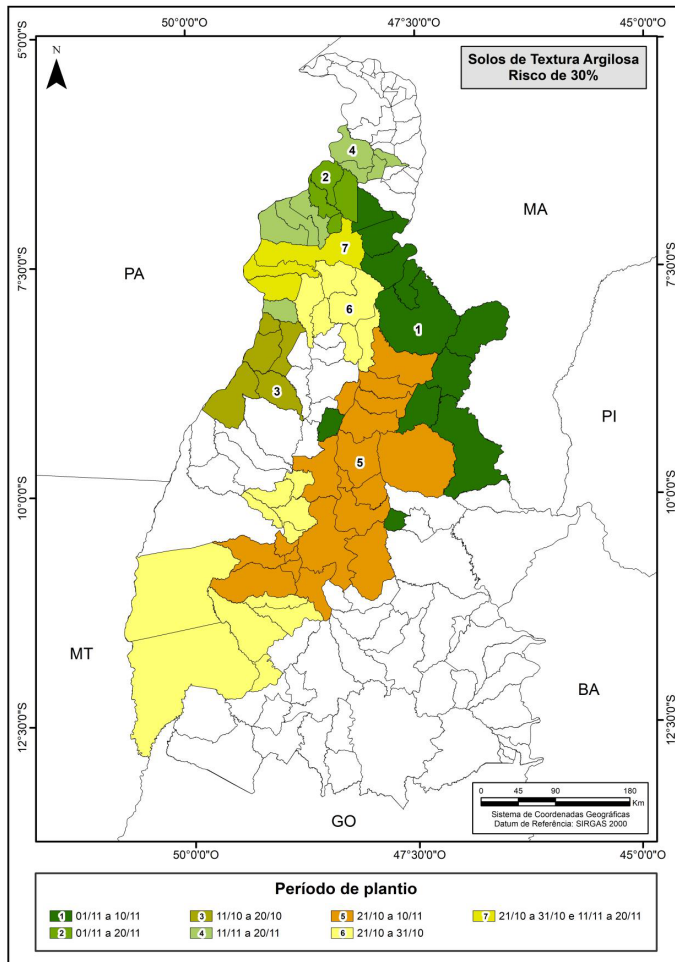


Figura 10. Recomendação de época de plantio da cultura do maracujá de sequeiro com muda tradicional em solos de textura argilosa (Tipo 3) no Estado do Tocantins com risco de 30% de quebra de rendimento.

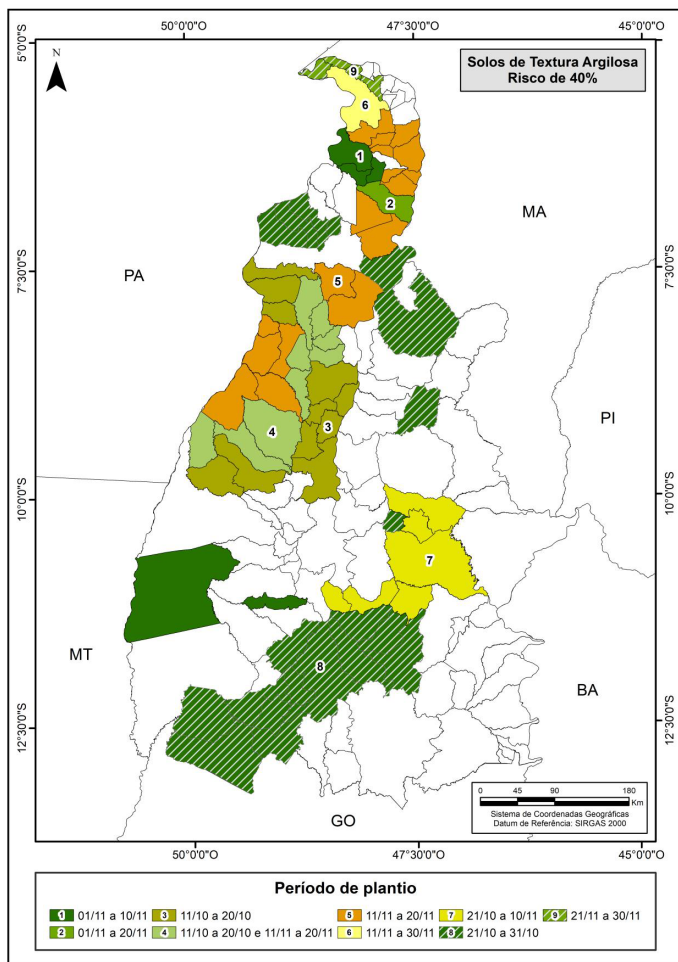


Figura 11. Recomendação de época de plantio da cultura do maracujá de sequeiro com muda tradicional em solos de textura argilosa (Tipo 3) no Estado do Tocantins com risco de 40% de quebra de rendimento.

Considerações Finais

Com o uso de modelo agrometeorológico, ferramentas de análise das relações entre variáveis e parâmetros de clima, solo e cultura, e da geotecnologia aplicados em análise espacial, foi possível elaborar o mapeamento de risco climático e indicar as melhores épocas de plantio da cultura do maracujá de sequeiro no Estado do Tocantins.

O déficit hídrico é considerado a maior restrição para o cultivo de maracujá de sequeiro no Estado do Tocantins, principalmente entre os meses de dezembro e setembro. Com o estabelecimento da estação chuvosa, o Estado passa a apresentar cenários de baixos riscos para a implantação da cultura e obtenção de rendimentos viáveis.

Agradecimentos

Esta publicação apresenta resultados importantes e estratégicos para subsidiar planejamento, tomadas de decisão e políticas públicas de significativo retorno econômico e social. Os autores receberam contribuições relevantes de diversos profissionais que integram a cadeia produtiva do maracujá. Cabe agradecimento especial aos colegas pesquisadores: Fábio Gelape Faleiro, Nilton Tadeu Vilela Junqueira, Artur Gustavo Muller, Maria Emília Borges Alves, e Alessandra Duarte de Oliveira.

Os autores também agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio com a concessão de bolsas de pesquisa, e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Tocantins (FAPT), pelo apoio com a concessão de bolsa de produtividade em pesquisa, que contribuíram para viabilizar o presente estudo.

Referências

ALMEIDA, G. Q.; SILVA, J. de O.; CABRAL, L. T. S.; MATOS, G. R.; MENEGUCI, J. L. P. Influência da iluminação artificial no florescimento dos parentais de híbridos de maracujá (*Passiflora edulis*). **Multi-Science Journal**, v. 1, n. 2, p. 117-123, 2015. DOI: <https://doi.org/10.33837/msj.v1i2.87>.

ASSAD, E. D.; MACEDO, M. A. de; ZULLO, J. J.; PINTO, H. S.; BRUNINI, O. Avaliação de métodos geoestatísticos na espacialização de índices agrometeorológicos para definir riscos climáticos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 2, p. 161-171, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2003000200001>.

BARON, C.; PRESEZ, P.; MARAUX, F. **Systeme d'Analyse Regionale des Risques Agroclimatiques** - Bilan Hydrique Applique au Zonage (SARRAZON). Montpellier: CIRAD-CA, 1996. 26 p.

BERALDO, J.; KATO, E. T. M. Morfoanatomia de folhas e caules de *Passiflora edulis* Sims, Passifloraceae. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 20, n. 2, p. 233-239, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-695X2010000200016>.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria nº 313 de 20 de julho de 2021. Zoneamento Agrícola de Risco Climático para a cultura de maracujá, cultivo de sequeiro, no Estado do Tocantins. **Diário Oficial da União**: Seção 1, 21 jul. 2021.

CARVALHO, A. J. C.; MARTINS, D. P.; MONNERAT, P. H.; BERNARDO, S. Adubação nitrogenada e irrigação no maracujazeiro-amarelo. I. Produtividade e qualidade dos frutos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 6, p. 1101-1108, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2000000600005>.

CARVALHO, J. de A.; CALDAS, A. L. D.; REZENDE, F. C.; NAKAZONE, M. V.; FARIA, L. do A. Produção e qualidade de frutos de maracujá-amarelo em função da tensão de água no solo. **Engenharia na Agricultura**, v. 22, n.3, p. 231-238, 2014. DOI: <https://doi.org/10.13083/reveng.v22i3.513>.

CAVICCHIOLI, J. C.; MELETTI, L. M. M.; NARITA, N. Cultivo do maracujá: Aspectos a serem observados antes da implantação da cultura. **Pesquisa & Tecnologia**, v. 13, n. 2, 2016.

CAVICCHIOLI, J. C.; RUGGIERO, C.; VOLPE, C. A.; PAULO, E. M.; FAGUNDES, J. L.; KASAI, F. S. Florescimento e frutificação do maracujazeiro-amarelo submetido à iluminação artificial, irrigação e sombreamento. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 28, n. 1, p. 92-96, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-29452006000100026>.

CORRÊA, R. A. de L. **Evapotranspiração e Coeficiente de Cultura em Dois Ciclos de Produção do Maracujazeiro Amarelo**. 2004. 57 f. Dissertação (Mestre em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

COSTA, A. de F. S. da; COSTA, A. N. da; VENTURA, J. A.; FANTON, C. J.; LIMA, I. de M.; CAETANO, L. C. S.; SANTANA, E. N. de. **Recomendações técnicas para o cultivo do maracujazeiro**. Vitória, ES: Incaper, 2008.

COSTA, A. M. Propriedades das passifloras como medicamento e alimento funcional. In: JUNGHANS, T. G.; JESUS, O. N. (ed.). **Maracujá: Do cultivo à comercialização**. Brasília, DF: Embrapa, 2017. p. 299-318.

COSTA, E. L. da; SOUSA, V. F. de; NOGUEIRA, L. C.; SATURNINO, H. M. Irrigação da cultura do maracujazeiro. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 21, n. 206, p. 59-66, 2000.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. Roma: FAO, 1979. 193 p. (FAO. Irrigation and Drainage. Paper, 33).

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema CONPRESS**. Brasília, DF: Embrapa, 2023.

ESRI. ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. **Software ArcGIS Desktop: Release 10**. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute, 2011.

EVANGELISTA, B. A. **Projeção de cenários climáticos atuais e futuros de produtividade de cana-de-açúcar em ambientes de cerrado**. 2011. 164 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo.

FALEIRO, F. G.; JUNQUEIRA, N. T. V. Maracujá: **O Produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa, 2016. 341 p. (Coleção 500 perguntas, 500 respostas).

FERREIRA, E. T.; EVANGELISTA, B. A.; AGUIAR, J. L. P. de; JUNQUEIRA, N. T. V. **Delimitação de Áreas Aptas para a Produção de Maracujá na Entressafra no Estado de Goiás e no Distrito Federal**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2002. 24 p. (Embrapa Cerrados. Circular Técnica, 24).

GONTIJO, G. M. **Cultivo do maracujá: informações básicas**. Brasília, DF: EmaterDF, 2017. 21 p. (Coleção Emater, 26).

GOOVAERTS, P. **Geostatistics for natural resources evaluation**. New York: Oxford University Press, 1997. 481p.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção Agrícola Municipal**. Rio de Janeiro, 2022a.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produto Interno Bruto**. Rio de Janeiro, 2022b.

ISSAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989. 561 p.

JUNQUEIRA, N. T. V.; ZACARONI, A. B.; SOUZA, M. A. de; FALEIRO, F. G.; TEIXEIRA, L. P. Custo e estimativa de produtividade obtidos a partir de mudas de maracujazeiro-azedo tipo 'mudão' com diferentes idades. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 23., 2014, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá: SBF, 2014.

LOPES-ASSAD, M. L.; BOSCHI, R. S.; NOMURA, E.; EVANGELISTA, B. A.; SILVA, J. dos S. V. da. Uso de Informações de Solos no Zoneamento agrícola de Risco Climático. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15., 2007, Aracaju. **Anais: efeitos das mudanças climáticas na agricultura**. Aracaju: SBA, 2007.

LUNARDI, R.; HOTT, N. D.; OLIVEIRA, E. C. de; EVANGELISTA, B. A. Zoneamento de Risco Climático para a Cultura do Maracujá (*Passiflora edulis Sims f. flavicarpa Deg.*) de Sequeiro e Irrigado no Estado da Bahia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 16., 2009, Belo Horizonte. **Anais: mudanças climáticas, recursos hídricos e energia para uma agricultura sustentável**. Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2009.

MACHADO, C. de F.; FALEIRO, F. G.; JUNQUEIRA, N. T. V.; ARAUJO, F. P. de; COSTA, A. M.; JUNGHANS, T. G. Espécies silvestres de maracujazeiro comercializadas em pequena escala no Brasil. In: JUNGHANS, T. G.; JESUS, O. N. (ed.). **Maracujá: do cultivo à comercialização**. Brasília, DF: Embrapa, 2017. p. 59-80.

MACIEL, G. F.; AZEVEDO, P. V. DE; ANDRADE JÚNIOR, A. S. de. Impactos do aquecimento global no zoneamento de risco climático da soja no estado do Tocantins. **Revista Engenharia Ambiental**, v. 6, n. 3, p. 141-154, 2009.

MELETTI, L.M.M. Avanços na cultura do maracujá no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, spe1, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-29452011000500012>.

MENZEL, C. M.; SIMPSON, D. R.; DOWLING, A. J. Water relations in passionfruit: Effect of moisture stress on growth, flowering and nutrient uptake. **Scientia Horticulturae**, v. 29, n. 3, p. 239-249, 1986. DOI: [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(86\)90067-1](https://doi.org/10.1016/0304-4238(86)90067-1).

MONTEIRO, J. E. B. A.; CUADRA, S. V.; OLIVEIRA, A. F.; NAKAI, A. M.; MACIEL, R. J. S. Estimativa da evapotranspiração diária baseada apenas em temperatura. **Agrometeoros**, v.25, n.1, p.227-236, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.31062/agrom.v25i1.26283>.

PAULA, L. F. de; MATTAR, D. S.; MELETTI, L. M. M. Uso de mudas avançadas na produção de maracujá-amarelo sob cultivo protegido. In: SIMPÓSIO DE PROPAGAÇÃO DE PLANTAS E PRODUÇÃO DE MUDAS, 2., 2018, Águas de Lindóia. **Anais: qualidade e tecnologia visando sustentabilidade**. Campinas: IAC, 2018.

PITA, J. S.L. **Caracterização físico-química e nutricional da polpa e farinha da casca de maracujazeiros do mato e amarelo**. 2012. 77 f. Dissertação (Mestre em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga.

ROSSETTI, L. A. Zoneamento agrícola em aplicações de crédito e seguridade rural no Brasil: aspectos atuariais e de política agrícola. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n. 3 (Nº Especial: Zoneamento Agrícola), p. 386-399, 2001.

ROSSI, A. D.; ROSSI, F. S.; SILVA, J. R. **Análise Setorial. Produção de Sucos Tropicais: Maracujá**. Vera Cruz: AFRUVEC, 2001. 47 p. (Relatório Técnico).

SEPLAN. Secretaria do Planejamento e da Modernização da Gestão Pública. Diretoria de Zoneamento Ecológico-Econômico. **Atlas do Tocantins: subsídios ao planejamento da gestão territorial**. Palmas: SEPLAN, 2012. 80 p.

SILVA, A. A. G. da; KLAR, A. E. Demanda hídrica do maracujazeiro amarelo (*Passiflora edulis Sims f. flavicarpa Deg.*). **Irriga**, v. 7, n. 3, p. 185-190, 2002. DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2002v7n3p185-190>.

SILVA, M. T.; AMARAL, J. A. B. Zoneamento de risco climático para a cultura do amendoim no Estado do Rio Grande do Norte. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 7, n. 2, p. 93-99, 2007.

SILVA, T. J. A. da; FOLEGATTI, M. V.; SILVA, C. R. da; ALVES JÚNIOR, J.; PIRES, R. C. de M. Evapotranspiração e coeficientes de cultura do maracujazeiro amarelo conduzido sob duas orientações de plantio. **Irriga**, v. 11, n. 1, p. 90-106, 2006. DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2006v11n1p90-106>.

SILVA, T. V. **Fisiologia do desenvolvimento dos frutos do maracujazeiro amarelo e maracujazeiro doce**. 2008. 167 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes.

SOUSA, V. F. de. **Níveis de irrigação e doses de potássio aplicados via fertirrigação por gotejamento no maracujazeiro amarelo (*Passiflora edulis* 41 Sims. F. flavicarpa Deg.)**. 2000. 178 f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

SOUZA, M. do S. M.; BEZERRA, F. M. L.; VIANA, T. V. de A.; TEÓFILO, E. M.; CAVALCANTE, I. H. L. Evapotranspiração do Maracujá nas Condições do Vale do Curu. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 2, p. 11-16, 2009.

XAVIER, A. C.; KING, C. W.; SCANLON, B. R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980–2013). **International Journal of Climatology**, v. 36, n. 6, p. 2644-2659, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.4518>.

Embrapa

Pesca e Aquicultura

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA E
PECUÁRIA

GOVERNO FEDERAL

UNIÃO E RECONSTRUÇÃO

CGPE 00000