



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA

---

NATHAN FELIPE DA SILVA CALDANA

**ZONEAMENTO AGROCLIMÁTICO E O MODELO  
SIMULAÇÃO DE RENDIMENTO DO FEIJÃO PARA O  
ESTADO DO PARANÁ**

---

Londrina  
2022

NATHAN FELIPE DA SILVA CALDANA

**ZONEAMENTO AGROCLIMÁTICO E O MODELO  
SIMULAÇÃO DE RENDIMENTO DO FEIJÃO PARA O  
ESTADO DO PARANÁ**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação  
em Agronomia da Universidade Estadual de  
Londrina, para obtenção do título de doutor.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Augusto de Aguiar  
e Silva

Coorientador: Dr. Daniel Soares Alves

Londrina  
2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

C145z    Caldana, Nathan Felipe da Silva.  
          Zoneamento agroclimático e o modelo simulação de rendimento do feijão para o Estado do Paraná / Nathan Felipe da Silva Caldana. - Londrina, 2022.  
          105 f. : il.

          Orientador: Marcelo Augusto de Aguiar e Silva.  
          Coorientador: Daniel Soares Alves.  
          Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2022.  
          Inclui bibliografia.

          1. Modelagem - Tese. 2. Mudanças Climáticas - Tese. 3. Feijoeiro - Tese. 4. CROPGRO - Tese. I. Silva, Marcelo Augusto de Aguiar e . II. Alves, Daniel Soares . III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

CDU 63

NATHAN FELIPE DA SILVA CALDANA

**ZONEAMENTO AGROCLIMÁTICO E O MODELO  
SIMULAÇÃO DE RENDIMENTO DO FEIJÃO PARA O  
ESTADO DO PARANÁ**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação  
em Agronomia da Universidade Estadual de  
Londrina, como requisito parcial à obtenção do  
título de Doutor em Agronomia.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Augusto de Aguiar  
e Silva  
Universidade Estadual de Londrina

---

Coorientador: Dr. Daniel Soares Alves  
Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná  
(IDR-Paraná)

---

Dra. Geovanna Cristina Zaro  
Universidade de Guelph

---

Dra. Angela Beatriz Ferreira da Costa  
Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná  
(IDR-Paraná)

---

Dr. Nilson Aparecido Vieira Junior  
Kansas State University

---

Dr. Pablo Ricardo Nitsche  
Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná  
(IDR-Paraná)

## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Estadual de Londrina e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia pela oportunidade de realizar o doutorado.

Ao meu orientador Marcelo Augusto de Aguiar e Silva e ao coorientador Daniel Soares Alves pelo incentivo, confiança, apoio e orientação.

À CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pelo apoio financeiro para execução deste trabalho e pela bolsa concedida.

Ao Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná (IDR-Paraná) pelo apoio financeiro e de estrutura. E para o setor de Agrometeorologia e Ecofisiologia.

Aos professores e pesquisadores da banca examinadora, pela contribuição dedicada a este estudo.

Por fim, agradeço a todos os familiares e amigos que de forma direta ou indireta contribuíram para que esse trabalho pudesse ser realizado.

CALDANA, Nathan Felipe da Silva. **Zoneamento Agroclimático e o Modelo Simulação de Rendimento do Feijão Para o Estado do Paraná**. 2022. 114p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2022.

## RESUMO

O feijoeiro (*Phaseolus vulgaris L.*) é uma leguminosa com grande destaque socioeconômico por ser uma das principais culturas agrícolas do mundo, sendo o Brasil o maior produtor e consumidor. É uma cultura extremamente sensível às condições meteorológicas, com destaque para o déficit hídrico, temperaturas elevadas e geada, que podem gerar grandes perdas de safra. Com as projeções de aumento de população, atrelado às mudanças climáticas, estudos que evidenciem o risco e potencializem a produtividade de alimentos básicos são fundamentais. O objetivo desta tese foi avaliar as potencialidades do cultivo do feijão por meio do zoneamento risco agroclimático para o estado do Paraná, e assim, determinar as melhores épocas de semeadura para as três safras possíveis no Estado: feijão das águas, da seca e de outono-inverno; e ainda realizar o zoneamento sob diferentes cenários de mudanças climáticas. Além disso, objetivou-se calibrar e avaliar a performance do modelo DSSAT/CROPGRO-Dry bean em simular a fenologia e a produção de grãos para uma cultivar de ciclo médio de feijão no estado do Paraná. Para o zoneamento foram avaliados o risco agroclimático por meio das variáveis geada, temperaturas elevadas e déficit hídrico por meio dos dados de estações meteorológica. Foram criados mapas temáticos com interpolações e regressão linear múltipla para regionalizar os dados climáticos por todo o Estado. O mapa final do zoneamento apresenta a aptidão e a melhor janela de semeadura considerando o risco agroclimático. Para averiguar o impacto das mudanças climáticas no zoneamento inicialmente realizou-se testes estatísticos de tendência para observar regionalmente o aumento de temperatura no Paraná. Para o zoneamento utilizou-se os cenários de aumento de temperatura máxima e mínima do IPCC de: 1,7, 2,6, 3,1 e 4,8°C. Para calibração e validação dos dados simulados para a modelagem, foi realizado um experimento em Londrina para safra das águas 2019/20. Para a calibração do modelo foram inseridos dados experimentais e os dados de entrada da cultivar, de clima e de solo. Para a análise estatística utilizou-se como referência as safras das águas 2019/20 e utilizou-se os testes estatísticos com as safras da seca 2019/20 e 2020/21 e das águas 2020/21 para o processo de validação cruzada. Como principais resultados, identificou-se que a elaboração de novo zoneamento agroclimático para a cultura de feijão demonstrou aptidão para todo o estado Paraná. Algumas regiões foram inaptas para o cultivo na safra da seca e de outono/inverno, devido ao déficit hídrico e ao início do período de geada, respectivamente. Diferente dos zoneamentos anteriores, identificou-se novas áreas para o cultivo e diferentes datas de semeadura, indicando possíveis impactos das mudanças climáticas. Ao averiguar os impactos do aumento de temperatura averiguou-se que as mudanças climáticas poderão ser prejudiciais a produção de feijão no Paraná. Quanto maior o aumento de temperatura, menor será a área apta para cultivo e, viabilizando apenas uma safra. A ocorrência de temperaturas elevadas inviabilizaria o cultivo durante a primavera-verão em todo o norte e oeste do Paraná. No pior cenário, apenas a região mais fria do estado, na região centro-sul paranaense, seria possível realizar-se as duas safras para o feijão. Para a modelagem, constatou-se que a variabilidade ambiental, foi detectada. Os coeficientes parametrizados das seis cultivares demonstraram maior proximidade dos valores simulados para Londrina, local onde foi realizado o experimento. Porém, todas as outras localidades apresentaram significância estatística dos valores simulados. O modelo foi calibrado, ajustado e validado e agora pode servir como ferramenta para o planejamento para demais áreas do estado do Paraná. Este trabalho tem o intuito de servir como base para estudos que buscam soluções e alternativas para lidar com os cenários futuros, e precauções quanto a mudanças climáticas, para que se possa garantir a

produção de alimentos mais sustentável. Além de orientar políticas públicas que objetivem a mitigação do impacto das mudanças climáticas.

**Palavras-chave:** Modelagem; Mudanças Climáticas; Feijoeiro; CROPGRO; Época de Semeadura.

CALDANA, Nathan Felipe da Silva. **Agroclimatic Risk Zoning and Crop Modelling Simulation for Bean crop yield for Paraná State.** 2022. 114p. Thesis (Doctoral Degree in Agronomy) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2018.

## ABSTRACT

The bean crop (*Phaseolus vulgaris* L.) has a crop which exhibits remarkable relevance for socioeconomic aspects, due it is one of the main agricultural crops in the world, being Brazil the largest producer and consumer of this crop. *Phaseolus vulgaris* L is considered extremely sensitive to weather conditions, such as water deficit, high temperatures and frost, which can lead to large yield gaps. According to the FAO – Food and Agriculture Organization, the recent projections of population increase, and in the contest of conservation agriculture, less area to cultivate, reducing deforestation and climate change, tools which help the farmer in the decision-making to produce bean can be extremely useful. The main objective of this Thesis was to carry out to evaluate the potential yield (Py) of bean cultivation in Paraná State, Brazil, through agroclimatic risk zoning to determine the best sowing times for the three possible crops seasons in the State (dry, waters and Winter crop seasons of bean crop and, in addition, to carry out this zoning considering the climatic scenarios from IPCC. As a specific objective was to carry out the calibrataion and evaluate the performance of the Decion Suport System for Agrotechnology - DSSAT/CROPGRO-Dry bean model in simulating the phenology and grain yield of a mid-cycle bean cultivar in Paraná. For the zoning, the agroclimatic risk was evaluated through the variables frost, high temperatures and water deficit through data from meteorological stations. For that, were created maps with interpolations and multiple linear regression to regionalize climate data throughout the Paraná state. The final zoning map shows the apt conditions and the best sowing moment considering the agroclimatic risk. To investigate the impact of climate change on zoning, initially statistical trend tests were carried out to regionally observe the increase in temperature in Paraná. For zoning, the IPCC scenarios of maximum and minimum temperature increase of: 1.7, 2.6, 3.1 and 4.8°C were used. For calibration and validation of simulated data for modelling, an experiment was carried out in Londrina for the 2019/20 waters crop season. For the calibration of the model, experimental data and the input data of the cultivar, climate and soil were inserted. For the statistical analysis, the 2019/20 water crop season were used as reference and statistical tests were used with the 2019/20 and 2020/21 dry crop seasons and the 2020/21 waters crop season for the cross-validation process. As key results, it was identified that the elaboration of a new agroclimatic zoning for the bean crop demonstrated aptitude for the entire Paraná. Some regions were inapt for cultivation in the dry and autumn/winter crop seasons, due to water deficit and the beginning of the frost period, respectively. New areas for cultivation and different sowing dates were identified, exhibiting the impacts of climate change. When investigating the impacts of the increase in temperature, it was found that climate change could be harmful to bean yield in Paraná. The greater the increase in temperature, the smaller the area apt for cultivation, enabling only one crop. The occurrence of high temperatures would make cultivation inapt during Spring-Summer in the North and West of Paraná State. In the worst case scenario, only the coldest region of the state, in the Central-South region of Paraná, would it be possible to carry out both crop seasons for beans. For modelling, it was found that the environmental variability was detected by parameterized coefficients of the six cultivars showed greater proximity to the

simulated values for Londrina, where the experiment was carried out. However, all other locations showed statistical significance of simulated values. The model was calibrated, adjusted and validated and can now serve as a planning tool for other areas of Paraná. This work is intended to serve as a basis for studies that seek solutions and alternatives to deal with future scenarios, and precautions regarding climate change, so that more apt food production can be guaranteed. In addition to guiding public policies aimed at mitigating the impact of climate change for crops yields.

**Keywords:** Modeling; Climate changes; Beans; CROPGRO; Sowing time.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 3.1:</b> Relevo do estado do Paraná.....	28
<b>Figura 3.2:</b> Estações meteorológicas no estado do Paraná.....	29
<b>Figura 3.3:</b> Estações pluviométricas do estado do Paraná .....	29
<b>Figura 3.4:</b> Precipitação média anual no Paraná (1976-2021) .....	35
<b>Figura 3.5:</b> Temperatura do ar média anual no estado do Paraná (1976-2021) .....	36
<b>Figura 3.6:</b> Temperatura do Ar Média das Máximas anual no estado do Paraná (1976-2021) .....	37
<b>Figura 3.7:</b> Riscos de ocorrerem temperaturas máximas superiores a 32°C no Paraná, para o período de outubro a março (1976-2021) .....	38
<b>Figura 3.8:</b> Risco de geada anual (%) no Estado do Paraná (1976-2021).....	39
<b>Figura 3.9:</b> Riscos de ocorrerem geadas (temperatura do ar mínima no abrigo abaixo de 2°C) no Paraná, no período de abril a setembro.....	40
<b>Figura 3.10:</b> Riscos de ocorrer deficiência hídrica no período de florescimento do feijoeiro no Paraná. ....	41
<b>Figura 3.11:</b> Riscos de ocorrerem excessos de chuva na colheita (50 mm em cinco dias, sendo pelo menos três dias com chuva) durante o ano no Paraná.....	43
<b>Figura 3.12:</b> Zoneamento de Risco Agroclimático para o Feijão das Águas no Paraná .....	44
<b>Figura 3.13:</b> Zoneamento de Risco Agroclimático para o Feijão da seca no Paraná.....	45
<b>Figura 3.14:</b> Zoneamento de Risco Agroclimático para o Feijão de outono/inverno no Paraná .....	46
<b>Figura 4.1:</b> Relevo do estado do Paraná.....	56
<b>Figura 4.2:</b> Estações Meteorológicas e Pluviométricas no Estado do Paraná.....	58
<b>Figura 4.3:</b> Temperatura do ar máxima média no Paraná (1976-2021) .....	65
<b>Figura 4.4:</b> Temperatura do ar mínima média no Paraná (1976-2021).....	66
<b>Figura 4.5:</b> Teste Sen's Slope da temperatura máxima para o Paraná (1976-2021) .....	71
<b>Figura 4.6:</b> Teste Sen's Slope da temperatura mínima para o Paraná (1976-2021).....	72
<b>Figura 4.7:</b> Zoneamento de risco agroclimático para o feijão das águas com parâmetros de mudanças climáticas .....	73
<b>Figura 4.8:</b> Zoneamento de risco agroclimático para feijão da seca/outono e inverno, com parâmetros de mudanças climáticas .....	74
<b>Figura 5.1:</b> Localização e relevo do município de Londrina e da área do experimento. ....	84
<b>Figura 5.2:</b> Relevo do Paraná e a localização das áreas que foram realizadas a modelagem para cultura do feijão. ....	90
<b>Figura 5.3:</b> Distribuição anual de precipitação, umidade relativa do ar, temperaturas máxima e mínima, radiação solar global, entre 1976 a 2021. ....	91
<b>Figura 5.4:</b> Produtividade observada e simulada para a safra das águas (2019/20) da cultivar calibrada do feijão– Safra de Referência .....	98
<b>Figura 5.5:</b> Produtividade observada e simulada (em kg ha <sup>-1</sup> ) e o teste t para as safras das águas (2020/21) e da seca (2019/20 e 2020/21) .....	101

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 4.1:</b> Informações das estações meteorológicas utilizadas.....	57
<b>Tabela 4.2:</b> Valores das estatísticas de tendências de temperatura máximas para estações meteorológicas do Paraná.....	67
<b>Tabela 4.3:</b> Valores das estatísticas de tendências de temperatura mínimas para estações meteorológicas do Paraná.....	69
<b>Tabela 5.1:</b> Adubação realizada no experimento .....	85
<b>Tabela 5.2:</b> Valores de kc para os estádios fenológicos do Feijão ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ).....	87
<b>Tabela 5.3:</b> Descrição e parâmetros do DSSAT dos dados coletados do experimento para a calibração do modelo para as 6 cultivares .....	88
<b>Tabela 5.4:</b> Parâmetros de entrada para o DSSAT dos dados de solo para as localidades da modelagem .....	89
<b>Tabela 5.5:</b> Parâmetros de saída do modelo. ....	92
<b>Tabela 5.6:</b> Coeficientes de fenologia parametrizados para as cultivares utilizadas no experimento. ....	95
<b>Tabela 5.7:</b> Coeficientes de crescimento parametrizados para as cultivares do feijão.....	96
<b>Tabela 5.8:</b> Dados coletados do experimento para a calibração do modelo para as 6 cultivares .....	97
<b>Tabela 5.9:</b> Produtividade observada e simulada (em kg ha <sup>-1</sup> ) para as safras das águas (2020/21) e da seca (2019/20 e 2020/21) .....	100
<b>Tabela 5.10:</b> Validação do modelo para as safras das águas (2020/21) e da seca (2019/20 e 2020/21).....	102

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	4
2	REVISÃO DE LITERATURA .....	6
2.1	O feijoeiro e sua produção. ....	6
2.2	Zoneamento de Risco Agroclimático e as Mudanças climáticas .....	8
2.3	A modelagem – histórico, variedades e o modelo CROPGRO .....	13
2.4	REFERÊNCIAS .....	15
3	ARTIGO A: ZONEAMENTO DE RISCO AGROCLIMÁTICO PARA O CULTIVO DO FEIJÃO NO ESTADO DO PARANÁ, BRASIL .....	26
3.1	Resumo .....	26
3.2	INTRODUÇÃO.....	27
3.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	28
3.2.1	Área de Estudo .....	28
3.2.2	Dados Climáticos.....	29
3.2.3	Parâmetros de Risco Climático para elaboração do zoneamento .....	30
3.2.4	Elaboração cartográfica e Análises estatísticas .....	31
3.2.5	Zoneamento de Risco Agroclimático .....	33
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	34
3.4	CONCLUSÕES .....	48
3.5	REFERÊNCIAS .....	48
4	ARTIGO B: MUDANÇAS CLIMÁTICAS E AS ALTERAÇÕES NO ZONEAMENTO DO FEIJÃO NO ESTADO DO PARANÁ, BRASIL .....	53
4.1	Resumo: .....	53
4.2	INTRODUÇÃO.....	54
4.3	MATERIAL E MÉTODOS.....	55
4.3.1	Área de Estudo .....	55
4.3.2	Dados Climáticos.....	56
4.3.3	Análise estatística e parâmetros de risco para elaboração do zoneamento.....	58
4.3.4	Elaboração cartográfica e Análises estatísticas .....	59
4.3.6	Testes de Tendência.....	61
4.3.7	Zoneamento de Risco Agroclimático .....	63
4.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	64

4.4.1 Variabilidade térmica .....	64
4.4.2 Testes de tendência .....	66
4.5 CONCLUSÕES .....	76
4.6 REFERÊNCIAS .....	76
5 ARTIGO C: CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO CROPGRO-DRYBEAN PARA A CULTURA DO FEIJÃO NO ESTADO DO PARANÁ, BRASIL.....	82
5.1 Resumo .....	82
5.2 INTRODUÇÃO.....	83
5.3 MATERIAL E MÉTODOS.....	84
5.3.1 Descrição do experimento .....	84
5.3.2 Cultivares.....	85
5.3.3 Calibração do modelo DSSAT/CROPGRO-Dry bean .....	86
5.3.4 Manejo de irrigação .....	87
5.3.5 Solo.....	88
5.3.6 Clima .....	89
5.3.7 Parametrização.....	92
5.3.8 Calibração do modelo.....	93
5.3.13 Análise Estatística .....	93
5.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	94
5.4.1 Parametrização.....	94
5.4.2 Produtividade e validação do modelo.....	98
5.5 CONCLUSÕES .....	102
5.6 REFERÊNCIAS .....	102
6 CONCLUSÕES GERAIS .....	105

## 1 INTRODUÇÃO

O clima do planeta está mudando. Cenários climáticos futuros apontam estimativas de aumento de temperatura do ar. Essas alterações têm causado eventos atípicos como a ocorrência de temperaturas extremas, ondas de calor ou frio, eventos de secas, aumento no volume de precipitação diária, culminando assim, em riscos de calor ou frio extremo, severas tempestades e inundações.

Todos esses eventos são refletidos na agricultura. A vulnerabilidade do setor agrícola às mudanças climáticas e à variabilidade está estabelecida na literatura, principalmente nos resultados que podem alterar a produtividade agrícola. Dessa forma, pesquisas que contribuam para o planejamento agrícola para a atualidade e em cenários futuros são fundamentais para boas produtividades e a redução de uso de defensivos e agroquímicos.

A cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) tem importância socioeconômica e alimentar para todos os segmentos da população, sendo produzida em boa parte do território brasileiro, não só por pequenos produtores, mas também pelos grandes, que visam essencialmente abastecer o mercado. É uma espécie sensível às condições meteorológicas e ambientais, sendo fundamental pesquisas e estudos que contribuam para seu manejo.

Regiões tropicais e principalmente em países subdesenvolvidos, os impactos das mudanças climáticas na produtividade agrícola devem ser mais negativos, atrelados à vulnerabilidade causada por meio das restrições tecnológicas, de recursos institucionais. Estimativas apontam que o cenário da produção mundial de alimentos pode mudar drasticamente no decorrer das próximas décadas.

O zoneamento de risco agroclimático é uma importante ferramenta para o produtor agrícola, por ser pautado em probabilidades de aptidão calculadas por funções matemáticas e estatísticas sobre séries de dados meteorológicos disponíveis e a probabilidade de risco que essas podem trazer para a produção de determinada espécie. Dessa forma, nas mais distintas escalas define-se a aptidão e o risco de cada área para determinado cultivo agrícola por meio de dados e mapas com condições semelhantes, considerando as exigências hidroclimáticas de cada espécie de interesse agrícola, contendo informações do risco agroclimático, aptidão e a recomendação de época de plantio e/ou colheita.

Esse instrumento de pesquisa tem um grande valor social, visto ser uma ferramenta utilizada para o financiamento, seguro agrícola e para o desenvolvimento de uma

agricultura mais rentável que reflete em reduzir perdas. É uma informação importante para auxiliar no planejamento agrícola, contemplando o atual cenário e as mudanças climáticas.

Modelos de simulação do crescimento, desenvolvimento e produtividade de culturas são processos que podem simular os impactos da meteorologia, solo, genética e práticas de manejo sobre o rendimento com base em princípios de equilíbrio de carbono, nitrogênio e água. Os modelos de simulação de cultura são ferramentas que permitem criar cenários, considerando as diversas combinações dos vários elementos que influenciam a produtividade das culturas. Além disso possibilitam analisar uma série de estratégias em sistemas de produção agrícola, como: otimização das datas de semeadura, aplicação de nitrogênio, impacto das mudanças climáticas nas culturas, irrigação, consumo de água na produção agrícola, desvios da produtividade, ensaio de desempenho de cultivares e o estudo da resposta ao ambiente.

O Paraná está localizado em uma área de transição climática, com grandes variações de altitude e latitude, condicionando assim, grandes diferenças na sua variabilidade climática. Além de ser um dos principais polos de produção agrícola do país, desde a produção familiar ao agronegócio. Além disso, o Paraná é estado com a maior produção de feijão do Brasil.

Os objetivos dessa tese foram: 1) Avaliar as potencialidades do cultivo do feijão por meio do zoneamento risco agroclimático para o estado do Paraná, e assim, determinar as melhores épocas de semeadura para as três safras possíveis no Estado: feijão das águas, da seca e de outono-inverno. 2) Realizar o zoneamento de risco agroclimático para o cultivo do feijoeiro no estado do Paraná sob diferentes cenários de mudanças climáticas. 3) Calibrar e avaliar a performance do modelo DSSAT/CROPGRO-Dry bean em simular a fenologia e a produção de grãos para uma cultivar de ciclo médio de feijão no estado do Paraná.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 O feijoeiro e sua produção.

O feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) pertencente à família Fabaceae, sendo uma das primeiras plantas cultivadas nas Américas. Evidências arqueológicas datam que sua domesticação ocorreu cerca de 5.000 a.C. no México e 3.000 a.C. no Peru (FANCELLI e DOURADO NETO, 2007). Desde então, seu cultivo e consumo seguiu crescente até os dias de hoje (WANDER, 2007).

O feijoeiro é responsável pela fonte de proteínas na dieta de mais de 400 milhões de pessoas que habitam as regiões dos trópicos (CIAT, 2016), fator que contribui para que a produção seja predominante de países subdesenvolvidos e realizada, em sua maior parte, por pequenos e médios produtores. Considerando todos os gêneros de feijão utilizados nas estatísticas da FAO (2022) o cultivo de feijão ocorre em 117 países no mundo, e conta com uma produção de aproximadamente 25,5 milhões de toneladas, numa área de 27 milhões de hectares. O maior produtor e consumidor de feijão no mundo é o Brasil, sendo o Paraná um dos maiores produtores de leguminosas, com boa parte da produção realizada por pequenos produtores, produzindo aproximadamente 3,4 milhões de toneladas (CONAB, 2019), principalmente para o consumo interno, e uma pequena parte é destinada para a exportação (FANCELLI e DOURADO NETO, 2007).

A semeadura do feijão pode ser realizada em três épocas no Brasil (ALMEIDA et al., 2017). No Sul do Brasil, é realizada no período chamado de "safra das águas", que ocorre de agosto a dezembro; seguido da "safra da seca", realizada em todo o país, de janeiro a abril; além da "safra de inverno" no centro-oeste, sendo realizada de maio a agosto (BORTOLUZZI et al., 2019; JASPER e KUHN, 2020).

O feijão é uma planta C3, sua morfologia é identificada por: 1. Sistema radicular ramificado, possuindo raiz principal, secundárias e terciárias, com 80% de sua profundidade entre 20 e 40cm; 2. caule herbáceo com eixo principal formado por nós e entrenós; 3. folhas simples, primárias e compostas; 4. inflorescência com flores agrupadas em duas ou mais podendo ser brancas, róseas ou roxas; e 5. frutos que vão da formação até o enchimento das vagens, levando a maturação da planta e 6. produção de sementes, que pode variar a forma, tamanho e cor. Seu crescimento pode ser determinado ou indeterminado, sendo classificado como tipo I (determinado), II (indeterminado arbustivo), tipo III (indeterminado prostrado ou

semiprostado) e tipo IV (indeterminado trepador) (GONZAGA et al., 2014; CARVALHO et al., 2016).

O desenvolvimento, tanto das plantas com hábito de crescimento determinado quanto indeterminado, pode ser dividido em duas fases: vegetativa (V) e reprodutiva (R), com ciclo normal de aproximadamente 100 dias, desde que tenha as condições ambientais favoráveis (Ribeiro et al., 2004). Com o melhoramento genético, atualmente existem cultivares com ciclo de 65 dias (SANTOS et al., 2018).

O feijão pode ser cultivado em várzeas (SANTOS et al., 2017) e em terras altas (MEDEIROS et al., 2000), que não estejam sujeitas ao encharcamento, preferencialmente em áreas com pouca declividade ou quase planas, desde que em solos soltos e friáveis, visto que o feijoeiro-comum possui sistema radicular superficial – com maior volume radicular nos primeiros 20 cm de profundidade e com 80% a 90% das raízes localizadas nos primeiros 40 cm (CERUTTI et al., 2019). Pode ser cultivado nos sistemas convencional, cultivo mínimo e de semeadura direta (YOKOYAMA e STONE, 2000).

Para o espaçamento, recomenda-se ao final do ciclo, a cultura tenha de oito a dez plantas por metro; portanto, a semeadora deve ser regulada, de modo que se ajuste ao poder germinativo da semente e obtenha essa densidade (GUIMARÃES et al., 2017). Em plantio consorciado, a cultura deve ter de oito a dez plantas por metro ou 20 cm entre covas, cada qual com duas plantas (Furtado et al., 2017). Em geral, para o feijão, recomenda-se profundidade de 3 a 4 cm em solos argilosos ou úmidos, e de 5 a 6 cm em solos arenosos (BALESTRIN et al., 2020). Profundidades maiores atrasam a emergência das plântulas, tornando-as mais expostas ao ataque de doenças, podendo ainda danificar os cotilédones (NASCIMENTO et al., 2018). Além disso, é importante utilizar uma semeadora que coloque o adubo ao lado e abaixo da semente (BITTENCOURT et al., 2016).

Pelo fato de ser cultivado em quase todos os estados brasileiros, o feijoeiro é submetido a condições climáticas bastante distintas (ANDRADE JUNIOR et al., 2018). A temperatura do ar é um dos elementos climáticos de maior importância para o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade do feijoeiro, principalmente, pelo fato da espécie não ser sensível ao fotoperíodo, e sim, a soma térmica (PRELA e RIBEIRO, 2007).

Tanto alta quanto baixa temperatura do ar podem trazer risco para o desenvolvimento do feijoeiro. Altas temperaturas podem provocar abortamento de flores e de vagens, redução do número de grãos por vagem vingada, crescimento vegetativo exagerado, auto-sombreamento, aumento no tamanho do entrenó, maturação desuniforme com vagens maduras e vagens em formação na mesma planta, grãos com menor massa seca e distribuição desuniforme

das vagens na planta (HEINEMANN et al., 2009). Além disso, ocorre redução do ciclo da planta, com menos tempo para o enchimento dos grãos. Baixas temperaturas logo após a semeadura podem impedir, reduzir ou atrasar a germinação das sementes e a emergência das plântulas. O ciclo da planta se alonga, provocando também baixo crescimento vegetativo, reduções na altura da planta, crescimento de ramificações e, conseqüentemente, diminuição no número de vagens por planta, reduzindo a produtividade (BARBOSA et al., 2010; GONZAGA et al., 2014).

Já o estresse hídrico não causa prejuízos severos à produtividade quando ocorre na fase vegetativa da planta (CURI et al., 2001). Entretanto, o feijoeiro é muito sensível ao estresse hídrico na fase reprodutiva (BASTOS et al., 2008).

## **2.2 Zoneamento de Risco Agroclimático e as Mudanças climáticas**

A variabilidade climática é inerente à própria definição de clima. O clima denota de variabilidade no espaço e no tempo (CONFALONIERI, 2015). Os estudos em recursos hídricos, como em bacias hidrográficas, normalmente levam em consideração o comportamento dos sistemas hídricos dentro da sazonalidade anual e para períodos de dados, geralmente na ordem de 15 a 30 anos. O estudo da variabilidade climática numa escala de dez anos ou períodos maiores pondera a influência do comportamento climático sobre o sistema global e, em específico nos recursos hídricos (SOMBOONSUKE et al., 2018; PAILLER e TSANEVA, 2018).

Mesmo que a agricultura possua grandes avanços das tecnologias e das contribuições da ciência, este setor econômico é extremamente dependente das condições meteorológicas em escala global. Os danos e prejuízos decorrentes de eventos meteorológicos como secas, excessos de chuvas, geadas e granizo podem ser parciais ou totais, com frequência variável por região e época do ano (CARAMORI et al., 2008). Na agricultura, a variabilidade da produção é afetada em até 80% pelas condições meteorológicas, conforme destacado em inúmeros trabalhos (CARAMORI et al., 2016; MICHLER et al., 2018).

A produção de alimentos será um grande desafio para a agricultura moderna (CARNEIRO et al., 2019). E nesse ínterim, a agricultura familiar desempenha um papel nobre, produzindo alimentos seguros e saudáveis, além de ser uma das engrenagens do motor do desenvolvimento econômico sustentável (CAMPOS et al., 2015; CRAMER et al., 2018). Nesse contexto, a responsabilidade do segmento aumenta, pois, a produção agrícola intensiva e insustentável acaba sobrecarregando os recursos naturais, evidenciando que melhorias nos modelos de produção são necessárias, além de práticas que valorizem uma agricultura sustentável, promissora e que satisfaça em termos produtivos (MARQUES, 2019; MALHI et al., 2021).

Além disso, as mudanças climáticas vêm sendo tratadas como uma ameaça à agricultura e à segurança alimentar (AMARAL, 2018; ARORA, 2019). Existe uma relação evidente e complexa de causa e efeito entre a agricultura e as alterações climáticas. As atividades do setor agrícola causam severo impacto ao ambiente que vêm causando impactos negativos no aquecimento global (MICHLER et al., 2018; AGOVINO et al., 2019). E esse cenário desencadeia vários trabalhos científicos no mundo todo, onde é incerta e preocupante essa relação da agricultura como uma das principais causas do aquecimento global, e um dos setores econômicos que sofrerá mais efeitos (ARCHIE et al., 2018; GREENE, 2018).

O clima é de vital importância para o planejamento agrícola (ANDRADRE et al., 2017). As atividades agrícolas e criações animais têm sido muito afetadas por extremos climáticos. A ocorrência de períodos secos e quentes tem provocado grandes perdas na agricultura, as quais se acentuam em função da degradação dos solos produtivos (OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2018; RavinDRA et al., 2019).

Nas últimas décadas, um dos assuntos mais discutidos é a sustentabilidade. Nesse cenário, o aprimoramento de práticas para uma agricultura mais sustentável é visto como importante meta para o avanço do desenvolvimento socioambiental (SOUSA et al., 2017). O rápido crescimento populacional e a redução de terras aráveis, principalmente em países em desenvolvimento, aumentaram a demanda do aprimoramento e planejamento da agricultura, de forma que se consiga evitar perdas de solo férteis e da própria produção (WADT, 2013). Estudos que identifiquem formas de mitigar os impactos dos fenômenos meteorológicos, manejo de irrigação e que auxiliem na conservação do solo são fundamentais para o desenvolvimento de uma agricultura mais sustentável (SIVAKUMAR et al., 2000; PANDEY, 2018).

A agricultura em escala global vem se desenvolvendo em passos largos com o advento e expansão de técnicas e mecanização, no sentido da agricultura de precisão (MACHADO, 2018). Porém, conforme destacado pela Organização Meteorológica Mundial - OMM (2006) regiões do mundo onde há estudos e trabalhos agrometeorológicos tendem a ser mais rentáveis, reduzindo as perdas por advento de eventos meteorológicos extremos. Aliado a isso, práticas conservacionistas e sustentáveis contribuem para a manutenção e equilíbrio do sistema de produção (OLUFAYO et al., 1998; STIGTER, 2008).

O zoneamento de risco agroclimático é pautado em probabilidades de aptidão calculadas por funções matemáticas e estatísticas sobre séries de dados meteorológicos disponíveis (RICCE et al., 2013). A fenologia das culturas possibilita identificar o impacto das condições meteorológicas acerca de seu desenvolvimento. Sendo assim, nas mais distintas escalas é definida a aptidão de cada área, município, estado, região ou país para determinado cultivo agrícola,

considerando as exigências hidroclimáticas de cada espécie de interesse comercial por meio de mapas. O zoneamento não elimina os riscos, mas trata-se de uma estratégia de convivência com as incertezas climáticas (CARAMORI et al., 2007; RICCE, 2018).

Para determinada cultura ser considerada apta para o cultivo em uma região é necessário que as suas condições climáticas sejam favoráveis durante todo o seu ciclo vegetativo. O risco máximo para a aptidão determinado pelo MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento) para cada espécie é era de no máximo 20%, mas atualmente é levantado faixas de risco de 20, 30 e 40%, para financiamentos e seguros agrícolas, cabendo ao agricultor decidir se irá seguir a recomendação ou utilizar práticas que mitiguem os efeitos adversos meteorológicos sobre sua produção. Dessa forma, são necessários determinados limites de temperatura do ar mínima e máxima nas distintas fases vegetativas, disponibilidade hídrica mínima e um período seco nas fases de maturação e colheita (RICCE et al., 2018).

O zoneamento de risco agroclimático, normalmente é dividido em três categorias para determinar a aptidão climática, tais como: 1. Região apta, em que corresponde a locais onde as condições climáticas são consideradas normais para o cultivo; 2. Região marginal, em que algumas adversidades climáticas podem ser esperadas, não impossibilitando o cultivo, mas merecem atenção e planejamento; 3. Inapta, em que o cultivo é economicamente prejudicado e as perdas podem ser frequentes (PEREIRA et al., 2002). O zoneamento é levado em consideração conforme os aspectos ecofisiológicos da cultura. Dessa forma, além da aptidão, a análise de frequência dos riscos pode contribuir para o planejamento agrícola (WALDHEIM et al., 2006; RICCE et al., 2014).

No cenário de mudanças climáticas e dos constantes avanços científicos, o zoneamento de risco agroclimático deve ser constantemente atualizado. A busca por novos parâmetros de risco, metodologias e análise de variedades de culturas geneticamente modificadas também são necessárias na busca por uma melhor tomada de decisão na agricultura (CALDANA et al., 2020).

Dos elementos meteorológicos que interferem no desenvolvimento fisiológico vegetal destaca-se inicialmente, a radiação solar, que dispõe a energia necessária aos processos associados à fotossíntese, contribuindo para a produção de carboidratos e para o crescimento da biomassa das plantas (SENTELHAS e MONTEIRO, 2009). Além disso, a insolação/horas de sol e o fotoperíodo são elementos importantes que também interferem no crescimento e desenvolvimento das culturas, correspondendo assim, ao tempo em que as plantas realizam o processo de fotossíntese. A temperatura do ar também tem relação com o processo fotossintético,

que afeta a taxa das reações metabólicas das plantas, regulando o crescimento e o desenvolvimento vegetal (GUO et al., 2019; IMSLAND et al., 2019; NICO et al., 2019).

Outro elemento meteorológico importante para a fisiologia vegetal é a precipitação, que afeta tanto o crescimento quanto o desenvolvimento das culturas, além da influência na absorção de água pelas raízes e o status hídrico (HOLDREGE et al., 2021). Em períodos de seca as plantas fecham seus estômatos, fixando menos CO<sub>2</sub>, afetando assim, negativamente a fotossíntese, enquanto em períodos com excesso de chuva ocorre à redução da oxigenação dos solos, diminuindo a atividade radicular e a absorção de água e nutrientes pelas plantas (SENTELHAS, 1995; SENTELHAS, 2004).

Ainda há de se destacar a umidade do ar, uma vez que, ambientes muito secos levam ao aumento excessivo da transpiração, na maioria das plantas, podendo prejudicar seu desenvolvimento, enquanto em condições de alta umidade a duração do período de molhamento foliar é maior e ocorre o desenvolvimento de doenças que afetam o desempenho das culturas, reduzindo a quantidade e a qualidade dos produtos agrícolas (TAGOUR e MOSSAD, 2017; ABDALLAH et al., 2018).

O vento afeta indiretamente as culturas. A velocidade determina se seus impactos são positivos ou negativos. O vento em incidência de velocidades baixas a moderadas influencia na renovação do suprimento de CO<sub>2</sub> e para a manutenção da transpiração das plantas (Sentelhas e Monteiro, 2009). Enquanto em casos de vento forte e ventanias, ocorre o aumento excessivo da transpiração das plantas, levando ao fechamento dos estômatos, à redução do número de folhas e da área foliar, resultando em queda brusca da fotossíntese. Ventos intensos provocam danos mecânicos nas plantas, como acamamento, queda de folhas, queda de frutos e quebra de galhos e troncos (PEREIRA, et al., 2002; CATALDO, 2013).

Maluf et al. (2001) realizaram o zoneamento agroclimático para feijão no estado do Rio Grande do Sul. Consideraram parâmetros de risco precipitação (300 a 400 mm), temperatura do ar média (20 a 22°C), risco de geada apenas tardia e deficiência hídrica por meio do balanço hídrico. Identificaram áreas suscetíveis para a semeadura tanto no período de safra quanto na safrinha. A semeadura ficou determinada de feijão safra (11 de agosto a 10 de novembro) e safrinha (11 de janeiro a 28 de fevereiro). O principal fator limitante é a deficiência hídrica e o risco de geada no Estado.

No estado do Paraná, Caramori et al. (2001) realizaram o zoneamento para o feijão estabelecendo a semeadura para três safras. Foram analisados risco agroclimáticos de a) Experimentos de campo sobre épocas de semeadura; b) Níveis de retenção de água dos solos; c) risco geada; d) Temperatura do ar máxima superior a 32°C; e) excesso de chuva na colheita; f)

deficiência hídrica. Identificaram aptidão para todo o Estado na safra das águas; na área mais fria do Paraná na safra das secas; e na região Norte e Oeste na safra de outono e inverno.

Com o feijão caupi, De Andrade Junior et al. (2001) realizaram o zoneamento agroclimático no estado do Piauí, realizando testes com balanço hídrico e o Índice de Satisfação de Água (ISNA), identificaram em todas as épocas de semeadura testadas maior aptidão na região Oeste do Piauí. A inaptidão foi definida com base na deficiência hídrica.

Silva et al. (1999) realizaram o zoneamento agroclimático para diferentes épocas de semeadura no estado do Tocantins, também utilizando apenas da deficiência hídrica como variável de risco. Identificaram aptidão variável conforme a época do ano, com risco maior para o plantio na safra da seca, em fevereiro.

Fritzsos et al. (2008) buscaram compreender a relação entre altitude e temperatura do ar, a fim de definir um coeficiente vertical de temperatura média para o estado do Paraná e também setorial, no âmbito das regiões de clima semelhantes no Estado, utilizando para isto o método da regressão linear. Este método é muito utilizado para elaboração de zoneamentos agroclimáticos. A correlação entre a altitude e a temperatura média de janeiro é mais forte do que para a temperatura média de julho. A altitude é o fator que mostrou maior influência sobre a temperatura do ar, seguido respectivamente da latitude e longitude. A altitude é um fator importante para zoneamentos, bem como as situações topográficas, particularmente os fundos de vale, uma vez que estes apresentam comportamento diferenciado face aos fatores climáticos, principalmente a geada.

Assad et al. (2003) analisaram o efeito do incremento de temperatura do ar, no cenário de mudanças climáticas, no zoneamento de riscos climáticos da cafeicultura nos próximos 100 anos, nos estados de Goiás, Minas Gerais, São Paulo e Paraná. Para o estado do Paraná, identificaram que haverá um deslocamento da área produtiva para a região Sul; mesmo assim, com o aumento de 5,8°C na temperatura média anual haverá uma forte redução das áreas aptas para o cafeeiro, saindo de 70,4% (situação atual) para 25,2%; com o aumento previsto de chuvas (15%), a cultura do café no Paraná poderá apresentar problemas de qualidade de bebida, sendo este também um fator restritivo para a cultura.

Todos os trabalhos mencionados contribuíram para o planejamento e tomada de decisão na agricultura. Assim, contribuíram para decidir o que, quando e onde semear/plantar, com menor risco de perda, em função das adversidades climáticas de ordem local e regional, demonstrando assim, a importância de se realizar o zoneamento agrícola em todo território nacional.

### 2.3 A modelagem – histórico, variedades e o modelo CROPGRO

Os modelos de simulação têm como objetivo criar uma representação da realidade conforme seu objeto de análise (MARIM, 2016). Para a agricultura, os modelos podem ser utilizados para estudar uma série de variáveis relacionadas ao desenvolvimento e produção vegetal, ajudando a interpretar o comportamento de uma determinada cultura no seu contexto ambiental, avaliar seu potencial produtivo em diferentes condições, testar hipóteses, podendo conhecer melhor os processos das plantas, bem como estimular a junção interdisciplinar, auxiliando em tomadas decisórias (SOARES, 2017). Possibilitando assim, métodos de análises diferentes da experimentação convencional, de forma mais rápida e menos onerosa, podendo contribuir para o planejamento e a tomada de decisão no campo (CORRÊA et al., 2011), manejo, melhoramento genético e a relação planta x ambiente (NARDINO et al., 2016).

O DSSAT (Sistema de Suporte à Tomada de Decisão para Transferência de Agrotecnologia)/CROPGRO é um sistema computacional, um modelo híbrido que tem como base algoritmos de processos de crescimento e desenvolvimento da cultura do feijoeiro, incluindo balanço hídrico do solo, biomassa e componentes de rendimento (HOOGENBOOM et al., 1993). Foi desenvolvido por várias instituições em diferentes regiões do mundo, possuindo modelos específicos de crescimento de culturas (UEHARA e TSUJI, 1998; HOOGENBOOM et al., 2019). Esse modelo ainda, descreve o crescimento da cultura considerando dezoito coeficientes de cultura, em que, são ajustados para reproduzir os dados experimentais com curvas de crescimento de biomassa, IAF (Índice de área foliar) e desenvolvimento fenológico (OLIVEIRA, 2007; TEIXEIRA et al., 2019).

Esse modelo foi elaborado para auxiliar os usuários no planejamento e manejo agrícola. Entretanto para caracterização adequada de um modelo, ele deve abordar alguns componentes de forma quantitativa ou qualitativa da interação clima-solo-planta. Sendo assim, o DSSAT/CROPGRO permite elaborar um modelo de crescimento de culturas em diferentes regiões do mundo através de um conjunto mínimo de dados, que são: dados genéticos da cultura, rendimentos, IAF, dados climatológicos e etc. (DALLACORT, 2005). É utilizado um recorte de tempo diário que foi projetado para simular o acúmulo de biomassa-planta e suas subdivisões (caule, raízes e folhas), absorção e fixação de nitrogênio, fenologia da planta, entre outras variáveis (HOOGENBOOM et al., 2005; ANTOLIN et al., 2019).

Conforme Bastos et al. (2000) são utilizados três tipos de arquivo CROPGRO, para cada leguminosa, constituindo os dados de entrada relativos à planta. Esses arquivos são:

Arquivo.SPE, que caracteriza a espécie, contendo coeficientes utilizados para caracterizar a composição básica dos tecidos e para descrever os processos da planta como fotossíntese, respiração, assimilação de nitrogênio, partição de fotoassimilados, senescência, fenologia e crescimento.

Arquivo.CUL, que apresenta informações inerentes à própria cultivar, tais como: sensibilidade ao fotoperíodo, características fenológicas, taxa de fotossíntese à luz saturada, área foliar específica, máximo peso de sementes e outras.

Arquivo.ECO, que caracteriza o ecótipo, contendo atributos genéticos, os quais permitem diferenciar cultivares de hábito de crescimento determinado e indeterminado.

A agricultura pode passar por uma série de mudanças forçadas nas próximas décadas, principalmente, decorrentes das mudanças climáticas. As projeções do clima futuro e o impacto na agricultura contêm uma série de incertezas. Como alternativa, para buscar respostas que auxiliem na preparação para as transformações que visualizaremos na agricultura e no clima, utiliza-se um conjunto de cenários climáticos possíveis ao invés de apenas uma simulação gerada por um único modelo (MOSS et al., 2010; ANTOLIN, 2019).

Dessa forma, um dos meios cientificamente aceitos para analisar os impactos das mudanças climáticas na agricultura é o uso da modelagem, baseados em processos biofísicos, contendo testes de hipóteses acadêmicas, bem como de avaliação de cenários e de impacto de mudanças climáticas na agricultura em escala mundial (Rosenzweig et al., 2013; Antolin, 2019). A utilização dos modelos baseia-se numa abordagem determinística e contam com incertezas associadas aos algoritmos e dados de entrada e parâmetros, devendo-se ter atenção aos dados de entrada (RÖTTER et al., 2011).

Vivan et al. (2015) realizaram um estudo sobre a identificação e consequências de déficit hídrico na produção de grãos para a cultura da soja, milho e feijão, assim como a renda bruta e lucratividade, na região de Santiago/RS. Os dados de calibração foram retirados da literatura, porém estes dados foram obtidos na região do estudo, e os dados climáticos foram do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) de São Luiz Gonzaga, de 1961 a 2010. A cultivar de soja foi a CD 219, milho 32R22 e o feijão IPR 88. Nas simulações foi utilizado sistema DSSAT, e os módulos foram para soja, CROPGRO-soybean, do milho, CERES-maize, e do feijão, CROPGRO-drybean. De acordo com as respostas obtidas nos modelos, a redução de 50% da produção potencial de grãos é notada em mais de 40% dos anos em estudo. O milho foi a cultura com maior custo total, renda bruta e lucro, seguido por feijão e soja. Com este estudo foi possível identificar as reduções de produção das culturas devido à variabilidade climática.

Franca e Cardoso (2019) realizaram a calibração, e aplicação do modelo CROPGRO-Cowpea para determinar a melhor época de semeadura no município de Tracuateua - PA. Desta forma, o modelo foi calibrado, por meio de dados experimentais realizados no período de 2011 e 2012 na fazenda escola da UFRA, Castanhal – PA, em que foram utilizados. Para a calibração do modelo foram utilizadas curvas de crescimento da massa seca total, massa seca do grão, índice de área foliar e desenvolvimento fenológico do feijão-caupi. Com o modelo devidamente calibrado, foi realizada simulações sucessivas de rendimento utilizando uma série de dados climáticos de 30 anos e informações químicas e físicas do solo. Foi possível calibrar os coeficientes genéticos da cultura no modelo CROPGRO-Cowpea. Os resultados da modelagem foram análogos aos observados experimentalmente, e que o modelo simulou coerentemente as datas de semeadura para região de Tracuateua. Identificaram ainda, que é possível aplicar e estender o modelo CROPGRO-Cowpea calibrado para outras áreas do nordeste paraense.

Antolin (2019) realizou a calibração e avaliação do desempenho do modelo DSSAT/CROPGRO-Drybean para dois grupos comerciais (“Preto”, cultivar BRS Esplendor) e (“Carioca “, cultivar Pérola), além de testar a eficiência do mesmo em representar o efeito da variabilidade ambiental. O ajuste do modelo se baseou na comparação dos dados observados com os valores simulados de massa seca da parte aérea (MSA), índice de área foliar (IAF) e massa seca de grãos (MSG). Os indicadores estatísticos mostraram desempenho satisfatório do modelo em simular o desempenho biofísico de ambos os materiais genéticos, nos diferentes ambientes testados, A análise da variabilidade pontual e temporal mostrou que os experimentos foram conduzidos em ambientes destoantes, portanto o bom desempenho do modelo frente aos dados observados, mostra que o mesmo possui capacidade em representar e diferenciar os efeitos ambientais e genotípicos para as cultivares e locais aqui analisados.

## 2.4 REFERÊNCIAS

ABDALLAH, A. M., BURKEY, K. O., & MASHAHEET, A. M. Reduction of plant water consumption through anti-transpirants foliar application in tomato plants (*Solanum lycopersicum* L). **Scientia Horticulturae**, v. 235, p. 373-381, 2018.

AGOVINO, M., CASACCIA, M., CIOMMI, M., FERRARA, M., & MARCHESANO, K. Agriculture, climate change and sustainability: The case of EU-28. **Ecological Indicators**, v. 105, p. 525-543, 2019.

ALMEIDA, F. D. S., MINGOTTE, F. L. C., LEMOS, L. B., & SANTANA, M. J. D. Agronomic Performance Of Cowpea Cultivars Depending On Sowing Seasons In The Cerrado Biome1. **Revista Caatinga**, v. 30, p. 361-369, 2017.

AMARAL, L. F. O papel da agricultura brasileira nas mudanças climáticas. **Pontes**, v. 5, n. 4, p. 17, 2018.

ANDRADE, A. R., BEREZE, J., DOS SANTOS, R. M., & BEDNARZ, J. A Disponibilidade térmica para diferentes culturas agrícolas em região de clima subtropical úmido obtida através da utilização de índice bioclimático. **Geosul**, v. 32, n. 64, p. 66-83, 2017.

ANDRADE JÚNIOR, A. S.; MELO, F. de B.; BASTOS, E. A. Zoneamento de risco climático para o feijão caupi no Piauí. In: Embrapa Meio-Norte-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE CAUPI, 5., 2001, Teresina. **Avanços tecnológicos no feijão caupi: anais**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2001. p. 3-7., 2001.

ANDRADE JUNIOR, A. S.; BASTOS, E. A.; MONTEIRO, JEB de A. Zoneamento agrícola de risco climático para o feijão-caupi em cultivo convencional e plantio direto no estado do Piauí. **Embrapa Meio-Norte-Documentos (INFOTECA-E)**, Embrapa Meio-Norte. Documentos, 253, 26 p. 2018.

ANTOLIN, L. A. S. **Simulação de cenários agrícolas futuros para a cultura do feijão no Brasil com base em projeções de mudanças climáticas**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Piracicaba, 82 p. 2019.

ARCHIE, K. M., CHAPMAN, R., & FLOOD, S. Climate change response in New Zealand communities: Local scale adaptation and mitigation planning. **Environmental development**, v. 28, p. 19-31, 2018.

ARORA, N. K. Impact of climate change on agriculture production and its sustainable solutions. **Environmental Sustainability**, v. 2, n. 2, p. 95-96, 2019.

ASSAD, E. D., MACEDO, M. A. D., ZULLO JÚNIOR, 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.

ASSENG, S., EWERT, F., ROSENZWEIG, C., JONES, J. W., HATFIELD, J. L., RUANE, A. C., ... & WOLF, J. Uncertainty in simulating wheat yields under climate change. **Nature climate change**, v. 3, n. 9, p. 827-832, 2013.

BALESTRIN, J. T., FRANDALOSO, D., & CASAGRANDE, R. Influência do tratamento de sementes e da profundidade de semeadura na emergência de plântulas de soja e feijão. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 49804-49810, 2020.

BARBOSA, F., GONZAGA, A. D. O., da SILVEIRA, P. M., da SILVA, C. C., QUINTELA, E., LOBO JUNIOR, M., ... & SATO, L. Validação do sistema de produção integrada do feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) na região central brasileira. Embrapa Arroz e Feijão. Circular técnica, v. 87 2010.

BASTOS, E. A. **Adaptação do modelo CROPGRO para simulação do crescimento e desenvolvimento do feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) sob diferentes condições hídricas, no estado do Piauí**. 91p. Piracicaba: ESALQ/USP. Tese Doutorado, 1999.

BASTOS, E. A., FERREIRA, V. M., da SILVA, C. R., & DE ANDRADE JÚNIOR, A. S. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do feijão-caupi no Vale do Guruguéia, Piauí. **Irriga**, v. 13, n. 2, p. 182-190, 2008.

BITTENCOURT, M. N., RIBEIRO, G., BANDEIRA, C. T., FORTES, S. K. G., & GODOY, F. Influência Das Diferentes Adubações Na Cultura Do Feijão. **Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão**, v. 7, n. 2, 2016.

BLASIAK, R., SPIJKERS, J., TOKUNAGA, K., PITTMAN, J., YAGI, N., & ÖSTERBLOM, H. Climate change and marine fisheries: Least developed countries top global index of vulnerability. **PLoS One**, v. 12, n. 6, p. e0179632, 2017.

BORTOLUZZI, M. P., HELDWEIN, A. B., LEONARDI, M., DA SILVA, J. R., HINNAH, F. D., & LOOSE, L. H. Crescimento, acúmulo de fitomassa e produtividade do “feijão-deporco” em diferentes datas de semeadura. **Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 62, p. 01-07, 2019.

CALDANA, N. F. da S., NITSCHKE, P. R., MARTELÓCIO, A. C., RUDKE, A. P., ZARO, G. C., BATISTA FERREIRA, L. G., ... & MARTINS, J. A. Agroclimatic Risk Zoning of Avocado (*Persea americana*) in the Hydrographic Basin of Paraná River III, Brazil. **Agriculture**, v. 9, n. 263, p. 1-11, 2019.

CALDANA, N. F. da S., NITSCHKE, P. R., MARTELÓCIO, A. C., FERREIRA, L. G. B., CARAMORI, P. H., & MARTINS, J. A. Agroclimatic risk zoning for guava (*Psidium guajava* L.) in Paraná river basin 3. **Journal Of Neotropical Agriculture**, v. 7, n. 2, p. 40-48, 2020.

CAMPOS, A. G., MELLO, G. J., COVARI, L., CARBO, L., DA SILVA, J. L., SENRA, R. E. F., & COELHO, M. D. F. B. A agroecologia como ciência mediadora entre a formação do agrônomo e a agricultura sustentável. **Interciência**, v. 40, n. 3, p. 172-178, 2015.

CARAMORI, P. H., GONÇALVES, S. L., WREGE, M. S., HENRIQUE, J., CAVIGLIONE, D. D. O., DE FARIA, R. T., ... & BIANCHINI, A. Zoneamento de riscos climáticos e definição de datas de semeadura para o feijão no Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n. 3, p. 477-485, 2001.

CARAMORI, P., ANDROCIO FILHO, A., MORAIS, H., CARNEIRO FILHO, F., & DUQUIA, C. Sistema de alerta para geadas na cafeicultura do Paraná. **Informe Agropecuário**, p. 66-71, 2007.

CARAMORI, P. H., CAVIGLIONE, J. H., WREGE, M. S., HERTER, F. G., HAUAGGE, R., GONÇALVES, S. L., ... & RICCE, W. D. S. Zoneamento agroclimático para o pessegueiro e a nectarineira no Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, n. 4, p. 1040-1044, 2008.

CARAMORI, P. H., NITSCHKE, P. R., DEPPE, F., LEITE, E. A., TSUKAHARA, R. Y., & BORROZZINO, E. Agrometeorologia operacional no estado do Paraná. **Agrometeoros**, v. 24, n. 1, 2016.

CARNEIRO, M. de F. B. Agricultura Urbana e Segurança Alimentar no Brasil: desafios e perspectivas. **Revista Desenvolvimento Social**, v. 19, n. 3, p. 51-61, 2019.

CARVALHO, M., CASTRO, I., MATOS, M., LINO-NETO, T., SILVA, V., ROSA, E., & CARNIDE, V. Caracterização agro-morfológica de acessos de feijão-frade (*Vigna unguiculata*): bases para o melhoramento. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 39, n. 4, p. 506-517, 2016.

CATALDO, J., DURAÑONA, V., PIENIKA, R., PAIS, P., & GRAVINA, A. Wind damage on citrus fruit study: Wind tunnel tests. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 116, p. 1-6, 2013.

CERUTTI, P., WILLE, C. L., ADAMS, C. R., BARICHELLO, E. C., DOS SANTOS, M., & GEMELI, M. S. Uso Da Metodologia Shovelomics Na Avaliação Do Sistema Radicular Em Feijão. **Revista da Jornada de Pós-Graduação e Pesquisa-Congrega Urcamp**, p. 1530-1542, 2018.

CHAMI, D. E.; MOUJABBER, M. E. Drought, climate change and sustainability of water in agriculture: A roadmap towards the NWRS2. **South African Journal of Science**, v. 112, n. 9-10, p. 1-4, 2016.

CHANDIO, A. A. JIANG, Y., REHMAN, A., & RAUF, A. Short and long-run impacts of climate change on agriculture: an empirical evidence from China. **International Journal of Climate Change Strategies and Management**, v. 12 n. 2, p. 201-221, 2020.

CHAPAGAIN, T; RAIZADA, M. N. Agronomic challenges and opportunities for smallholder terrace agriculture in developing countries. **Frontiers in plant science**, v. 8, p. 331, 2017.

CIAT - International Center for Tropical Agriculture. Beans. Disponível em <<https://ciat.cgiar.org/what-we-do/breeding-better-crops/>> Acesso em: 12 de setembro de 2022.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**. 6. ed. Brasília: Estúdio Nous, 2019. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 23 abril. 2020.

CONFALONIERI, U. E. C. Variabilidade climática, vulnerabilidade social e saúde no Brasil. **Terra livre**, v. 1, n. 20, p. 193-204, 2015.

CORRÊA, S. T. R., LORENÇONI, R., DOURADO NETO, D., SCARPARE, F. V., VIVIAN, R., & RUIZ, E. T. Aplicações e limitações da modelagem em agricultura: revisão. **Revista de Agricultura**, v. 86, n. 1, p. 1-13, 2011.

CRAMER, W., GUIOT, J., FADER, M., GARRABOU, J., GATTUSO, J. P., IGLESIAS, A., ... & XOPLAKI, E. Climate change and interconnected risks to sustainable development in the Mediterranean. **Nature Climate Change**, v. 8, n. 11, p. 972-980, 2018.

CURI, S.; CAMPELO JÚNIOR, J.H. Necessidades hídricas da cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*, L.) na baixada Cuiabana. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.9, n.1, p.59-65, 2001.

DALLACORT, R., REZENDE, R., DE FREITAS, P. S. L., DE FARIA, R. T., DE FREITAS AZEVEDO, T. L., & JÚNIOR, J. B. T. Utilização do modelo Cropgro-drybean na determinação das melhores épocas de semeadura da cultura do feijão para a região de Maringá, Estado do Paraná, Brasil. *Acta Scientiarum*. **Agronomy**, v. 27, n. 2, p. 349-355, 2005.

EVANS, G. W. Projected behavioral impacts of global climate change. **Annual review of psychology**, v. 70, p. 449-474, 2019.

FANCELLI, A. L.; DOURADO-NETO, D. **Feijão: Ecofisiologia e fenologia**. Produção de feijão. Piracicaba: ESALQ, p. 23-48, 2007.

FAO - FAOSTAT - Crops and livestock products – Bean. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. 2022. Acesso em 14 de maio de 2022.

FARIAS, P. H. S., DA SILVA, S. C., & HEINEMANN, A. B. Avaliação da variabilidade dos coeficientes genéticos do modelo CROPGRO-Drybean em diferentes ambientes. In: Embrapa Arroz e Feijão-Resumo em anais de congresso (ALICE). In: SEMINÁRIO JOVENS TALENTOS, 10., 2016, Santo Antônio de Goiás. **Coletânea dos resumos apresentados**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2016.

FRANCA, E. B. D. A., & CARDOSO, G. G. **Calibração e aplicação do simulador de cultura CROPGRO-Cowpea**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Rural Da Amazônia Campus De Capitão Poço – PA. Curso De Agronomia. 63p. 2019.

FRANCO, J. M. C.; TEIXEIRA, E. C. Transferência de renda da agricultura comercial e familiar produtora de arroz, feijão e leite. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 37, n. 1, p. 57-76, 2019.

FRITZSONS, E., MANTOVANI, L. E., & DE AGUIAR, A. V. Relação entre altitude e temperatura: uma contribuição ao zoneamento climático no estado do Paraná. **Revista de Estudos Ambientais**, v. 10, n. 1, p. 49-64, 2008.

FURTADO, G. DE F., DOS SANTOS SOUZA, A., DE ALMEIDA LACERDA, R. R., CHAVES, L. H. G., DE SOUSA JÚNIOR, J. R., & DE SOUSA, J. R. M. Produção de feijão-caupi e gergelim consorciado com mamoneira no Semiárido paraibano. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 12, n. 1, p. 1-6, 2017.

GONZAGA, A. C. de O. **Feijão: o produtor pergunta**, a Embrapa responde. Embrapa Arroz e Feijão-Col Criar Plantar ABC 500P/500R Saber (INFOTECA-E), 2014.

GREENE, C. Broadening understandings of drought–The climate vulnerability of farmworkers and rural communities in California (USA). **Environmental Science & Policy**, v. 89, p. 283-291, 2018.

GUIMARÃES, M. A., LEMOS NETO, H. S., ARAÚJO, R. B., LIMA NETO, B. P., SILVA, V. B., & MESQUITA, R. O. Sistemas de tutoramento e espaçamentos de plantio na produção de feijão de metro. **Horticultura Brasileira**, v. 35, n. 4, p. 613-620, 2017.

GUO, R., LI, W., WANG, X., CHEN, B., HUANG, Z., LIU, T., ... & LAI, Z. Effect of photoperiod on the formation of cherry radish root. **Scientia Horticulturae**, v. 244, p. 193-199, 2019.

HEINEMANN, A.B.; STONE, L.F.; SILVA, S.C. **Feijão**. In: Monteiro, J. E. Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola. Brasília: INMET, 2009.

HETTIARACHCHI, S., WASKO, C., & SHARMA, A. Ashish. Increase in flood risk resulting from climate change in a developed urban watershed-the role of storm temporal patterns. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 22, 2041–2056, 2018.

- HOBBIE, S. E.; GRIMM, N. B. Nature-based approaches to managing climate change impacts in cities. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, v. 375, n. 1794, p. 20190124, 2020.
- HOLDREGE, M. C., BEARD, K. H., & KULMATISKI, A. Woody plant growth increases with precipitation intensity in a cold semiarid system. **Ecology**, v. 102, n. 1, p. e03212, 2021.
- HOOGENBOOM, G., WHITE, J.W., JONES, J.W., BOOTE, K.J. BEANGRO: A Process-Oriented Dry Bean Model with a Versatile User Interface. **Agronomy Journal**. v. 86, p. 182–190, 1993.
- HOOGENBOOM, G.; AHUJA, L.R.; ASCOUGH, J.C. Development and Evaluation of the RZWQM-CROPGRO Hybrid Model for Soybean Production. **Agronomy Journal**, v.97, p.1172-1182, 2005.
- HOOGENBOOM, G., PORTER, C. H., BOOTE, K. J., SHELIA, V., WILKENS, P. W., SINGH, U., ... & JONES, J. W. The DSSAT crop modeling ecosystem. In: Advances in crop modelling for a sustainable agriculture. **Burleigh Dodds Science Publishing**, p. 173-216, 2019.
- IMSLAND, A. K., HANGSTAD, T. A., JONASSEN, T. M., STEFANSSON, S. O., NILSEN, T. O., HOVGAAARD, P., ... & NORBERG, B. The use of photoperiods to provide year round spawning in lumpfish *Cyclopterus lumpus*. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology**, v. 228, p. 62-70, 2019.
- IPCC. Technical Summary. In: **Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2013.
- JASPER, M., & KUHN, D. E. Diferentes Profundidades De Semeadura No Desenvolvimento Da Cultura Do Feijão. **Revista Scientia Rural**, v. 1, 2020.
- KING, M., ALTDORFF, D., LI, P., GALAGEDARA, L., HOLDEN, J., & UNC, A. Northward shift of the agricultural climate zone under 21 st-century global climate change. **Scientific reports**, v. 8, n. 1, p. 7904, 2018.
- KURUKULASURIYA, P.; ROSENTHAL, S. Climate change and agriculture: A review of impacts and adaptations. Published jointly with the Agriculture and Rural Development Department. **Climate Change Series - The World Bank Environment Department**. 106 p. 2013.
- JASPER, M.; KUHN, D. E. Diferentes Profundidades De Semeadura No Desenvolvimento Da Cultura Do Feijão. **Revista Scientia Rural**, v. 1, 2020.
- JONES, J.W.; HOOGENBOOM, G.; PORTER, C.H.; BOOTE, K.J.; BATCHEALOR, W.D.; HUNT, L.A.; WILKENS, P.W.; SINGH, U.; GIJSMAS, A.J.; RITCHIE, J.T. The DSSAT cropping systems model. **European Journal of Agronomy**, v. 18; p. 235-265, 2003.
- JONES, J. W., ANTLE, J. M., BASSO, B., BOOTE, K. J., CONANT, R. T., FOSTER, I., ... & KEATING, B. A. Brief history of agricultural systems modeling. **Agricultural systems**, v. 155, p. 240-254, 2017.

- LIMA FILHO, A. F.; FILHO, M. A. C.; HEINEMANN, A. B. **Calibração e avaliação do modelo cropgro para a cultura do feijão-caupi no Recôncavo Baiano, Campina Grande - PB**, v.17, n.12, p.1286–1293, 2013.
- MABERLY, S. C. O'D., R. A., Woolway, R. I., Cutler, M. E., Gong, M., Jones, I. D., ... & Thackeray, S. J. Global lake thermal regions shift under climate change. **Nature Communications**, v. 11, n. 1, p. 1-9, 2020.
- MACHADO, J. Agricultura de Precisão em cultivo de morango. **Revista Geama**, v. 4, n. 1, p. 54-58, 2018.
- MALUF, J. R. T., CUNHA, G. D., MATZENAUER, R., PASINATO, A., PIMENTEL, M. B. M., & CAIAFFO, M. R. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura de feijão no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n. 3, p. 468-476, 2001.
- MALHI, G. S., KAUR, M. & KAUSHIK, P. Impact of climate change on agriculture and its mitigation strategies: A review. **Sustainability**, v. 13, n. 3, p. 1318, 2021.
- MARIN, F. **Princípios de modelagem de sistemas agrícolas**. [S.l.: s.n.], 2016. Disponível em: [https://sites.usp.br/gepema/wp-content/uploads/sites/156/2016/08/Texto\\_Intro\\_Modelagem.pdf](https://sites.usp.br/gepema/wp-content/uploads/sites/156/2016/08/Texto_Intro_Modelagem.pdf). Acesso em: 15 jun. 2020.
- MARQUES, J. F. Custos da erosão do solo em razão dos seus efeitos internos e externos à área de produção agrícola. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 36, n. 1, p. 61-80, 2019.
- MASON-D'CROZ, D., SULSER, T. B., WIEBE, K., ROSEGRANT, M. W., LOWDER, S. K., NIN-PRATT, A., ... & DUNSTON, S. Agricultural investments and hunger in Africa modeling potential contributions to SDG2–Zero Hunger. **World development**, v. 116, p. 38-53, 2019.
- MEDEIROS, G.A.de; ARRUDA, F.B.; SAKAI, E.; FUJIWARA, M.; BONI, N.R. Crescimento vegetativo e coeficiente de cultura do feijoeiro relacionados a graus-dia acumulados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.9, p.1733-1742, 2000.
- MICHLER, J. D., BAYLIS, K., ARENDS-KUENNING, M., & MAZVIMAVI, K. Conservation agriculture and climate resilience. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 93, p. 148-169, 2018.
- MITCHELL, D., HEAVISIDE, C., VARDOULAKIS, S., HUNTINGFORD, C., MASATO, G., GUILLOD, B. P., ... & ALLEN, M. Attributing human mortality during extreme heat waves to anthropogenic climate change. **Environmental Research Letters**, v. 11, n. 7, p. 074006, 2016.
- MOSS, R. H., EDMONDS, J. A., HIBBARD, K. A., MANNING, M. R., ROSE, S. K., VAN VUUREN, D. P., ... & MEEHL, G. A. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. **Nature**, v. 463, n. 7282, p. 747-756, 2010.
- NARDINO, M.; BARETTA, D.; CARVALHO, I. R.; FOLLMANN, D. N.; KONFLANZ, V. A.; SOUZA, V. Q.; OLIVEIRA, A. C. de.; MAIA, L. C. Correlações fenotípica, genética e de ambiente entre caracteres de milho híbrido da Região Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 34, n. 3, p. 379-394, 2016.

NASCIMENTO, E. B., COSTA, S. M. L., Araújo Júnior, B. B., SILVA, M. Y., GONÇALVES, A. C. D. M., & SILVA, M. A. D. S. Efeito da profundidade de semeadura na velocidade de germinação e emergência em variedade crioula de feijão-caupi. **Cadernos de Agroecologia**, v. 13, n. 1, 2018.

NICO, M., MIRALLES, D. J., & KANTOLIC, A. G. Natural post-flowering photoperiod and photoperiod sensitivity: Roles in yield-determining processes in soybean. **Field Crops Research**, v. 231, p. 141-152, 2019.

OLIVEIRA, E. C. de. **Desempenho do Modelo Cropgro-Dry Bean em Estimar a Data de Semeadura e a Produtividade do Feijoeiro**. VIÇOSA-MG.; 2007.

OLIVEIRA JÚNIOR, A. J., DE SOUZA, S. R. L., DA CRUZ, V. F., VICENTIN, T. A., & GLAVINA, A. S. G. Development of an android APP to calculate thermal comfort indexes on animals and people. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 151, p. 175-184, 2018.

OLUFAYO, A. A., STIGTER, C. J., & BALDY, C. On needs and deeds in agrometeorology in tropical Africa. **Agricultural and forest meteorology**, v. 92, n. 4, p. 227-240, 1998.

OMM. **Commission for Agricultural Meteorology (CAGM)**. The First Fifty Years. WMO-No. 999, Geneva, 2006. 44 pp.

PAILLER, S.; TSANEVA, M. The effects of climate variability on psychological well-being in India. **World Development**, v. 106, p. 15-26, 2018.

PANDEY, G. Challenges and future prospects of agri-nanotechnology for sustainable agriculture in India. **Environmental Technology & Innovation**, v. 11, p. 299-307, 2018.

PARK, S. J., KIM, D. W., KIM, J. H., CHUNG, J. H., & LEE, J. S. Future disaster scenario using big data: A case study of extreme cold wave. **International Journal of Design & Nature and Ecodynamics**, v. 11, n. 3, p. 362-369, 2016.

PEREIRA, A. R., ANGELOCCI, L. R., & SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia – fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Ed. Agropecuária. 2002. 478p.

PRADHAN, B., SHARMA, P., & PRADHAN, P. K. Impact of cold wave on vulnerable people of Tarai region, Nepal. In: **Climate Change and Global Warming**. IntechOpen, 10.5772/intechopen.82201. 2019.

PRELA, A.; RIBEIRO, A. M. de A. Determinação de graus-dia acumulados e sua aplicação no planejamento do cultivo de feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.) para Londrina-PR. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 10, n. 1, p. 83-86, 2002.

RAVINDRA, K., AGARWAL, N., KAUR-SIDHU, M., & MOR, S. Appraisal of thermal comfort in rural household kitchens of Punjab, India and adaptation strategies for better health. **Environment international**, v. 124, p. 431-440, 2019.

RIBEIRO, N. D., JUNIOR, L. H., & POSSEBON, S. Variabilidade Genética Para Ciclo Em Feijão Dos Grupos Preto E Carioca. **Current Agricultural Science and Technology**, v. 10, n. 1, 2004.

- RICCE, W. da S. CARAMORI, P. H., & ROBERTO, S. R. Potencial climático para a produção de uvas em sistema de dupla poda anual no Estado do Paraná. **Bragantia**, v. 72, n. 4, p. 408-415, 2013.
- RICCE, W. da S. DE CARVALHO, S. L. C., CARAMORI, P. H., AULER, P. A. M., & ROBERTO, S. R. Zoneamento agroclimático da cultura do abacaxizeiro no Estado do Paraná. **Semina. Ciências Agrárias**, v. 35, p. 2337-2346, 2014.
- RICCE, W. da S. Agroclimatic zoning for winemaking grape production in the State of Paraná. **Agronomy Science and Biotechnology**, v. 4, p. 14-21, 2018.
- ROSENZWEIG, C., JONES, J. W., HATFIELD, J. L., RUANE, A. C., BOOTE, K. J., THORBURN, P., ... & WINTER, J. M. The agricultural model intercomparison and improvement project (AgMIP): protocols and pilot studies. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 170, p. 166-182, 2013.
- RÖTTER, R. P.; CARTER, T. R.; OLESEN, J. E.; PORTER, J. R. Crop-climate models need an overhaul. **Nature Climate Change** 1, 175–177, 2011.
- SANTOS, L. A. C., SILVA, D. M. P., OLIVEIRA, I. A., PEREIRA, C. E., & CAMPOS, M. C. C. Crescimento de cultivares de feijão-caupi em solo de terra firme e várzea. **Ambiência Guarapuava**, v. 13, n. 1, p. 261-270, 2017.
- DOS SANTOS, L. F., MARTINS, F. B., & GARCIA, S. R. Padrões climatológicos de precipitação e temperatura do ar associados ao rendimento do feijão comum em Minas Gerais. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, p. 03-24, 2018.
- SENTELHAS, P. C.; ORTOLANI, A. A.; PEZZOPANE, J. R. M. Estimativa da temperatura mínima de relva e da diferença de temperatura entre o abrigo e a relva em noites de geadas. **Bragantia**, v. 54, n. 2, p. 437-445, 1995.
- SENTELHAS, P. C. **Duração do período de molhamento foliar: aspectos operacionais da sua medida, variabilidade espacial em diferentes culturas e sua estimativa a partir do modelo de Penman-Monteith**. Piracicaba: ESALQ/USP (Tese de Livre-Docência). 2004. 161p.
- SENTELHAS, P. C.; MONTEIRO, J. E. B de A. **Agrometeorologia dos cultivos**. Brasília, DF: INMET, 2009.
- DA SILVA, V. D. P. R., DA SILVA, B. B., BEZERRA, J. R. C., & ALMEIDA, R. S. R. Consumo hídrico e viabilidade econômica da cultura do feijão caupi cultivado em clima semiárido. **Irriga**, v. 21, n. 4, p. 662-672, 2016.
- SIPPEL, S. MEINSHAUSEN, N., FISCHER, E. M., SZÉKELY, E., & KNUTTI, R. Climate change now detectable from any single day of weather at global scale. **Nature Climate Change**, v. 10, n. 1, p. 35-41, 2020.
- SIVAKUMAR, M. V. K., GOMMES, R., & BAIER, W. Agrometeorology and sustainable agriculture. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 103, n. 1-2, p. 11-26, 2000.

- SMITHA, P. S., NARASIMHAN, B., SUDHEER, K. P., & ANNAMALAI, H. An improved bias correction method of daily rainfall data using a sliding window technique for climate change impact assessment. **Journal of Hydrology**, v. 556, p. 100-118, 2018.
- SOARES, M. R. O conceito de funções nas atividades de modelagem matemática. **Revista de Produção Discente em Educação Matemática**, v. 6, n. 1, 2017.
- SOMBOONSUKE, B., PHITTHAYAPHINANT, P., SDOODEE, S., & KONGMANEE, C. Farmers' perceptions of impacts of climate variability on agriculture and adaptation strategies in Songkhla. **Kasetsart Journal of Social Sciences**, v. 39, n. 2, p. 277-283, 2018.
- SOROYE, P.; NEWBOLD, T; KERR, J. Climate change contributes to widespread declines among bumble bees across continents. **Science**, v. 367, n. 6478, p. 685-688, 2020.
- SOUSA, W. D. Sustentabilidade Da Agricultura Familiar No Município De Barro–CE. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 6, n. 2, p. 302-327, 2017.
- STIGTER, C. J. Agrometeorology from science to extension: Assessment of needs and provision of services. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 126, n. 3-4, p. 153-157, 2008.
- TAGOUR, R. M. H.; MOSAAD, I. S. M. Effect of the foliar enrichment and herbicides on maize and associated weeds irrigated with drainage water. **Annals of Agricultural Sciences**, 2017.
- TAMARIN-BRODSKY, T., & KASPI, Y. Enhanced poleward propagation of storms under climate change. **Nature geoscience**, v. 10, n. 12, p. 908-913, 2017.
- TEIXEIRA, W. W. R., BATTISTI, R., SENTELHAS, P. C., DE MORAES, M. F., & DE OLIVEIRA JUNIOR, A. Uncertainty assessment of soya bean yield gaps using DSSAT-CM-CROPGRO-Soybean calibrated by cultivar maturity groups. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 205, n. 5, p. 533-544, 2019.
- UEHARA, G.; TSUJI, G. Y. Overview of IBSNAT. In: Understanding options for agricultural production. Springer, Dordrecht, **Journal of hypertension**, v. 16, n. 8, p. 1131-1135, 1998.
- VAN MEIJL, H., HAVLIK, P., LOTZE-CAMPEN, H., STEHFEST, E., WITZKE, P., DOMÍNGUEZ, I. P., ... & HUMPENÖDER, F. Comparing impacts of climate change and mitigation on global agriculture by 2050. **Environmental Research Letters**, v. 13, n. 6, p. 064021, 2018.
- VATANKHAH, T.; MOOSAVI, S. N.; TABATABAEI, S. M. The economic impacts of climate change on agriculture in Iran: a CGE model analysis. **Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects**, v. 42, n. 16, p. 1935-1949, 2020.
- VIVAN, G. A.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X.; PARIZI, A. R. C.; BARBOSA, F. da S.; SOARES, F. C. Rendimento e rentabilidade das culturas da soja, milho e feijão cultivados sob condições de sequeiro. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 5, 2015.

WADT, P. G. S. Práticas de conservação do solo e recuperação de áreas degradadas. **Embrapa Acre-Documentos (INFOTECA-E)**, 2003.

WALDHEIM, P. V., CARVALHO, V. S. B., CORREA, E., & DE ALMEIDA FRANÇA, J. R. Zoneamento climático da cana-de-açúcar, da laranja e do algodão herbáceo para a região Nordeste do Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 29, n. 2, p. 30-43, 2006.

WANDER, A. L. **Produção e consumo de feijão no Brasil, 1975-2005**. Embrapa Arroz e Feijão-Artigo em periódico indexado (ALICE), 2007.

YOKOYAMA, L. P.; STONE, L. F. **Cultura do feijoeiro no Brasil: características da produção**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2000.

### 3 ARTIGO A: ZONEAMENTO DE RISCO AGROCLIMÁTICO PARA O CULTIVO DO FEIJÃO NO ESTADO DO PARANÁ, BRASIL

#### 3.1 Resumo

O feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), é uma cultura muito sensível a extremos térmicos e hídricos, portanto, necessita de planejamento que considere essas variáveis agrometeorológicas para determinar as melhores épocas de semeadura. O objetivo deste trabalho foi avaliar a aptidão do cultivo do feijão por meio do zoneamento risco agroclimático para o estado do Paraná, e assim, determinar melhores épocas de semeadura para as três safras possíveis no estado: feijão das águas, da seca e de outono-inverno. Foram avaliados o risco agroclimático por meio das variáveis geada, temperaturas elevadas e déficit hídrico. Foram criados mapas temáticos com interpolações e regressão linear múltipla para regionalizar os dados climáticos por todo o Estado. O mapa final do zoneamento apresenta a aptidão e a melhor janela de semeadura considerando o risco agroclimático. A elaboração de novo zoneamento para a cultura de feijão demonstrou aptidão para todo o estado Paraná para o cultivo do feijão das águas a semeadura no estado variou da metade de julho ao início de novembro. Algumas regiões foram inaptas para o cultivo na safra da seca e de outono/inverno, devido ao déficit hídrico e ao início do período de geada, respectivamente. Diferente dos zoneamentos anteriores, identificou-se novas áreas para o cultivo e diferentes datas de semeadura, indicando possíveis impactos das mudanças climáticas.

**Palavras Chave:** Risco climático, Aptidão Climática, Épocas de semeadura, Agrometeorologia.

#### AGRICULTURAL RISK ZONING FOR BEAN CULTIVATION IN THE STATE OF PARANÁ, BRAZIL

**Abstract:** The bean crop (*Phaseolus vulgaris*) is considered a crop with high dependent on the climatological conditions, especially temperature and water availability, thus, it is important estimate the best times to sowing to avoid climatic risks mentioned. The other of this study was carried out the agroclimatic risks zoning for bean crop for Paraná state, Brazil, with the key purpose to estimate the best time to sowing for the three crop seasons: "bean from waters, from droughts and fall-winter crop seasons". We evaluated climatic risks, considering frost events, higher temperatures and water deficit. Were created thematic maps with interpolation and linear regressions for using in the agroclimatic risk Zoning. The elaboration of the new agroclimatic risk Zoning exhibited apt for bean crop for bean from the waters season crop, with sowing from the half July to beginning of November. However, some areas were considered as inapt for cultivation of bean crop from the fall-winter season, due the water deficit and frosts occurrences. Different of other and old Zonings, this one verified new areas for cultivation and different dates to sowing, what suggest possible changes from the global climate change.

**Keywords:** Climatic risk, Climatic suitability, Sowing times, Agrometeorology.

### 3.2 INTRODUÇÃO

O clima do planeta está mudando (HOBBIE e GRIMM, 2020; MABERLY et al., 2020; PERERA et al., 2020; SIPPEL et al., 2020; SOROYE et al., 2020). Cenários climáticos futuros apontam estimativas de aumento de temperatura, publicadas no quinto relatório do IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change* (2014), mostrando um acréscimo de 1,7 a 4,8 °C na temperatura global no período de 2081-2100 em relação a 1986-2005, além disso, indicam que a variabilidade e alterações do clima podem resultar em mudança na frequência de eventos extremos (PINTO et al., 2008).

A cultura do feijoeiro tem importância socioeconômica e alimentar para todos os segmentos da população, sendo produzida em boa parte do território brasileiro, não só por pequenos produtores, mas também por grandes produtores, que visam essencialmente abastecer o mercado (FRANCO e TEIXEIRA, 2019). Nesse cenário, o Paraná tem destaque na produção nacional, especialmente na segunda safra, sendo responsável pela produção de 28% de todo feijão produzido no Brasil, dos quais 30% é de feijão carioca, correspondendo a 196 mil toneladas, além de ser o estado com maior produção do país (CONAB, 2019).

O feijoeiro é uma espécie sensível às condições climáticas e ambientais, sendo fundamental pesquisas e estudos que contribuam para seu manejo (SILVA et al., 2016). Dentre suas características de suscetibilidade climática, destaca-se a intolerância às geadas e altas temperaturas em qualquer estágio de desenvolvimento, bem como a deficiência hídrica (CARAMORI et al., 2001). Em decorrência das condições climáticas, a produção do feijão apresenta grande variabilidade de entre safras (SOUSA QUEIROZ et al., 2021). A frequência e a distribuição inadequada das precipitações podem ser responsáveis por 60 a 70% da redução final na produção do feijoeiro (MATOS et al., 2019).

O conhecimento das exigências agroclimáticas das culturas é um fator que pode auxiliar no planejamento agrícola, visando maior produtividade, rentabilidade e diminuição de perdas por eventos climáticos (PEREIRA et al., 2014). Dessa forma, o zoneamento de risco agroclimático fornece respostas quanto a suscetibilidade do cultivo de determinada cultura de acordo com suas exigências hidroclimáticas, para um local ou região. Sendo estabelecido por meio de informações pontuais ou mapas com informações do risco agroclimático, aptidão e a recomendação de época de semeadura e/ou colheita (RICCE et al., 2014; BOSCO et al., 2021). Esse instrumento de pesquisa tem grande valor social, visto ser uma ferramenta utilizada para o financiamento e seguro agrícola, propiciando o desenvolvimento de uma agricultura mais rentável e sustentável (CALDANA et al., 2020).

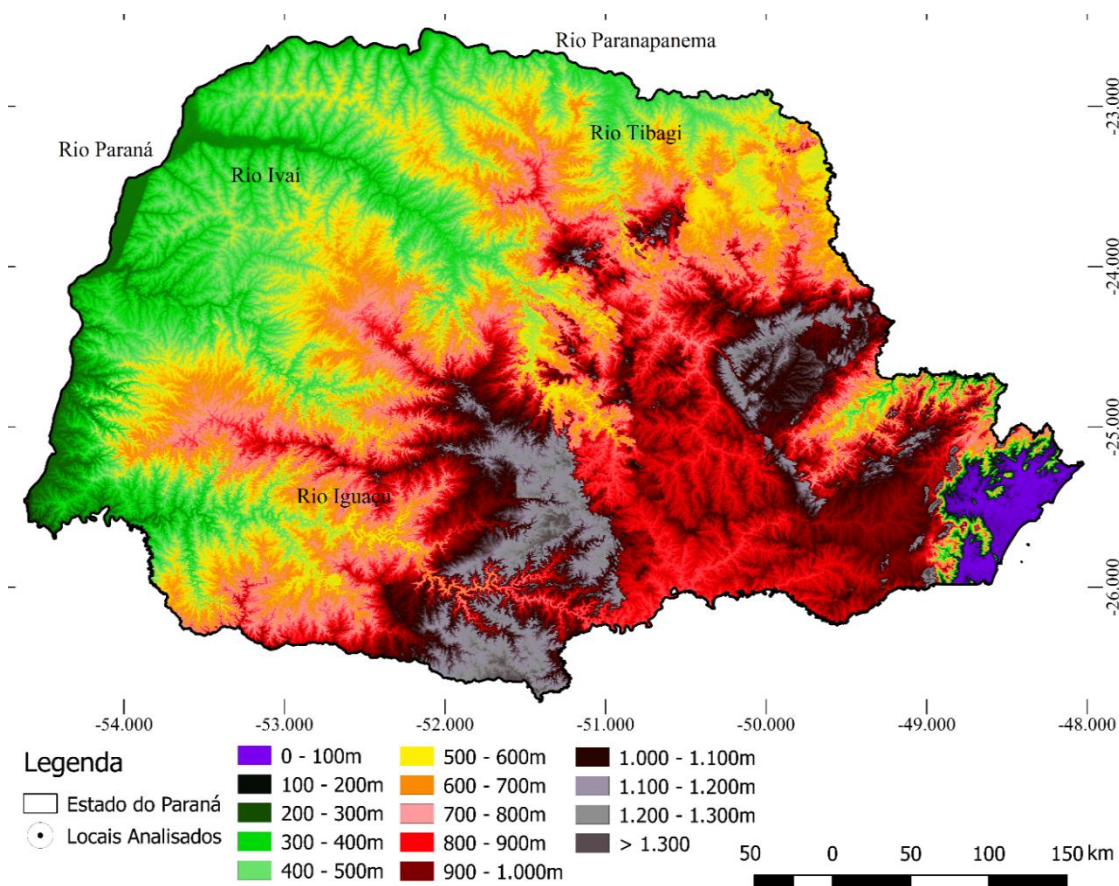
O objetivo deste trabalho foi avaliar as potencialidades do cultivo do feijão por meio do zoneamento risco agroclimático para o estado do Paraná, e assim, determinar as melhores épocas de semeadura para as três safras possíveis no Estado: feijão das águas, da seca e de outono-inverno.

## 3.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 3.2.1 Área de Estudo

O estado do Paraná possui uma importante área de produção agrícola para o cenário nacional e internacional (LIMA et al., 2006), na qual estudos de zoneamento de risco agroclimático para suas principais culturas são importantes para redução dos riscos. A região, conforme classificação climática de Köppen, possui grande parte de sua área com clima “Cfa” (subtropical, sem estação seca e verão quente), compreendendo áreas nas regiões norte, oeste, sudoeste e litoral. Enquanto nas porções sul, centro-sul e sudeste predomina o clima “Cfb” (subtropical, sem estação seca e verão fresco) (NITSCHKE et al., 2019). O relevo do estado possui variação de 0 m no litoral 1.877 m no Pico Paraná (Figura 3.1).

**Figura 3.1:** Relevo do estado do Paraná



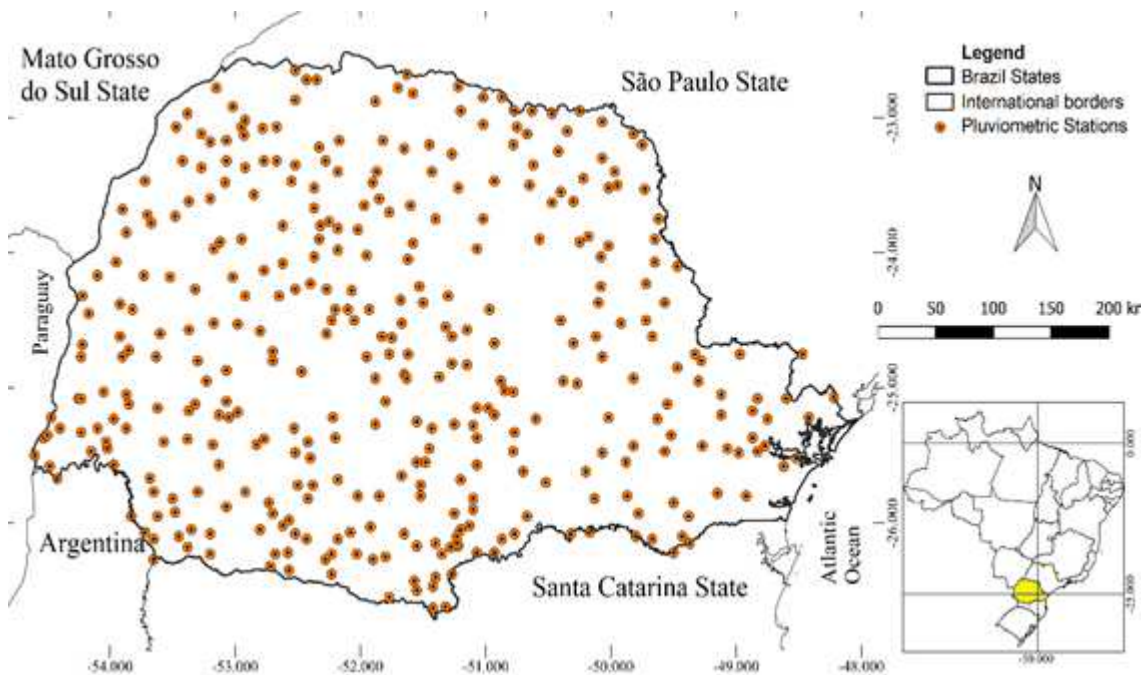
### 3.2.2. Dados Climáticos

Para os parâmetros de risco climático foram obtidos dados de estações meteorológicas (Figura 3.2) e pluviométricas (Figura 3.3) distribuídas no estado do Paraná. Esta base de dados compreende 39 estações do Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR) (2000-2021) e 33 estações meteorológicas do Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná - Iapar-Emater (IDR-Paraná) e 401 da Instituto Água e Terra (IAT-PR) (1976-2021).

**Figura 3.2:** Estações meteorológicas no estado do Paraná



**Figura 3.3:** Estações pluviométricas do estado do Paraná



### 3.2.3 Parâmetros de Risco Climático para elaboração do zoneamento

Com base nos parâmetros de risco, foram estimados os fatores agrometeorológicos de risco para o cultivo do feijão, para identificar a aptidão por meio do zoneamento de risco climático para o estado do Paraná. As variáveis analisadas foram:

*Deficiência Hídrica (Dh):* Foi estimada de acordo com o método proposto por Thornthwaite e Matter (1955), obtida pelo cálculo do balanço hídrico climatológico normal para as estações meteorológicas. Utilizou-se o valor de 40 mm para a capacidade de água disponível (CAD) no solo, considerando que 80% do sistema radicular do feijoeiro explora uma profundidade de 20 a 40 cm de perfil do solo (CERUTTI et al., 2019). Foram criados, mapas anuais de precipitação e de deficiência hídrica agrupados mensalmente para identificar o risco. Foi considerado como risco a Dh superior a 60 mm durante a fase reprodutiva e a soma de 90 mm durante o ciclo (MALUF et al., 2001; GONZAGA et al., 2014).

*Probabilidade de ocorrência de excesso de chuva:* Foi estimado a probabilidade de ocorrência de precipitação superior a 70 mm por mês, por trazer risco de perdas na colheita, (Oliveira e SILVA, 1990; MALUF et al., 2001).

*Temperatura do ar:* foram utilizados dados meteorológicos das séries históricas de temperatura do ar média a cada 15 minutos observadas no interior de abrigos meteorológico. A aptidão foi determinada em:

*Temperatura média anual:* Entre 17 e 27°C (GONZAGA et al., 2014).

*Temperatura média máxima anual:* Inferior a 28°C (GONZAGA et al., 2014).

*Probabilidade de ocorrência de temperaturas superiores a 32°C* – para o zoneamento foi estimada a ocorrência três dias antes do florescimento até a floração plena (CARAMORI et al., 2001). Dessa forma, após encaixar a semeadura em período sem déficit hídrico, calcula-se o ciclo e recomenda-se esta data, apenas se o risco de ocorrência de temperaturas superiores a 32°C for inferior a 20%. Para melhor representação gráfica e visualização regional do risco foi utilizado o mapa na escala temporal mensal.

*Temperatura máxima diária:* Foi estimada a ocorrência de temperaturas máximas superiores a 32°C em menos de 20% dos dias dos meses (CAMPOS et al., 2010).

*Risco de geadas:* foram utilizados dados meteorológicos de temperatura do ar mínima diária das séries históricas das estações meteorológicas. Considerou-se como crítica as temperaturas mínimas iguais ou inferiores a 2°C (VIEIRA JUNIOR et al., 2018), observadas no interior do abrigo meteorológico para calcular os riscos de geadas. Foram calculadas as probabilidades de ocorrência e correlacionadas com altitude e latitude, obtendo-se uma equação de regressão para

o risco de geadas para a criação de mapas com os dados regionalizados. Utilizando as regressões ajustadas foi estimado como alto risco valores superior a 20% durante o ciclo (CAMPOS et al., 2010).

### 3.2.4 Elaboração cartográfica e Análises estatísticas

Para a precipitação e excesso de chuva, a espacialização dos dados para criação dos mapas foi realizada por meio da interpolação, que é um método eficaz para a visualização espacial dos dados climáticos. Esta foi feita por meio de isoietas e/ou espacialmente preenchendo os valores por meio de estatísticas de regressões ajustadas e utilizando o algoritmo de interpolação espacial *Inverse distance weighted* (IDW) (MUELER, 2004; LEM et al., 2013). Os mapas foram criados por meio do Software QGIS 3.10.7 'A Coruña'.

Os dados pontuais das estações meteorológicas para precipitação foram inseridos no Software Qgis e transformados em um arquivo tipo raster, com o auxílio do interpolador IDW. Este novo arquivo exibe uma superfície regular ajustada a estes dados pontuais de interesse com pixel de resolução espacial de 1 por 1 km. Posteriormente foram inseridas isoietas e seus valores para melhor visualização das áreas com precipitação similar e regionaliza-las.

Foi utilizada a base do SRTM - *Shuttle Radar Topography Mission* para aplicar os valores meteorológicos nos mapas utilizando os fatores geográficos do relevo e altitude na escala de 30 m. Esses fatores são utilizados, visto a influência sobre a temperatura do ar. Esse método é necessário para espacializar e regionalizar, com maior precisão, os dados para áreas que não possuem dados de temperatura do ar.

Para a espacialização dos dados de temperatura do ar média e geada os valores medidos nas estações meteorológicas foram ajustados a equações de regressão linear múltipla, articulando os valores das estações meteorológicas com os fatores geográficos de altitude, latitude e longitude, obtendo-se equações de estimativa do tipo:

$$y = a + b.lat + c.long + d.alt$$

em que *a, b, c e d* são coeficientes da regressão. Essa fórmula é aplicada no software de geoprocessamento Arcgis "Enterprise 11.0" no arquivo do SRTM para gerar mapas com resolução espacial de 30 m.

Considerou-se como período crítico para o excesso hídrico aquele

compreendido entre três dias anteriores e 12 dias posteriores à floração. Assumiu-se um ciclo com floração aos quarenta dias após a emergência, determinado o período crítico compreendido entre 37 e 52 dias após a emergência (CARAMORI et al., 2001). As análises foram realizadas com base em registros diários provenientes de 39 estações do Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná – SIMEPAR.

O método utilizado para a probabilidade de geada foi baseado nas séries históricas de temperatura do ar mínima registrada dentro do abrigo meteorológico. Foram determinadas as probabilidades de ocorrerem valores iguais ou inferiores a 2,0°C e posteriormente ajustadas também à regressão linear múltipla para a regionalização dos dados.

Foi estimado a ocorrência da primeira geada (outono) à última/tardia (primavera). O método consiste em identificar a geada ao nível da superfície do solo, quando a temperatura do ar mínima de abrigo for igual ou inferior a 2,0°C (SENTELHAS et al., 1995). Assim, analisando-se a série de dados de cada estação, sempre que a temperatura do ar de um dia for inferior ou igual a uma dessas temperaturas é associado o valor “1” e em caso contrário era atribuído o valor “0”. Em seguida são calculadas as probabilidades de ocorrer pelo menos uma geada por decêndio (WREGGE et al. 2004).

Adotando-se este procedimento, se dentro de um dado decêndio houvesse uma ou mais geadas, aquele decêndio era computado como “1”, independentemente do número de vezes nos quais a geada ocorreu, caso contrário, era computado “0”. Com base nas sequências de “0” e “1” de toda a série histórica de cada estação, calculou-se a frequência acumulada de geadas ao longo do ano para cada estação. A data em que se acumulou 5% de probabilidade em cada uma das estações foi assumida como a primeira geada de outono, contando-se do início para o final do ano. A última geada de primavera também foi determinada para uma frequência acumulada de 5% de probabilidade, mas realizando-se os cálculos partindo-se do final para o início do ano (WREGGE et al. 2004). Os dados foram interpolados utilizando a regressão de temperatura do ar já descrita. Para contribuir com o planejamento agrícola, a análise foi feita por meio de decêndios, técnica que consiste em dividir o ano por 36 períodos com intervalo de 10 dias.

Além disso, para cada estação meteorológica, foram calculadas as frequências relativas de ocorrência de temperaturas abaixo desse limite por decêndio, as quais foram correlacionadas com altitude e latitude, obtendo-se regressões lineares múltiplas para cada decêndio, que possibilitaram a espacialização do risco de geadas em função da altitude e latitude local, ao longo do ciclo do feijoeiro. Para regionalizar os dados foi utilizada a base SRTM, e as formulas já mencionadas. Sobre esta base, foram aplicadas as equações de regressão de cada

decêndio, gerando-se uma malha de valores de risco de geadas, a partir da qual foram traçadas isolinhas de risco com intervalos de 10%. No caso do feijão das águas, o risco de geada no início do ciclo foi utilizado como critério indicador do início do período de semeadura. Para o feijão da seca e de outono-inverno, considerou-se o risco de ocorrência de geadas no período anterior à maturação dos grãos para restrição de regiões e épocas de semeadura (CARAMORI et al., 2001).

O balanço hídrico climatológico (BHC) foi obtido pelo método de Thornthwaite e Mather (1955), utilizando a equação com os valores de diversas variáveis meteorológicas e a capacidade de água disponível no solo (CAD) proporcional a profundidade efetiva das raízes do feijão. Foram considerados, os dados médios mensais de precipitação (extraídos dos totais mensais de cada ano) e a temperatura média mensal (extraída das médias mensais dos valores diários de cada ano). Em seguida, calculou-se a evapotranspiração potencial (ETP) pelo método de Thornthwaite.

Para a estimativa da frequência de temperaturas máximas superiores a 32°C, calculou-se as frequências relativas de ocorrência dessas temperaturas para períodos de dez dias ao longo do ano, analisando-se períodos móveis, com passo um, ou seja, partindo-se de janeiro, calculou-se o risco entre os dias 1 a 10, 2 a 11, 3 a 12, etc., até 31 de dezembro. A partir da época de semeadura recomendada, calculou-se o período provável de floração e verificou-se a probabilidade de ocorrerem temperaturas acima de 32°C (CARAMORI et al., 2001). O procedimento de mapeamento foi o mesmo citado para geadas. Foram considerados aptos por este fator, aqueles decêndios que apresentaram risco inferior a 20% de ocorrência de temperaturas acima de 32°C no período crítico (GONÇALVES et al., 1997). Como mencionado, para que seja possível a visualização gráfica dessa variável, o risco foi interpolado na forma de mapas mensal.

### **3.2.5 Zoneamento de Risco Agroclimático**

No software Arcgis, para a criação dos mapas temáticos e do mapa final do zoneamento, primeiramente os valores numéricos das estações meteorológicas são transformados em pontos conforme as coordenadas geográficas das estações. Após a espacialização dos dados, foram utilizadas as informações edafoclimáticas do feijoeiro. Foi realizado a delimitação das faixas representativas das exigências climáticas do feijão. Dessa

forma, são substituídos os valores das estações por "1. Apto" ou "2. Restrito" conforme as exigências fisiológicas para cada variável meteorológica analisada.

Com exceção do fator geada, que foi considerado restritivo ao cultivo, os resultados obtidos de cada um dos outros fatores de risco foram compatibilizados de forma que sua combinação resultasse no menor risco possível para a cultura. Os diversos fatores de risco foram sobrepostos espacialmente, de maneira a se identificar regiões homogêneas com épocas de semeadura de menor risco de perda por fatores climáticos (CARAMORI et al., 2001).

O próximo passo consiste na combinação das imagens matriciais. Para cada pixel são atribuídos os valores "1" ou "2", como já destacado. Se a combinação para um ponto for preenchida apenas por valores "1" a região será classificada como apta. Se tiver um valor "2" será restrita por determinada variável. Se forem registrados dois ou mais valores "2" o local será classificado como inapto.

Em seguida, é realizado a uniformização dos pixels por classificações por meio da dissolução das classes vetoriais. Dessa forma, as classes do zoneamento de risco agroclimático são agrupadas, criando assim, uma regionalização da aptidão para o feijão. O mapa final do zoneamento de risco agroclimático da cultura fornecerá estimativa da área representativa de cada classe de risco, garantindo a sua aptidão ou não para o local e a data de semeadura.

### **3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A precipitação pluviométrica é muito importante para o desenvolvimento do feijoeiro (BASTOS et al., 2017). O estresse hídrico não causa prejuízos muito severos à produtividade quando ocorre na fase vegetativa da planta. Entretanto, o feijoeiro é muito sensível ao estresse hídrico na fase reprodutiva. Para as condições nacionais, estima-se que 300 mm anuais de chuva, bem distribuídos ao longo do ciclo, são o requerimento mínimo para a obter-se níveis de produção adequados (MALUF et al., 2001; DIDONET et al., 2014).

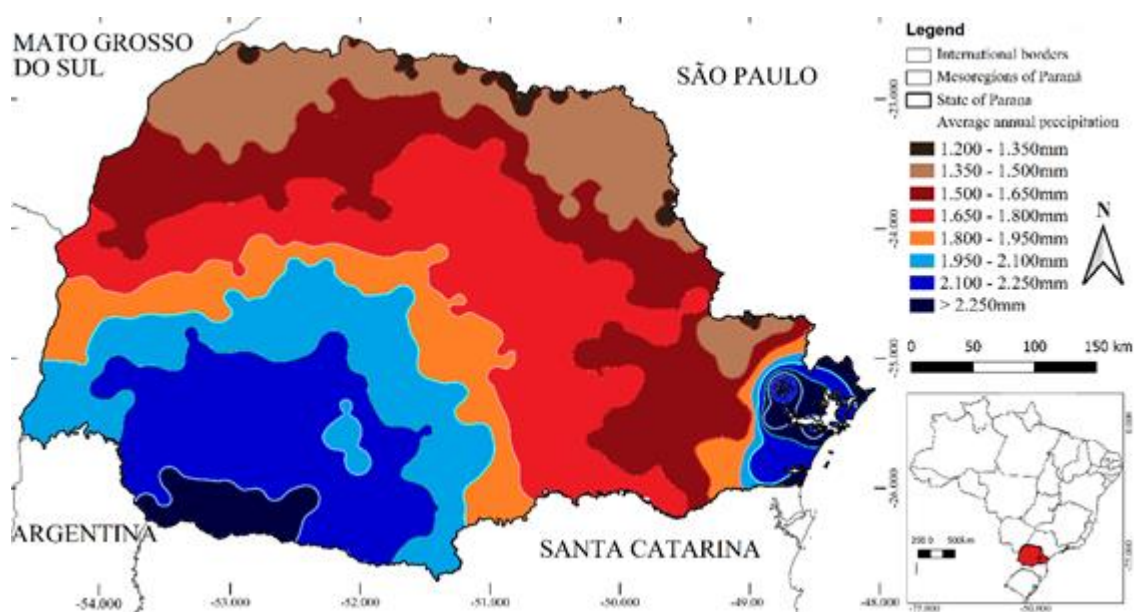
No estado do Paraná (Figura 3.4) a região litorânea foi a que apresentou os maiores volumes de chuva, com registros que ultrapassaram 2.250 mm anuais, dada a umidade provinda do oceano Atlântico e a ocorrência de precipitação do tipo orográfica (Vanhoni e Mendonça, 2008).

No Sul e extremo sudoeste ocorreu variação de 1.950 a 2.250 mm, sendo a altitude um fator predominante, pois se o ar avança em sentido da ascensão do relevo, este irá

ganhar impulso e se resfriar adiabaticamente, proporcionando maior precipitação nestas áreas (BEREZUK, 2017; CALDANA et al., 2019).

Nas regiões norte, oeste e centro-leste foram identificadas as menores alturas pluviométricas (1.200 a 1.950 mm), mas que ainda são suficientes para o cultivo do feijão, desde que haja planejamento e se enquadre o período de maior disponibilidade hídrica para a fase reprodutiva. Como mencionado, a topografia e as altitudes do Estado são fatores importantes para a quantidade de chuva de uma localidade, e nestas áreas, o relevo decresce no sentido de avanço dos sistemas atmosféricos (BEREZUK, 2017).

**Figura 3.4:** Precipitação média anual no Paraná (1976-2021)

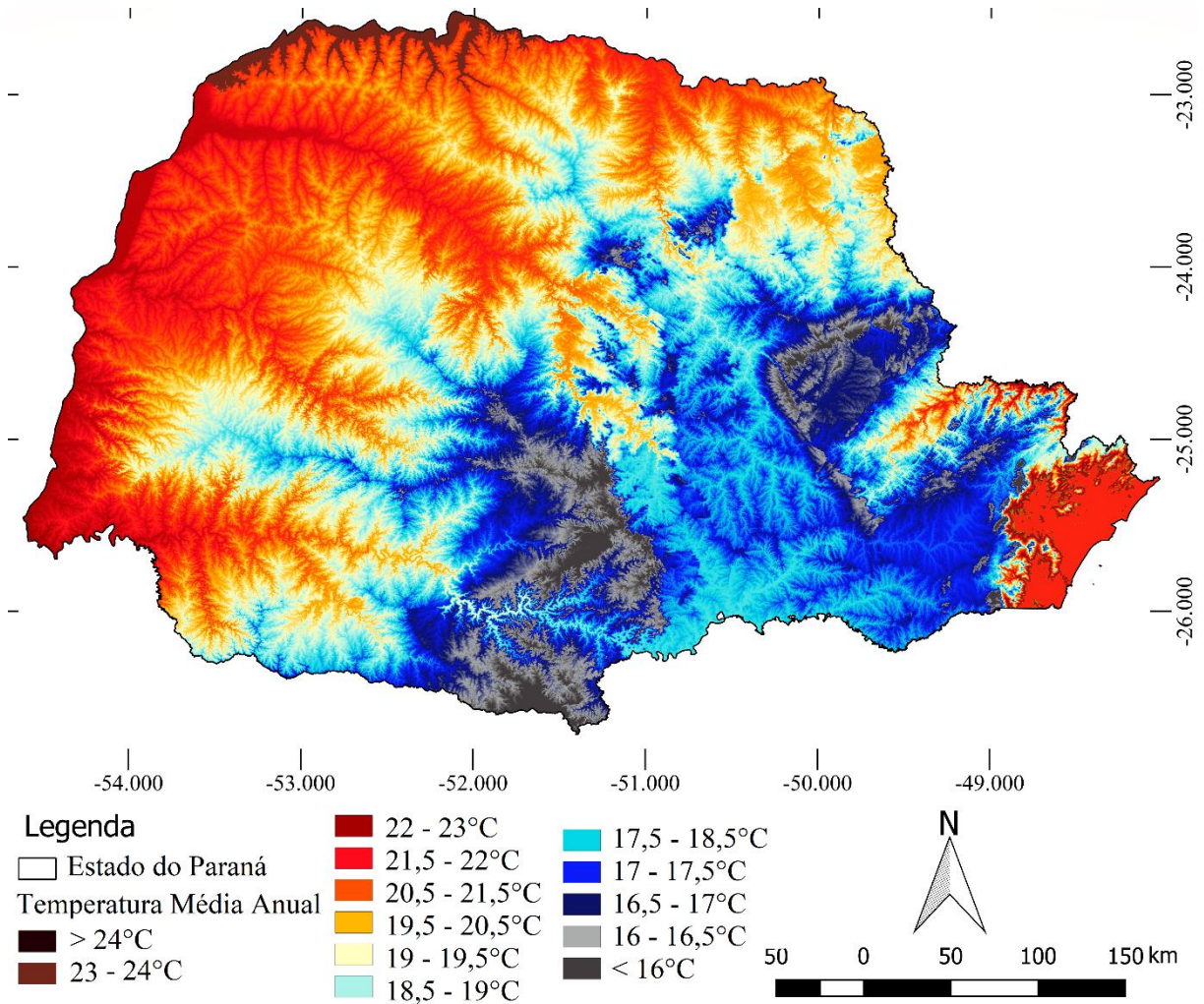


A temperatura do ar é um dos elementos climáticos de maior importância para o crescimento, desenvolvimento e produtividade do feijoeiro. Para a produção, a temperatura média deve ficar anualmente entre 17 a 27°C (BASTOS et al., 2017).

A temperatura do ar média anual no estado do Paraná (Figura 3.5) variou de 15,7 a 24,3°C com menores valores nas áreas serranas e os maiores no extremo norte do Estado, próximos a calha do Rio Paranapanema/divisa com São Paulo. Os maiores valores ainda não apresentam restrições para o cultivo, e possibilitam que o feijão possa ser produzido, com sucesso, em áreas com temperaturas médias anuais de 27°C (SILVA et al., 2018).

Identificou-se que os tons de cores azul escuro e cinza no mapa, no centro sul paranaense, apresentam temperaturas inferiores a 17°C, podendo ter altas frequências de geadas, devendo-se assim, planejar o ciclo do feijão nos períodos livre do risco de geada.

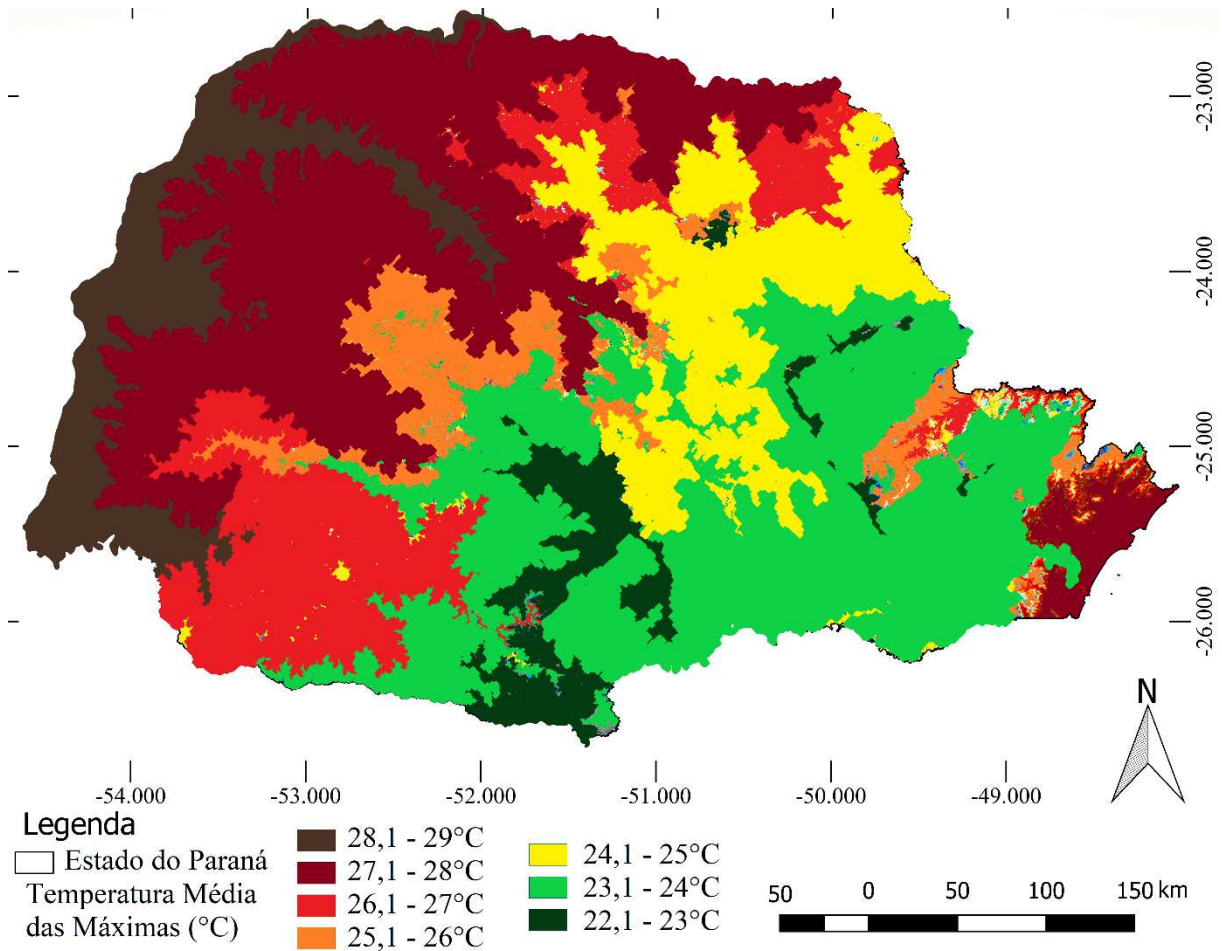
**Figura 3.5:** Temperatura do ar média anual no estado do Paraná (1976-2021)



As altas temperaturas são um dos principais fatores restritivos cultivo do feijão. Temperaturas do ar superiores a 32°C poderão provocar perdas de produtividade, principalmente se a cultura estiver sob suprimento de água limitado. A média das máximas anuais deva ser inferior a 28°C (SANTOS et al., 2018).

Identificou-se pelas temperaturas médias das máximas que as faixas em marrom do mapa (Figura 3.6), localizadas nos vales dos Rios Ivaí, Paraná e Paranapanema (altitudes de 100-300 m – Figura 3.1) apresentam temperaturas máximas superiores a 28°C. Pela frequência, nessas regiões deve-se adequar bem o período do ciclo do feijão de maneira que evite longos períodos com temperaturas elevadas.

**Figura 3.6:** Temperatura do Ar Média das Máximas anual no estado do Paraná (1976-2021)

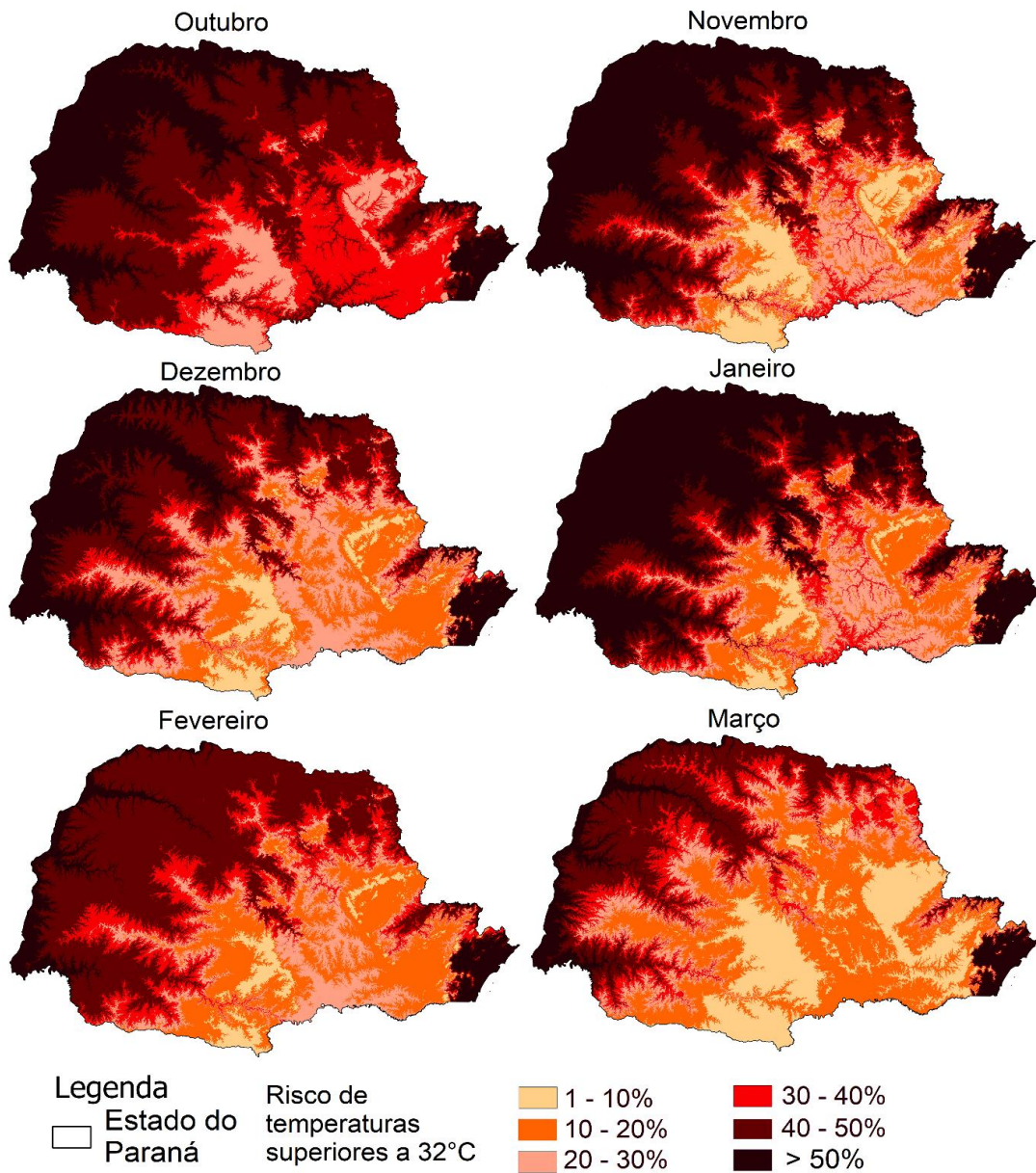


No extremo Sul, Leste, e Centro-Occidental e Oriental, os valores são amenos. A média das máximas variou de 22 a 26°C. Enquanto no Norte e Oeste do Estado, temperaturas elevadas podem acontecer com maior frequência, apresentando médias de 26 a 28°C.

Para adequar o ciclo e recomendar os períodos de semeadura do feijoeiro, estimou-se o período provável de floração e verificou-se a probabilidade de ocorrerem temperaturas acima de 32°C (Figura 3.7). Sendo considerado como risco para o cultivo, o período de três dias antes da abertura da primeira flor até a floração plena, aproximadamente 37 a 52 dias após a emergência (DICKSON & PETZOLDT, 1989; CARAMORI et al., 2001). Para visualização regional do risco utilizou-se a escala temporal mensal para os mapas.

Identificou-se que temperaturas elevadas se mostram presente em todas as áreas do Estado, principalmente nos extremos norte, oeste e litoral, as margens dos rios Paraná e Paranapanema, com risco superior a 40% em todos os meses avaliados. Nas regiões mais frias do Estado, o risco entre as regiões centro, sul e leste, supera os 20%, em alguns meses.

**Figura 3.7:** Riscos de ocorrerem temperaturas máximas superiores a 32°C no Paraná, para o período de outubro a março (1976-2021)



O mês de outubro apresentou maiores riscos de temperaturas elevadas. Porém, nesse período, normalmente é realizado a semeadura do feijão em boa parte do Paraná (CARAMORI et al., 2001), sendo assim, o feijoeiro não estaria no período de desenvolvimento da abertura da primeira flor até a floração plena, não representando risco para este mês.

As temperaturas elevadas nos meses da primavera também foram observadas por Ferreira et al. (2020), que identificaram que produtores de soja da região devem evitar o final do mês de setembro devido a ocorrências de veranicos (períodos de altas temperaturas e seca). Enquanto que no mês de outubro, mesmo sendo o mês mais chuvoso no oeste paranaense, apresenta as maiores temperaturas do ano. Caldana et al. (2021) identificaram resultados

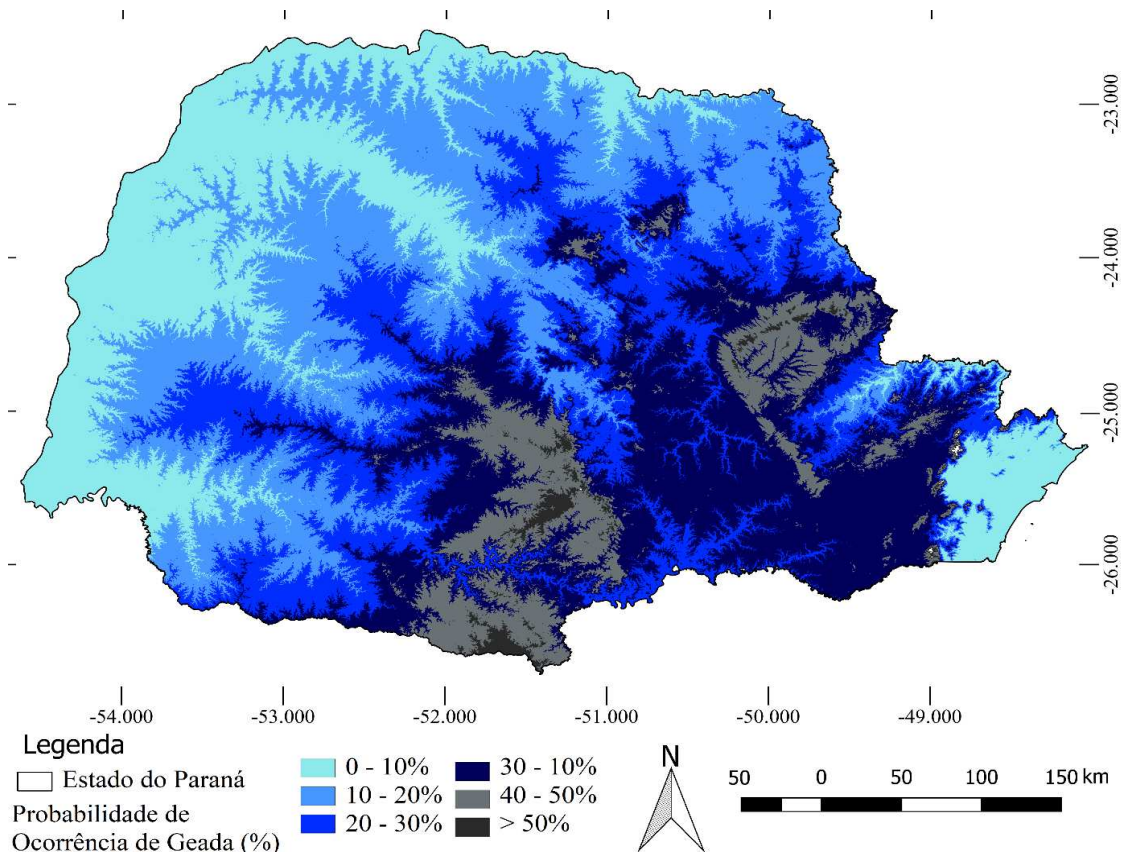
semelhantes na Mesorregião Centro-Occidental Paranaense, além das altas temperaturas, identificaram recordes nos meses de setembro e outubro de 2020, como meses mais quentes da série histórica desde 1970.

Nas regiões norte, oeste e litoral, o risco se expande e aumenta em área do mês de outubro até janeiro. Nas regiões centro, sul e leste o risco segue padrão reverso, diminuindo da primavera para o verão. Nos meses de fevereiro e março, o risco atinge valores menores, sendo que em áreas do centro sul paranaense o risco não se mostra mais presente.

Quanto ao risco de geada, o feijoeiro não tolera geadas durante o ciclo de desenvolvimento. Portanto, o risco de geadas deve ser considerado como fator restritivo ao seu cultivo, considerando assim, que os 90 dias do ciclo do feijoeiro devem ficar fora do período de geada (CARAMORI et al., 2001).

Identificou-se que o risco de geada está presente em todo o Estado (Figura 3.8). Os maiores riscos anuais foram identificados no extremo sul do Estado e em áreas serranas, superando os 50%. Em algumas áreas da região centro-sul, entre os municípios de Palmas e General Carneiro (áreas em cinza escuro) e na Serra do Mar, Caldana et al., (2020) identificaram que o risco de geada anual nessas áreas é de 100%, tendo ocorrido temperaturas do ar inferiores a 2°C em todos os anos da série de dados meteorológicos disponíveis.

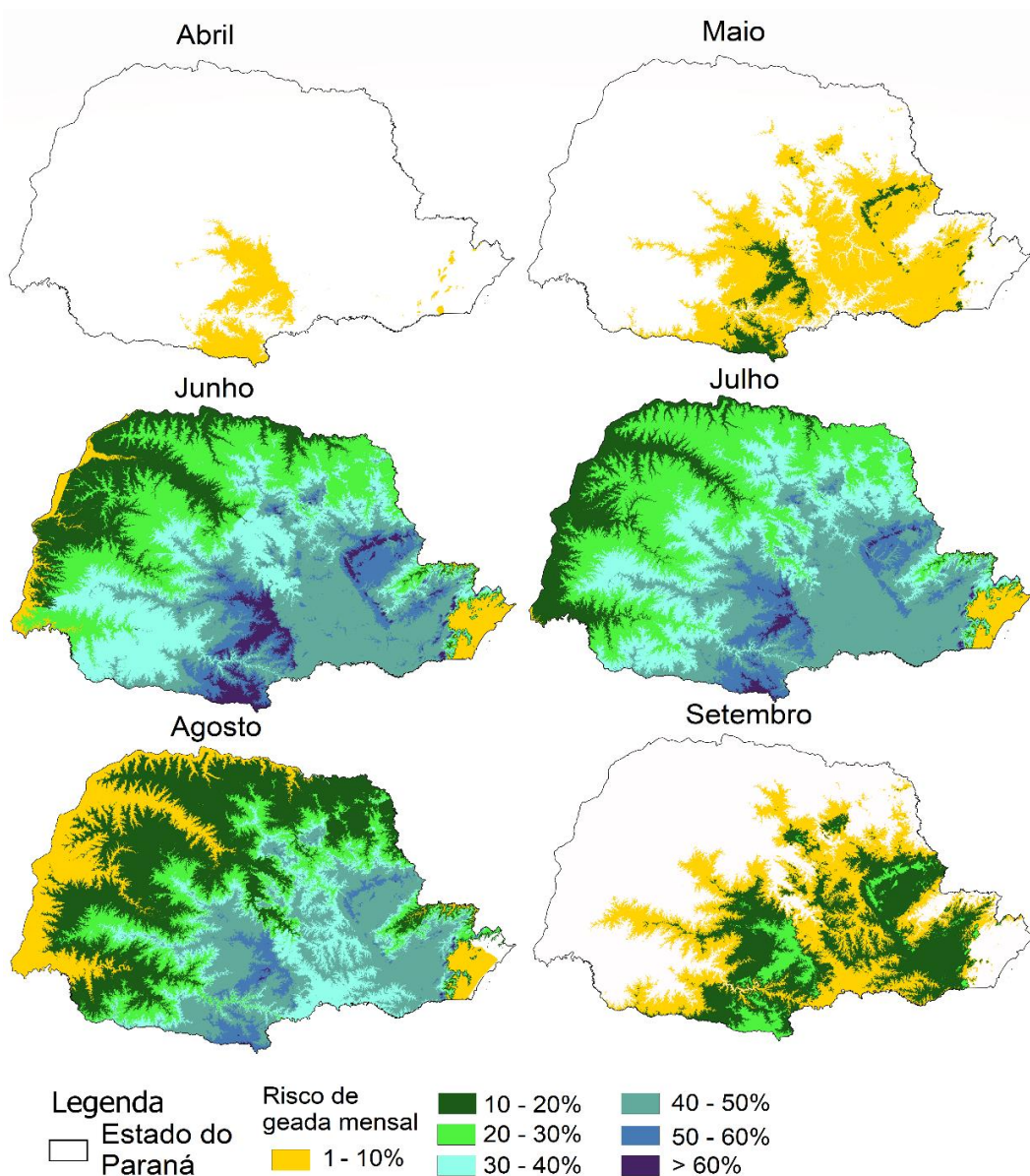
**Figura 3.8:** Risco de geada anual (%) no Estado do Paraná (1976-2021)



No Norte, Oeste e Litoral do Paraná, o risco diminui variando de 0 a 20%, enquanto nas regiões centro-sul, centro ocidental Paranaense, centro oriental Paranaense e Metropolitana de Curitiba o risco fica entre 20 e 40%.

Averiguou-se o risco mensal de geada para determinar épocas de semeadura fora deste período (Figura 3.9). Observou-se que no Centro-sul paranaense o risco de geada é presente (0-10%) no mês de abril. Enquanto no mês de maio o risco aumenta nessas áreas, chegando a 20% e se espalha por toda região leste e centro-ocidental paranaense.

**Figura 3.9:** Riscos de ocorrerem geadas (temperatura do ar mínima no abrigo abaixo de 2°C) no Paraná, no período de abril a setembro.

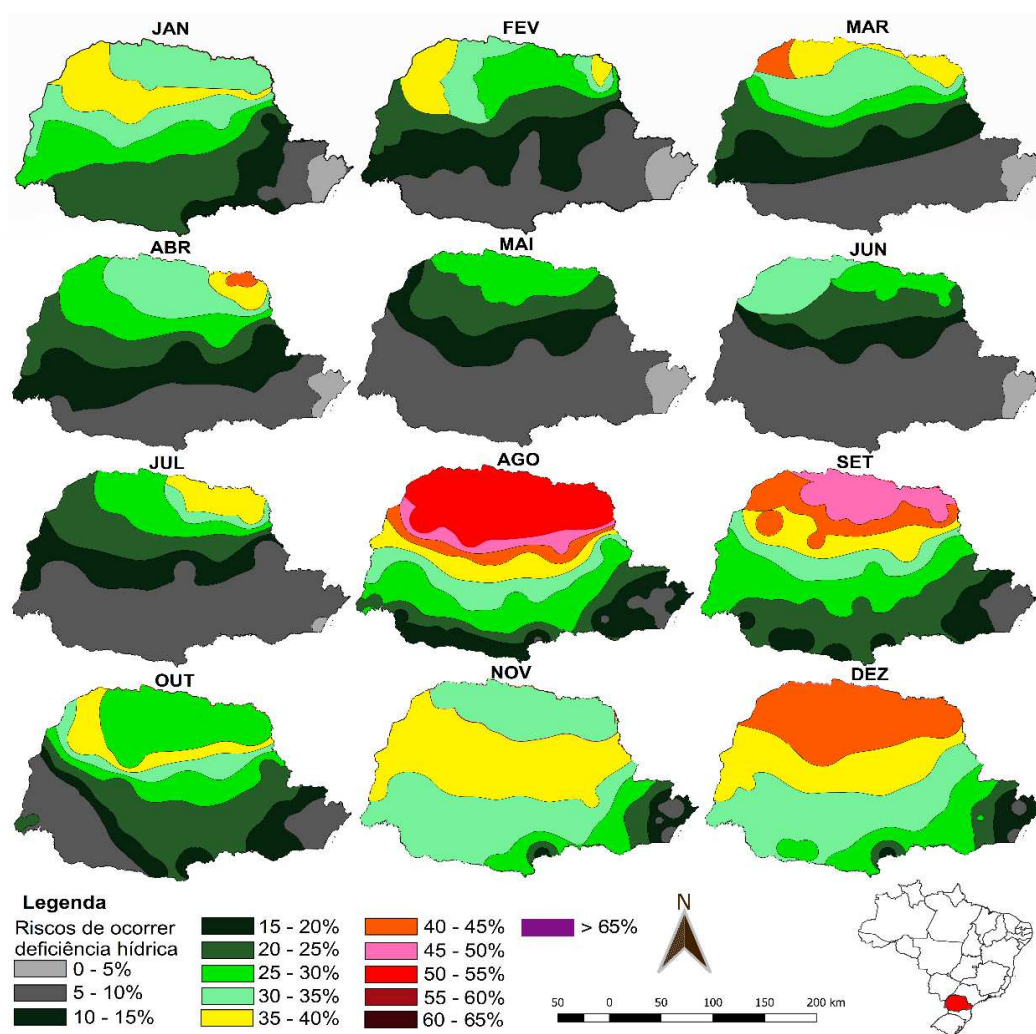


Nos meses de junho, julho e agosto, o risco aumenta em área por todo o Estado. Nas regiões Norte e Oeste, o risco é maior durante o mês de julho, atingindo probabilidades de 20 a 30%. Enquanto nas regiões centrais, leste e sul, o risco varia de 30 a 60% nesses meses.

No mês de setembro, o risco volta a diminuir, presente apenas nas regiões centrais, sul, leste e fragmentos do norte e oeste, em áreas com altitudes superiores a 800 m (Figura 3.1). O risco variou de 1 a 30% neste mês.

Com relação ao risco por deficiência hídrica (Figura 3.10), destaca-se que a cultura do feijoeiro é pouco tolerante à deficiência hídrica, principalmente, nos períodos de floração e início de formação das vagens (CARAMORI et al., 2001; FIETZ et al., 2018). A minimização dos efeitos do déficit hídrico é possível com base na observação das épocas de semeadura que proporcionaram menor risco de ocorrência de estresse hídrico durante o ciclo da cultura, principalmente durante a fase reprodutiva.

**Figura 3.10:** Riscos de ocorrer deficiência hídrica no período de florescimento do feijoeiro no Paraná.



Constatou-se que na região centro, sul e leste o risco se mantém agrupado regionalmente como nas análises térmicas, demonstrando assim, que pode haver similaridades no cultivo do feijoeiro nessas áreas. Os únicos meses a apresentarem relativo risco (superior a 20%) foram agosto, novembro e dezembro, demonstrando assim que a demanda hídrica não é um dos principais fatores restritivos nesta área.

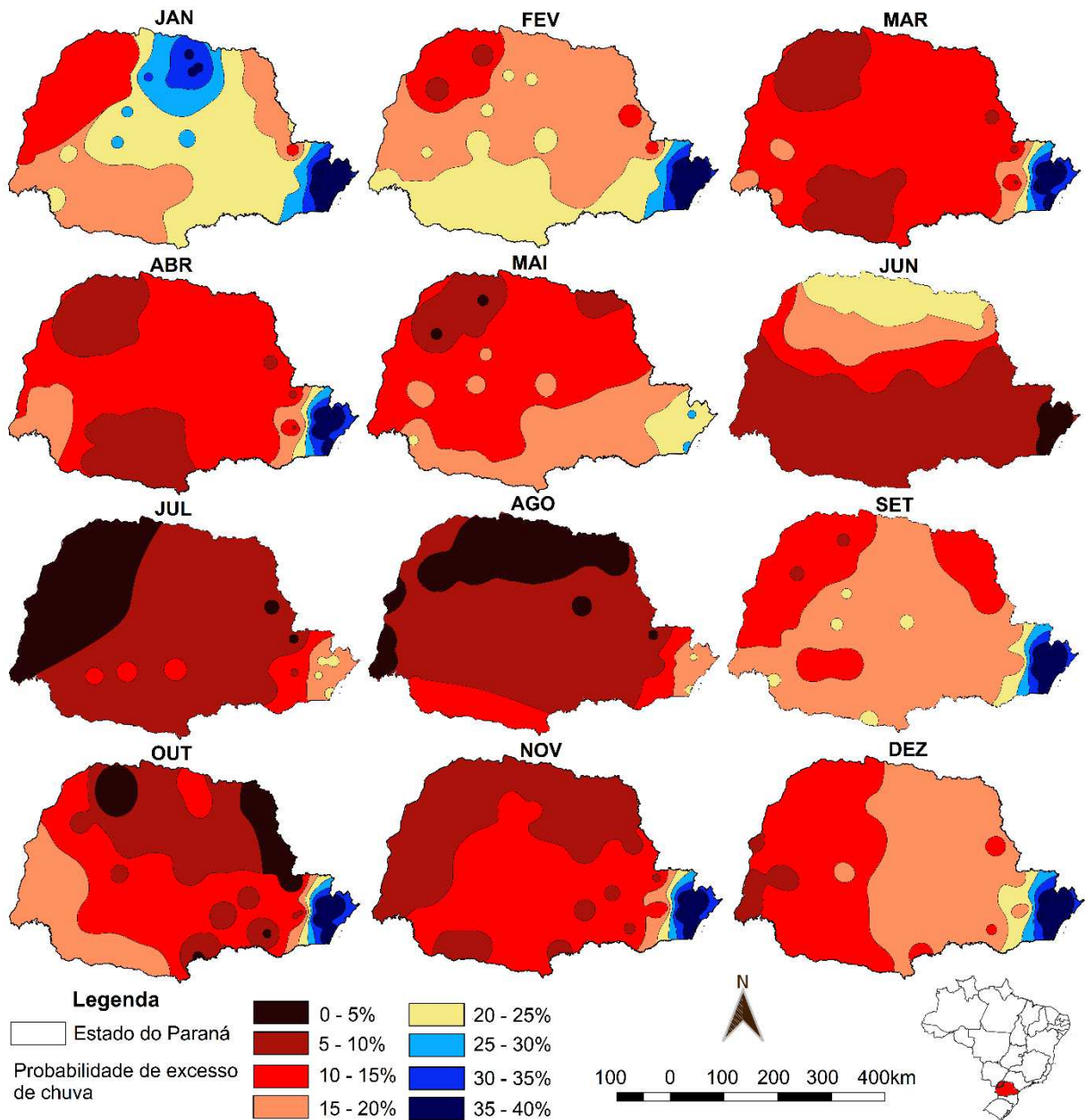
Nas regiões norte e oeste os riscos de deficiência hídrica são maiores, especialmente nas faixas entre as regiões noroeste e nordeste (Norte Pioneiro). Nestas áreas o risco supera os 40% nos meses de agosto e setembro. Destacando-se o mês de agosto, que o risco supera os 50%.

Em geral, para todo o estado, os meses com menores risco de deficiência hídrica foram de fevereiro a julho, demonstrando assim, que os meses de outono e inverno podem dar boas perspectivas para a semeadura do feijão, especialmente no Norte e extremo oeste, com baixo risco de geada.

É importante se destacar que a ocorrência de excesso de chuvas durante a colheita é prejudicial à qualidade dos grãos (SILVA et al., 2020). A ocorrência de umidade alta por longos períodos durante a época de colheita provoca a deterioração dos grãos, com perda no seu valor comercial. Dependendo da duração do período chuvoso, as perdas na produção podem ser totais (CARAMORI et al., 2001).

O risco de excesso de chuva (Figura 3.11) não apresentou grandes restrições para o Estado, apenas as áreas em tons de amarelo ao azul escuro devem-se estimar o ciclo para que não coincida os estádios finais e a colheita nos presentes meses. Os meses mais indicados para a colheita foram março, abril, junho, julho, agosto, outubro e novembro.

**Figura 3.11:** Riscos de ocorrerem excessos de chuva na colheita (50 mm em cinco dias, sendo pelo menos três dias com chuva) durante o ano no Paraná.



Com base nas análises realizadas, foi possível identificar 14 zonas distintas para o zoneamento do feijão de safra/das águas no Paraná (Figura 3.12). Os valores de riscos de deficiência hídrica permitiram identificar que a Zona I apresenta elevado risco de deficiência hídrica para as safras para o feijão das águas (acima de 40%), porém permite a semeadura antecipada graças ao risco baixo de geada até mesmo nos meses de inverno. Ainda assim, o elevado risco de déficit hídrico pode indicar nesta zona o advento de sistemas de irrigação e/ou plantio direto (CARAMORI et al., 2001). O baixo risco de geada também possibilita a semeadura em agosto na zona IX (Litorânea).

**Figura 3.12: Zoneamento de Risco Agroclimático para o Feijão das Águas no Paraná**



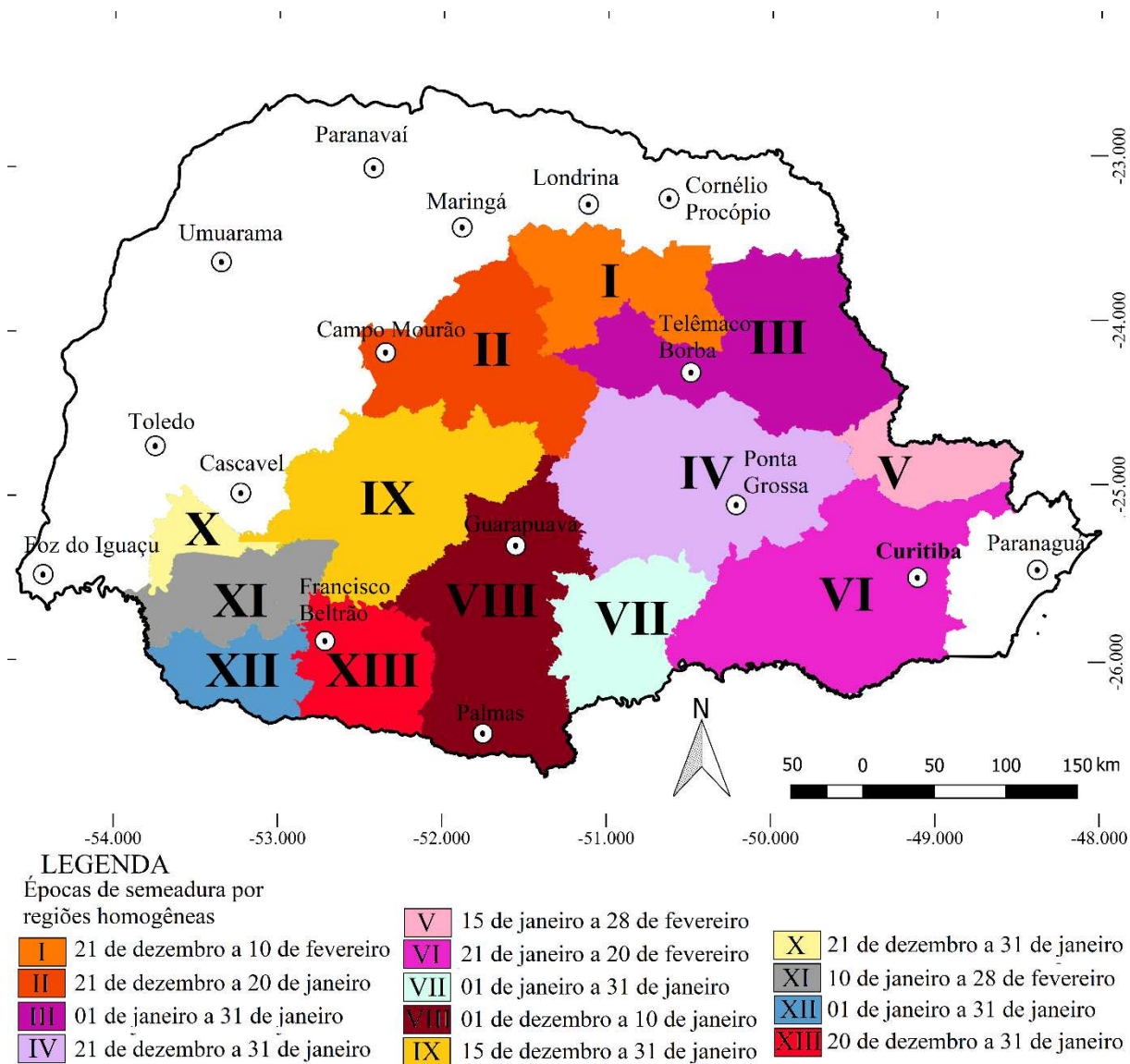
O mesmo se repete para as áreas II, III, V, IV, VII, XII e XIV, porém o risco de déficit hídrico é menor (15 a 30%), o risco é ainda menor principalmente, nos períodos de floração e início de formação das vagens, sendo estimado para o mês novembro. O risco de geada possibilita semeadura em períodos diferentes do mês de setembro e começo outubro.

Já nas zonas VI, VIII, X, XI, XII e XIV a semeadura ficou para o mês de outubro e início de novembro devido ao risco tardio de geada. O déficit hídrico tem risco baixo nestas regiões nos meses do ciclo (0 a 15%).

Para o zoneamento de risco agroclimático para o feijão da seca no Paraná foram identificadas 13 zonas distintas (Figura 3.13). Para este ciclo, identificou-se grande risco de deficiência hídrica atingindo o Paraná de Sudoeste até o Nordeste do Paraná, apresentando assim inaptidão para o feijão da seca devido à alta frequência de temperaturas elevadas na

floração e deficiência hídrica. Portanto, toda esta área não é recomendada para o cultivo desta safra.

**Figura 3.13:** Zoneamento de Risco Agroclimático para o Feijão da seca no Paraná



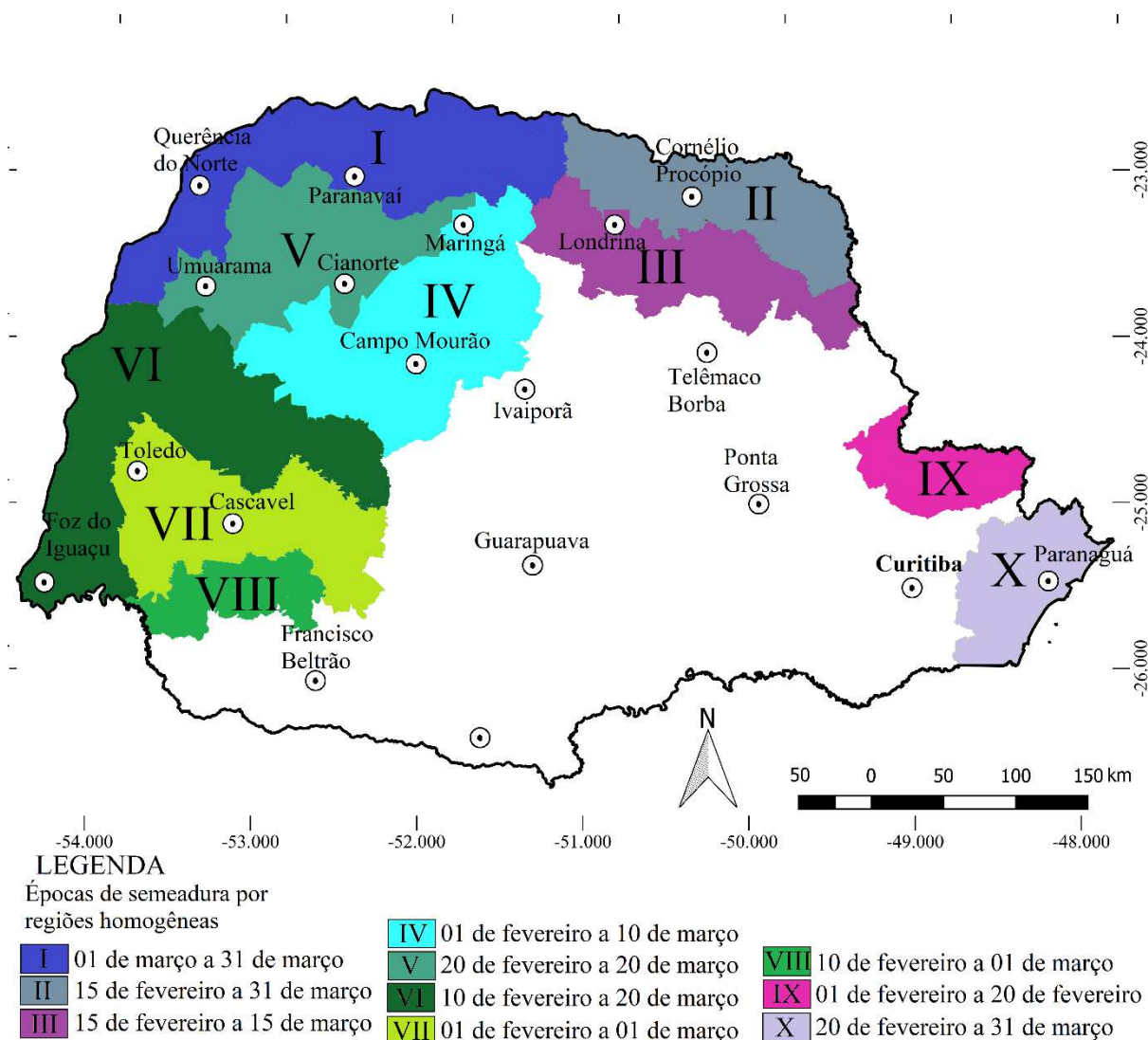
Diferente do zoneamento do feijão realizado por Caramori et al., (2001) houve um acréscimo nas zonas I, II, IV e XI, desde que se siga criteriosamente o período recomendado para o ciclo, evitando assim, altas temperaturas no meio/final do verão e início do outono. Essas alterações podem ser reflexos das mudanças climáticas, visto as alterações nas recomendações no período de 20 anos atrás

Devido ao risco de geada a partir do mês de junho, as regiões I, V e XI (as duas últimas áreas de baixas altitudes 200-500 m) possibilitam se estender a semeadura até o final de fevereiro, além das zonas I, II, IV, VIII, IX, X e XIII sendo possível iniciar a semeadura no meio/final do mês de dezembro.

Já as zonas II, III, IV, VII, XIII, IX, X e XII deve-se seguir criteriosamente o período recomendado para a semeadura, não ultrapassando o final de janeiro, para evitar o início da geada.

Enquanto para o zoneamento de risco agroclimático para o feijão de outono/inverno no Paraná as análises de riscos de ocorrência de geadas no final do ciclo e deficiência hídrica possibilitaram identificar 11 zonas homogêneas com condições aptas ao cultivo do feijão de outono-inverno (Figura 3.14).

**Figura 3.14:** Zoneamento de Risco Agroclimático para o Feijão de outono/inverno no Paraná



Identificou-se que a região centro-sul e leste paranaense possuem elevado risco de perdas e quebras de safras para o feijão de outono-inverno, em função do início do período de geadas e, como mencionado por Caramori et al., (2001), a insuficiência térmica. Portanto, toda esta área do Paraná não é recomendada para o cultivo de feijão de outono-inverno.

Mesmo com aptidão e recomendação de cultivo, as zonas I, II e V, possuem risco de ocorrências de déficit hídrico e veranicos nesta época do ano (30 a 50%), podendo gerar perdas para o cultivo do feijão de outono inverno, dessa forma, mais uma vez, recomenda-se o cultivo com irrigação e/ou plantio direto.

Fazendo fronteira à Zona I identificada neste trabalho, Fietz et al., (2018), avaliaram a demanda hídrica e risco climático de feijão superprecoce na região sul de Mato Grosso do Sul. Os autores identificaram período crítico similar quando consideraram apenas o fator deficiência hídrica, não houve diferença nas semeaduras do feijoeiro, realizadas em janeiro, fevereiro e março, mesmo período recomendado no presente trabalho. Quanto ao fator temperaturas altas, semeaduras do feijoeiro na segunda quinzena de fevereiro e em março são as mais recomendadas, visto a leve queda de temperatura do ar no final do verão e início do outono. Ao considerar também o fator temperaturas baixas/geada, recomendou-se restringir a semeadura de feijão superprecoce apenas na segunda quinzena de fevereiro.

As regiões mais quentes do Paraná, localizadas nas zonas I, II e X possibilitam a semeadura até o final de março, com risco baixo de geada mesmo nos meses de inverno. As zonas III, IV, V, VI e X o risco de geada no final meio/final do mês de junho já é presente, dessa forma, o período de semeadura não deve ultrapassar os dias 10-20 de março. Enquanto as zonas VII e VIII o risco é presente durante todo o mês de julho, devendo ser realizado a semeadura até dia 01 de março.

As zonas III e IX apresentaram aptidão diferente do zoneamento realizado por Caramori et al. (2001), esta última tem um período curto para realizar a semeadura de apenas 20 dias, não devendo-se ultrapassar o dia 20 de fevereiro.

Também na região Sul do Brasil, Maluf et al. (2001) realizaram o zoneamento para o feijão no estado do Rio Grande do Sul, levaram em consideração a ocorrência de temperaturas baixas, geada e regime hídrico. Os autores identificaram que assim como no Paraná, o feijão pode ser cultivado em todo o estado do Rio Grande do Sul. Identificaram uma subdivisão do período total de semeadura, para feijão safra (11 de agosto a 10 de novembro) e safrinha (11 de janeiro a 28 de fevereiro), em períodos de dez em dez dias, mostrando-se adequado nas determinações de probabilidades de ocorrência de riscos climáticos e na indicação de áreas para semeadura.

Já para a região Nordeste do Brasil, Andrade Junior et al. (2007) realizaram zoneamento de risco climático para a cultura do feijão-caupi no estado do Ceará utilizando apenas um modelo de balanço hídrico diário para estimar os riscos climáticos. Testando também, a deficiência hídrica, quando o feijão cultivado em solos com diferentes capacidades

de retenção de água (solos de textura arenosa, média e argilosa), no período de novembro a maio. Os autores identificaram que independentemente da capacidade de retenção de água do solo, a semeadura no período de 21 a 31 de janeiro mostrou-se favorável para o cultivo de feijão-caupi em praticamente todo o estado do Ceará. Enquanto, para municípios situados ao norte do Ceará, é recomendado a semeadura do feijão-caupi preferencialmente, de 1º a 10 de março, uma vez o período chuvoso se estende durante os meses de abril a maio e com a vantagem adicional da colheita das vagens ocorrer no início da estação seca.

### 3.4 CONCLUSÕES

A elaboração de novo um zoneamento de risco agroclimático para a cultura de feijão demonstrou:

Aptidão para todo o estado Paraná para o cultivo do feijão das águas, recomendando-se semeadura entre de 21 de julho a 10 e novembro, determinadas pelas análises da disponibilidade hídrica, ocorrências de geadas tardias e temperaturas elevadas.

Para o feijão da seca constatou-se que todo o centro-sul e leste paranaense apresentaram aptidão, com semeadura entre dezembro e fevereiro, evitando-se prolongar o ciclo até maio e junho, graças ao início do período de geadas.

O feijão de outono/inverno apresentou aptidão nas regiões norte, oeste, litorânea e vale do Ribeira. No extremo norte, evidenciou-se preocupações com o déficit hídrico, recomendando-se irrigação e/ou plantio direto. As semeaduras foram recomendadas entre fevereiro e março, evitando-se apenas prolongar o ciclo até o mês de julho, com maiores riscos de geada nessas áreas.

### 3.5 REFERÊNCIAS

ANDRADE JÚNIOR, A. S. D., BARROS, A. H. C., DA SILVA, C. O., & FREIRE FILHO, F. R. Zoneamento de risco climático para a cultura do feijão-caupi no Estado do Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, v. 38, n. 1, p. 109-117, 2007.

ANA - Agência Nacional de Águas. Dados hidrológicos da Rede Hidrometeorológica Nacional-Hidroweb, séries históricas, Brasília, 2020. Disponível em: <<https://www.snirh.gov.br/hidroweb>>. Access in: 25 may 2021.

BASTOS, E. A., ANDRADE JÚNIOR, A. S., & NOGUEIRA, C. C. P. **Cultivo de feijão-caupi**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária: Brasília, Brazil, Sistema de Produção Embrapa, 9p. Versão Eletrônica. 2ª edição | 2017.

- BEREZUK, A. G. Eventos extremos: estudo da chuva de granizo de 21 de abril de 2008 na cidade de Maringá-PR. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 5, n. 1, p. 153-164, 2009.
- BOSCO, L. C., BONATTO, M. I., PANDOLFO, C., DA SILVA RICCE, W., STANCK, L. T., DE SOUZA, A. G., ... & STRECK, N. A. Agricultural Climate Risk Zoning For Gladiolus In Santa Catarina. **Revista Brasileira de Climatologia**. n.17, v. 28, p. 619-633, 2021.
- CALDANA, N. F. da S., MARTELÓCIO, A. C. Gênese, frequência e intensidade das precipitações de granizo nas Mesorregiões Centro Oriental e Sudeste Paranaense, Brasil. **Geotextos (Online)**, v. 15, n. 1, p. 205-229, 2019
- CALDANA, N. F. da S.; OLIVEIRA, T. A.; ORGANEK, D. H. Variabilidade e Tendência da Temperatura do Ar e a Ocorrência de Geada na Mesorregião Centro-Sul Paranaense, Brasil. **Revista Equador**, v. 9, p. 1-25, 2020.
- CALDANA, N. F. S.; RODRIGUES, L.; FERREIRA, L. G. B. ; PINTO, L. F. D. ; RIBEIRO JUNIOR, W. A. ; AGUIAR e SILVA, M. A.. . Analysis of Precipitation and Dry Spell In The Center Western Mesoregion of Paraná State, Brazil - A Specific Study in September 2020. **Caminhos da Geografia (UFU. Online)**, v. 23, p. 243-262, 2022.
- CAMPOS, J. H. B. da C.; SILVA, M. T.; DA SILVA, V. de P. R. Impacto do aquecimento global no cultivo do feijão-caupi, no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 4, p. 396-404, 2010.
- CARAMORI, P. H., GONÇALVES, S. L., WREGE, M. S., CAVIGLIONE, J., OLIVERIA, D., FARIA, R. D., ... & BIANCHINI, A. Zoneamento de riscos climáticos e definição de datas de semeadura para o feijão no Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n. 3, p. 477-485, 2001.
- CERUTTI, P., Wille, C. L., Adams, C. R., Barichello, E. C., dos Santos, M., & Gemeli, M. S. Uso Da Metodologia Shovelomics Na Avaliação Do Sistema Radicular Em Feijão. **Revista da Jornada de Pós-Graduação e Pesquisa-Congrega Urcamp**, p. 1530-1542, 2018.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**. 6. ed. Brasília: Estúdio Nous, 2019. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 23 abril. 2020.
- DICKSON, M.H., PETZOLDT, R. Heat tolerance and pod set in green beans. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v.114, n.5, p.833-836, 1989.
- DIDONET, A. D.; CARVALHO, M. A. F. Fisiologia. In.: GONZAGA, A. C. O. **Feijão: O produtor pergunta, a Embrapa responde**. Coleção 500 perguntas 500 respostas. 2ª Edição revista e atualizada. Embrapa, Brasília, DF, 2014.
- FERREIRA, L. G. B. ; CALDANA, N. F. S. ; MARTELOCIO, A. C. ; COSTA, A. B. F. ; NITSCHKE, P. R. ; CARAMORI, P. H. . Rainfall Variability and Analysis of Droughts Periods Risks During the Soybean Crop (Glycine max L.) in the Western of Paraná State, Brazil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 27, p. 590-611, 2020.

FIETZ, C. R., COMUNELLO, E., GARCIA, R. A., FLUMIGNAN, D. L., SILVA, S. C., & MELO, L. C. Demanda hídrica e risco climático de feijão superprecoce na região sul de Mato Grosso do Sul. **Embrapa: Circular Técnica**, v. 1, n. 45, p. 13, 2018.

FRANCO, J. M. C.; TEIXEIRA, E. C. Transferência de renda da agricultura comercial e familiar produtora de arroz, feijão e leite. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 37, n. 1, p. 57-76, 2019.

GONÇALVES, S. L., WREGE, M. S., CARAMORI, P. H., MARIOT, E. J., & ABUCARUB NETO, M. Probabilidade de ocorrência de temperaturas superiores a 30 C no florescimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris L.*), cultivado na safra das águas no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 5, n. 1, p. 99-107, 1997.

GONZAGA, A. C. de O. **Feijão: o produtor pergunta**, a Embrapa responde. Embrapa Arroz e Feijão-Col Criar Plantar ABC 500P/500R Saber (INFOTECA-E), 2014.

HOBBIE, S. E.; GRIMM, N. B. Nature-based approaches to managing climate change impacts in cities. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, v. 375, n. 1794, p. 20190124, 2020.

IPCC. Technical Summary. In: **Climate Change 2014: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2014.

IDR - Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná. Dados Meteorológicos Históricos e Atuais, Londrina, 2020.

LIMA, J. F., ALVES, L. R., PIFFER, M., & PIACENTI, C. A. Análise regional das mesorregiões do estado do Paraná no final do século XX. **Análise Econômica**, v. 24, n. 46, 2006.

MABERLY, S. C. O'D., R. A., Woolway, R. I., Cutler, M. E., Gong, M., Jones, I. D., ... & Thackeray, S. J. Global lake thermal regions shift under climate change. **Nature Communications**, v. 11, n. 1, p. 1-9, 2020.

MALUF, J. R. T., CUNHA, G. D., MATZENAUER, R., PASINATO, A., PIMENTEL, M. B. M., & CAIAFFO, M. R. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura de feijão no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n. 3, p. 468-476, 2001.

MATOS, R. M., DA SILVA, P. F., DE MEDEIROS, R. M., DOS SANTOS, B. D. B., BARROS, A. S., NETO, J. D., & SABOYA, L. M. F. Balanço hídrico climatológico normal e sequencial para o município de Barbalha-CE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 3, p. 973-982, 2020.

MUELLER, T. G., PUSULURI, N. B., MATHIAS, K. K., CORNELIUS, P. L., BARNHISEL, R. I., & SHEARER, S. A. Map quality for ordinary kriging and inverse distance weighted interpolation. **Soil Science Society of America Journal**, v. 68, n. 6, p. 2042-2047, 2004

NITSCHKE, P. R., et al., **Atlas Climático do Estado do Paraná**. Londrina, PR: Instituto Agrônomo do Paraná - IAPAR. 2019. Available in: <

<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=677> > Acesso em: 12 de julho de 2020.

OLIVEIRA, F.A. de; SILVA, J.J.S. Evapotranspiração, índice de área foliar e desenvolvimento radicular do feijão irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.25, n.3, p.317- 322, 1990.

PEREIRA, V. G. C., GRIS, D. J., MARANGONI, T., FRIGO, J. P., AZEVEDO, K. D., & GRZESIUCK, A. E. Exigências agroclimáticas para a cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 3, n. 1, p. 32-42, 2014.

PERERA, A. T. D. NIK, V. M., CHEN, D., SCARTEZZINI, J. L., & HONG, T. Quantifying the impacts of climate change and extreme climate events on energy systems. **Nature Energy**, v. 5, n. 2, p. 150-159, 2020.

PINTO, H. S., ASSAD, E. D., ZULLO JUNIOR, J., EVANGELISTA, S. D. M., OTAVIAN, A. F., AVILA, A. D., ... & COLTRI, P. P. **A nova geografia da produção agrícola no Brasil. Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária: Unicamp, 2008.

RICCE, W. DA S, DE CARVALHO, S. L. C., CARAMORI, P. H., AULER, P. A. M., & ROBERTO, S. R. Zoneamento agroclimático da cultura do abacaxizeiro no Estado do Paraná. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 4, p. 2337-2345, 2014.

SANTOS, L. F. dos, MARTINS, F. B., & GARCIA, S. R. Padrões climatológicos de precipitação e temperatura do ar associados ao rendimento do feijão comum em Minas Gerais. **Revista Brasileira de Climatologia**, Edição Especial Dossiê Climatologia de Minas Gerais n. 3, p. 4-24, 2018.

SENTELHAS, P. C.; ORTOLANI, A. A.; PEZZOPANE, J. R. M. Estimativa da temperatura mínima de relva e da diferença de temperatura entre o abrigo e a relva em noites de geada. **Bragantia**, v. 54, n. 2, p. 437-445, 1995.

DA SILVA, V. D. P. R., DA SILVA, B. B., BEZERRA, J. R. C., & ALMEIDA, R. S. R. Consumo hídrico e viabilidade econômica da cultura do feijão caupi cultivado em clima semiárido. **Irriga**, v. 21, n. 4, p. 662-672, 2016.

SIPPEL, S. MEINSHAUSEN, N., FISCHER, E. M., SZÉKELY, E., & KNUTTI, R. Climate change now detectable from any single day of weather at global scale. **Nature Climate Change**, v. 10, n. 1, p. 35-41, 2020.

SILVA, A. V., SILVA FILHO, J. F., SILVA, M. C. T., VAZ, N. C. A., & SILVA, M. L. G. Aptidão edafoclimática e ambientes de produção agrícola da cultura do feijão. **Scientific Electronic Archives**, v. 13, n. 10, p. 102-112, 2020.

SOROYE, P.; NEWBOLD, T; KERR, J. Climate change contributes to widespread declines among bumble bees across continents. **Science**, v. 367, n. 6478, p. 685-688, 2020.

SOUSA QUEIROZ, R. R. de, de MENEZES, R. H. N., da ROCHA, D. L., & Moreira, R. C. C. Cenário agrícola para o plantio da cultura do feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]

no estado do Maranhão baseado em projeções futuras de mudanças climáticas. **Revista Geama**, v. 7, n. 1, p. 4-14, 2021.

THORNTHWAITE, C.W., MATHER, J.R. The water balance. Centerton: Laboratory of Climatology. **Publications in Climatology**, v.8, n.1. 104 p, 1955.

VANHONI, F.; MENDONÇA, F. O clima do litoral do estado do Paraná. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 3, n. 4, 49-64, 2008.

VIEIRA JUNIOR, N. A., CARAMORI, P. H., DE AGUIAR, M. A., & NITSCHKE, P. R. Minimum temperature differences between the meteorological screen and grass in radiative frost nights. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 39, n. 6, p. 2337-2350, 2018.

WREGE, M. S., CARAMORI, P. H., GONÇALVES, A. C. A., BERTONHA, A., CAVIGLIONE, J. H., FARIA, R. T., ... & GONÇALVES, S. Ocorrência da primeira geada de outono e última de primavera no Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 12, n. 1, p. 143-150, 2004.

## **4 ARTIGO B: MUDANÇAS CLIMÁTICAS E AS ALTERAÇÕES NO ZONEAMENTO DO FEIJÃO NO ESTADO DO PARANÁ, BRASIL.**

### **4.1 RESUMO:**

O clima do planeta está mudando. Essas alterações têm causado eventos atípicos e extremos em todo o mundo e os impactos são sentidos principalmente na agricultura. A cultura do feijão é extremamente sensível às condições meteorológicas, e poderá ter grandes alterações em seu cultivo com as mudanças climáticas. Objetivou-se neste trabalho averiguar tendências climáticas e realizar o zoneamento de risco agroclimático para o cultivo do feijoeiro no estado do Paraná sob diferentes cenários de mudanças climáticas. Inicialmente realizou-se testes estatísticos para observar regionalmente o aumento de temperatura do ar no Paraná. Utilizou-se os testes de Mann-Kendall, Pettit e Sen's Slope. Para o zoneamento utilizou-se como base os trabalhos previamente realizados para a atualidade e acrescentou-se aumentos de temperatura do ar máxima e mínima dos cenários do IPCC de: 1,7, 2,6, 3,1 e 4,8°C. Os dados de temperatura máxima e mínima foram especializados por meio de regressão linear múltipla. Identificou-se pelo teste de Sen Slope aumento de temperatura na série histórica de dados em praticamente todo o Paraná, sendo acentuado principalmente nas temperaturas mínimas. As mudanças climáticas poderão ser prejudiciais a produção de feijão no Paraná. Quanto maior o aumento de temperatura, menor será a área apta para cultivo e, viabilizando apenas uma safra. Mesmo com a redução do período de geadas que poderia ser benéfica, a ocorrência de temperaturas elevadas inviabilizaria o cultivo durante a primavera-verão em todo o norte e oeste do Paraná. No pior cenário de aumento de temperatura, apenas a região mais fria do estado, na região centro-sul paranaense, seria possível realizar as duas safras para o feijão.

**Palavras-chave:** Aquecimento global; Aptidão Climática; Feijoeiro.

## **CLIMATE CHANGE AND ALTERATIONS IN THE ZONING OF BEANS IN THE STATE OF PARANÁ, BRAZIL.**

**Abstract:** The global climate is changing. These changes caused anomalies events and extreme events and its impacts affects the society, especially the agriculture. The bean crop is considered a higher dependent crop from meteorological conditons, such as water deficit and higher temperatures, and the climate change scenarios can affect the bean crop. The objective of this study was to carry out the new climatic tendencies and carry out the agroclimatic risk zoning for bean crop in Parana State, Brazil, considering the impacts from the climate change. Firstly, we made statistical tests to verify the increasing of air temperatures in Paraná state. We used tests of Mann-Je dall, Pettit and Sens Slope. For the agroclimatic risk zoning, we used studies previously made in Paraná state and we aid the scenarios of IPCC panel of: 1,7; 2,6;3,1 and 4,8 C. We used the multiple linear regression to study the data from maximim and minimum air temperatures. We identified, by the Sen Spope test, increasing of air temperature in the historical series in almost all regions of Paraná state. The climate change can affetc the bean crops yields in Paraná State. If the temperatures increasing, less will be the areas apt for bean crop cultivation, what means only one crop season of bean in Paraná. Even with the reducing of frost events, the occurrence of higher temperatures becoming the bean crop as inapt for

cultivation, especially in West and North of Paraná. In the worst scenario of IPCC, only the colder region of Paraná state would be possible to realize two crops seasons of bean.

**Keywords:** Global warming; Climate Aptitude; Bean tree.

## 4.2 INTRODUÇÃO

O clima do planeta está mudando (HOBBIE e GRIMM, 2020; MABERLY et al., 2020; PERERA et al., 2020; SIPPEL et al., 2020; SOROYE et al., 2020). Cenários climáticos futuros, apontam estimativas de aumento de temperatura publicadas no quinto relatório do IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change*, mostrando um acréscimo de 1,7 a 4,8°C na temperatura global no período de 2081-2100 em relação a 1986-2005, e indicam que a variabilidade e alterações do clima podem resultar em mudança na frequência de eventos extremos (PINTO et al., 2008).

Essas alterações climáticas têm causado eventos atípicos em todo o mundo, como a ocorrência de temperaturas extremas (TAMARIN-BRODSKY e KASPI, 2016; HETTIARACHCHI et al., 2017), ondas de calor (MITCHELL et al., 2016) ou frio (PARK et al., 2016; PRADHAN et al., 2019), eventos de secas (CHAMI e MOUJABBER, 2016), aumento no volume de precipitação diária (SMITHA et al., 2018), culminando assim, em riscos de calor ou frio extremo, severas tempestades e inundações (IPCC, 2014). Todos esses eventos são refletidos na agricultura (KING et al., 2018; PATHAK et al., 2018; VAN MEIJL et al., 2018), a vulnerabilidade do setor agrícola às mudanças climáticas e à variabilidade está bem estabelecida na literatura (KURUKULASURIYA e ROSENTHAL, 2014), principalmente nos impactos negativos que pode trazer na produtividade agrícola (CHANDIO et al., 2020; VATANKHAH et al., 2020).

Pesquisas também mostraram que, especificamente em regiões tropicais, aonde muitos dos países são subdesenvolvidos, os impactos na produtividade agrícola devem ser particularmente piores (BLASIAK, et al., 2017; EVANS, 2019). Arelado a isso, deve-se considerar a vulnerabilidade causada por meio das restrições tecnológicas, de recursos e institucionais (CHAPAGAIN e RAIZADA, 2017). Estimativas apontam que o cenário da produção mundial de alimentos pode mudar drasticamente no decorrer das próximas décadas (KURUKULASURIYA e ROSENTHAL, 2014).

O conhecimento das exigências agroclimáticas das culturas e das condições meteorológicas da região de cultivo são ferramentas que auxiliam no planejamento agrícola, visando maior produtividade, rentabilidade e diminuição de perdas por fatores climáticos (PEREIRA et al., 2014).

O feijão é uma cultura extremamente sensível a grandes oscilações térmicas e déficit hídrico, necessitando de planejamento considerando as variáveis agrometeorológicas para determinar as melhores épocas de semeadura, visto que estas causam grande variabilidade de produtividade de safra para safra (HUMMEL et al., 2018; AKCURA et al., 2019). O estresse hídrico não causa prejuízos muito severos à produtividade quando ocorre na fase vegetativa da planta (CARVALHO et al., 2022). Entretanto, o feijoeiro é muito sensível ao estresse hídrico na fase reprodutiva (NASCIMENTO et al., 2011; VALE et al., 2012). Outra variável de risco para o cultivo do feijão é temperatura do ar, sendo identificada como um dos elementos climáticos de maior importância para o crescimento, desenvolvimento e produtividade do feijoeiro (KABAY, 2019; ALHARBI et al., 2021), além disso, geadas e temperaturas elevadas podem gerar perdas de produtividade (FARINELLI et al., 2010; LAKE et al., 2021).

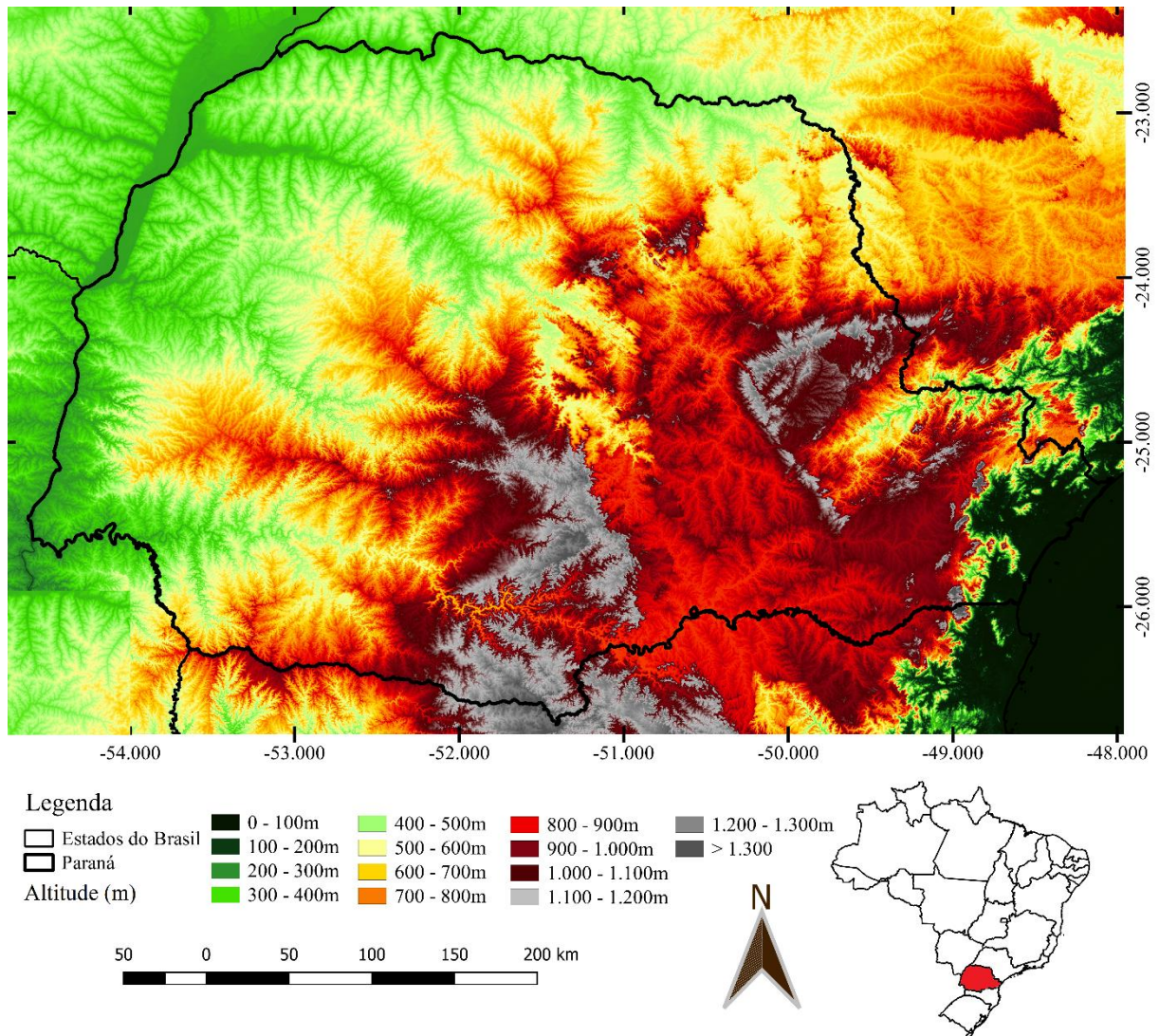
Na safra 2020/2021 a produção nacional de feijão foi de 2,86 milhões de toneladas. O Estado do Paraná liderou a produção nacional com 18,1% do total produzido (CONAB, 2021). Dessa forma, o objetivo deste trabalho, foi averiguar tendências climáticas realizar o zoneamento de risco agroclimático para o cultivo do feijoeiro no estado do Paraná sob diferentes cenários de mudanças climáticas.

## **4.3 MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.3.1 Área de Estudo**

O estado do Paraná possui uma importante área de produção agrícola para o cenário nacional e internacional (LIMA et al., 2006), demonstrando a importância de estudos de zoneamento de risco agroclimático para suas principais culturas. A região, conforme classificação climática de Köppen, possui grande parte de sua área com clima “Cfa” (subtropical, sem estação seca e verão quente), compreendendo áreas nas regiões norte, oeste, sudoeste e litoral. Enquanto nas porções sul, centro-sul e sudeste predomina o clima “Cfb” (subtropical, sem estação seca e verão fresco) (NITSCHKE et al., 2019). O relevo do Paraná possui variação de 0 m no litoral 1.877m no Pico Paraná (Figura 4.1).

**Figura 4.1:** Relevo do estado do Paraná



#### 4.3.2 Dados Climáticos

Para os parâmetros de risco climático foram obtidos dados de estações meteorológicas (Figura 4.2 e Tabela 4.1) e pluviométricas distribuídas no estado do Paraná. Esta base de dados compreende 39 estações do Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná (SIMEPAR) (2000-2021), 33 estações meteorológicas do Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná (IDR) e 401 estações pluviométricas da Agência Nacional de Águas (ANA) (1976-2021). Para a análise da tendência utilizou-se dados de 33 estações meteorológicas do IDR (Tabela 01).

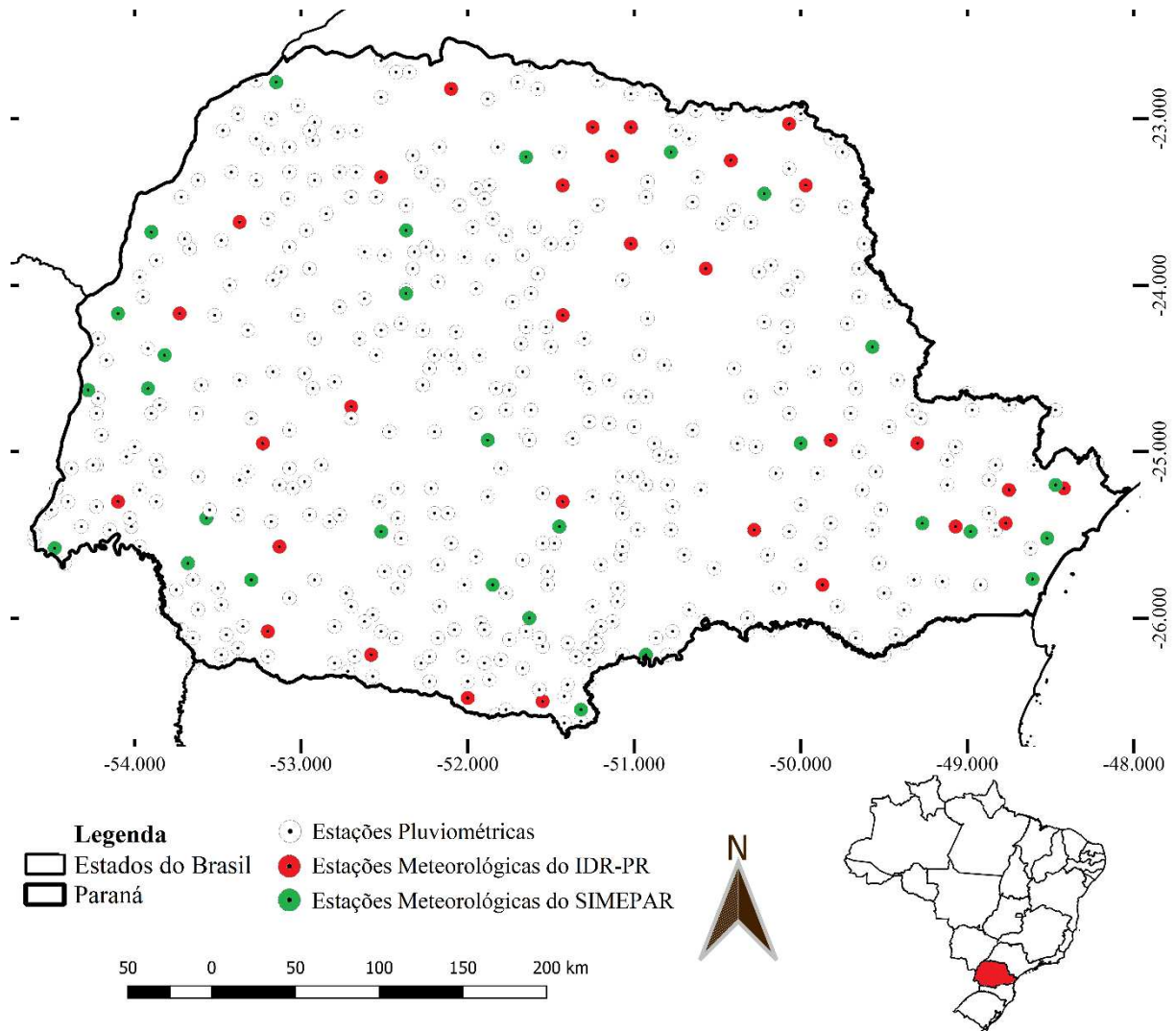
**Tabela 4.1:** Informações das estações meteorológicas utilizadas

<b>Estação</b>	<b>Estação Meteorológica (Município)</b>	<b>Lat</b>	<b>Long</b>	<b>Altitude</b>	<b>Funcionamento</b>
2251027	Bela Vista do Paraíso	-23,02	-51,22	571	1972/2015
2349030	Joaquim Távora	-23,51	-49,95	512	1972/2015
2350017	Cambará*	-23	-50,04	450	1957/2021
2350018	Bandeirantes	-23,11	-50,36	440	1976/2019
2351003	Londrina*	-23,36	-51,16	585	1976/2019
2351008	Apucarana*	-23,52	-51,53	746	1962/2021
2351011	Ibiporã	-23,27	-51,03	484	1973/2014
2351063	Mauá da Serra	-23,88	-51,21	1.020	1979/1991
2352017	Paranavaí	-23,1	-52,44	480	1975/2020
2352019	Cianorte*	-23,66	-52,56	530	1972/2021
2353008	Umuarama	-23,73	-53,31	480	1972/2020
2449013	Cerro Azul*	-24,83	-49,26	360	1972/1921
2450011	Telêmaco Borba*	-24,3	-50,6	768	1977/2021
2451052	Cândido de Abreu*	-24,63	-51,24	629	1989/2021
2452050	Nova Cantu	-24,68	-52,57	540	1976/2013
2453003	Palotina*	-24,31	-53,90	310	1973/2021
2453023	Cascavel*	-24,88	-53,55	660	1973/2021
2548038	Morretes	-25,51	-48,81	59	1966/2015
2548039	Guaraqueçaba*	-25,24	-48,52	40	1978/2021
2548070	Antonina*	-25,24	-48,75	60	1978/2021
2549041	Pinhais*	-25,39	-49,13	930	1970/2021
2549091	Lapa*	-25,78	-49,76	910	1989/2021
2550024	Ponta Grossa*	-25,12	-50,08	880	1954/2021
2550025	Fernandes Pinheiro	-25,44	-50,6	893	1963/2019
2551010	Guarapuava	-25,38	-51,49	1.058	1976/2019
2552009	Laranjeiras do Sul*	-25,43	-52,41	880	1974/2021
2553015	Planalto*	-25,72	-53,75	400	1975/2021
2553018	Quedas do Iguaçu*	-25,52	-53,03	513	1973/2021
2554026	São Miguel do Iguaçu*	-25,35	-54,25	284	1983/2021
2651043	Palmas*	-26,47	-51,97	1.100	1979/2021
2652003	Clevelândia	-26,42	-52,34	930	1973/2012
2652035	Pato Branco*	-26,12	-52,65	700	1979/2021
2653012	Francisco Beltrão	-26,08	-53,06	650	1974/2020

\*Dados completados com as estações meteorológicas do SIMEPAR

Org: Autores (2022)

**Figura 4.2:** Estações Meteorológicas e Pluviométricas no Estado do Paraná



#### 4.3.3 Análise estatística e parâmetros de risco para elaboração do zoneamento

Com base nos parâmetros do zoneamento previamente elaborado para a atualidade, utilizou-se as variáveis de temperatura do ar para aplicar os testes de tendência. Para o feijoeiro os parâmetros térmicos de risco foram:

*Temperatura do ar:* foram utilizados dados meteorológicos das séries históricas de temperatura do ar média a cada 15 minutos observadas no interior de abrigos meteorológicos para estimar a temperatura média anual. A aptidão foi determinada em:

*Temperatura média anual:* Entre 17 e 27°C (GONZAGA et al., 2014).

*Temperatura média máxima anual:* Inferior a 28°C (GONZAGA et al., 2014).

*Probabilidade de ocorrência de temperaturas superiores a 32°C* – foi estimada a ocorrência três dias antes do florescimento até a floração plena (CARAMORI et al., 2001). Dessa forma, após encaixar a semeadura em período sem déficit hídrico, calcula-se o ciclo e recomenda-se esta data, apenas se o risco de ocorrência de temperaturas superiores a 32°C for inferior a 20%.

*Temperatura máxima diária:* Foi estimada a ocorrência de temperaturas máximas superiores a 32°C em menos de 20% dos dias dos meses (CAMPOS et al., 2010).

*Risco de geadas:* foram utilizados dados de temperatura do ar mínima das séries históricas das estações meteorológicas. Considerou-se como crítica as temperaturas mínimas iguais ou inferiores a 2°C (VIEIRA JUNIOR et al., 2018), observadas no interior do abrigo meteorológico para calcular os riscos de geadas. Foram calculadas as probabilidades de ocorrência e correlacionadas com altitude e latitude, obtendo-se uma equação de regressão para o risco de geadas para a criação de mapas com os dados regionalizados. Utilizando as regressões ajustadas foi estimado como alto risco valores superior a 20% durante o ciclo (CAMPOS et al., 2010).

#### 4.3.4 Elaboração cartográfica e Análises estatísticas

Para especializar os dados de temperatura do ar máxima e mínima foi utilizado a base do SRTM - *Shuttle Radar Topography Mission* para aplicar os valores meteorológicos nos mapas utilizando os fatores geográficos do relevo e altitude na escala de 30 m. Esses fatores são utilizados, visto a influência sobre a temperatura do ar. Esse método é necessário para espacializar e regionalizar, com maior precisão, os dados para áreas que não possuem dados de temperatura.

Para a espacialização dos dados de temperatura do ar média e geada os valores medidos nas estações meteorológicas foram ajustados a equações de regressão linear múltipla, articulando os valores das estações meteorológicas com os fatores geográficos de altitude, latitude e longitude, obtendo-se equações de estimativa do tipo:

$$y = a + b.lat + c.long + d.alt$$

em que *a, b, c e d* são coeficientes da regressão. Essa fórmula é aplicada no software de geoprocessamento Arcgis sobre o arquivo do SRTM, possibilitando gerar mapas com resolução espacial de 30 m.

O método utilizado para a probabilidade de geada foi baseado nas séries históricas de temperatura do ar mínima registrada dentro do abrigo meteorológico. Foram determinadas as probabilidades de ocorrerem valores iguais ou inferiores a 2,0°C e posteriormente ajustadas também à regressão linear múltipla para a regionalização dos dados.

Foi estimado a ocorrência da primeira geada (outono) à última/tardia (primavera). O método consiste em identificar a geada ao nível da superfície do solo, quando a temperatura do ar mínima de abrigo for igual ou inferior a 2,0°C (SENTELHAS et al., 1995). Assim, analisando-se a série de dados de cada estação, sempre que a temperatura de um dia for

inferior ou igual a uma dessas temperaturas é associado o valor “1” e em caso contrário era atribuído o valor “0”. Em seguida são calculadas as probabilidades de ocorrer pelo menos uma geada por decêndio (WREGE et al. 2004).

Adotando-se este procedimento, se dentro de um dado decêndio houvesse uma ou mais geadas, aquele decêndio era computado como “1”, independentemente do número de vezes nos quais a geada ocorreu, caso contrário, era computado “0”. Com base nas sequências de “0” e “1” de toda a série histórica de cada estação, calculou-se a frequência acumulada de geadas ao longo do ano para cada estação. A data em que se acumulou 5% de probabilidade em cada uma das estações foi assumida como a primeira geada de outono, contando-se do início para o final do ano. A última geada de primavera também foi determinada para uma frequência acumulada de 5% de probabilidade, mas realizando-se os cálculos partindo-se do final para o início do ano (WREGE et al. 2004). Os dados foram interpolados utilizando a regressão de temperatura do ar já descrita.

Além disso, para cada estação meteorológica, foram calculadas as frequências relativas de ocorrência de temperaturas abaixo desse limite por decêndio, as quais foram correlacionadas com altitude e latitude, obtendo-se regressões lineares múltiplas para cada decêndio, que possibilitaram a espacialização do risco de geadas em função da altitude e latitude local, ao longo do ciclo do feijoeiro. Para regionalizar os dados foi utilizada a base SRTM, e as fórmulas já mencionadas. Sobre esta base, foram aplicadas as equações de regressão de cada decêndio, gerando-se uma malha de valores de risco de geadas, a partir da qual foram traçadas isolinhas de risco com intervalos de 10%. No caso do feijão das águas, o risco de geada no início do ciclo foi utilizado como critério indicador do início do período de semeadura. Para o feijão da seca e de outono-inverno, considerou-se o risco de ocorrência de geadas no período anterior à maturação dos grãos para restrição de regiões e épocas de semeadura (CARAMORI et al., 2001).

Para a estimativa da frequência de temperaturas máximas superiores a 32°C, calculou-se as frequências relativas de ocorrência dessas temperaturas para períodos de dez dias ao longo do ano, analisando-se períodos móveis, com passo um, ou seja, partindo-se de janeiro, calculou-se o risco entre os dias 1 a 10, 2 a 11, 3 a 12, etc., até 31 de dezembro. A partir da época de semeadura recomendada, calculou-se o período provável de floração e verificou-se a probabilidade de ocorrerem temperaturas acima de 32°C (CARAMORI et al., 2001). O procedimento de mapeamento foi o mesmo citado para geadas. Foram considerados aptos por este fator, aqueles decêndios que apresentaram risco inferior a 20% de ocorrência de temperaturas acima de 32°C no período crítico (GONÇALVES et al., 1997).

#### 4.3.6 Testes de Tendência

Com o intuito de conferir a significância da tendência existente em séries temporais, amplos estudos utilizam testes de hipóteses para verificar estatisticamente a significância de variáveis climáticas, como o teste paramétrico t-student (KLEIN TANK e KÖNNEN, 2003; VALDES-ABELAN et al., 2017;), indicado para uso de variáveis que apresentam distribuição normal ou amostras acima de 30 (STOWELL e PACE, 2014); e o teste não paramétrico de Mann-Kendall (GOCIC, 2013; BASARIR et al., 2017; ALI et al., 2019; PIRNIA et al., 2019; ASHRAF et al., 2020).

Testes de hipótese foram aplicados para verificar a significância da tendência determinada pela regressão linear simples. Foram escolhidos o teste t-student e o teste de Mann-Kendall para análise da significância estatística da tendência (b), sendo posteriormente espacializados.

Para a realização dos dois testes foi determinado a hipótese nula ( $H_0$ ): não há tendência linear ( $b=0$ ); e hipótese alternativa ( $H_1$ ): há tendência linear, seja positiva ou negativa ( $b \neq 0$ ). A realização da estatística t aplicada a regressão linear simples foi definida a partir das equações (GHAHRAMAN, 2006):

$$t = \frac{b}{S_b}$$

Em que  $b$  é o coeficiente angular obtido na regressão linear simples;  $t$  é o termo a ser comparado na tabela t-student; e  $S_b$  é o desvio padrão dos dados:

$$S^2 = \frac{\sum_i^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n - 2}$$

Sendo  $\hat{y}_i$  a i-ésima estimativa da variável dependente na reta de regressão linear. De acordo com o resultado de  $t$ , quando  $|t| > t_{\alpha/2}$  (i.e.  $t_{\alpha/2}$  da tabela t-student), considerando previamente nível de significância de 5% ( $\alpha=0,05$ ) aplicado neste estudo, há evidências para rejeição da hipótese nula e confirmação da hipótese alternativa (GHAHRAMAN, 2006). Os testes e operações estatísticas foram realizados por meio do *software R*.

O teste de Mann-Kendall foi determinado pelas Eq. 03a, 03b, 03c e 03d (YILMAZ, 2019).

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{Sinal}(y_j - y_k)$$

Em que  $y_j$  e  $y_k$  representam observações da variável dependente (Precipitação) observada nas datas  $j$  e  $k$  – sendo  $j > k$  – da variável independente (Anos);  $n$  é o número de observações; e *sinal* é uma função dada por:

$$\text{sinal}(y_j - y_k) = \begin{cases} +1 & \text{se } (y_j - y_k) > 0 \\ 0 & \text{se } (y_j - y_k) = 0 \\ -1 & \text{se } (y_j - y_k) < 0 \end{cases}$$

A observação da variável dependente  $y_k$  na data da variável independente  $k$  é dada como referência e logo comparada com todas outras observações em  $y_j$ , de modo a atribuir os valores na função *sinal* supracitada (CHEN, et al. 2006). Se o tamanho amostral possuir 10 observações ou mais ( $n \geq 10$ ), é esperado uma distribuição normal tal que  $\mu=0$  (CHEN, 2006; TOSUNOGLU e KISI, 2016; ASHRAF et al., 2020;) e variância de  $VAR(S)$  dada por (Hamed, 2008):

$$VAR(S) = [n(n-1)(2n+5)]/18$$

Se há observações repetidas nos dados,  $VAR(S)$  é corrigida e determinada por:

$$VAR(S) = \left[ n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5) \right] / 18$$

Onde  $n$  é o número de observações;  $m$  o número de grupos com observações repetidas; e  $t_i$  é o número de dados no  $i$ -ésimo grupo. A partir disso, com  $S$  e  $VAR(S)$ ,  $Z$  pode ser calculado como:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{VAR(S)}}, & \text{se } S > 0 \\ 0, & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{VAR(S)}}, & \text{se } S < 0 \end{cases}$$

De acordo com o resultado, se  $|Z| > Z_{1-\alpha/2}$  (i.e.  $Z_{1-\alpha/2}$  da tabela de distribuição normal) há tendência monotônica estatisticamente significativa, considerando nível de confiança de 95% ( $\alpha=0,05$ ). Na estatística  $S$ , quando  $Z$  é positivo indica tendência da variável

analisada em ascensão, e se negativo apresenta declínio na tendência (TOSUNOGLO e KISI, 2016).

#### **4.3.7 Zoneamento de Risco Agroclimático**

Para realizar o zoneamento de risco agroclimático para a cultura do feijão no Paraná, foram utilizadas as projeções do IPCC para cenários futuros (IPCC, 2014), considerando acréscimos lineares de 1,7, 2,6, 3,1 e 4,8°C. Foram utilizados dados de 35 estações meteorológicas do IDR-PR e SIMEPAR, com recorte temporal de 1950 a 2022, variando conforme o tempo de funcionamento da estação (Tabela 4.1). As estações meteorológicas do IDR-PR que encerraram o funcionamento após os anos 2000, completou-se os dados com a estação do SIMEPAR instalada no mesmo município e/ou área da anterior. A aplicação dos parâmetros segue os testes de tendência e ruptura calculados previamente.

Os estudos de impactos do zoneamento de risco agroclimático para a cultura do feijão seguem os zoneamentos elaborados pelo mesmo autor e por Caramori et al., (2001) e que vem sendo utilizado para orientar o cultivo. Como no presente estudo o foco é no aquecimento derivado das mudanças climáticas, utilizou-se a temperatura do ar média anual crítica, as temperaturas máximas, precipitação e as respostas da combinação das três no balanço hídrico para determinar áreas aptas e inaptas para o cultivo.

No software Arcgis, para a criação dos mapas temáticos e dos mapas finais do zoneamento, primeiramente os valores numéricos das estações meteorológicas são transformados em pontos conforme as coordenadas geográficas das estações. Após a espacialização dos dados, foram utilizadas as informações edafoclimáticas do feijoeiro. Foi realizado a delimitação das faixas representativas das exigências climáticas do feijão. Dessa forma, são substituídos os valores das estações por "1. Apto" ou "2. Restrito" conforme as exigências fisiológicas para cada variável meteorológica analisada.

Com exceção do fator geada, que foi considerado restritivo ao cultivo, os resultados obtidos de cada um dos outros fatores de risco foram compatibilizados de forma que sua combinação resultasse no menor risco possível para a cultura. Os diversos fatores de risco foram sobrepostos espacialmente, de maneira a se identificar regiões homogêneas com épocas de semeadura de menor risco de perda por fatores climáticos (CARAMORI et al., 2001).

O próximo passo consiste na combinação das imagens matriciais. Para cada pixel são atribuídos os valores "1" ou "2", como já destacado. Se a combinação para um ponto for preenchida apenas por valores "1" a região será classificada como apta. Se tiver um valor

"2" será restrita por determinada variável. Se forem registrados dois ou mais valores "2" o local será classificado como inapto.

Em seguida, é realizado a uniformização dos pixels por classificações por meio da dissolução das classes vetoriais. Dessa forma, as classes do zoneamento de risco agroclimático são agrupadas, criando assim, uma regionalização da aptidão para o feijão. O mapa final do zoneamento de risco agroclimático da cultura fornecerá estimativa da área representativa de cada classe de risco, garantindo a sua aptidão ou não para o local e a data de semeadura.

## **4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.4.1 Variabilidade térmica**

Altas temperaturas são um dos principais parâmetros de risco para o sucesso no cultivo do feijão (CARAMORI et al., 2001). Temperaturas do ar superiores a 32°C poderão provocar perdas de produtividade, principalmente se a cultura estiver sob suprimento de água limitado. A média das máximas anuais deva ser inferior a 28°C (SANTOS et al., 2018).

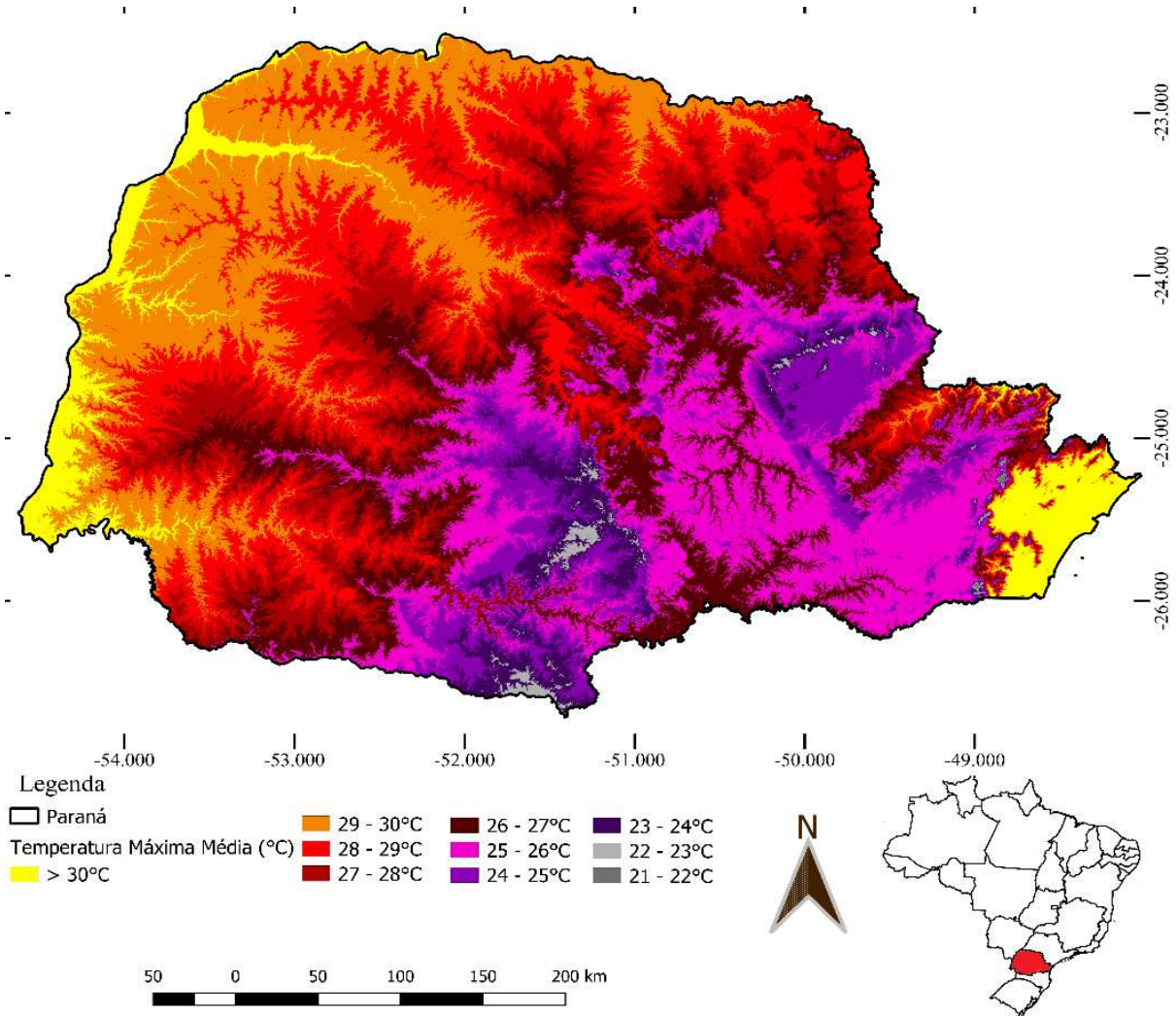
O período crítico para essas temperaturas, ocorre principalmente, três dias antes da abertura da primeira flor até a floração plena, aproximadamente 37 a 52 dias após a emergência (DICKSON & PETZOLDT, 1989; CARAMORI et al., 2001). Dessa forma, estimou-se a temperatura máxima média do ar no Paraná, para averiguar como esse parâmetro meteorológico responderá as mudanças climáticas e quais impactos podem causar a cultura do feijoeiro. Portanto deve-se adequar o ciclo do feijoeiro para que nestes dias não haja risco de temperaturas do ar superiores a 32°C.

Identificou-se pelas temperaturas médias das máximas para atualidade (Figura 4.3) que as faixas em amarelo do mapa, localizadas nos vales dos Rios Ivaí, Paraná e Paranapanema, além do litoral paranaense (altitudes de 100-300 m – Figura 4.1), apresentaram temperaturas máximas superiores a 29°C. Pela frequência, nessas regiões deve-se ajustar o período de semeadura e o ciclo do feijão de maneira que evite longos períodos com temperaturas elevadas. Essas áreas já apresentaram restrições para o cultivo devido à alta frequência de temperaturas máximas elevadas. Com as mudanças climáticas, o aumento de intensidade e frequência das temperaturas máximas pode comprometer o cultivo nessas áreas.

As menores temperaturas do ar foram identificadas nas áreas serranas, com médias de 21°C. No extremo Sul, Leste, e Centro-Occidental e Oriental, os valores são amenos,

com média das máximas variando de 22 a 26°C. Enquanto no Norte e Oeste do Estado, temperaturas elevadas podem acontecer com maior frequência, apresentando médias de 26 a 28°C.

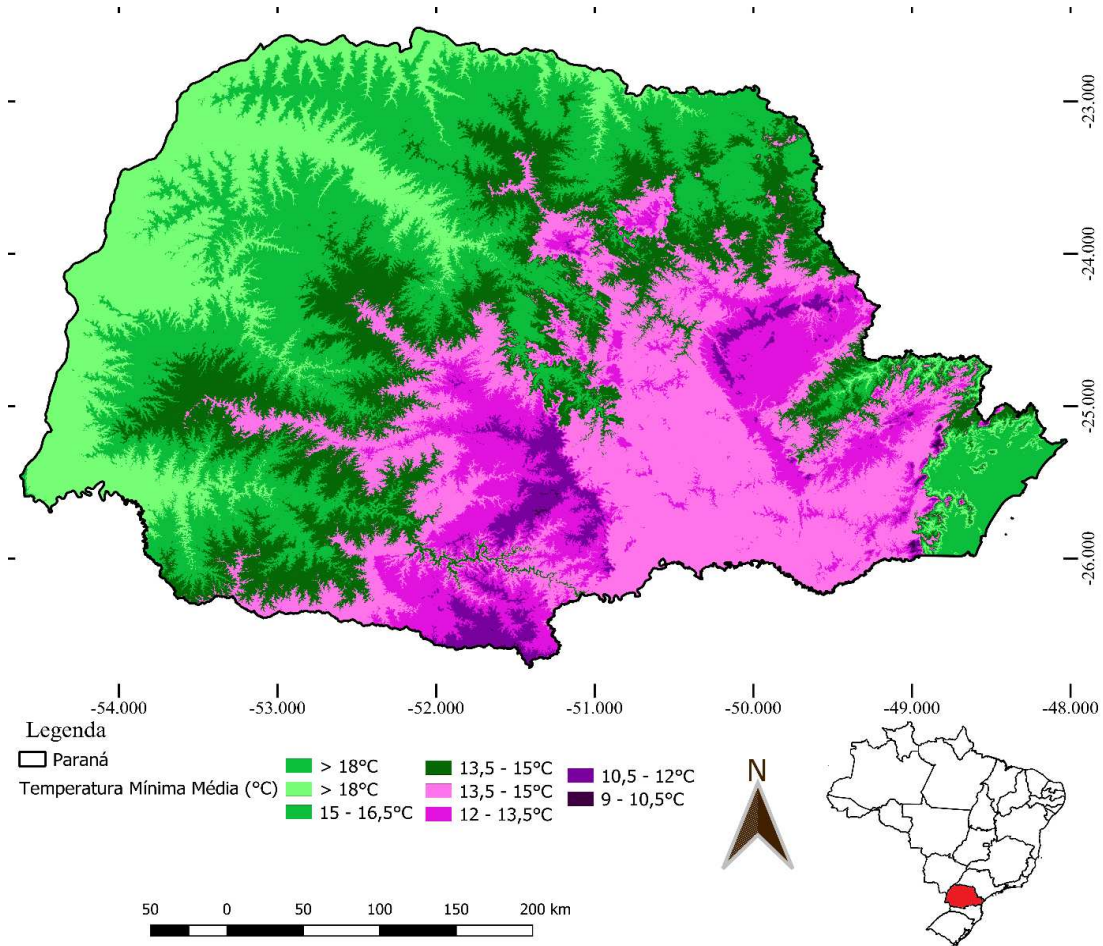
**Figura 4.3:** Temperatura do ar máxima média no Paraná (1976-2021)



Assim como a análise das temperaturas máximas, o estudo das mínimas é importante, principalmente devido ao risco de geadas, visto que o feijoeiro não tolera geadas durante o ciclo de desenvolvimento, sendo assim um dos principais fatores restritivos ao seu cultivo. Dessa forma, não se deve haver risco de geadas durante os 90 dias do ciclo do feijoeiro (CARAMORI et al., 2001). O aumento das temperaturas mínimas com as mudanças climáticas foi identificado em vários trabalhos (SILVA e GUETTER, 2003; SILVA e AZEVEDO, 2008; BACK et al., 2013; Goss et al., 2020). Esse aumento das temperaturas mínimas pode diminuir o período anual de risco de geadas e prolongar a janela de semeadura durante o outono e início do inverno, em algumas áreas.

Dessa forma, a temperatura média das mínimas pela série histórica (Figura 4.4) apresenta médias maiores nas áreas mais quentes do estado, com valores entre 15 e 18°C nas regiões norte, oeste e litorânea.

**Figura 4.4:** Temperatura do ar mínima média no Paraná (1976-2021)



As áreas do mapa em tons de rosa e roxo são as mais frias do estado e com risco anual de geada elevado. As temperaturas médias mínimas do ar são inferiores a 15°C, podendo atingir médias de 9°C em áreas serranas e alta frequência de geada. O aumento de temperatura do ar pode diminuir esse risco elevado. Atualmente, o risco de geada é presente, nessas áreas, desde o mês de abril até final de setembro (DOMINONI et al., 2021).

#### 4.4.2 Testes de tendência

Previamente à aplicação dos parâmetros do IPCC no zoneamento, utilizou-se testes de tendência para verificar por meio da série histórico impacto das mudanças climáticas regionais no Paraná, utilizou-se diversas aplicações estatísticas de tendência (Tabela 4.2). Identificou-se ao observar o comportamento das séries temporais de temperatura máxima mensal que houve tendência ao aumento e, em alguns casos, redução da temperatura ao longo

dos meses. Em 30 das 33 estações, o coeficiente de  $\tau$  e o Z do teste de Mann-Kendal apresentaram resultados positivos, repercutindo na evidência maioritária de aumento da temperatura máxima em mais de 90% das estações meteorológicas.

**Tabela 4.2:** Valores das estatísticas de tendências de temperatura máximas para estações meteorológicas do Paraná

Estação	Mann-Kendall				Curvatura de Sen				Pettit		
	$\tau$	p-valor	Sinal	Slope	$NC_i$	$NC_c$	p-valor	Mês/ano	p-valor		
Bela Vista P.	0,1373	0,0000	***	+	0,0036	0,0020	0,0052	0,0000	***	1998-04	0,0003
Joaquim T.	-0,0001	0,9969		-	0,0000	-0,0015	0,0015	0,9969		1985-11	1,0000
Cambará	0,0815	0,0124	**	+	0,0025	0,0005	0,0044	0,0124	**	2007-01	0,0681
Bandeirantes	0,1094	0,0002	***	+	0,0028	0,0013	0,0041	0,0002	***	2000-06	0,0021
Londrina	0,1245	0,0000	***	+	0,0031	0,0017	0,0046	0,0000	***	1994-06	0,0000
Apucarana	0,0622	0,0973	*	+	0,0019	0	0,0045	0,0973	*	2001-08	0,3536
Ibiporã	0,0859	0,0055	***	+	0,0024	0,0007	0,0041	0,0055	***	2000-01	0,0050
Mauá da Serra	-0,0001	0,9989		-	0,0000	-0,0080	0,0075	0,9989		2012-06	0,4732
Paranavaí	0,1230	0,0000	***	+	0,0029	0,0015	0,0042	0,0000	***	1999-07	0,0002
Cianorte	0,0649	0,0890	*	+	0,0023	0	0,0049	0,0890	*	2012-03	0,0826
Umuarama	0,2305	0,0000	***	+	0,0055	0,0042	0,0068	0,0000	***	1999-07	0,0000
Cerro Azul	0,0277	0,5025		+	0,0013	-0,0031	0,0063	0,5025		2008-05	1,0000
Telêmaco B.	0,0347	0,2575		+	0,0009	-0,0006	0,0026	0,2575		1997-05	0,1943
Cândido de A.	0,0173	0,7734		+	0,0013	-0,0097	0,0142	0,7734		2019-04	1,0000
Nova Cantu	0,0421	0,1850		+	0,0010	0	0,0029	0,1850		1997-09	0,2410
Palotina	0,0527	0,1054		+	0,0013	0	0,0031	0,1054		2011-08	0,2188
Cascavel	0,0730	0,0719	*	+	0,0033	0	0,0071	0,0719	*	2012-08	0,1253
Morretes	0,0602	0,0499	**	+	0,0021	0	0,0043	0,0499	**	1995-09	0,1452
Guaraqueçaba	0,0796	0,0115	**	+	0,0028	0,0003	0,0051	0,0115	**	1996-08	0,0154
Antonina	0,0292	0,4785		+	0,0019	-0,0033	0,0074	0,4785		2012-06	0,6154
Pinhais	0,0413	0,3126		+	0,0019	-0,0018	0,0058	0,3126		2007-12	0,5254
Lapa	0,0048	0,8941		+	0,0000	-0,0024	0,0028	0,8941		2010-02	1,0000
Ponta Grossa	0,0450	0,2354		+	0,0017	-0,0010	0,0047	0,2354		2004-02	0,4790
Fernandes P.	0,1255	0,0000	***	+	0,0031	0,0017	0,0045	0,0000	***	2002-04	0,0006
Guarapuava	0,0233	0,4279		+	0,0003	-0,0007	0,0018	0,4279		2016-05	0,8576
Laranjeiras	0,0352	0,3008		+	0,0010	-0,0009	0,0030	0,3008		2005-09	0,6007
Planalto	0,0069	0,8224		+	0,0000	-0,0015	0,0019	0,8224		2007-08	0,9592
Quedas Iguaçu	-0,0221	0,5828		-	0,0000	-0,0045	0,0023	0,5828		2010-04	1,0000
São M. Iguaçu	-0,0168	0,7381		-	-0,0011	-0,0083	0,0067	0,7381		2009-04	1,0000
Palmas	0,0194	0,5301		+	0,0003	-0,0011	0,0020	0,5301		2004-01	0,7369
Clevelândia	0,0508	0,1121		+	0,0014	0	0,0032	0,1121		2006-08	0,1768
Pato Branco	0,0261	0,4090		+	0,0006	-0,0009	0,0024	0,4090		2005-08	0,5759
F. Beltrão	0,0717	0,0135	**	+	0,0020	0	0,0035	0,0135	**	1990-09	0,0273

\* estatisticamente significante a 0,01; \*\* estatisticamente significante a 0,05; \*\*\* estatisticamente significante a 0,1

Org: autor (2022)

Os maiores valores encontrados para o índice foram nas regiões ao norte e noroeste, nas estações Umuarama (0,2304) e Bela Vista do Paraíso (0,1372), estatisticamente

significantes a 99% de confiança; e nas porções a leste, em Teixeira Soares (0,1254) – com tendência aceita no teste de hipótese em  $\alpha$  a 0.01. Enquanto as menores tendências foram visualizadas no extremo sudoeste, nas localidades de Quedas do Iguaçu (-0,0221) e São Miguel do Iguaçu (-0,0167); e extremo noroeste, em Joaquim Távora (-0,0001). De modo geral, estações localizadas ao norte e nordeste do estado apresentaram maiores correlações mensais e áreas ao sul e leste se mostraram em menor correlação – mas ainda predominantemente positiva.

Aplicando o teste de Mann-Kendal para análise da significância estatística da tendência, foi identificado, em diferentes níveis de significância estatística ( $\alpha$ ), a rejeição da hipótese nula ( $H_0$ , i.e. não há tendência linear) em favor da hipótese alternativa ( $H_1$ , i.e. há tendência linear monotônica nos dados) em 14 das 33 estações meteorológicas (42%).

Destaca-se a existência de tendência monotônica estatisticamente significativa a 95% de confiança, em Cambará, Morretes, Guaraqueçaba e Francisco Beltrão. Enquanto as que apresentaram os melhores resultados a 99% de confiança foram os municípios de Bela Vista do Paraíso, Bandeirantes, Londrina, Ibiporã, Paranavaí, Umuarama e Teixeira Soares. Nos casos citados, o valor identificado em  $Z$  do teste de Mann-Kendal e expresso no  $p$ -valor elucidam a confirmação da tendência em adequado nível de confiança, nesta circunstância todos tendem a aumentar a temperatura do ar máxima ao longo dos meses.

Mesmo com a identificação da tendência nas séries temporais e a confirmação da significância estatística, se torna necessário compreender a magnitude do aumento da temperatura máxima nestas localidades. As estações anteriormente citadas com maior índice  $\tau$  também apresentaram o mesmo comportamento para o Sen's slope, indicando crescimento mensal de  $0,0031^\circ\text{C m\text{ê}s}^{-1}$  (Teixeira Soares) a  $0,0054^\circ\text{C m\text{ê}s}^{-1}$  (Umuarama), estatisticamente significativa. Além disso, Cascavel ( $0,0033^\circ\text{C m\text{ê}s}^{-1}$ ) e Londrina ( $0,0031^\circ\text{C m\text{ê}s}^{-1}$ ) também se destacam por apresentarem curvatura elevada e estatisticamente significativa. Portanto, considerando o município de Umuarama, em uma década é esperado o aumento em  $0,648^\circ\text{C}$  na temperatura máxima com intervalo de predição entre  $0,492^\circ\text{C}$  e  $0,804^\circ\text{C}$ .

A significância estatística do Sen's slope seguem os mesmos resultados indicados para o teste de tendência monotônica de Mann-Kendall.

A análise do teste de Pettit, que busca analisar possíveis rupturas nas séries temporais, indicou mudança de temperatura do ar em anos concentrados nas décadas de 1990 e 2000. Foram 24% estações com rupturas nos anos 1990 e 45% na década de 2000. Destaca-se

que as localidades estatisticamente significantes em alfa a 0,01 indicaram ruptura entre 1998 e 2002 e nos meses de outono/inverno, com exceção de Londrina (em 1994).

Enquanto para os testes de tendência da temperatura mínima (Tabela 4.3), identificou-se que de modo semelhante ao comportamento das tendências da temperatura máxima, essa também registrou indicativos predominantes de aumento.

**Tabela 4.3:** Valores das estatísticas de tendências de temperatura mínimas para estações meteorológicas do Paraná

Estação	Mann-Kendall		Curvatura de Sen				Pettit	
	$\tau$	p-valor	Slope	$NC_i$	$NC_c$	p-valor	Mês/ano	p-valor
Bela Vista P.	0,0568	0,0635 *	0,0027	0,0000	0,0056	0,0635 *	1996-06	0,4172
Joaquim T.	0,0330	0,2801	0,0019	-0,0015	0,0053	0,2801	2011-05	1,0000
Cambará	0,0309	0,3417	0,0019	-0,0021	0,0061	0,3417	2001-02	1,0000
Bandeirantes	0,0425	0,1455	0,0020	-0,0007	0,0048	0,1455	1991-08	0,5719
Londrina	0,0617	0,0344 **	0,0029	0,0000	0,0057	0,0344 **	1995-08	0,2079
Apucarana	0,0522	0,1622	0,0039	-0,0014	0,0095	0,1622	2009-08	0,5949
Ibiporã	0,0276	0,3709	0,0014	-0,0017	0,0046	0,3709	2000-03	1,0000
Mauá da Serra	0,0278	0,5991	0,0041	-0,0114	0,0207	0,5991	2010-06	0,4462
Paranavaí	0,0406	0,1594	0,0020	-0,0008	0,0049	0,1594	1994-09	0,5370
Cianorte	0,0538	0,1550	0,0046	-0,0017	0,0110	0,1550	2009-05	0,5090
Umuarama	0,0459	0,1119	0,0023	-0,0005	0,0052	0,1119	1994-09	0,5095
Cerro Azul	0,0786	0,0565 *	0,0083	0,0000	0,0167	0,0565 *	2014-06	0,2994
Telêmaco B.	0,0271	0,3732	0,0016	-0,0020	0,0053	0,3732	1981-10	0,4862
Cândido de A.	0,0721	0,2256	0,0141	-0,0102	0,0380	0,2256	2016-05	0,6522
Nova Cantu	0,0375	0,2350	0,0023	-0,0015	0,0064	0,2350	1997-09	0,6990
Palotina	-0,0069	0,8307	-0,0004	-0,0055	0,0044	0,8307	2008-03	1,0000
Cascavel	0,0412	0,3082	0,0042	-0,0040	0,0131	0,3082	2016-08	0,7975
Morretes	0,0668	0,0294 **	0,0033	0,0000	0,0064	0,0294 **	1996-10	0,2276
Guaraqueçaba	0,0489	0,1193	0,0028	-0,0006	0,0063	0,1193	2005-08	0,5449
Antonina	0,0247	0,5488	0,0021	-0,0051	0,0095	0,5488	2012-07	1,0000
Pinhais	0,0520	0,2016	0,0050	-0,0028	0,0133	0,2016	2013-12	0,6059
Lapa	0,0362	0,3122	0,0028	-0,0028	0,0082	0,3122	2003-09	0,8811
Ponta Grossa	0,0385	0,3076	0,0033	-0,0030	0,0098	0,3076	2010-03	0,7928
Fernandes P.	0,0519	0,0744 *	0,0027	0,0000	0,0056	0,0744 *	1997-04	0,5036
Guarapuava	0,0477	0,1016	0,0026	-0,0003	0,0058	0,1016	1995-06	0,4705
Laranjeiras	0,0272	0,4213	0,0018	-0,0028	0,0068	0,4213	2006-11	0,8121
Planalto	0,0023	0,9401	0,0000	-0,0035	0,0039	0,9401	2004-03	1,0000
Quedas Iguaçu	0,0145	0,7173	0,0014	-0,0064	0,0096	0,7173	2010-02	1,0000
São M. Iguaçu	-0,0116	0,8167	-0,0018	-0,0182	0,0145	0,8167	2009-06	1,0000
Palmas	0,0501	0,1035	0,0027	-0,0005	0,0068	0,1035	1997-01	0,3164
Clevelândia	0,0165	0,6036	0,0019	-0,0029	0,0053	0,6036	1998-07	1,0000
Pato Branco	0,0372	0,2376	0,0019	-0,0014	0,0063	0,2376	1998-08	0,6163
F. Beltrão	0,0365	0,2069	0,0020	-0,0010	0,0052	0,2069 *	2013-09	0,8223

\* estatisticamente significativa a 0,01; \*\* estatisticamente significativa a 0,05; \*\*\* estatisticamente significativa a 0,1

Das 33 estações, 2 apresentaram tendência negativa e 31 positiva, sendo que, em ambos os casos, na temperatura máxima e mínima, no município de São Miguel do Iguaçu (sudeste do estado) se manteve negativo.

Todas as estações meteorológicas indicaram valores pequenos para o  $\tau$ , destacando-se os maiores em Cerro Azul (0,0785), Cândido de Abreu (0,0721) e Morretes (0,0668). Além disso, das estações que apresentaram significância estatística para a curvatura de Sen, as de maior destaque para o aumento da temperatura mínima são Cerro Azul com slope de 0,0082, e Morretes com 0,0038, ambas localizados próximo ao litoral. Em outros meios, é esperado aumento de  $0,984^{\circ}\text{C} \text{ [década]}^{-1}$  com intervalo de  $0^{\circ}\text{C}$  a  $2,004^{\circ}\text{C}$ , e  $0,396^{\circ}\text{C} \text{ [década]}^{-1}$  em intervalo de  $0^{\circ}\text{C}$  a  $0,756^{\circ}\text{C}$ , respectivamente.

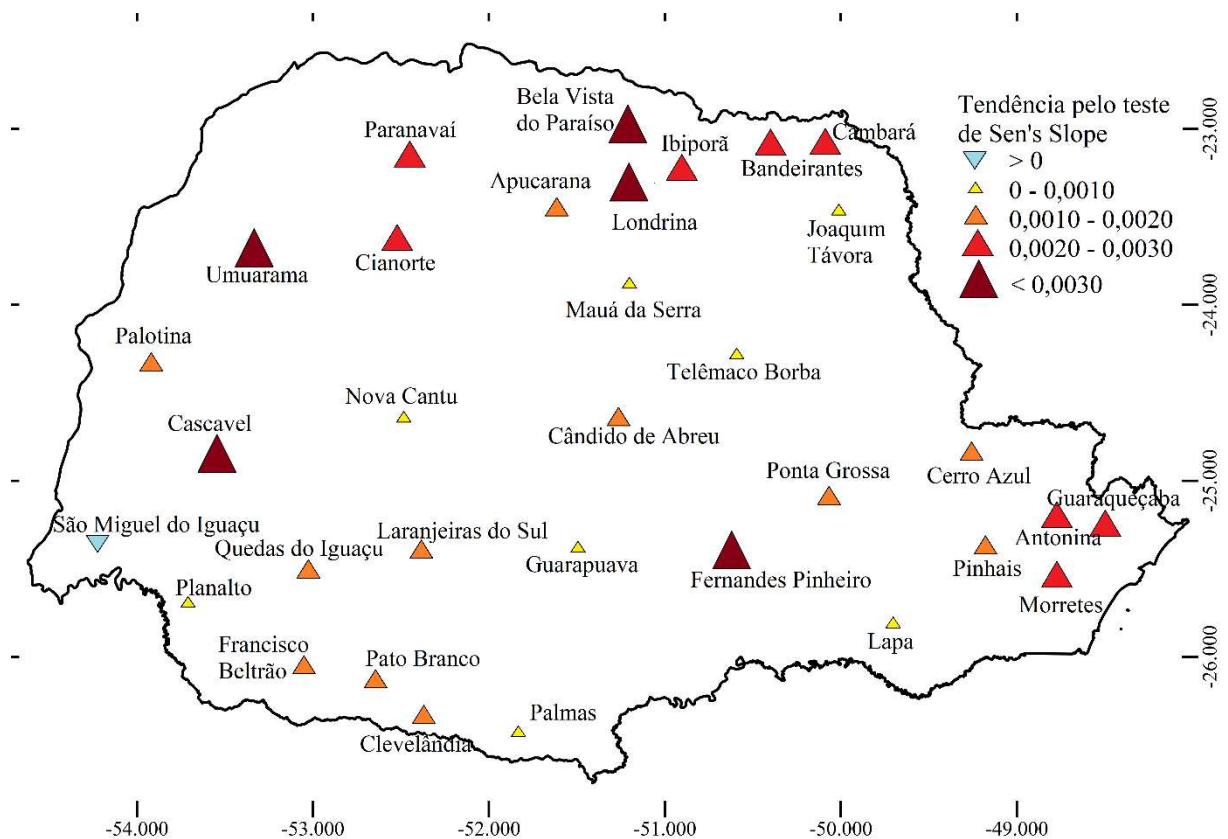
Vale ressaltar que para o Sen's slope o cenário apresenta condições piores para as estações de maior temperatura do ar, como é o caso de Candido de Abreu, com curvatura de  $0,0141^{\circ}\text{C} \text{ mes}^{-1}$ , podendo elucidar que em uma década é esperado o aumento de  $1,69^{\circ}\text{C}$ , com nível de confiança (em alfa de 0,05) entre  $-1,22^{\circ}\text{C}$  e  $4,56^{\circ}\text{C}$ , entretanto, estatisticamente não significativa.

Contrastando com o observado para a temperatura máxima, os anos de ruptura das séries temporais de temperatura mínima das estações apresentaram grande variabilidade. Em 12 (36%) estações houve mudança na década de 1990, 30% na década de 2000 e 27% nos anos 2010. Todavia, em nenhum caso foi determinado significância estatística para os 3 níveis de confiança testados.

Ao observar a distribuição espacial dos dados de tendência de Sen's slope (Figura 4.5) para a temperatura máxima, foi possível identificar padrões regionais. Toda a região Norte e Oeste apresentaram Sen's Slope com tendência positiva e de valores elevados, principalmente em Bela Vista do Paraíso, Londrina, Umuarama e Cascavel. A única estação do Paraná a apresentar valor negativo foi a de São Miguel do Iguaçu, localizada também na região Oeste.

Nas regiões sudoeste e centro paranaense padrões similares também foram identificados, a magnitude dos valores também foi menor, porém, todas apresentaram valores positivos, principalmente na casa dos 0,0010 e 0,0020. Fernandes Pinheiro foi o destaque na região, com valor superior a 0,0030.

**Figura 4.5:** Teste Sen's Slope da temperatura máxima para o Paraná (1976-2021)



Nas regiões litorânea e Metropolitana de Curitiba e distribuição também foi similar. Todas as tendências por sen's slope foram positivas e entre 0,0010 e 0,0030.

Dessa forma, a análise demonstra a importância de se realizar o zoneamento com parâmetros de mudanças climáticas, visto que, com exceção de São Miguel do Iguaçu, todas as estações apresentaram tendência ao aumento de temperatura.

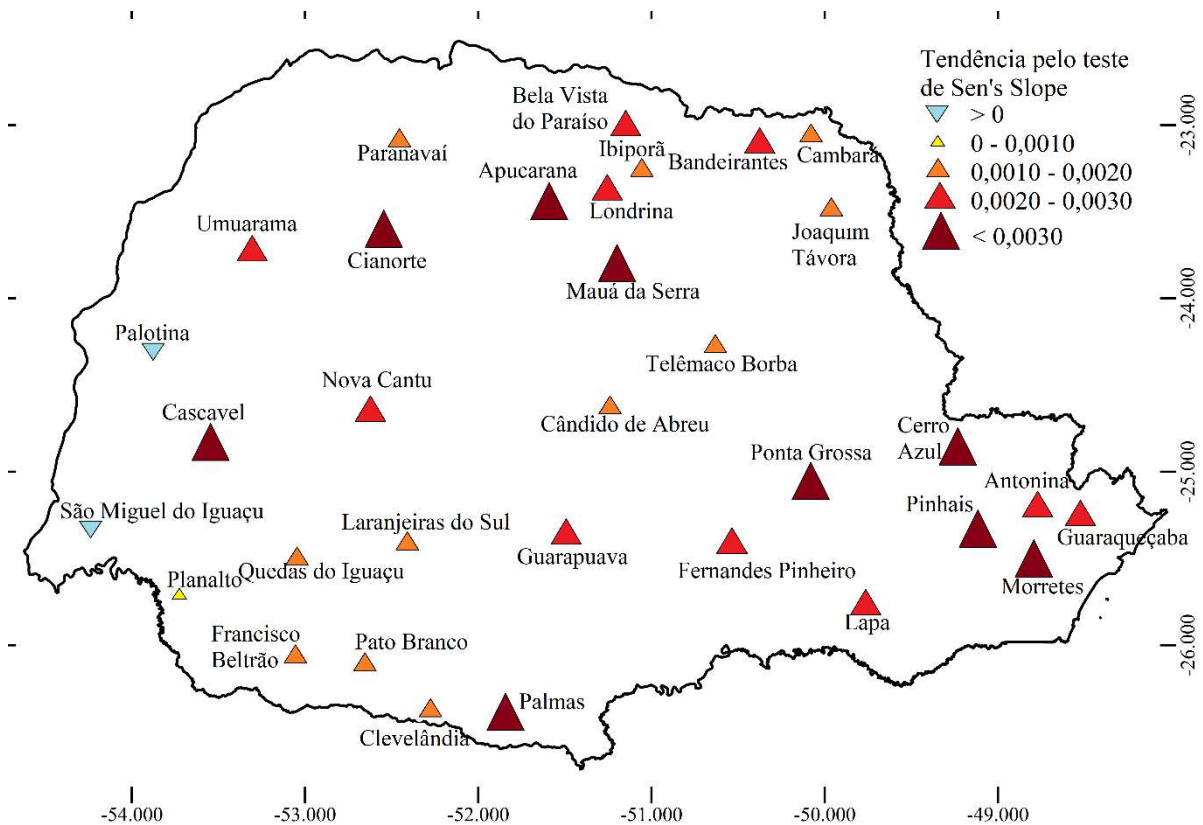
Enquanto para a temperatura mínima, o teste de Sen's Slope apresentou valores ainda maiores (Figura 4.6), em comparação ao teste na temperatura máxima. Foram identificados em cinco estações com aos valores superiores a 0,0030, enquanto para as mínimas foram nove.

A maior concentração foi novamente na região norte, porém a Metropolitana de Curitiba e litoral também apresentou valores altos.

Novamente a estação de São Miguel do Iguaçu apresentou valores negativos, e para as temperaturas mínimas Palotina também registrou. Ambas tiveram a série completada com dados de estações meteorológicas do SIMEPAR. E mesmo as estações sendo instaladas nos mesmos municípios, tiveram sua localização alterada, podendo ser uma das justificativas dos valores negativos.

Outro motivo que pode ter contribuído para o aumento de temperatura no Paraná é o processo de urbanização. Mesmo todas as estações do IDR-PR sendo inseridas na zona rural dos municípios, no decorrer dos 40 anos de observações meteorológicas pode ter havido expansão da área urbana nas proximidades das estações, causando assim, alterações no microclima.

**Figura 4.6:** Teste Sen's Slope da temperatura mínima para o Paraná (1976-2021)



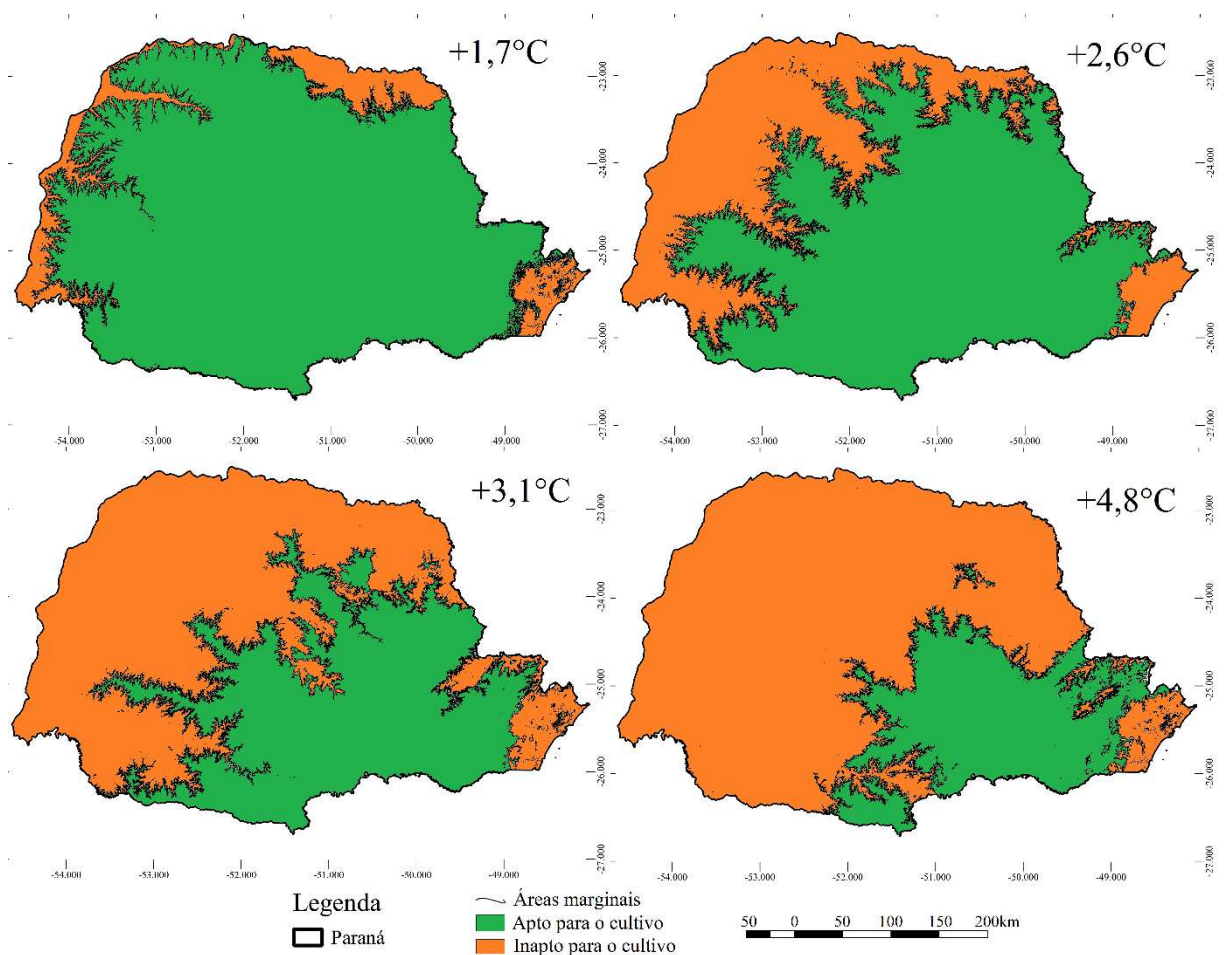
Toffoli (2022) analisou o panorama da variabilidade de temperatura do ar e precipitação no Paraná sob alterações climáticas. O autor também identificou que as variações climáticas associados à temperatura do ar apontam para um padrão de aquecimento generalizado estatisticamente significativo em grande parte do estado, com aumento acentuado nas temperaturas mínimas.

Visto os aumentos de temperatura, ao implementar os cenários do IPCC ao zoneamento (Figura 4.7) identificou-se mudanças principalmente na aptidão do cultivo do feijão. Para o período do feijão das águas, todo o Paraná apresentava aptidão no zoneamento como identificado por Caramori et al. (2001) e Caldana et al. (2022), apenas com divergências quanto a data de semeadura conforme a região.

Já com cenários do IPCC, no cenário mais otimista de aumento de  $1,7^{\circ}\text{C}$  na temperatura, foi possível identificar que as áreas mais quentes do estado, localizadas no extremo oeste, norte e litoral, o cultivo do feijão já será inapto para os meses de primavera e verão devido a ocorrência frequente de temperaturas superiores a  $32^{\circ}\text{C}$ , não sendo possível encaixar o ciclo para três dias antes do florescimento até a floração plena livre dessas temperaturas.

Quanto ao cenário de aumento de  $2,6$  e  $3,1^{\circ}\text{C}$  o aumento da área inapta avança por toda a região norte, oeste e sudoeste, ficando apenas a região Centro-Sul paranaense como apta.

**Figura 4.7:** Zoneamento de risco agroclimático para o feijão das águas com parâmetros de mudanças climáticas

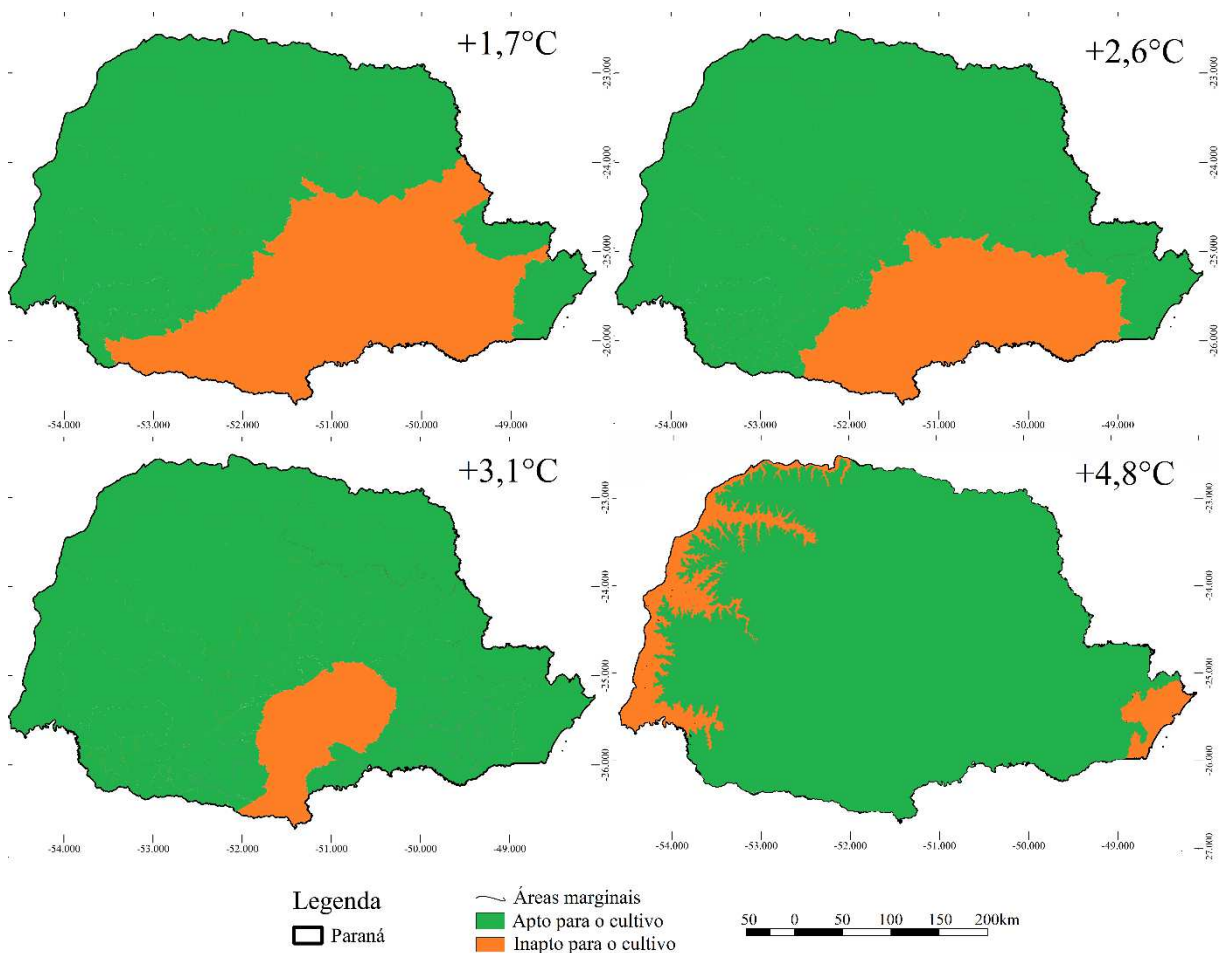


Para o cenário de mudanças climáticas mais pessimista, o aumento de  $4,8^{\circ}\text{C}$  apresentou apenas a área de classificação climática como de clima Cfb do Paraná como apta para o cultivo, demonstrando assim, que a tendência é que apenas áreas de clima subtropical atual do país consigam realizar o cultivo do feijão nos meses de primavera e verão no Brasil.

Para o ciclo do feijão no período de outono/inverno (Figura 4.8), os zoneamentos previamente realizados recomendavam o período de cultivo do feijão de forma que não se estendesse até o início das geadas e do frio extremo. A semeadura era realizada nas diferentes áreas do Paraná do final de dezembro até março (CARAMORI et al., 2001).

No zoneamento com cenários do IPCC identificou-se que quanto maior o aumento de temperatura mais se atrasaria a semeadura do feijão das águas e, conseqüentemente, do feijão de outono/inverno, dessa forma, as áreas mais frias do estado seriam inaptas ao cultivo por não conseguir encaixar as duas safras do feijão antes do período de geadas.

**Figura 4.8:** Zoneamento de risco agroclimático para feijão da seca/outono e inverno, com parâmetros de mudanças climáticas



Com o aumento de temperatura o período crítico das geadas foi reduzido, e a área apta para o cultivo aumentou, ao contrário do feijão das águas. Dessa forma, com o aumento de temperatura, a tendência é que seja possível realizar apenas uma safra nas regiões mais quentes do Estado Sendo assim, as regiões norte, oeste e litorânea, será possível apenas o cultivo durante o período do feijão de outono/inverno. Cabe destacar, que neste estudo foi

analisado apenas a influência térmica no zoneamento, sendo que, a falta de chuvas pode trazer aís prejuízos para a produção futura no Paraná.

A única área que sofreria menos impacto seria o pequeno fragmento do centro-sul paranaense, na região de Guarapuava, onde será possível realizar as duas safras mesmo com o aumento de temperatura. O principal fator seria a redução do período crítico de geadas, e ainda baixa ocorrência de temperatura elevadas.

Nesta mesma perspectiva, para o estado do Paraná, Zaro et al. (2023) realizaram o zoneamento de risco climático para o café consorciado com sistemas agroflorestais e parâmetros de mudanças climáticas do IPCC (aumentos de temperatura de 1,7, 2,6, 3,1 e 4,8°C) e cenários de alterações para o período de 2018-2058 e 2059-2099. Identificaram padrões similares ao zoneamento do feijão no norte do Estado do Paraná. Nas regiões norte e oeste, conforme testa-se os cenários de aumento de temperatura, quanto maior o aumento, menor a área apta para o cultivo, assim como observado no presente trabalho para o feijão. Devido a ocorrências de geada, todo o centro-sul já é atualmente inapto para o cultivo.

Para o Sul do Brasil, Andrade et al. (2014) buscaram identificar os impactos das mudanças climáticas para o período futuro 2071-2100 no zoneamento do milho, testando três cenários de alterações climáticas. Assim como no presente trabalho, os autores identificaram que todo o Norte do Paraná apresentaria redução da produção e área produtiva. Enquanto, o centro-sul paranaense apresentaria aumento de produção. As regiões oeste, litorânea e central não apresentariam alterações.

Já em cenário nacional, Assad et al. (2004) averiguaram o impacto das mudanças climáticas no zoneamento de risco agroclimático do café. Os autores realizaram simulações considerando cenários de aquecimento de 1,0 a 5,8°C, acrescentando esses valores às séries históricas para o cálculo de balanço hídrico, risco de geada e temperatura média anual. Identificaram que com o aumento de 1, 3 e 5,8°C o cultivo do café nos estados de Goiás, Minas Gerais, São Paulo e Paraná será drasticamente reduzido nos próximos 100 anos, se considerar que serão mantidas as condições genéticas e fisiológicas das atuais variedades.

Campos et al. (2010) trabalharam com o impacto do aquecimento global no cultivo do feijão-caupi, no Estado da Paraíba, também utilizando impactos de aumento de temperatura estimados pelo IPCC. Os autores identificaram que as áreas favoráveis ao cultivo do feijão-caupi no Estado da Paraíba serão reduzidas consideravelmente nas próximas décadas e, nos cenários mais pessimistas de aumento de temperatura a restrição pode chegar a 100% na Paraíba.

#### 4.5 CONCLUSÕES

Pela análise de tendência identificou-se aumento de temperatura na série histórica de dados em praticamente todo o Paraná, sendo acentuado principalmente nas temperaturas mínimas. Apenas duas estações meteorológicas não apresentaram aumento de temperatura na série histórica, porém, ambas tiveram suas localidades alteradas durante o funcionamento, podendo justificar a redução de temperatura.

Identificou-se que as mudanças climáticas poderão ser prejudiciais a produção de feijão no Paraná. Quanto maior o aumento de temperatura menor a área apta para cultivo, além disso, será possível realizar apenas uma safra em boa tarde do Paraná. Mesmo com a redução do período de geadas, a ocorrência de temperaturas elevadas inviabilizaria o cultivo durante a primavera-verão em todo o norte e oeste do Paraná.

No pior cenário de aumento de temperatura, apenas a região mais fria do estado, na região centro-sul paranaense, seria possível realizar as duas safras para o feijão.

Este trabalho tem o intuito de servir como base para estudos que buscam soluções e alternativas para lidar com os cenários futuros, e precauções quanto a mudanças climáticas, para que se possa garantir a produção de alimentos mais sustentável. Juntamente, orientar políticas públicas focadas em mitigação das mudanças climáticas.

#### 4.6 REFERÊNCIAS

AKCURA, M., TURAN, V., KOKTEN, K., & KAPLAN, M. Fatty acid and some micro element compositions of cluster bean (*Cyamopsis tetragonoloba*) genotype seeds growing under Mediterranean climate. **Industrial crops and products**, v. 128, p. 140-146, 2019.

ALHARBI, N. H., ALGHAMDI, S. S., MIGDADI, H. M., EL-HARTY, E. H., & ADHIKARI, K. N. Evaluation of frost damage and pod set in faba bean (*Vicia faba* L.) under field conditions. **Plants**, v. 10, n. 9, p. 1925, 2021.

ALI, R.; KURIQI, A.; ABUBAKER, S.; KISI, O. Long-term trends and seasonality detection of the observed flow in Yangtze River using Mann-Kendall and Sen's innovative trend method. **Water**, v. 11, n. 9, p. 1855, 2019.

ANDRADE, G. A., DA SILVA RICCE, W., CARAMORI, P. H., ZARO, G. C., & DE CONTI MEDINA, C. Zoneamento agroclimático de café robusta no Estado do Paraná e impactos das mudanças climáticas. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 4, p. 1381-1389, 2012.

ASSAD, E. D., PINTO, H. S., ZULLO JUNIOR, J., & ÁVILA, A. M. H. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 1057-1064, 2004.

ASHRAF, M. S.; AHMAD, I. ; KHAN, N. M.; ZHANG, F.; BILAL, A.; GUO, J. Streamflow Variations in Monthly, Seasonal, Annual and Extreme Values Using Mann-Kendall, Spearman's Rho and Innovative Trend Analysis. **Water Resources Management**, p. 1-19, 2020.

BACK, A. J. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. **Pesq. Agropec. Bras.** v. 36, n. 5, p. 717-726, 2001.

BACK, Á. J., DELLA BRUNA, E., & DALBÓ, M. A. Mudanças climáticas e a produção de uva no vale do Rio do Peixe-SC. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, p. 159-169, 2013.

BASARIR, A.; ARMAN, H.; HUSSEIN, S.; MURAD, A.; ALDAHAN, A.; AL-ABRI, M. A. Trend Detection in annual temperature and precipitation using mann-kendall test—a case study to assess climate change in Abu Dhabi, United Arab Emirates. In: **International Sustainable Buildings Symposium**. Springer, Cham, 2017. p. 3-12.

BLAIN, G. C. Detecção de tendências monótonas em série mensais de precipitação pluvial do estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 69, n. 4, p.1027-1033, 2010.

BLASIAK, R., SPIJKERS, J., TOKUNAGA, K., PITTMAN, J., YAGI, N., & ÖSTERBLOM, H. Climate change and marine fisheries: Least developed countries top global index of vulnerability. **PLoS One**, v. 12, n. 6, p. e0179632, 2017.

CARVALHO, E. D. O. T., COSTA, D. L. P., DE OLIVEIRA VIEIRA, I. C., FERREIRA, B. G., & NUNES, H. G. G. C. Índice De Estresse Hídrico Do Feijão-Caupi Em Diferentes Disponibilidades Hídricas Em Castanhal-PA. **Revista Caatinga**, v. 35, n. 3, p. 711-721, 2022.

CHAMI, D. E.; MOUJABBER, M. E. Drought, climate change and sustainability of water in agriculture: A roadmap towards the NWRS2. **South African Journal of Science**, v. 112, n. 9-10, p. 1-4, 2016.

CHANDIO, A. A. JIANG, Y., REHMAN, A., & RAUF, A. Short and long-run impacts of climate change on agriculture: an empirical evidence from China. **International Journal of Climate Change Strategies and Management**, v. 12 n. 2, p. 201-221, 2020.

CHAPAGAIN, T; RAIZADA, M. N. Agronomic challenges and opportunities for smallholder terrace agriculture in developing countries. **Frontiers in plant science**, v. 8, p. 331, 2017.

CHEN, Y., TAKEUCHI, K., XU, C., CHEN, Y., & XU, Z. Regional climate change and its effects on river runoff in the Tarim Basin, China. **Hydrological Processes: An International Journal**, v. 20, n. 10, p. 2207-2216, 2006.

**Conab** –Companhia Nacional de Abastecimento. **Levantamentos de grãos - Feijão.**2020. Disponível em: < [https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos/item/download/39390\\_421561554638ce988f258fd7094dea73](https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos/item/download/39390_421561554638ce988f258fd7094dea73) >

DOMINONI, A. P.; CALDANA, N. F. S.; RODRIGUES, L.; BRUNO, V. F. N.; BODNAR, V. R.; AGUIAR e SILVA, M. A. Agricultural zoning and recommendations for the seeding of wheat (*triticum* spp.) in the Central-southern Mesoregion of Parana state in Brazil. **African Journal Of Agricultural Research**, v. 17, p. 979-990, 2021

EVANS, G. W. Projected behavioral impacts of global climate change. **Annual review of psychology**, v. 70, p. 449-474, 2019.

FARINELLI, R., FORNASIERI FILHO, D., BORDIN, L., PENARIOL, F. G., & VOLPE, C. A. Efeitos de geada no desenvolvimento do feijoeiro em sucessão a espécies vegetais e adubação nitrogenada. **Bragantia**, v. 69, p. 249-252, 2010.

GHAHRAMAN, B. Time trend in the mean annual temperature of Iran. **Turkish journal of agriculture and forestry**, v. 30, n. 6, p. 439-448, 2007.

GOCIC, M.; TRAJKOVIC, S. Analysis of changes in meteorological variables using Mann-Kendall and Sen's slope estimator statistical tests in Serbia. **Global and Planetary Change**, v. 100, p. 172-182, 2013.

GOSS, M., SWAIN, D. L., ABATZOGLOU, J. T., SARHADI, A., KOLDEN, C. A., WILLIAMS, A. P., & DIFFENBAUGH, N. S. Climate change is increasing the likelihood of extreme autumn wildfire conditions across California. **Environmental Research Letters**, v. 15, n. 9, p. 094016, 2020.

HAMED, K. H. Trend detection in hydrologic data: the Mann–Kendall trend test under the scaling hypothesis. **Journal of hydrology**, v. 349, n. 3-4, p. 350-363, 2008.

HETTIARACHCHI, S., WASKO, C., & SHARMA, A. Ashish. Increase in flood risk resulting from climate change in a developed urban watershed-the role of storm temporal patterns. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 22, 2041–2056, 2018.

HOBBIE, S. E.; GRIMM, N. B. Nature-based approaches to managing climate change impacts in cities. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, v. 375, n. 1794, p. 20190124, 2020.

HUMMEL, M., HALLAHAN, B. F., BRYCHKOVA, G., RAMIREZ-VILLEGAS, J., GUWELA, V., CHATAIKA, B., ... & SPILLANE, C. Reduction in nutritional quality and growing area suitability of common bean under climate change induced drought stress in Africa. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, p. 1-11, 2018.

IPCC. Technical Summary. In: **Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2013.

KING, M., ALTDORFF, D., LI, P., GALAGEDARA, L., HOLDEN, J., & UNC, A. Northward shift of the agricultural climate zone under 21 st-century global climate change. **Scientific reports**, v. 8, n. 1, p. 7904, 2018.

KLEIN TANK, A. M. G.; KÖNNEN, G. P. Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe, 1946–99. **Journal of climate**, v. 16, n. 22, p. 3665-3680, 2003.

KURUKULASURIYA, P.; ROSENTHAL, S. Climate change and agriculture: A review of impacts and adaptations. Published jointly with the Agriculture and Rural Development Department. **Climate Change Series - The World Bank Environment Department**. 106 p. 2013.

LAKE, L., CHAUHAN, Y. S., OJEDA, J. J., COSSANI, C. M., THOMAS, D., HAYMAN, P. T., & SADRAS, V. O. Modelling phenology to probe for trade-offs between frost and heat risk in lentil and faba bean. **European Journal of Agronomy**, v. 122, p. 126154, 2021.

KABAY, T. Effects of different potassium doses on development of high temperature-sensitive bean plants. **Fresenius Environmental Bulletin**, v. 28, n. 1, p. 320-325, 2019.

MABERLY, S. C. O'D., R. A., Woolway, R. I., Cutler, M. E., Gong, M., Jones, I. D., ... & Thackeray, S. J. Global lake thermal regions shift under climate change. **Nature Communications**, v. 11, n. 1, p. 1-9, 2020.

MITCHELL, D., HEAVISIDE, C., VARDOULAKIS, S., HUNTINGFORD, C., MASATO, G., GUILLOD, B. P., ... & ALLEN, M. Attributing human mortality during extreme heat waves to anthropogenic climate change. **Environmental Research Letters**, v. 11, n. 7, p. 074006, 2016.

NASCIMENTO, S. P. D., BASTOS, E. A., ARAÚJO, E. C., FREIRE FILHO, F. R., & SILVA, E. M. D. Tolerância ao déficit hídrico em genótipos de feijão-caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, p. 853-860, 2011.

PARK, S. J., KIM, D. W., KIM, J. H., CHUNG, J. H., & LEE, J. S. Future disaster scenario using big data: A case study of extreme cold wave. **International Journal of Design & Nature and Ecodynamics**, v. 11, n. 3, p. 362-369, 2016.

PATHAK, T. B., MASKEY, M. L., DAHLBERG, J. A., KEARNS, F., BALI, K. M., & ZACCARIA, D. Climate change trends and impacts on California agriculture: a detailed review. **Agronomy**, v. 8, n. 3, p. 25, 2018.

PEREIRA, V. G. C., GRIS, D. J., MARANGONI, T., FRIGO, J. P., AZEVEDO, K. D., & GRZESIUCK, A. E. Exigências agroclimáticas para a cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 3, n. 1, p. 32-42, 2014.

PERERA, A. T. D. NIK, V. M., CHEN, D., SCARTEZZINI, J. L., & HONG, T. Quantifying the impacts of climate change and extreme climate events on energy systems. **Nature Energy**, v. 5, n. 2, p. 150-159, 2020.

PINTO, H. S., ASSAD, E. D., ZULLO JUNIOR, J., EVANGELISTA, S. D. M., OTAVIAN, A. F., AVILA, A. D., ... & COLTRI, P. P. **A nova geografia da produção agrícola no**

**Brasil. Aquecimento global ea nova geografia da produção agrícola no Brasil.** Campinas: Embrapa Informática Agropecuária: Unicamp, 2008.

PIRNIA, A.; GOLSHAN, M.; DARABI, H.; ADAMOWSKI, J.; ROZBEH, S. Using the Mann–Kendall test and double mass curve method to explore stream flow changes in response to climate and human activities. **Journal of Water and Climate Change**, v. 10, n. 4, p. 725-742, 2019.

PRADHAN, B., SHARMA, P., & PRADHAN, P. K. Impact of cold wave on vulnerable people of Tarai region, Nepal. In: **Climate Change and Global Warming**. IntechOpen, 10.5772/intechopen.82201. 2019.

SALVIANO, M. F.; GROppo, J. D.; PELLEGRINO, G. Q. Análise de tendências em dados de precipitação e temperatura no Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v. 31, n. 31, p. 64-73, 2016.

SANCHES, F. O.; VERDUM, R.; FISCH, G. Estudo de tendência de chuvas de longo prazo. **Revista Ambiente, Água**, v.8, n.3. p.214-228, 2013.

SILVA, G. B., AZEVEDO, P. D. Índices de tendências de mudanças climáticas no estado da Bahia. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, v. 5, n. 3, p. 8-12, 2008.

SILVA, M. E. S., GUETTER, A. K. Mudanças climáticas regionais observadas no estado do Paraná. **Terra livre**, n. 20, p. 111-126, 2003.

SIPPEL, S. MEINSHAUSEN, N., FISCHER, E. M., SZÉKELY, E., & KNUTTI, R. Climate change now detectable from any single day of weather at global scale. **Nature Climate Change**, v. 10, n. 1, p. 35-41, 2020.

SMITHA, P. S., NARASIMHAN, B., SUDHEER, K. P., & ANNAMALAI, H. An improved bias correction method of daily rainfall data using a sliding window technique for climate change impact assessment. **Journal of Hydrology**, v. 556, p. 100-118, 2018.

SOROYE, P.; NEWBOLD, T; KERR, J. Climate change contributes to widespread declines among bumble bees across continents. **Science**, v. 367, n. 6478, p. 685-688, 2020.

TAMARIN-BRODSKY, T., & KASPI, Y. Enhanced poleward propagation of storms under climate change. **Nature geoscience**, v. 10, n. 12, p. 908-913, 2017.

DE TOFFOLLI, T. N.. PANORAMA DA VARIABILIDADE DE TEMPERATURA E PRECIPITAÇÃO NO PARANÁ/BR. RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar-ISSN 2675-6218, v. 3, n. 4, p. e341348-e341348, 2022.

TOSUNOGLU, F.; KISI, O. Trend analysis of maximum hydrologic drought variables using Mann–Kendall and Şen's innovative trend method. **River Research and Applications**, v. 33, n. 4, p. 597-610, 2017.

VALDES-ABELLAN, J.; PARDO, M. A.; TENZA-ABRIL, A. J. Observed precipitation trend changes in the western Mediterranean region. **International Journal of Climatology**, v. 37, p. 1285-1296, 2017.

VALE, N. M., BARILI, L. D., ROZZETO, D. S., COIMBRA, J. L. M., GUIDOLIN, A. F., & KÖOP, M. M. Avaliação para tolerância ao estresse hídrico em feijão. **Biotemas**, v. 25, n. 3, p. 135-144, 2012.

VAN MEIJL, H., HAVLIK, P., LOTZE-CAMPEN, H., STEHFEST, E., WITZKE, P., DOMÍNGUEZ, I. P., ... & HUMPENÖDER, F. Comparing impacts of climate change and mitigation on global agriculture by 2050. **Environmental Research Letters**, v. 13, n. 6, p. 064021, 2018.

VATANKHAH, T.; MOOSAVI, S. N.; TABATABAEI, S. M. The economic impacts of climate change on agriculture in Iran: a CGE model analysis. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, v. 42, n. 16, p. 1935-1949, 2020.

YILMAZ, B. Analysis of hydrological drought trends in the Gap Region (Southeastern Turkey) by Mann-Kendall test and Innovative Sen Method. *Appl. Ecol. Environ. Res*, v. 17, p. 3325-3342, 2019.

ZARO, G. C.; CARAMORI, P. H.; WREGE, M. S.; CALDANA, N. F. S.; VIRGENS FILHO, J. S.; MORAIS, H.; YADA JUNIOR, G. M.; CARAMORI, D. C. Coffee crops adaptation to climate change in agroforestry systems with rubber trees in southern Brazil. **SCIENTIA AGRICOLA**, v. 80, p. e20210142, 2023.

## **5 ARTIGO C: CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO CROPGRO-DRYBEAN PARA A CULTURA DO FEIJÃO NO ESTADO DO PARANÁ, BRASIL**

### **5.1 RESUMO**

O feijão é uma cultura extremamente sensível às variabilidades ambientais. Modelos e ferramentas que contribuam para o planejamento são fundamentais para o sucesso da cultura. Os modelos de simulação são um conjunto de equações matemáticas que analisam o funcionamento dinâmico do sistema solo-planta-atmosfera, associado às práticas culturais, capazes de simular o comportamento de uma cultura. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi calibrar e testar o modelo de simulação CROPGRO para seis cultivares do feijoeiro, com um material representativo utilizado no cultivo de ciclo médio para cinco localidades no Paraná. Para isso, utilizou o DSSAT por meio do modelo de simulação para o feijão CROPGRO-Dry Bean. Para calibração e validação dos dados simulados, foi realizado um experimento em Londrina para safra das águas 2019/20. Para a calibração do modelo foram inseridos dados experimentais e os dados de entrada da cultivar, de clima e de solo. Para a análise estatística utilizou-se como referência as safras das águas 2019/20 e utilizou-se os testes estatísticos com as safras da seca 2019/20 e 2020/21 e das águas 2020/21 para o processo de validação cruzada. A variabilidade ambiental, foi detectada pelo modelo e contribuiu nas informações de produtividade e calibração do modelo. Os coeficientes parametrizados das seis cultivares demonstraram maior proximidade dos valores simulados para Londrina, local onde foi realizado o experimento. Porém, todas as outras localidades apresentaram significância estatística dos valores simulados. Os testes corroboraram com a qualidade do modelo, demonstrando assim a validação da safra simulada. Identificou-se que a safra da seca de 2019/20 apresentou valores mais representativos. O modelo foi calibrado, ajustado e validado e agora pode servir como ferramenta para o planejamento para demais áreas do estado do Paraná.

**Palavras-chave:** Simulação; Modelagem; DSSAT; CropGRO-Dry Bean.

### **CALIBRATION AND VALIDATION OF THE CROPGRO-DRYBEAN MODEL FOR BEAN CULTURE IN THE STATE OF PARANÁ, BRAZIL**

#### **Abstract:**

Bean crop is considered extremely sensitive for environmental variabilities. Agrometeorological tools, such as crop models, which contribute for planning and decision-making exhibits remarkable relevance for crop success. The crop models are equations which verify the soil plant atmosphere relations and considers the agricultural practices, thus, it is possible to study the whole development of a crop. The objective of this study was to carry out the calibration of CROPGRO for bean crop, cultivars IAPAR 81, IPR Sabia, IPR Tangara, IPR Campos Gerais, BRS Estilo and IAC Alvorada, these cultivars represent the bean used in the five locations in Paraná State, Brazil. For that, were used the Decision Support System for Agrotechnology Decision DSSAT, adjusted with model for bean, the CROPGRO Dry Bean. For calibration and parameters, was carry out a field experiment in Londrina, North of Paraná state, for crop zseason 2019/20. For calibration, were used data from field experiments. For the Statistical analysis were used, as reference, the crop season (waters crop season) of 2019/20 and Statistical tests for crops seasons (dry crop season) of 2019/20 and 2020/21 and waters crop

season of 2020/21 to validation process. The environmental variability was verified by the model and contributed for information for crop yield and calibration of the model used. The coefficient parameters from the six cultivars of the experiment showed more proximity with the simulation for Londrina, where the experiment was realized. However, all other locations of Paraná state exhibited Statistical significance for simulation values verified. The tests contributed with the quality of the modelz showing validation with crop season simulated. It was identified that the crop season 2019/20 showed values more representative. The model was calibrated, adjusted and validated and can be used as a remarkable tool for assisting the farmer in decision making in Paraná State, for all areas where bean crop is cultivated.

**Keywords:** Simulation; Modeling; DSSAT; CropGRO-Dry Bean.

## 5.2 INTRODUÇÃO

Modelos de simulação do crescimento, desenvolvimento e produtividade de culturas são ferramentas que podem simular os impactos da meteorologia, solo, genética e práticas de manejo sobre o rendimento com base em princípios de equilíbrio de carbono, nitrogênio e disponibilidade de água (FARIAS et al., 2016). Os modelos de simulação de cultura permitem criar cenários, considerando as diversas combinações dos vários elementos que influenciam a produtividade das culturas (JONES et al., 2017; MASON-D'CROZ et al., 2019), além de possibilitar analisar uma série de estratégias em sistemas de produção agrícola, como: otimização das datas de semeadura, aplicação de nitrogênio, impacto das mudanças climáticas nas culturas, irrigação, consumo de água na produção agrícola, desvios da produtividade, ensaio de desempenho de cultivares e o estudo da resposta ao ambiente (LIMA FILHO et al., 2013).

O CROPGRO é um modelo, implementado na plataforma DSSAT, de base fisiológica para aplicação em leguminosas. Essa ferramenta permite ao usuário calibrar e aplicar o modelo em bases distintas de clima e solo e auxiliar no manejo e implementação de uma cultura (JONES et al., 2003; SILVA et al., 2021). O modelo requer parâmetros e dados de entrada que regulam o balanço hídrico do solo (capacidade de campo, ponto de murcha, saturação e profundidade do solo) e também variáveis meteorológicas (como a radiação solar global, temperatura do ar e precipitação) e de irrigação (GARIBAY et al., 2019; LI et al., 2019).

A cultura do feijoeiro tem importância socioeconômica e alimentar para todos os segmentos da população, sendo produzida em boa parte do território brasileiro, não só por pequenos produtores, mas também por grandes produtores, que visam essencialmente abastecer o mercado (FRANCO e TEIXEIRA, 2019). É uma espécie sensível as condições meteorológicas e ambientais, sendo fundamental pesquisas e estudos que contribuam para seu

manejo (SILVA et al., 2016). Nesse cenário, o Paraná tem destaque na produção nacional de feijão, especialmente na segunda safra, sendo responsável pela produção de 28% de todo feijão produzido no Brasil, dos quais 30% é de feijão carioca, correspondente a 196 mil toneladas (CONAB, 2019).

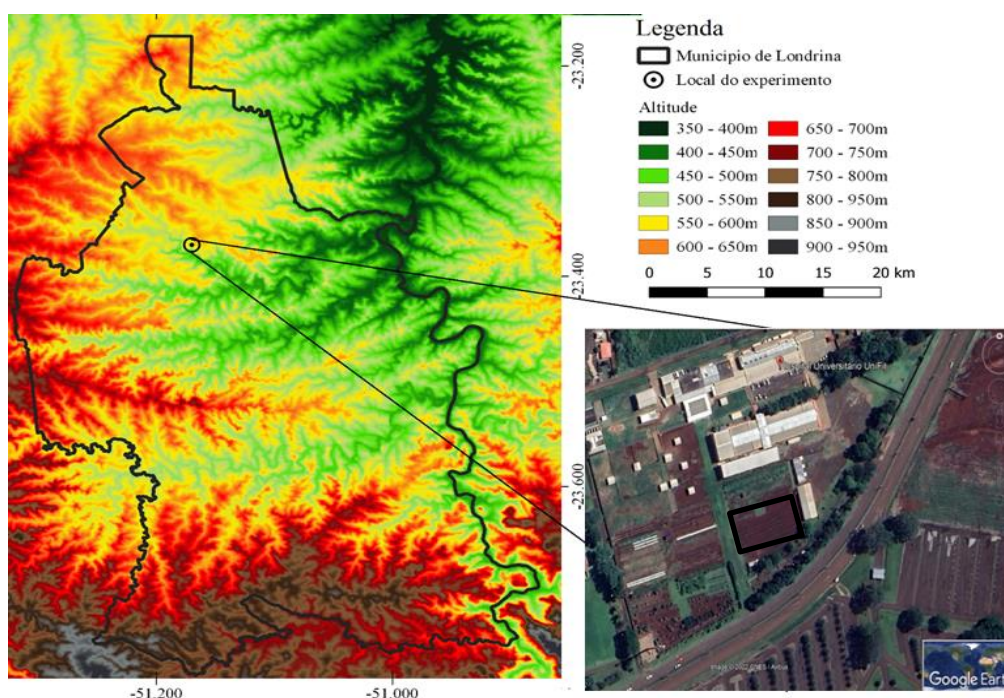
O Paraná está localizado em uma área de transição climática, com grandes variações de altitude e latitude, condicionando assim, grandes diferenças na sua variabilidade climática. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi calibrar e avaliar a performance do modelo DSSAT/CROPGRO-Dry bean em simular a fenologia e a produção de grãos para uma cultivar de ciclo médio de feijão no estado do Paraná.

### 5.3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 5.3.1 Descrição do experimento

O experimento foi conduzido em condição de campo na Estação Experimental do Centro Universitário Filadélfia – UniFil, Campus Palhano em Londrina/PR, Latitude 23°36'18" S e Longitude 51°20'01" W, altitude média de 514 metros (Figura 5.1). O solo é classificado como Latossolo Vermelho distroférrico típico (BHERING et al., 2007), de textura muito argilosa. O clima é classificado como Cfa – Subtropical úmido, pela classificação de Köppen, com precipitação anual de 1.600 mm, temperatura média anual de 21,1 °C, médias das máximas de 27,3 °C e média das mínimas de 16,1°C segundo dados históricos (NITSCHKE et al., 2019).

**Figura 5.1:** Localização e relevo do município de Londrina e da área do experimento.



O experimento foi conduzido no período da safra das águas, sendo plantado em 31 de agosto de 2019 e colhido em 28 de novembro de 2019. Inicialmente, foi realizado o controle de plantas invasoras, manualmente em área total. O sistema de irrigação utilizado foi o gotejamento, com uma linha de emissores por linha de plantas, vazão de 5 L h<sup>-1</sup> e pressão de 10 mca. As parcelas experimentais foram implantadas em faixas, uma para cada cultivar e para o plantio foram realizados sulcos, manualmente, no espaçamento de 0,5 m com 4 linhas por cultivar.

A adubação de base (Tabela 5.1), foi realizada diretamente no sulco de plantio abaixo das sementes, com a quantidade equivalente a 400 kg ha<sup>-1</sup> do adubo formulado comercial 04-14-08 (Oliveira et al., 2017). No dia da semeadura as sementes foram inoculadas com *Rhizobium tropici* semia 4077 na proporção de 2 g para um 1 kg de semente. Em seguida, foi semeado de 15 sementes por metro de sulco. Após a emergência da cultura, foi realizado o desbaste das plantas excedentes a fim de deixar o estande final com 12 plantas por metro e população de 240 mil plantas por hectare. Após 15 a 25 dias as plantas está em V3, foi realizada adubação de cobertura com o sulfato de amônio, na dose de 180 kg ha<sup>-1</sup>.

**Tabela 5.1:** Adubação realizada no experimento

Data	Fonte	Dose kg ha <sup>-1</sup>	N ha <sup>-1</sup>	S/ha <sup>-1</sup>	P/ha <sup>-1</sup>	K/ha <sup>-1</sup>
31/08/2019	NPK 04-14-08	400	16		64	32
23/09/2019	Sulfato de Amônio	180	36	43,2		

A área do experimento apresentou dimensão de 640m<sup>2</sup>, com 32 linhas de 20m<sup>2</sup>, seis cultivares, cada uma com dez tratamentos (T1 a T10). Cada tratamento representado por seis parcelas de dimensão 2m x 2m, totalizando 4m<sup>2</sup> por parcela.

Em relação ao controle de pragas e doenças, foram realizadas duas aplicações: um inseticida e outra com fungicida com princípios ativos Tiametoxam e Piraclostrobina, respectivamente.

### 5.3.2 Cultivares

Foram selecionadas seis cultivares de feijão, do grupo carioca comercialmente utilizada nas lavouras do Estado. Os dados fenológicos e produtivos foram agrupados para a criação de uma cultivar genérica, representativa das cultivares de ciclo médio utilizadas no estado do Paraná. Para comparar a produtividade observada e simulada utilizou-se dados de produtividades de 48 ensaios e observações realizados pelo IDR para o Registro Nacional de Cultivares.

As seis cultivares selecionadas foram:

- BRS Estilo: cultivar bem aceita entre os produtores de feijão carioca e que apresenta susceptibilidade a doenças durante algumas fases do seu desenvolvimento, mas com potencial produtivo elevado. A cultivar possui ciclo médio da emergência à colheita de 90 a 95 dias, além de potencial produtivo de 2.072,3 kg ha<sup>-1</sup>, em condições experimentais na safra das águas e da seca, no Paraná (EMBRAPA, 2018).

- IPR Campos Gerais: cultivar que apresenta boa sanidade de plantas, produtividade elevada, sendo um material robusto em situações de déficit hídrico, altas temperaturas e estresses bióticos. Possui ciclo médio da emergência à maturação de colheita de 88 dias e potencial produtivo médio de 3.987 kg ha<sup>-1</sup> (IAPAR, 2018).

- IAC Alvorada: cultivar com ampla distribuição no zoneamento climático, apresenta teto produtivo elevado, ciclo médio de 95 dias. O potencial produtivo médio de 3.292 kg ha<sup>-1</sup> (IAC, 2022).

- IPR Tangará: cultivar que é recomendada para zoneamento agrícola de risco climático, sendo moderadamente tolerante a temperaturas elevadas e a seca durante a fase reprodutiva. Possui ciclo médio da emergência à maturação de colheita de 87 dias e potencial produtivo médio de 3.326kg ha<sup>-1</sup> (IAPAR, 2018).

- IAPAR 81: cultivar que apresenta boa sanidade das plantas e moderada tolerância a estresses abióticos de temperatura e seca. Possui ciclo da emergência à maturação fisiológica de 88 dias e potencial produtivo médio de 3.326 kg ha<sup>-1</sup> (IAPAR, 2018).

### **5.3.3 Calibração do modelo DSSAT/CROPGRO-Dry bean**

Para calibração do DSSAT é necessário fundamentalmente dados fenológicos e do crescimento da cultura, sendo assim foram realizadas amostragens a cada 15 dias de 6 plantas na parcela de cada cultivar em condição de irrigação plena (condição ideal para calibração do modelo) e déficit hídrico (condição mais próxima do observado, com adversidades na variabilidade ambiental), totalizando 72 plantas analisadas.

Para o procedimento de área foliar, foi utilizado equipamento Li-cor<sup>®</sup>, modelo Li-3000.

Todas as partes vegetativas das plantas coletadas, foram direcionadas para estufa a uma temperatura de 65°C durante 72h.

A quantidade de água disponibilizada para cultura do feijão foi a mesma em toda a área, até o estágio fisiológico R5 (Pré – florescimento), após esse período foi colocado os tratamentos T5 a T10 em déficit hídrico durante 10 dias, após isso o manejo de irrigação voltou normalmente em toda área.

Para produtividade, foram escolhidas as duas linhas do meio em cada cultivar com 10 metros de comprimento cada linha. Após isso, foi realizada trilhagem e separação dos grãos de feijão, determinação da umidade e estimativa da produtividade com umidade corrigida para 13%.

### 5.3.4 Manejo de irrigação

O manejo da irrigação foi realizado utilizando dados de uma estação meteorológica localizada próxima ao experimento, com os dados obtidos foi realizado o balanço hídrico sequencial cuja CAD (Capacidade de Água Disponível) considerada foi de 70 mm e as irrigações ocorreram com intuito de manter a umidade do solo em 80% da CAD. Cabe ressaltar que, nos tratamentos submetidos ao déficit hídrico não ocorreu irrigação durante 15 dias contados a partir do florescimento, retomando normalmente após este período. O kc da cultura foi estimado considerando as informações de Monteiro et al. 2009 indicados na tabela 5.2.

**Tabela 5.2:** Valores de kc para os estádios fenológicos do Feijão (*Phaseolus vulgaris*)

<b>Estádio Fenológico</b>	<b>Kc</b>
Germinação (V0)	0,60
Emergência (V1)	0,37
Folhas Primárias V2	0,98
Primeiro Trifólio V3	1,37
Segundo Trifólio V4	1,09
Botões Florais R5	1,76
Floração R6	1,42
Formação de Legumes R7	1,79
Enchimento de Legumes R8	1,50
Maturação R9	0,90

Fonte: Adaptado de Monteiro et al., 2009

Para a calibração do modelo a cada 15 dias foi coletada as seguintes variáveis apresentadas na tabela 5.3:

**Tabela 5.3:** Descrição e parâmetros do DSSAT dos dados coletados do experimento para a calibração do modelo para as 6 cultivares

	Parâmetro	Descrição
A file	HWAM	Produtividade na maturidade fisiológica (kg ha <sup>-1</sup> )
	CWAM	Massa seca da parte aérea (kg ha <sup>-1</sup> )
	LAIX	Índice de área foliar máximo
	ADAT	Data da antese;
	MDAT	Data da maturidade fisiológica
	PDFT	Data da formação da primeira semente;
T file	LAID:	Índice de área foliar (m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup> )
	SWAD	Massa seca do caule (kg ha <sup>-1</sup> )
	GWAD	Massa seca dos grãos (kg ha <sup>-1</sup> )
	LWAD	Massa seca de folhas (kg ha <sup>-1</sup> )
	VWAD	Massa seca de caule e folha (kg ha <sup>-1</sup> )
	PWAD	Massa seca das vagens (kg ha <sup>-1</sup> ).

Org: autor (2022)

### 5.3.5 Solo

Os parâmetros físico-hídricos do solo foram obtidos a partir de análises das amostras de solo de Londrina. As amostras foram coletadas durante o período do experimento. Para as demais localidades extraiu-se nas mesmas profundidades do solo dados da plataforma *Soilgrids* para a % argila, silte e areia. As demais informações são calculadas no DSSAT – *Soil Analysis – Profile*. Os dados inseridos no DSSAT podem ser observados na tabela 5.4:

**Tabela 5.4:** Parâmetros de entrada para o DSSAT dos dados de solo para as localidades da modelagem

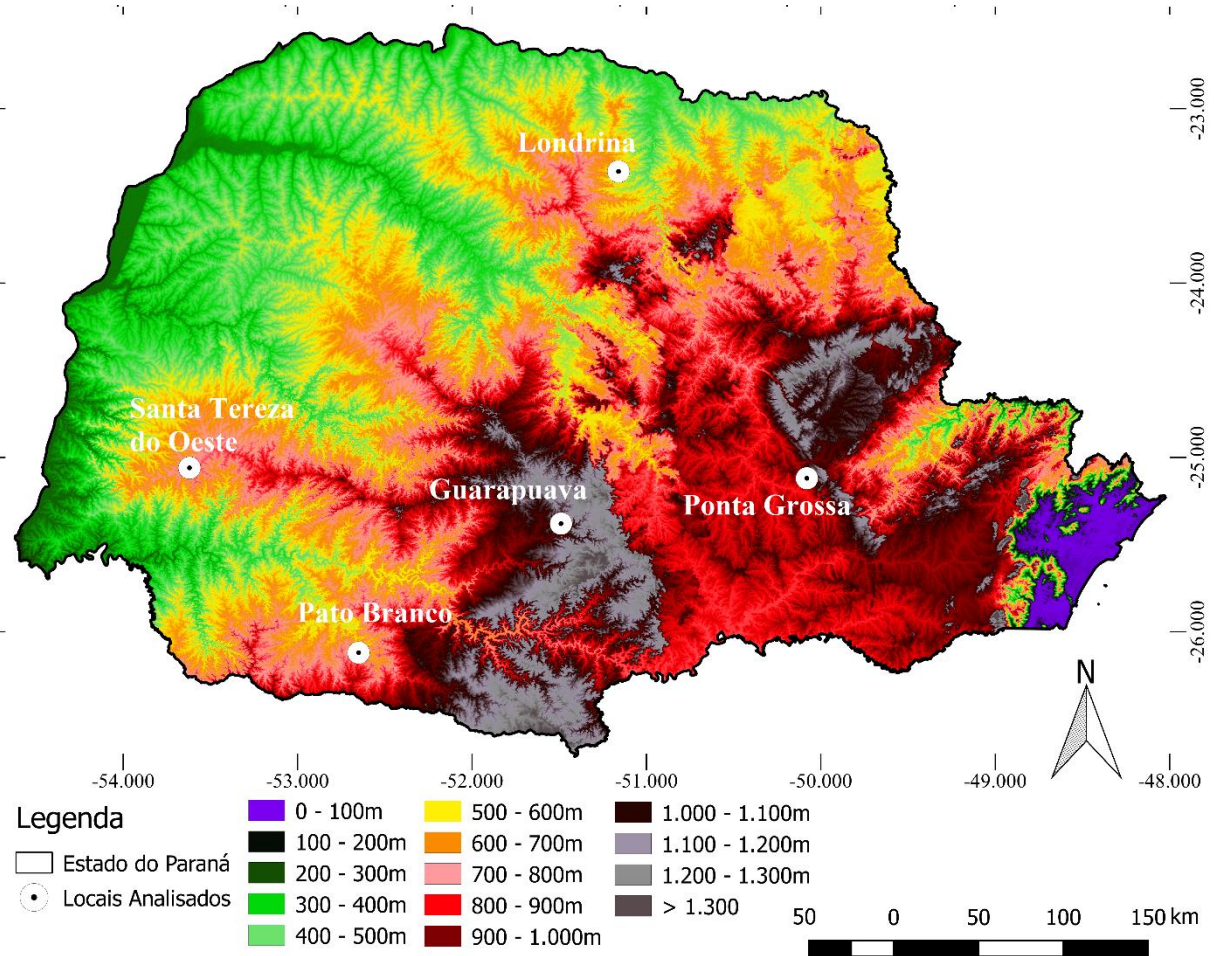
Londrina - Latossolo Vermelho distroférico - Textura muito argilosa								
SLB	SLLL	SDUL	SSAT	SRGF	SSKS	SBDM	SLCL	SLSI
5	0,2	0,329	0,434	1	0,23	1,43	36	28
15	0,2	0,329	0,434	1	0,23	1,43	36	28
30	0,211	0,34	0,438	0,638	0,23	1,42	38	27
60	0,239	0,371	0,445	0,407	0,06	1,4	43	26
Guarapuava - Latossolo Bruno distrófico - Textura argilosa								
SLB	SLLL	SDUL	SSAT	SRGF	SSKS	SBDM	SLCL	SLSI
5	0,337	0,387	0,47	1	0,06	1,33	57	33
15	0,349	0,417	0,47	1	0,06	1,33	59	30
30	0,35	0,4	0,47	0,638	0,06	1,33	59	31
60	0,376	0,368	0,467	0,407	0,06	1,34	63	28
Pato Branco - Latossolo Vermelho aluminoférrico - Textura muito argilosa								
SLB	SLLL	SDUL	SSAT	SRGF	SSKS	SBDM	SLCL	SLSI
5	0,354	0,359	0,47	1	0,06	1,33	60	26
15	0,361	0,413	0,47	1	0,06	1,33	61	26
30	0,368	0,374	0,47	0,638	0,06	1,33	62	26
60	0,393	0,355	0,47	0,407	0,06	1,33	66	23
Ponta Grossa - Latossolo Vermelho distroférico - Textura argilosa								
SLB	SLLL	SDUL	SSAT	SRGF	SSKS	SBDM	SLCL	SLSI
5	0,2	0,329	0,434	1	0,23	1,43	36	28
15	0,2	0,329	0,434	1	0,23	1,43	36	28
30	0,211	0,34	0,438	0,638	0,23	1,42	38	27
60	0,239	0,371	0,445	0,407	0,06	1,4	43	26
Santa Tereza do Oeste - Latossolo Vermelho distroférico - Textura Argilosa								
SLB	SLLL	SDUL	SSAT	SRGF	SSKS	SBDM	SLCL	SLSI
5	0,307	0,329	0,434	1	0,06	1,33	53	30
15	0,321	0,329	0,434	1	0,06	1,33	55	29
30	0,327	0,34	0,438	0,638	0,06	1,33	56	28
60	0,36	0,371	0,445	0,407	0,06	1,33	61	25

\*SLB: camada do solo (cm); SLLL: ponto de murcha permanente ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ); SDUL: capacidade de campo ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ); SSAT: ponto de saturação ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ); SBDM: densidade do solo ( $\text{Mg m}^{-3}$ ); SLOC: teor de carbono orgânico (%); SLCL: teor de argila (%); SLSI: teor de silte (%).

### 5.3.6 Clima

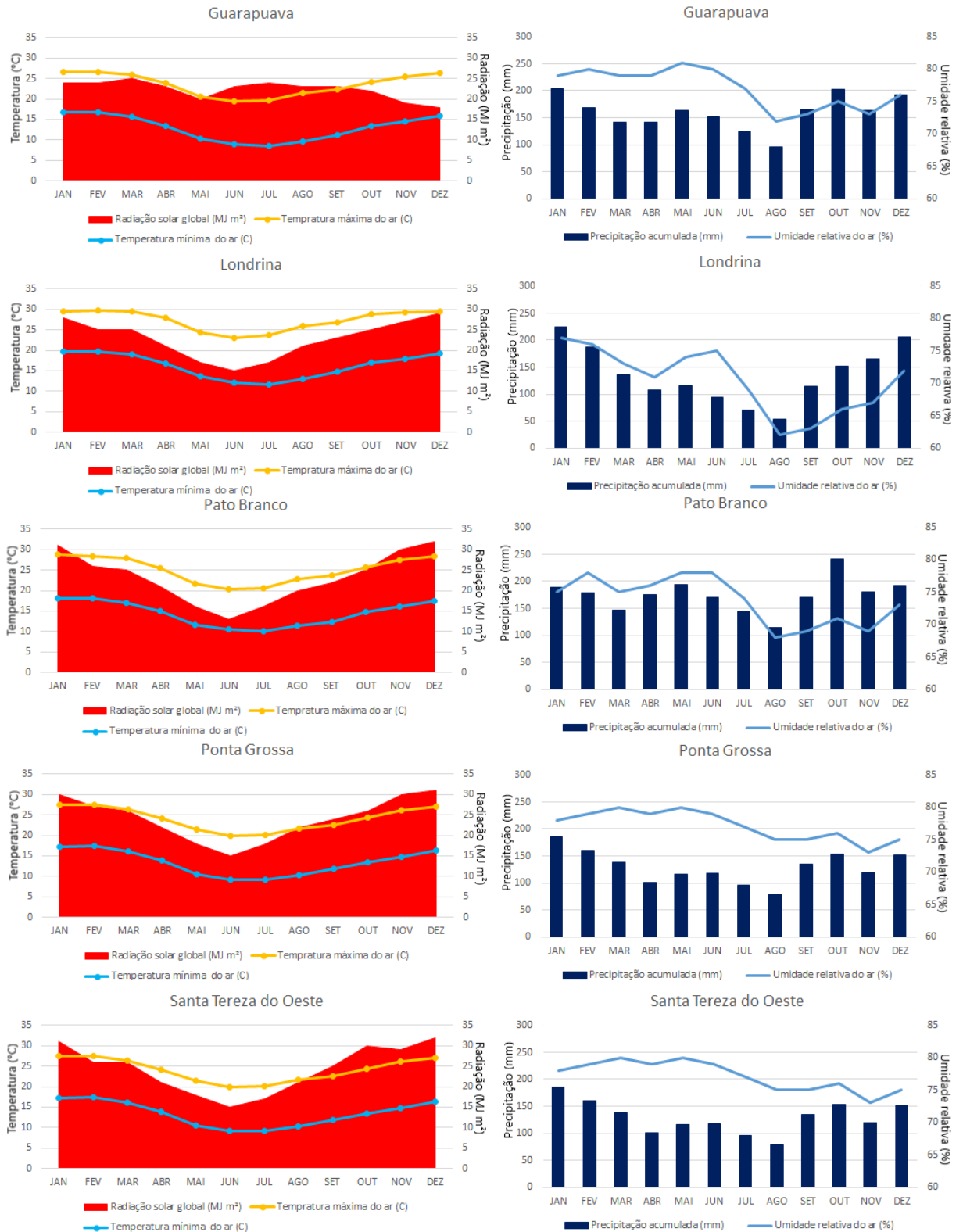
Para a parametrização e validação foram inseridos dados meteorológicos no modelo CROPGRO-Drybean. Foram utilizados dados de cinco estações meteorológicas do Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná (SIMEPAR) no período 2018 a 2021 (Figura 5.2), considerando os parâmetros diários: precipitação (mm), temperatura máxima e mínima do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ), radiação solar global ( $\text{Mj m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ ), velocidade do vento ( $\text{km dia}^{-1}$ ) e umidade relativa do ar (%).

**Figura 5.2:** Relevo do Paraná e a localização das áreas que foram realizadas a modelagem para cultura do feijão.



Na Figura 3 são apresentadas as normais climatológicas (1976-2021) dos municípios de Guarapuava, Londrina, Pato Branco, Ponta Grossa e Santa Tereza do Oeste (Cascavel), nos quais se localizam os experimentos utilizados na parametrização da modelagem para cultura do feijão.

**Figura 5.3:** Distribuição anual de precipitação, umidade relativa do ar, temperaturas máxima e mínima, radiação solar global, entre 1976 a 2021.



### 5.3.7 Parametrização

Após a inserção dos arquivos experimentais, climáticos e de solo, foi realizada a calibração da cultivar genérica, criou-se uma cultivar chamada “calibrada” para que a simulação pudesse ser replicada para outras cultivares e localidades do Paraná. Utilizou-se os dados da Tabela 5.5 para se extrair valores médios representativos para replicações para outras cultivares não aplicadas neste estudo.

Para todas as cultivares realizou-se a parametrização dos coeficientes fenológicos, sendo que EM-FL, FL-SD e SD-PM foram otimizados, fixados e posteriormente foi feita a parametrização do coeficiente FL-SH. Da mesma forma, os coeficientes de crescimento LFMAX, SLAVR, SIZLF e WTPSD foram parametrizados e fixados, para posterior parametrização dos coeficientes SFDUR, SDPDV, PODUR e THRSH (Tabela 5.5) (JUSTINO, 2020).

**Tabela 5.5:** Parâmetros de saída do modelo.

	Parâmetro	Descrição
Desenvolvimento fenológico	EM-FL	Tempo entre a emergência e o início do florescimento da planta (R1)
	FL-SH	Tempo entre a primeira flor e a primeira vagem (R3)
	FL-SD	Tempo entre a primeira flor e a formação da primeira semente (R5)
	SD-PM	Tempo entre a primeira semente (R5) e a maturidade fisiológica (R7)
	FL-LF	Tempo entre a primeira flor (R1) e o final da expansão foliar
	LFMAX	Taxa máxima de fotossíntese foliar a 30°C
	SLAVR	Área foliar específica da cultivar sob condições padrão de crescimento
Biomassa e Desenvolvimento foliar	SIZLF	Tamanho máximo da folha inteira (três folíolos)
	XFRT	Fração máxima de crescimento diário que é dividida em semente + casca
	WTPSD	Peso máximo por semente
	SFDUR	Duração do enchimento de sementes para corte de vagens em condições de crescimento padrão
	SDPDV	Média de sementes por vagem em condições de crescimento padrão
	PODUR	Tempo necessário para a cultivar atingir a carga final de vagens em condições ideais

Fonte: DSSAT (2022); org: autor (2022).

### 5.3.8 Calibração do modelo

Posteriormente à calibração dos parâmetros, foram realizadas simulações utilizando o modelo DSSAT/CROPGRO-Drybean. O primeiro passo foi a criação do arquivo referente aos dados ambientais e de manejo utilizando o “Crop management data”, onde foram inseridos os dados de clima solo e cultivar.

Em seguida, são inseridos na aba “planting” as informações de data de semeadura, emergência, método de plantio (dry seed), distribuição do plantio (rows), população de plantas (24), espaçamento entre linhas (50 cm) e profundidade de plantio (3 cm) e a seleção da textura do solo (argilosa).

Para finalizar esta etapa, informa-se as "opções de simulação" onde deve-se colocar o modelo para rodar pelo menos um mês antes do experimento, para ajustar dados de clima e solo. Deve-se ainda selecionar o modelo CROPGRO-DryBean, informar a forma de trabalho com dados climáticos. Além de selecionar os métodos para estimar o balanço hídrico, neste caso Penman-Monteith/ FAO56, evapotranspiração e infiltração de água no solo.

Ao rodar o modelo extraiu-se as informações de produtividade, dias para florescimento e dias para maturação fisiológica.

### 5.3.13 Análise Estatística

A validação dos dados experimentais consistiu na comparação de produtividade observada e simulada na região de Londrina para localidades de Guarapuava, Pato Branco, Ponta Grossa e Santa Tereza do Oeste. Para tanto, os dados foram calibrados considerando a safra das águas 2019/20 e o modelo foi validado para safra 2019/20 seca, 2020/21 águas e seca. Além do experimento realizado em Londrina - PR a base de dados para comparação produtividade das outras localidades foi obtida dos ensaios destinados ao Registro Nacional de Cultivares conduzido pelo IDR – Paraná considerando uma média de 48 avaliações nas mesmas safras.

Para validação separou-se esses dados por município trabalhado e realizou os testes estatísticos: Raiz do erro médio quadrático - RMSE, normalizado pela média da observação (nRMSE), d, PBIAS,  $R^2$  e NRMSE entre os valores simulado (gerado no CROPGRO) e o observado (produtividade real). Os testes foram realizados no software R.

Ainda para a validação, realizou-se as simulações utilizando as mesmas datas de semeadura dos ensaios e experimento, utilizando os parâmetros das cultivares obtidos

anteriormente e os dados climáticos diários do SIMEPAR. A partir dos resultados das simulações, as produtividades simuladas e observadas foram comparadas.

A calibração e a validação do modelo foram desenvolvidas com a utilização de função objetivo que adotou como coeficientes de desempenho o coeficiente de determinação  $R^2$  ou de Nash e Sutcliffe e o RMSE (Root Mean Square Error- raiz do erro relativo quadrático médio) (FIGUEIREDO et al., 2014), descritos pelas Equações:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (Y_t - \hat{Y}_t)^2}{\sum_{t=1}^n (Y_t - \bar{Y}_t)^2}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n \left( \frac{Y_t - \hat{Y}_t}{Y_t} \right)^2}{n}}$$

onde  $n$  é o número de observações;  $Y_t$  é a observação no instante  $t$ ;  $\hat{Y}_t$  é a observação simulada; e  $\bar{Y}_t$  é a média das  $n$  observações (FIGUEIREDO et al., 2014).

## 5.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.4.1 Parametrização

Os coeficientes de fenologia das seis cultivares de feijão-comum foram parametrizados no modelo CROPGRO-Drybean, resultando em características de desenvolvimento e produtividade simuladas em concordância com os valores observados (Tabela 5.6).

Identificou-se por meio dos coeficientes que o tempo entre a emergência e o florescimento (EM-FL) foi o mesmo para as cultivares Sabiá, Alvorada, Tangará e IAPAR 81, com 34,3 dias fototérmicos. Enquanto o outro padrão foi observado igualmente para as cultivares Estilo e Campos Gerais com 31,1 dias fototérmicos.

Para o tempo entre o florescimento e a formação da primeira semente identificou-se novamente um padrão entre as cultivares BRS Estilo e Campos Gerais com 10,2 dias fototérmicos. Para as demais a variação foi entre 10,7 e 11,9 dias fototérmicos.

Enquanto para o tempo entre a formação da primeira semente e a maturação fisiológica observou-se que as cultivares IAC Alvorada e IPR Tangará apresentaram maior tempo com 21,6 dias fototérmicos. Para as demais cultivares a variação foi entre 19,97 a 20.

**Tabela 5.6:** Coeficientes de fenologia parametrizados para as cultivares utilizadas no experimento.

Cultivar	EM-FL	FL-SD	SD-PM
IPR Sabiá	34,3	10,7	21,57
BRS Estilo	31,1	10,2	20
IPR Campos Gerais	31,1	10,2	19,97
IAC Alvorada	34,3	11,9	21,6
IPR Tangará	34,3	11,9	21,6
IAPAR 81	34,3	10,2	20
Cultivar Calibrada	34,3	10,8	20,8

EM-FL: tempo entre a emergência e o florescimento (dias fototérmicos); FL-SD: tempo entre o florescimento e a formação da primeira semente (dias fototérmicos); SD-PM: tempo entre a formação da primeira semente e a maturação fisiológica (dias fototérmicos).

No estado do Goiás, Justino (2019) encontrou valores aproximados para quatro cultivares. Pérola e IPR Uirapuru apresentaram 30,6 dias fototérmicos entre a emergência e o florescimento, enquanto as cultivares BRS Esplendor e BRS Estilo apresentaram 33,9 dias fototérmicos. Para o tempo entre o florescimento e a formação da primeira semente a autora verificou variação de 8,1 a 11,9 dias fototérmicos.

Também para a cultivar pérola, Antolin (2019) identificou valores similares ao presente, para o tempo entre o florescimento e a formação da primeira semente de 8,9 dias fototérmicos e de 7,2 para a cultivar Esplendor, sendo o menor valor identificado.

Franca e Cardoso (2019) trabalhou com uma cultivar de referência do feijão-caupi e uma cultivar calibrada e também identificou valores similares ao do presente trabalho. Para EM-FL o autor identificou valores de 28,57 e 26,57, respectivamente.

Como mencionado, estimou-se também os coeficientes de crescimentos parametrizados para as seis cultivares de feijão (Tabela 5.7). Identificou-se que as cultivares IAPAR 81 e IPR Sabiá foram as que apresentaram maiores valores de taxas máximas de fotossíntese foliar (LFMAX), com 1,05 e 0,99, respectivamente. O menor valor foi encontrado para BRS Estilo com 0,93. Justino (2019) encontrou valores semelhantes, porém a BRS Estilo foi a que apresentou maior LFMAX com 1,0.

Para a área foliar específica (SLAVR), a que apresentou maiores valores foram IAPAR 81 ( $335 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ ) e BRS Estilo ( $310 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ ), enquanto a menor foi a IPR Sabiá ( $262 \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ ). Essa variação de área foliar também foi identificada por Justino (2019) BRS Esilo  $324 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$  e IPR Uirapuru  $281 \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ .

**Tabela 5.7:** Coeficientes de crescimento parametrizados para as cultivares do feijão

Cultivar	LFMAX	SLAVR	SIZLF	WTPSD	SFDUR	SDPDV	PODUR	THRSH
IPR Sabiá	0,99	262	137,9	0,38	19,5	4,23	7	78
BRS Estilo	0,93	310	140	0,5	17	3,5	12	78
IPR C, Gerais	0,95	300	140	0,4	21	3,5	16	78
IAC Alvorada	0,95	300	140	0,5	17	3,5	15	78
IPR Tangará	0,95	300	140	0,5	19	3,5	10	78
IAPAR 81	1,05	335	160	0,55	17,5	3,5	6	76
Calibrada	0,97	301	143	0,47	18,5	3,6	11	78

LFMAX: Taxa máxima de fotossíntese foliar a 30°C, 350 vpm CO<sup>2</sup> e alta luminosidade (mg CO<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>); SLAVR: área foliar específica (cm<sup>2</sup>.g<sup>-1</sup>); SIZLF: área foliar máxima do trifólio (cm<sup>2</sup>); WTPSD: massa máxima por unidade de grão (g); SFDUR: duração do enchimento de grãos (dias fototérmicos); SDPDV: média de sementes por vagem; PODUR: tempo requerido para que a cultivar atinja a carga máxima de vagens (dias fototérmicos); THRSH: razão máxima entre semente e semente + vagem, na maturação (%);

Quanto a área foliar máxima do trifólio (SIZLF), a maior identificada foi do IAPAR 81 com 160cm<sup>2</sup>, enquanto as quatro outras cultivares, com exceção do IPR Sabiá (137cm<sup>2</sup>), apresentaram 140cm<sup>2</sup>. Valores próximos ao estimado por Franca e Cardoso (2019) para o feijão-caupi, com para a cultivar de referência 133,00 e 120,00 para a calibrada. A semelhança de valores se repete para o média de sementes por vagem (SDPDV), em que neste trabalho a variação foi de 3,5 a 4,23 e para o feijão-caupi os autores identificaram 3,5.

Para a duração do enchimento de grãos (SFDUR) a cultivar IPR Sabiá apresentou a maior duração de dias fototérmicos com 21. Enquanto para as quatro cultivares trabalhadas por Justino (2020) a de maior duração foi a Esplendor com 19,6 dias fototérmicos.

Com valores semelhantes para as seis cultivares, a razão máxima entre semente e semente + vagem (THRSH) na maturação foi de 78%. A única com valor inferior foi a IAPAR 81 (76%). As discrepâncias dos valores das demais cultivares para o IAPAR 81 pode ocorrer devido a citada cultivar ser mais antiga. Os valores de THRSH corroboram com os identificados por Justino (2020) para o estado de Goiás, com variação entre quatro cultivares de 70,2 a 80,9%.

No experimento, diversos coeficientes foram extraídos para realizar a calibração e estimar a produtividade, dias para florescimento e para maturação fisiológica, e como mencionado, em uma parcela com déficit hídrico e uma com irrigação plena (Tabela 5.8).

**Tabela 5.8:** Dados coletados do experimento para a calibração do modelo para as 6 cultivares

Irrigação plena						Déficit florescimento							
DATE	LAID	SWAD	GWAD	LWAD	VWAD	PWAD	DATE	LAID	SWAD	GWAD	LWAD	VWAD	PWAD
<b>Cultivar IPR - Sabiá</b>													
19262	0	76	0	160	236	0	19262	1	90	0	205	295	0
19276	2	542	0	714	1256	0	19276	2	452	0	626	1078	0
19289	4	1369	0	1072	2441	0	19289	2	1548	0	768	2316	0
19300	4	2649	88	1121	3770	0	19300	3	1779	30	1145	2924	0
19322	3	3140	3425	1160	4300	1620	19322	2	2487	1459	1343	3830	4656
<b>Cultivar BRS - Estilo</b>													
19262	0	60	0	172	232	0	19262	0	99	0	145	244	0
19276	2	391	0	506	897	0	19276	2	469	0	534	1004	0
19289	5	1636	0	1332	2968	0	19289	3	1088	0	1295	2383	0
19300	4	2379	212	1055	3434	0	19300	4	2613	110	1423	4036	0
19322	2	3490	2618	877	4366	2278	19322	1	2249	1430	734	2984	3051
<b>Cultivar IPR - Campo gerais</b>													
19262	0	67	0	168	235	0	19262	1	76	0	237	313	0
19276	2	378	0	540	918	0	19276	2	540	0	699	1239	0
19289	5	1391	0	1103	2494	0	19289	3	1946	0	1250	3196	0
19300	5	2801	73	1323	4124	0	19300	4	2381	42	1459	3840	0
19322	2	3118	2154	1062	4180	1912	19322	2	3557	1636	1176	4734	3120
<b>Cultivar IAC - Alvorada</b>													
19262	0	91	0	197	288	0	19262	0	76	0	156	232	0
19276	2	504	0	678	1182	0	19276	2	595	0	780	1375	0
19289	5	1678	0	1245	2923	0	19289	3	1613	0	1230	2842	0
19300	4	2672	32	1071	3743	0	19300	6	3216	11	1880	5096	0
19322	1	2992	2329	558	3550	1605	19322	1	1846	1137	474	2320	3252
<b>Cultivar IPR - Tangará</b>													
19262	0	75	0	167	242	0	19262	1	109	0	206	316	0
19276	2	490	0	615	1105	0	19276	2	592	0	744	1336	0
19289	5	1866	0	1489	3355	0	19289	3	1485	0	1162	2647	0
19300	5	3676	158	1628	5304	0	19300	6	4012	241	2169	6181	0
19322	1	2830	2861	584	3414	1428	19322	1	3259	1389	562	3821	4672
<b>Cultivar Iapar 81</b>													
19262	0	70	0	200	270	0	19262	1	110	0	202	312	0
19276	2	480	0	621	1102	0	19276	3	585	0	732	1317	0
19289	7	1856	0	1550	3406	0	19289	5	2321	0	1739	4060	0
19300	6	3845	68	1897	5742	0	19300	5	2661	102	2032	4692	0
19322	3	4074	3398	1490	5564	1928	19322	2	2993	1050	918	3911	5016

DATE: data de coleta em dias Juliano; LAID: Índice de área foliar em um determinado dia  $m^2/m^2$ ; SWAD: Peso seco do caule em um determinado dia  $kg\ ha^{-1}$ ; GWAD: Peso seco do grão em um determinado dia  $kg\ ha^{-1}$ ; LWAD: Peso da folha ( $kg\ [dm]/ha$ ); VWAD: Peso vegetativo (caule+folha) ( $kg\ ha^{-1}$ ); PWAD: Peso da vagem ( $kg\ [dm]/ha$ );

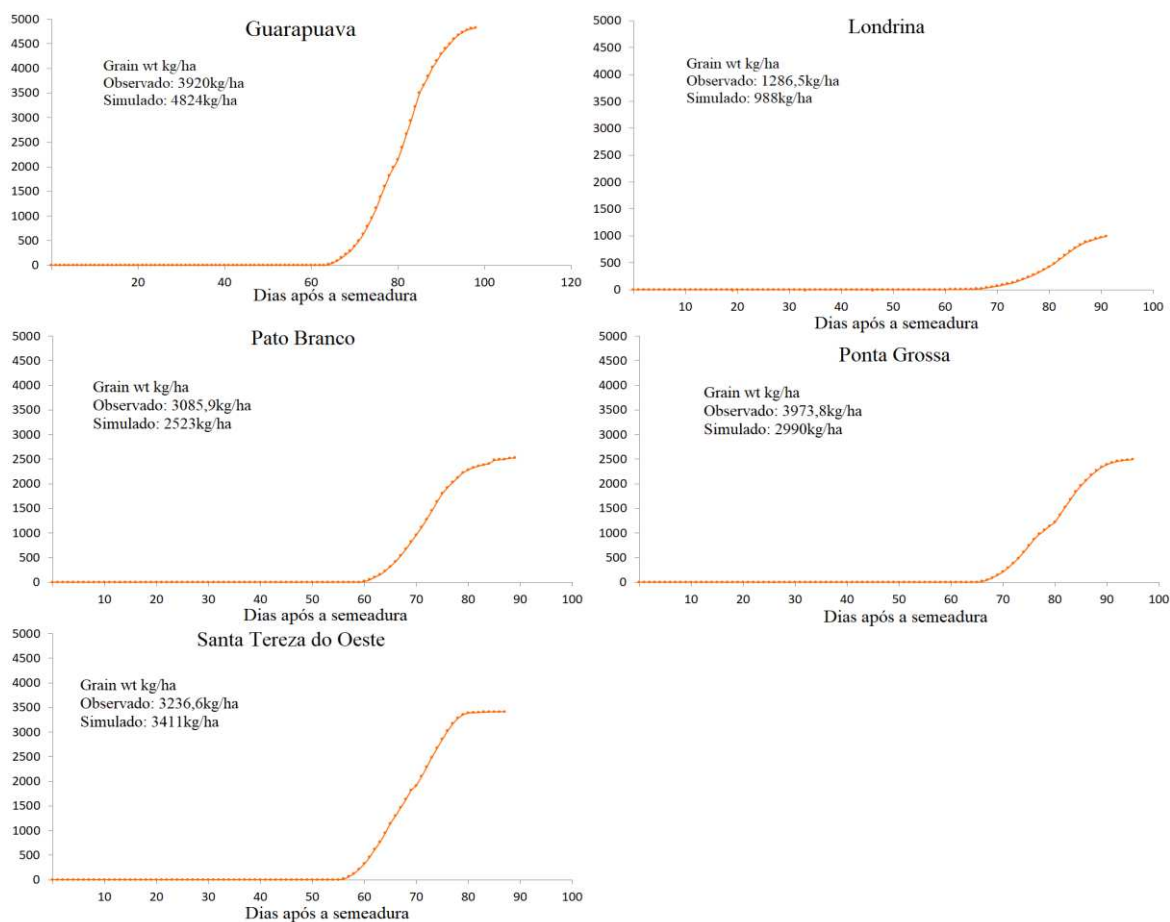
As observações mencionadas ajudam a calibrar o modelo com a irrigação sendo um cenário ideal e de maior produtividade e o déficit uma situação real com adversidades durante o ciclo, visando aplicar os dados dos experimentos para locais diferentes. E, como era de se esperar, a maior parte dos parâmetros apresentaram maiores valores sob irrigação plena.

Como é o caso do peso seco do caule em um determinado dia  $\text{kg ha}^{-1}$  (SWAD), com a última medição, por exemplo, com valor de  $3.140\text{kg ha}^{-1}$  sob irrigação e  $2.487\text{kg ha}^{-1}$  sob déficit hídrico para a cultivar IPR Sabiá. Os valores superiores se repetem para as seis cultivares para peso seco do grão em um determinado dia; peso da folha e peso vegetativo.

#### 5.4.2 Produtividade e validação do modelo.

Para a calibração do modelo utilizou-se a safra das águas do feijão de 2019/20 como referência para a análise estatística, visto ser a safra que foi realizado o experimento (Figura 5.4).

**Figura 5.4:** Produtividade observada e simulada para a safra das águas (2019/20) da cultivar calibrada do feijão— Safra de Referência



Identificou-se na produtividade observada e simulada maior proximidade dos valores para a safra de Londrina (onde o experimento foi realizado) 1286,5 kg ha<sup>-1</sup> observado e 988kg ha<sup>-1</sup> simulado e Santa Tereza do Oeste 3236,6 kg ha<sup>-1</sup> observado e 3411kg ha<sup>-1</sup> simulado. Londrina já era de se esperar a proximidade dos valores visto ser o local que foi realizado o experimento. Santa Tereza do Oeste pode ter apresentado maior similaridade também, por ser o local com o clima mais similar ao de Londrina dentre as localidades analisadas (Figura 5.3).

A maior variação foi em Ponta Grossa, sendo a produtividade observada de 3976kg/ha<sup>-1</sup> e a simulada de 2990 kg ha<sup>-1</sup>. Em Guarapuava e Pato Branco as diferenças foram de +904 kg ha<sup>-1</sup> e -526 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Resultados similares foram encontrados no trabalho de Lima Filho et al. (2013), só que desta vez para o feijão Caupi no Recôncavo Baiano. Os autores também identificaram que o modelo pode apresentar diferença tanto positiva quanto negativa, porém com simulações satisfatórias para as fases fenológicas do feijão Caupi nas condições do experimento.

Justino (2020) caracterizou em seu trabalho os motivos da simulação ser superior ou inferior ao simulado. Para a produtividade simulada inferior essa situação pode ocorrer caso a parametrização não tenha se mostrado adequada para tal cenário ou haja inconsistências nos dados experimentais. Já no caso de dados simulados superiores aos observados, como no ocorreu na época de inverno, a superestimação é atribuída à fatores que provocam a redução da produtividade em campo e que o modelo não é capaz de captar, como doenças, insetos-praga, plantas daninhas, manejo inadequado, entre outros

Como mencionado, para a validação do modelo utilizou-se a safra de referência do feijão das águas de cultivar calibrada de 2019/20 e utilizou-se testes estatísticos com valores das safras das águas e da seca de 2019/20 e 2020/21 (Tabela 5.9).

Londrina, novamente, apresentou bons resultados no modelo e na validação estatística. Apresentou os valores mais próximos entre o simulado e observado para a safra da Seca de 2019/20 com 922,5kg ha<sup>-1</sup> observado e 918 simulado.

Guarapuava que teve os maiores valores de produtividade, na maioria dos cenários, teve os valores mais distantes entre o simulado e observado, chegando a atingir mais 1.000kg ha<sup>-1</sup> de diferença.

Pode-se observar também, a detecção da variabilidade ambiental no modelo, com calibração e significância estatística em safras com a produtividade baixa, como na safra

da seca 2019/20 e das águas 2020/21 em Londrina, com produtividade observada e simulada inferior a 1500kg ha<sup>-1</sup>.

**Tabela 5.9:** Produtividade observada e simulada (em kg ha<sup>-1</sup>) para as safras das águas (2020/21) e da seca (2019/20 e 2020/21)

Safra da Seca 2019/20	Observado	Simulado
Guarapuava	3436,4	2512
Pato Branco	2457,9	3189
Ponta Grossa	3207,4	3868
Santa Tereza	1654,4	1311
Londrina	922,5	918
Safra das Águas 2020/21	Observado	Simulado
Guarapuava	3534,7	2489
Pato Branco	3258,5	2337
Ponta Grossa	3306,3	4030
Santa Tereza	1541,7	985
Londrina	1286,5	822
Safra da Seca 2020/21	Observado	Simulado
Guarapuava	2940,3	1912
Pato Branco	2631	1759
Ponta Grossa	3434,3	3017
Santa Tereza	772,6	424
Londrina	922,5	1299

Org: autor (2022).

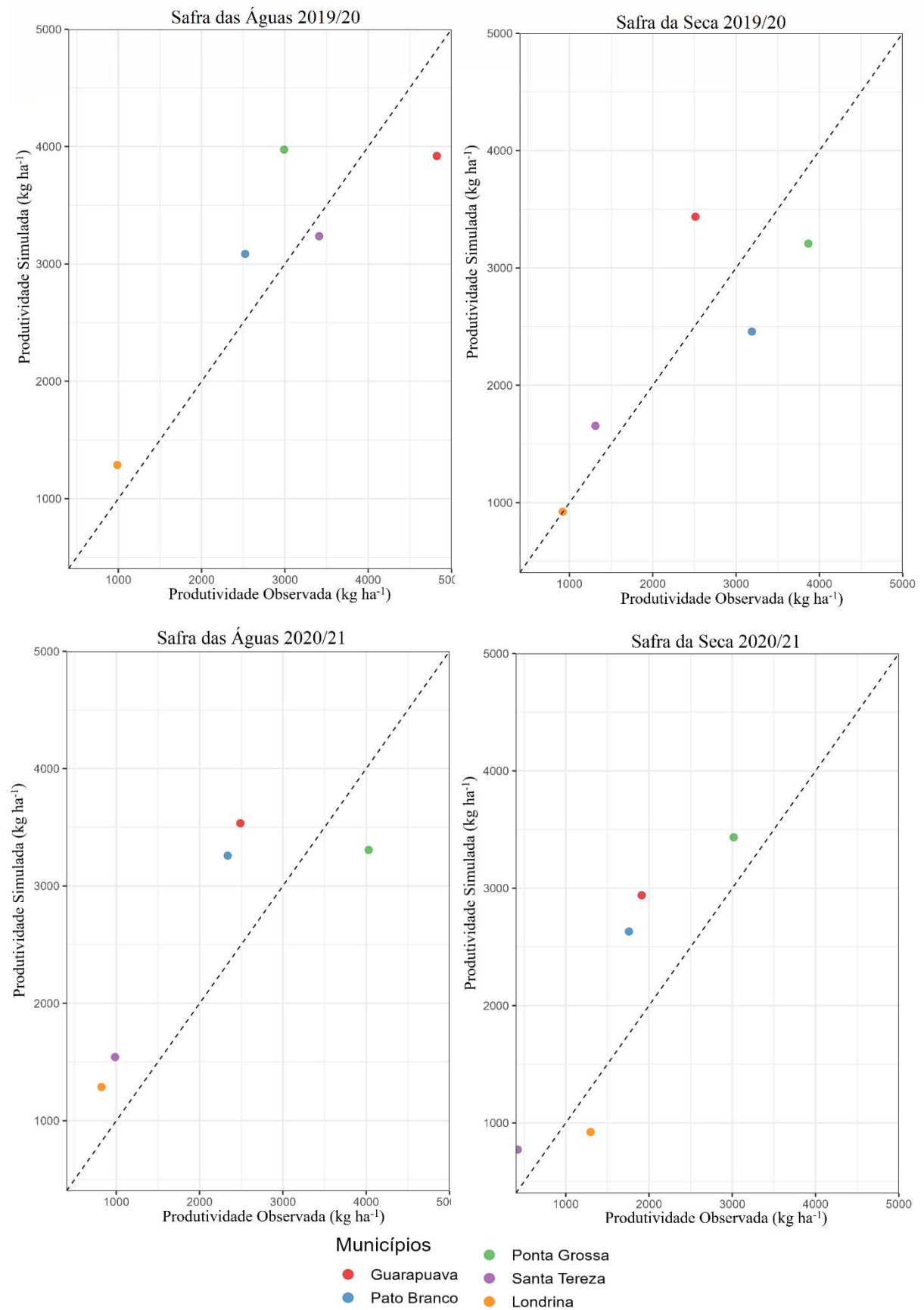
Para identificar a qualidade dos valores simulados utilizou-se o gráfico da Figura 5.5 e a Tabela 5.10. Por meio do gráfico foi possível observar que as produtividades simuladas ficaram próximas a linha traçada com os valores observados de produtividade.

Por meio do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) identificou-se valores satisfatórios e que o modelo é ajustado, com destaque para a safra da seca 2020/21 com valor de 0,71. O teste d também corroborou com os resultados positivos do modelo, com variações de 0,86 a 0,89 para as safras analisadas.

Por meio do teste de pBias averiguou-se que o modelo tende a estimar valores próximos, porém, inferiores a produtividade real/observada. A única exceção foi para a safra da seca de 2019/20 com valor de pBias de 1.

Para a análise do teste da raiz quadrada do erro médio (RMSE), que apresenta a diferença dos valores estimados e observados, a variação também apresentou valores mais satisfatórios para a safra da seca 2019/20.

**Figura 5.5:** Produtividade observada e simulada (em kg ha<sup>-1</sup>) e o teste t para as safras das águas (2020/21) e da seca (2019/20 e 2020/21)



**Tabela 10:** Validação do modelo para as safras das águas (2020/21) e da seca (2019/20 e 2020/21)

Safra	RMSE	NSE	d	pBias	R <sup>2</sup>	nRMSE
Seca 2019/20	623,34	0,56	0,89	1	0.685653	266,91
Águas 2020/21	773,57	0,36	0,86	-17.5	0.711267	299,19
Seca 2020/21	671,59	0,62	0,88	-21.4	0.810972	313,81

Org: autor (2022).

Franca e Cardoso (2019) também trabalharam com uma cultivar calibrada de feijão Caupi no estado do Pará e também tiveram resultados positivos com a validação do modelo. Os resultados da modelagem foram análogos aos observados experimentalmente. O modelo simulou coerentemente as datas de semeadura e a produtividade, podendo ser replicado.

Justino (2020) também identificou nas simulações de quatro cultivares do feijão em Goiás, que na maioria dos casos os valores simulados foram maiores que os observados, seguindo uma tendência esperada pela autora. E que, mesmo em alguns casos a diferença entre a produtividade simulada e observada possa chegar a mais 1.000kg ha<sup>-1</sup> o modelo segue apresentando significância estatística.

## 5.5 CONCLUSÕES

A variabilidade ambiental, com condições de clima e solo, foi detectada pelo modelo e contribuiu nas informações de produtividade e calibração do modelo CROPGRO-Drybean.

Os coeficientes parametrizados das seis cultivares demonstraram maior proximidade dos valores simulados para Londrina, local onde foi realizado o experimento. Porém, todas as outras localidades apresentaram significância estatística dos valores simulados.

Os testes estatísticos corroboraram com a validação do modelo, demonstrando assim a validação da safra simulada. Identificou-se que a safra da seca de 2019/20 apresentou valores mais representativos.

O modelo foi calibrado, ajustado e validado e agora pode servir como ferramenta para o planejamento para demais áreas do estado do Paraná.

## 5.6 REFERÊNCIAS

ANTOLIN, L.A.S. **Simulação de cenários agrícolas futuros para a cultura do feijão no Brasil com base em projeções de mudanças climáticas**. 83 p. Dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2019

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**. 6. ed. Brasília: Estúdio Nous, 2019. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 23 abril. 2020.

FARIAS, P. H. S., DA SILVA, S. C., & HEINEMANN, A. B. Avaliação da variabilidade dos coeficientes genéticos do modelo CROPGRO-Drybean em diferentes ambientes. In: Embrapa Arroz e Feijão-Resumo em anais de congresso (ALICE). In: SEMINÁRIO JOVENS TALENTOS, 10., 2016, Santo Antônio de Goiás. **Coletânea dos resumos apresentados**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2016.

FRANCA, E. B. D. A., & CARDOSO, G. G. **Calibração e aplicação do simulador de cultura CROPGRO-Cowpea**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Capitão Poço, 37p. 2019.

FRANCO, J. M. C.; TEIXEIRA, E. C. Transferência de renda da agricultura comercial e familiar produtora de arroz, feijão e leite. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 37, n. 1, p. 57-76, 2019.

GARIBAY, V. M., KOTHARI, K., ALE, S., GITZ III, D. C., MORGAN, G. D., & MUNSTER, C. L. Determining water-use-efficient irrigation strategies for cotton using the DSSAT CSM CROPGRO-cotton model evaluated with in-season data. **Agricultural Water Management**, v. 223, p. 105695, 2019.

GHAHRAMAN, B. Time trend in the mean annual temperature of Iran. **Turkish journal of agriculture and forestry**, v. 30, n. 6, p. 439-448, 2007.

IAPAR. **Catálogo de variedades de Feijão**. Disponível em: <http://www.iapar.br/pagina-1363.html>. Acesso em dezembro de 2019

IAC. Cultivares de Feijoeiro IAC - IAC Alvorada. Centro de Grãos e Fibras. 2022. Disponível em <<https://www.iac.sp.gov.br/areasdepesquisa/graos/feijao.php#:~:text=Apresenta%20ciclo%20m%C3%A9dio%20de%20195,ha%2D1>> Acesso em 20 de setembro de 2022.

JONES, J.W.; HOOGENBOOM, G.; PORTER, C.H.; BOOTE, K.J.; BATCHELOR, W.D.; HUNT, L.A.; WILKENS, P.W.; SINGH, U.; GIJSMAS, A.J.; RITCHIE, J.T. The DSSAT cropping systems model. **European Journal of Agronomy**, v. 18; p. 235-265, 2003.

JONES, J. W., ANTLE, J. M., BASSO, B., BOOTE, K. J., CONANT, R. T., FOSTER, I., ... & KEATING, B. A. Brief history of agricultural systems modeling. **Agricultural systems**, v. 155, p. 240-254, 2017.

JUSTINO, L. F. **Caracterização da performance de cultivares de feijão-comum em três épocas de semeadura em Goiás, por modelo de simulação**. Tese de doutorado. Universidade Federal De Goiás Escola De Agronomia Programa De Pós-Graduação Em Agronomia. 77p. 2020.

LI, M., DU, Y., ZHANG, F., BAI, Y., FAN, J., ZHANG, J., & CHEN, S. Simulation of cotton

growth and soil water content under film-mulched drip irrigation using modified CSM-CROPGRO-cotton model. **Agricultural Water Management**, v. 218, p. 124-138, 2019.

LIMA FILHO, A. F., COELHO FILHO, M. A., & HEINEMANN, A. B. Calibração e avaliação do modelo CROPGRO para a cultura do feijão caupi no Recôncavo Baiano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 1286-1293, 2013.

LIMA, R. S., SÃO JOSÉ, A. R., SOARES, M. R. S., MOREIRA, E. S., NETO, A. C. A., CARDOSO, A. D., & MORAIS, O. M. Levantamento fitossociológico de plantas daninhas na cultura do feijão-caupi no município de Vitória da Conquista-BA. **Magistra**, v. 28, n. 3/4, p. 390-402, 2017.

MASON-D'CROZ, D., SULSER, T. B., WIEBE, K., ROSEGRANT, M. W., LOWDER, S. K., NIN-PRATT, A., ... & DUNSTON, S. Agricultural investments and hunger in Africa modeling potential contributions to SDG2–Zero Hunger. **World development**, v. 116, p. 38-53, 2019.

MONTEIRO, J. B. A. et al. **Agrometeorologia dos Cultivos: O fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília: Inmet, 2009. 530 p.

NITSCHKE, P. R., et al., **Atlas Climático do Estado do Paraná**. Londrina, PR: Instituto Agrônômico do Paraná - IAPAR. 2019. Available in: < <http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=677> > Acesso em: 12 de julho de 2020.

OLIVEIRA, C. A. B., DE MELLO PELÁ, G., & PELÁ, A. Inoculação com *Rhizobium tropici* e adubação foliar com molibdênio na cultura do feijão comum. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 4, n. 5, p. 43-50, 2017.

SAMPAIO, L. S., BATTISTI, R., LANA, M. A., & BOOTE, K. J. Assessment of sowing dates and plant densities using CSM-CROPGRO-Soybean for soybean maturity groups in low latitude. **The Journal of Agricultural Science**, v. 158, n. 10, p. 819-832, 2020.

SILVA, V. D. P. R., DA SILVA, B. B., BEZERRA, J. R. C., & ALMEIDA, R. S. R. Consumo hídrico e viabilidade econômica da cultura do feijão caupi cultivado em clima semiárido. **Irriga**, v. 21, n. 4, p. 662-672, 2016.

SILVA, E. H. F. M., BOOTE, K. J., HOOGENBOOM, G., GONÇALVES, A. O., JUNIOR, A. S. A., & MARIN, F. R. Performance of the CSM-CROPGRO-soybean in simulating soybean growth and development and the soil water balance for a tropical environment. **Agricultural Water Management**, v. 252, p. 106929, 2021.

## 6 CONCLUSÕES GERAIS

Sendo uma espécie sensível as variações climáticas, a atualização do zoneamento de risco agroclimático para o feijoeiro apresentou alterações em 20 anos de análise, com modificações de janela de semeadura e área apta para o cultivo para as três safras.

Ao analisar os cenários de mudanças climáticas as alterações são ainda mais drásticas e demonstram que será possível, nos moldes de produção atual, a realização de apenas uma safra. Sendo assim, ferramentas de planejamento, melhoras genéticas e integração com sistemas agroflorestais são apenas alguns elementos que podem contribuir para a mitigação dos efeitos do aquecimento global na produção de feijão.

Modelos de simulações podem contribuir para o planejamento da produção do feijão visando mitigar os impactos das variações climáticas na quebra de safra e ainda, auxiliar nas pesquisas de produção sob a perspectiva das mudanças climáticas.

Este trabalho tem o intuito de servir como base para estudos que buscam soluções e alternativas para lidar com os cenários futuros, e precauções quanto a mudanças climáticas, para que se possa garantir a produção de alimentos mais sustentável. Além de orientar políticas públicas que objetivem a mitigação do impacto das mudanças climáticas.