

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
ESCOLA DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, INOVAÇÃO E NEGÓCIOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**Framework para simulação do crescimento da cultura da soja utilizando o modelo
CROPGRO-Soybean**

Gustavo César Visentini

Passo Fundo

2024

Gustavo César Visentini

Framework para simulação do crescimento da cultura da soja utilizando o modelo
CROPGRO-Soybean

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Agronomia da Escola de Ciências Agrárias Inovação e
Negócios da Universidade de Passo Fundo, como
requisito parcial para obtenção de título de Doutor em
Agronomia.

Orientador:
Prof. Dr. Rafael Rieder
Coorientador:
Prof. Dr. Willington Pavan

Passo Fundo

2024

CIP – Catalogação na Publicação

V829f Visentini, Gustavo César
Framework para simulação do crescimento da cultura da soja utilizando o modelo CROPGRO-Soybean [recurso eletrônico] / Gustavo César Visentini. – 2024.
11 MB ; PDF.

Orientador: Prof. Dr. Rafael Rieder.
Coorientador: Prof. Dr. Willington Pavan.
Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de Passo Fundo, 2024.

1. Soja - Cultivo. 2. Inovações agrícolas. 3. Framework.
I. Rieder, Rafael, orientador. II. Pavan, Willington, coorientador. III. Título.

CDU: 631:004

Catalogação: Bibliotecária Juliana Langaro Silveira - CRB 10/2427

ATA DE DEFESA DA TESE



ATA 117/2024 DA DEFESA DE TESE DO CANDIDATO GUSTAVO CÉSAR VISENTINI DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM PRODUÇÃO E PROTEÇÃO DE PLANTAS DA ESCOLA DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, INOVAÇÃO E NEGÓCIOS DA UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO.

Aos vinte dias do mês de fevereiro de dois mil e vinte e quatro, às quatorze horas e quinze minutos, na UPF ONLINE – SALA 01, prédio D1 central de salas, sob a presidência do Prof. Dr. Rafael Rieder, em sessão pública, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa de Tese do candidato **Gustavo César Visentini**, do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Área de Concentração "Produção e Proteção de Plantas", constituída pelos doutores: Rafael Rieder (Orientador), Willingthon Pavan (coorientador), Nadia Canali Lângaro (avaliadora interna), Carlos Amaral Hölbig e Jose Mauricio Cunha Fernandes (avaliadores externos), indicados pelo Conselho do Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Iniciados os trabalhos, a presidência deu conhecimento aos membros da comissão e o candidato das normas que regem a defesa de tese e definiu a ordem a ser seguida pelos examinadores para a arguição. A seguir, o candidato passou a apresentação e defesa da tese, intitulada "**Framework para simulação do crescimento da cultura da soja utilizando o modelo CROPGRO-Soybean**". Encerrada a defesa, a avaliação foi a seguinte: Rafael Rieder: APROVADO; Willingthon Pavan: APROVADO, Nadia Canali Lângaro: APROVADO; Carlos Amaral Hölbig: APROVADO e Jose Mauricio Cunha Fernandes: APROVADO, tendo o candidato sido APROVADO. Para fazer jus ao título de "Doutor em Agronomia - Área de Concentração em Produção e Proteção de Plantas" é necessário que o candidato entregue, no prazo de 45 (quarenta e cinco) dias, a partir desta data, as cópias da versão definitiva da tese, em formato digital com as alterações sugeridas pelos membros da Comissão Examinadora. Nada mais havendo a tratar, lavrou-se a presente Ata, que vai assinada pelos membros da comissão examinadora, pela Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Profa. Dra. Nadia Canali Lângaro, e a Diretora da Escola de Ciências Agrárias, Inovação e Negócios, Profa. Dra. Cleide Fátima Moretto.

Prof. Dr. Rafael Rieder
Presidente da Comissão Examinadora
Orientador

Prof. Dr. Willingthon Pavan
Coorientador
University of Florida

Profa. Dra. Nadia Canali Lângaro
Avaliadora Interna e Coordenadora PPGAgro

Prof. Dr. Carlos Amaral Hölbig
Avaliador Externo – UPF

Dr. Jose Mauricio Cunha Fernandes
Avaliador Externo – Embrapa

Profa. Dra. Cleide Fátima Moretto
Diretora da Escola de Ciências Agrárias, Inovação e
Negócios

ATA DE APROVAÇÃO2.pdf

Documento número #0cbd2b9c-87df-4225-a506-e5356f73e4dd

Hash do documento original (SHA256): 30e1d6da24611d096a8b49bd4985441d916d03984900ffa11ba851895e1b32bf

Assinaturas

-  **Rafael Rieder**
CPF: 953.205.980-68
Assinou em 07 mar 2024 às 09:58:29
-  **Willingthon Pavan**
CPF: 598.795.210-72
Assinou em 07 mar 2024 às 10:23:42
-  **Nadia Canali Lângaro**
CPF: 393.322.330-04
Assinou em 07 mar 2024 às 11:20:48
-  **José Maricio Cunha Fernandes**
CPF: 207.129.440-87
Assinou em 07 mar 2024 às 09:51:19
-  **Carlos Amaral Holbig**
CPF: 543.333.500-34
Assinou em 07 mar 2024 às 09:47:03
-  **Cleide FatimaMoretto**
CPF: 582.841.090-34
Assinou em 07 mar 2024 às 09:49:13

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Rafael Rieder por aceitar a orientação nesta fase final, pelos conhecimentos e paciência que vem desde a graduação. Muito obrigado por me orientar e acreditar no meu trabalho.

Ao Prof. Dr. Willingthon Pavan, por aceitar ser coorientador deste trabalho. Desde a graduação e no mestrado, como orientador, vem me ensinando o caminho para me tornar o que sou hoje. Muito de minha formação e caráter devo a você, meu muito obrigado.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade de Passo Fundo, pela formação.

A CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pela bolsa de Doutorado.

Aos meus colegas de Doutorado que de uma forma ou outra me auxiliaram, bem como todos que de uma forma ou outra estiveram presentes nesta fase.

E, o mais importante agradecimento, para minha família e minha noiva Jakeline, que nunca mediram esforços para me auxiliar no que era preciso, meu muito obrigado.

RESUMO

VISENTINI, Gustavo César. Framework para simulação do crescimento da cultura da soja utilizando o modelo CROPGRO-Soybean. 2024. 87 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2024.

O meio agrícola tem buscado empregar novas tecnologias a seu cotidiano com o objetivo de agregar praticidade e facilidade na execução de tarefas, visando aumentar a produção, controlar doenças e pragas, bem como melhorar a qualidade final do produto, poupando tempo e recurso. Modelos de simulação agrícola, como o DSSAT-CROPGRO, são importantes ferramentas para prever rendimentos de culturas e avaliar os impactos das mudanças nas práticas agrícolas e condições ambientais. Aplicativos *mobile* no meio agrícola também merecem destaque, pois são tecnologias que vem crescendo devido a adoção de novas técnicas computacionais para processar dados, facilitando a realização de análises agrônomicas, que podem chegar ao produtor em tempo real. No entanto, para utilizar estes modelos, a demanda por coletar e organizar estes dados para a entrada do modelo e apresentar a saída dos resultados são complexas, o pode se tornar um problema para quem busca utilizar esta tecnologia. Desta maneira, este trabalho teve como objetivo apresentar “Soybean Alert”, um framework para simulação do crescimento da cultura da soja utilizando o modelo CROPGRO-Soybean, composta de dois módulos interconectados. O primeiro módulo é uma API, responsável por coletar, organizar e processar dados utilizados para simular a cultura da soja, trazendo dados sobre todo o período de desenvolvimento da cultura. O segundo módulo é um aplicativo, responsável pela solicitação de novas simulações e pela apresentação dos resultados de forma direta, abstraindo toda a complexidade para o uso destes modelos de simulação. O framework desenvolvido prediz para o usuário o comportamento futuro da cultura, simulando todo o ciclo da mesma, utilizando dados de previsão do tempo, datas de emergência, início do estágio reprodutivo, maturação fisiológica e previsão de colheita. Um estudo comparativo piloto, com dados de campo das cultivares Brasmax Ativa RR e NA5909RG, mostrou que a solução proposta estimou valores muito próximos da realidade para o índice de produtividade final (Kg/ha), com variação de apenas 4,69% e 2,96% para cada cultivar, respectivamente. Isso reforça o potencial do framework “Soybean Alert” como ferramenta de referência preditiva e de simulação de cenários de plantio para o agricultor.

Palavras-chave: Aplicativo, API, CROPGRO, Framework, Soja, Soybean Alert.

ABSTRACT

VISENTINI, Gustavo César. Framework for simulating soybean crop growth using the CROPGRO-Soybean model. 2024. 87 f. Thesis (Doctoral degree in Agronomy) – University of Passo Fundo, Passo Fundo, 2024.

The agricultural sector has sought to employ new technologies in their daily lives with the ambition of adding practicality and ease in carrying out tasks, aiming to increase production, control diseases and pests, and improve the quality of the final product, saving time and resources. Agricultural simulation models, such as DSSAT-CROPGRO, are relevant tools for predicting crop yields and evaluating the impacts of changes in field practices and environmental conditions. Mobile applications in the agricultural sector are also worth highlighting, as they are technologies that have been growing due to the adoption of new computational techniques to process data, facilitating the agronomic analyses, which can reach the producer in real time. However, to use these models, the demand for collecting and organizing this data for input into the model and presenting the output results are complex, which can become a problem for those looking to use this technology. With this in mind, this work presents the “Soybean Alert”, a platform for simulating soybean crop growth using the CROPGRO-Soybean model, composed of two interconnected modules. The first module is an API responsible for collecting, organizing and processing data used to simulate soybean cultivation, providing data on the entire development period of the crop. The second module is a mobile app responsible for requesting new simulations and presenting the results directly, abstracting all the complexity for using these simulation models. The developed platform provides the user with a prediction of how the crop will behave in the future using the weather forecast as well as simulation for the entire crop cycle, as well as important dates, such as the beginning of the reproductive period, physiological maturation and forecast harvest, as well as final productivity. A pilot comparative study, with field data from the cultivars Brasmax Ativa RR and NA5909RG, showed that the proposed solution estimated values very close to reality for the final productivity index (Kg/ha), with a variation of only 4.69% and 2.96% for each cultivar, respectively. This panorama reinforces the potential of the “Soybean Alert” platform as a predictive reference and planting scenario simulation tool for farmers.

Keywords: API, CROPGRO, Mobile App, Framework, Soybean, Soybean Alert.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	REVISÃO DE LITERATURA	15
	2.1 Cultura da soja	15
	2.2 Crescimento e desenvolvimento da cultura da soja	15
	2.3 Clima, solo e manejo	17
	2.4 Modelos de simulação	19
	2.5 Banco de dados e desenvolvimento mobile.....	23
	2.6 Trabalhos relacionados.....	27
3	CAPITULO I	30
	3.1 Resumo	30
	3.2 Introdução.....	30
	3.3 Material e métodos	32
	3.3.1 Coleta de dados das cultivares	32
	3.3.2 Definição de parâmetros e variáveis no modelo.....	33
	3.3.3 Calibração do modelo.....	34
	3.4 Resultados e discussão	36
	3.5 Conclusão	43
4	CAPITULO II	45
	4.1 Resumo	45
	4.2 Introdução.....	45
	4.3 Material e métodos	46
	4.3.1 Aquisição de dados do usuário.....	47
	4.3.2 Aquisição de dados meteorológicos	47
	4.3.3 Aquisição de dados de solo.....	49
	4.3.4 Ferramentas utilizadas	51

4.4 Resultados e discussão	52
4.4.1 Organização de pastas e template	53
4.4.2 Executando uma requisição de simulação	54
4.4.3 Organização e retorno dos dados	56
4.5 Conclusão	57
5 CAPITULO III	59
5.1 Resumo	59
5.2 Introdução.....	59
5.3 Material e métodos	60
5.4 Resultados e discussão	62
5.4.1 Recursos e funcionalidades.....	62
5.4.2 Estudo de caso	72
5.6 Conclusão	76
6 CONCLUSÃO	79
REFERÊNCIAS	81

1 INTRODUÇÃO

Na agricultura são constantes as modificações que ocorrem nos sistemas agrícolas, como inovações tecnológicas que permitem aperfeiçoar os cultivos, ameaças de ataques de pragas (insetos, doenças e plantas daninhas), e mudanças econômicas no mercado que exigem a readequação dos manejos dos cultivos.

Diante do crescente aumento da população o mercado de *comodities* agrícolas segue em alta, sendo os principais exportados pelo Brasil açúcar, café, soja, milho e algodão (SILVA, 2022). Nos sistemas de produção de grãos brasileiro, podem ocorrer diversos impactos, podendo forçar mudanças para otimizar o sistema a fim de alcançar maiores níveis de produtividade, com sustentabilidade econômica e ambiental (DAL SOGLIO, 2016). O surgimento de novas tecnologias permite avaliar estas mudanças.

Dentre os principais *comodities* brasileiras, a soja se destaca por ser a principal cultura de exportação do Brasil, e por esta ser produzida em quantidade significativa do território (CAMPEÃO *et al.*, 2020). Seu uso pode ser tanto para a alimentação humana e animal, bem como para uso industrial. Ela também é alvo constante de estudos, pois seu cultivo é influenciado por diferentes fatores intrínsecos e extrínsecos, sendo alguns deles o manejo, o solo e o clima.

O rendimento de grãos da cultura e o crescimento da planta são variáveis perante as variações de clima. As plantas de soja não possuem sua arquitetura definida, podendo variar de acordo com as condições em que se encontram. Sua modificação pode ser induzida pela genética ou pelo ambiente em que se encontra, interferindo na estrutura e no número de metâmeros (MÜLLER, 2017a).

As plantas de soja também podem apresentar crescimento vegetativo excessivo, o que reflete negativamente sobre a capacidade de interceptação de radiação solar, assim como, pela menor deposição de produtos fitossanitários que limitam a capacidade de proteção das plantas ao ataque de pragas e doenças, bem como também pode interferir na capacidade final de produção da mesma.

Trabalhos demonstram a possibilidade de simular o comportamento da cultura da soja em diferentes cenários, sendo estes com mais ou menos disponibilidade hídrica, bem

como o tipo de solo e o uso da compostagem para tal (YASSI *et al.*, 2019). Nele foram demonstradas as diferenças entre peso vegetativo e número de vagens por plantas, o que desta forma pode ser entendido qual a melhor citação para aquele caso.

Um cenário importante para a produtividade da cultura da soja é a compactação do solo. Ela ameaça o rendimento das safras, mas as operações de descompactação mecânica aumentam o risco de degradação do solo e os custos da cultura. A decisão sobre práticas de manejo do solo que minimizam a perda de rendimento depende do impacto da compactação do solo na produtividade da cultura, que é afetado pelo padrão de chuvas.

Soluções em software permitem utilizar modelos matemáticos capazes de simular e prever os efeitos da compactação do solo ao longo do tempo, com base em dados históricos e dados de sensores de monitoramento. Esses programas possibilitam uma análise de dados detalhada, auxiliando pesquisadores, agricultores, técnicos e tomadores de decisão na adaptação de práticas de manejo do solo para melhorar a conservação do solo e aumentar a produtividade das culturas (MULAZZANI *et al.*, 2022).

O interesse pelo uso de modelos computacionais que simulam o rendimento das culturas em geral tem crescido recentemente, porém as ferramentas disponíveis ainda possuem entrada de dados e objetivos definidos diferentes (REZAEI *et al.*, 2022; SALMERÓN; PURCELL, 2016). Sendo assim, é importante considerar a integração do conhecimento de diferentes áreas de pesquisa para desenvolver um sistema que conecte modelos de simulação e tecnologias computacionais para que este produza dados confiáveis e aplicáveis. Nesse sentido, o desenvolvimento de um sistema no formato de um framework onde, integre todo o trabalho de levantamento e organização de dados utilizados para gerar as simulações e uma aplicação móvel para fazer a interação e comunicação com usuário final apresentam-se como alternativas viáveis para elucidar os problemas que envolvem o setor agrícola.

Nesse sentido, este projeto apresenta a construção de um framework para simulação do crescimento da cultura da soja utilizando o modelo DSSAT-CSM-CROPGRO-Soybean, com o objetivo de estimar o desenvolvimento e o crescimento excessivo das plantas de soja e sua possível produtividade final. Para tanto, a proposta considera a integração com o DSSAT, um sistema aberto de apoio à decisão para transferência de agro tecnologia que dispõe de diferentes modelos de simulação do crescimento de culturas agrícolas (JONES *et al.*, 2003).

Além disso, a proposta também contempla uma interface de aplicativo para dispositivos móveis, com armazenamento dos registros em banco de dados, e cruzamento

de dados históricos e de sensores de campo. A hipótese é de que seja possível estimar como a planta de soja se desenvolverá durante determinado período de maneira rápida e eficiente, ajudando o produtor a tomar decisão mais assertivas quando se trata de crescimento excessivo da soja, bem como estimar melhores datas para plantio, estimativas de produtividade e datas importantes para o manejo da soja.

Este trabalho se justifica pela importância do cruzamento de diferentes variáveis na tomada de decisão. O framework proposto considera o relacionamento e uso de dados de previsão de tempo, disponibilidade hídrica, temperatura, luminosidade e características fisiológicas da cultura da soja, associadas a modelos de simulação dessa cultura, além de dados climáticos históricos.

Por meio desta complexidade de fatores, a aplicação deste projeto pode prever o comportamento de variáveis da soja durante seu desenvolvimento, bem como estimar sua possível produtividade final. Desta maneira, o produtor terá tempo hábil para estabelecer estratégias de manejo para amenizar os efeitos negativos do crescimento vegetativo excessivo das plantas sobre a produtividade de grãos.

Com isso em mente, o objetivo geral deste trabalho é oferecer um sistema completo, que integra banco de dados, modelos de simulação da soja, dados climáticos e uma interface de usuário, de fácil acesso, para estimar o comportamento futuro das plantas de soja.

Nesse âmbito, os seguintes módulos compõem o framework proposto por este estudo: uma aplicação de servidor que integra serviços a serem utilizados pelos aplicativos; uma API (*Application Programming Interface*) que fornece dados do servidor, banco de dados e modelos de simulação para as aplicações; uma aplicação mobile para sistemas operacionais iOS e Android, para requisição e apresentação dos dados das simulações para os próximos dias, bem como coleta de informações de dados climáticos e históricos e características fisiológicas das plantas – úteis para os modelos de simulação.

Para tanto, este trabalho está assim organizado: a Seção 2 mostra uma revisão de literatura sobre o desenvolvimento da soja, modelos de simulação e tecnologias para desenvolvimento de aplicativos, além de trabalhos relacionados; a Seção 3 apresenta as etapas de criação de uma aplicação de servidor que realiza a calibração do modelo a ser consumido pelo aplicativo; a Seção 4 destaca o desenvolvimento e a organização de serviços e de manipulação de dados dos modelos de simulação, bem como dados dos usuários da solução proposta; a Seção 5 ilustra o desenvolvimento da aplicação mobile

onde os usuários podem criar simulações, além de acompanhar as que estão em andamento, estudo de caso e sua conexão com os demais módulos que compõem o framework proposto; por fim, a Seção 6 apresenta as conclusões e os trabalhos futuros.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Este capítulo apresenta uma breve revisão de literatura sobre o crescimento, o desenvolvimento e o manejo da soja, além de modelos de simulação, banco de dados e tecnologias para desenvolvimento de aplicativos móveis destinados à cultura da soja. Ao final, também são apresentados trabalhos relacionados ao estudo proposto.

2.1 Cultura da soja

A introdução da cultura da soja no Brasil e dos os primeiros materiais genéticos foram testados no Estado da Bahia, em 1882, e chegaram ao Rio Grande do Sul em 1900 (BONATO, 1987). No contexto das grandes culturas produtoras de grãos, a soja foi a que mais cresceu em termos percentuais nas últimas quatro décadas, tanto no Brasil quanto em nível mundial, sendo o principal grão oleaginoso cultivado no mundo (RAMOS *et al.*, 2020b). A área plantada de soja no Brasil na safra 2022/2023 foi de 76,6 milhões de hectares, sendo que a produção atingiu cerca de 304 milhões de toneladas (CONAB, 2022).

2.2 Crescimento e desenvolvimento da cultura da soja

O potencial de rendimento de grãos das cultivares de soja é definido geneticamente, mas para que este rendimento possa ser expresso, é necessário que as condições de cultivo cheguem próximo ao excelente (NEUMAIER *et al.*, 2007). Alguns problemas como escassez hídrica, doenças e problemas relacionados ao solo podem surgir durante o cultivo e o produtor precisa estar alerta para, se possível, prevenir ou identificá-los corretamente, adotando práticas que possuem maior eficiência. No entanto, para que isso ocorra, é preciso ter conhecimento de como a planta de soja cresce e se desenvolve. (NEUMAIER *et al.*, 2007). Sabendo destes fatores, o produtor pode em um menor tempo diferenciar os problemas e, por meio da descrição dos estádios de desenvolvimento de

soja, pode identificar estes obstáculos e resolver a tempo, antes que danos ocorram ou que se tornem permanentes (NEUMAIER *et al.*, 2007).

A definição e a descrição dos estádios fenológicos da planta seguem a metodologia proposta por Fehr (FEHR *et al.*, 1977), que divide a cultura em duas principais fases: vegetativa e reprodutiva (Figura 1). A fase vegetativa compreende da germinação e emergência (VE) até a última fase que antecede o florescimento (VN). Já a fase reprodutiva vai da primeira flor (R1) até a maturação fisiológica dos grãos (R8) (NEUMAIER *et al.*, 2007; TEJO; FERNANDEZ; BURATTO, 2019).

Figura 1. Escala fenológica de desenvolvimento da soja, que compreende desde o primeiro nó (V1) até sua maturação fisiológica plena (R8), para as cultivares de crescimento determinado e indeterminado.



Fonte: Adaptado de (OLIVEIRA JUNIOR *et al.*, 2016).

Segundo Müller *et al.* (MÜLLER *et al.*, 2017), o crescimento da soja acontece pelo surgimento de novos metâmeros. Essa estrutura consiste em um entrenó, uma folha trifoliolada e uma gema lateral, além de estruturas reprodutivas que podem se desenvolver na diferenciação da gema. As folhas ligadas a esse metâmero são as responsáveis por nutrir aquele ponto da planta.

Os atributos foliares influenciam diretamente na forma que a radiação solar é interceptada pela planta. Teoricamente, quanto maior o índice de área foliar, maior a interceptação de radiação solar. Mas a área foliar em excesso não aumenta a interceptação de radiação solar fotossinteticamente ativa, pelo contrário, gera um auto sombreamento nas folhas dos terços inferiores. Essas estruturas sombreadas resultam em perdas de energia para a planta. Primeiramente a planta gasta energia para gerar estas estruturas, mas quando estão prontas para fazer fotossíntese são impossibilitadas pelo sombreamento das folhas acima. Além de não poder interceptar a radiação solar, problemas como o balanço energético da planta é afetado (MÜLLER *et al.*, 2017).

Além das limitações do aspecto fotoquímico e bioquímico da fotossíntese, o manejo fitossanitário é afetado por essas características. A deposição de gotas das pulverizações dos produtos fitossanitários pode ficar retida na parte superior e mediana da planta, ficando a parte inferior desprotegida. Por sua vez, a baixa interceptação de radiação solar torna a planta mais suscetível a doenças, principalmente as doenças fúngicas (MÜLLER *et al.*, 2017).

2.3 Clima, solo e manejo

O clima pode ser entendido por meio de técnicas estatísticas que utilizam de uma quantidade considerável de dados sobre o comportamento meteorológico durante um período de tempo. Segundo Ribeiro (RIBEIRO, 1993), este constituído por um conjunto complexo de fenômenos que interagem entre si no tempo e no espaço revelando unidades ou tipos que podem ser medidos em sua dimensão ou extensão e em seu ritmo, também conhecido como duração.

Pesquisas sobre soja têm demonstrado o efeito dos elementos climáticos na cultura e, principalmente, sobre o seu desenvolvimento e crescimento. Alguns fatores são determinantes na produtividade da soja como luz, água, temperatura e nutrientes (TEJO; FERNANDEZ; BURATTO, 2019).

Estudos também demonstram que as cultivares de soja que são mais eficientes na interceptação de radiação fotossinteticamente ativa no interior do dossel vegetativo apresentam maiores rendimentos de grãos, devido à maior frutificação efetiva neste terço inferior (MÜLLER *et al.*, 2017). No entanto, as cultivares de soja com baixa altura, número de galhos e área foliar apresentam maior deposição de produto nas camadas média e inferior do dossel. Além disso, o paraeliotropismo da folha no final da manhã e

no início da tarde facilita maior deposição de um produto fitossanitário nas camadas media e inferior das plantas (MÜLLER *et al.*, 2018).

O crescimento excessivo das plantas de soja pode causa acamamentos, prejudicando a colheita, além dos manejos fitossanitários e leve interceptação no interior do dossel. Esse crescimento excessivo deve-se à fertilização, condições climáticas, densidade, estação de semeadura e as características próprias das cultivares utilizadas. Plantas com maior estatura não significam maior rendimento e, por vezes, ocorre o contrário, uma vez que a planta utiliza muita energia para produzir massa verde ao invés de enviar essa energia para produção e enchimento de grãos, além de causar auto sombreamento (CHAVARRIA *et al.*, 2017).

Existem várias interferências durante o ciclo que podem comprometer o potencial. Acredita-se que a arquitetura das plantas de soja afeta diretamente o rendimento final da cultura por meio da baixa eficiência em interceptação de radiação solar e dificuldade de controle de doenças, especialmente nos estratos mais baixos das plantas (CHAVARRIA *et al.*, 2017).

Por outro lado, o crescimento radicular é beneficiado por microrganismos do solo, matéria orgânica, pH, porosidade e cálcio em solo; enquanto o alumínio, o volume de criptosporos e a resistência à penetração que caracterizam um solo degradado limitam o crescimento das raízes da soja. Sob essas condições de estudo, técnicas como a subsolagem pode fornece um menor crescimento radicular, mas, por outro lado, beneficiar o rendimento de grãos (MÜLLER *et al.*, 2020).

Dados climáticos são de extrema importância na agricultura devido à sua influência direta no crescimento, desenvolvimento e produtividade das culturas. O clima desempenha um papel fundamental na determinação das condições ideais para o cultivo, incluindo temperatura, precipitação, umidade e radiação solar. Essas variáveis climáticas afetam os ciclos de crescimento das plantas, a disponibilidade de água no solo, a ocorrência de pragas e doenças, a polinização, a maturação dos frutos e outros processos agrícolas essenciais (LOBELL *et al.* 2012).

A obtenção de dados climáticos precisos e atualizados permite aos agricultores planejar suas atividades, tomar decisões informadas sobre o momento de plantio, irrigação, adubação e colheita, e adotar práticas de manejo adequadas para maximizar a produtividade e minimizar riscos. Além disso, com as mudanças climáticas em curso, o monitoramento constante dos dados climáticos é crucial, pois auxilia os agricultores na adaptação às condições climáticas em constante evolução e no desenvolvimento de

estratégias de mitigação dos impactos negativos nas safras. Em resumo, os dados climáticos são fundamentais para o sucesso da agricultura, permitindo o planejamento eficiente e a tomada de decisões embasadas, contribuindo para a segurança alimentar e o desenvolvimento sustentável (BROWN *et al.*, 2008).

Desta maneira, tecnologias como o NASA Power Weather (NASA POWER, 2023) torna-se uma importante ferramenta para a aquisição de dados climáticos. Desenvolvido pela Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço dos Estados Unidos (NASA) que fornece dados e informações climáticas globais e regionais, utiliza uma combinação de observações de satélite, modelos climáticos e dados de estações meteorológicas para disponibilizar informações detalhadas sobre o clima. O objetivo principal do NASA Power Weather é fornecer acesso a dados climáticos confiáveis e de alta qualidade para uma variedade de usuários, incluindo pesquisadores, cientistas, planejadores agrícolas, gestores de recursos hídricos e outros profissionais que dependem de informações climáticas precisas.

O sistema NASA Power Weather oferece uma ampla gama de dados climáticos, incluindo informações sobre temperatura, precipitação, radiação solar, velocidade e direção do vento, umidade relativa, entre outros. Esses dados são coletados e processados a partir de várias fontes, como satélites de observação da Terra, estações meteorológicas em terra e modelos climáticos, sendo amplamente utilizado em diversas áreas, como agricultura, energia renovável, gerenciamento de recursos hídricos, planejamento urbano e ambiental, e pesquisa científica. Ele fornece informações valiosas para auxiliar na tomada de decisões, permitindo que usuários compreendam melhor as condições climáticas passadas e atuais, ajudando a fazer previsões e estimativas mais assertivas.

2.4 Modelos de simulação

De forma geral, um modelo de simulação pode ser compreendido como um conjunto de operações matemáticas que buscam de alguma forma expressar relações que ocorrem no mundo real. Para o meio agrônomo, um modelo de simulação é a compilação de diferentes processos fisiológicos que estão ocorrendo na planta durante seu crescimento e desenvolvimento. Estes modelos são criados para várias culturas com base no conhecimento dos processos e interações que ocorrem na planta e no ambiente. No entanto, seu uso pode ser limitado devido a necessidade de fazer a calibração para os coeficientes das cultivares em diferentes ambientes (SALMERÓN; PURCELL, 2016).

A adoção de modelos que simulam o crescimento de culturas já vem sendo utilizado pela área da Agricultura. Nesse contexto, destaca-se o DSSAT – *Decision Support System for Agrotechnology Transfer* (JONES *et al.*, 2003), uma plataforma que compreende ferramentas para simulação do desenvolvimento e crescimento de culturas, agrupando modelos de simulação para mais de 42 culturas (BOOTE, 2019).

Dentre as funcionalidades do DSSAT estão incluídos programas que dão suporte ao uso de bases de dados associadas a características de solo, clima, manejo e gerenciamento da cultura e dados experimentais. Os modelos disponíveis para cada cultura podem simular o crescimento, o desenvolvimento e o rendimento de grãos, por meio de uma função dinâmica baseada no sistema solo-planta-atmosfera (BOOTE, 2019).

Como parte do DSSAT, o CROPGRO-Soybean é um modelo que tem como função a simulação da cultura da soja, sendo este inserido no conjunto de modelos do DSSAT-CSM-CROPGRO. Este conjunto de modelos é dedicado a leguminosas como o feijão, feijão-coupi, feijão-fava, amendoim e grão-de-bico, além de uma não leguminosa como o tomate. Possui ainda a característica de acoplamento com outros modelos de simulação de pragas, doenças, correção de solo, estresse por déficit hídrico, e excedente hídrico – o que torna o resultado das simulações ainda mais precisos (BOOTE, 2019; BOOTE; JONES; PICKERING, 1996; RODRIGUES *et al.*, 2012).

Os modelos de simulação de culturas requerem entradas de dados meteorológicos do período que deseja simular (temperaturas máxima e mínima, precipitação pluvial e radiação solar total), dados de localização (latitude, longitude e elevação), informações sobre as camadas do solo e manejo e informações referentes ao manejo (cultura anterior, cultivar, densidade, profundidade e espaçamento de semeadura, data de semeadura). O DSSAT fornece ainda saídas para a avaliação dos resultados dos dados dos experimentos. Também é possível comparar os dados simulados com os dados observados de experimentos reais.

Para melhorar o resultado da simulação, é necessário calibrar o modelo CROPGRO-Soybean para cada cultivar que esteja trabalhando. São necessários dados observados da produção de soja em diferentes condições ambientais e de manejo agrícola. Esses dados são usados para ajustar os parâmetros do modelo de forma a melhorar sua capacidade de prever a produção em diferentes condições. É importante usar uma ampla gama de dados observados para a calibração, incluindo dados de diferentes regiões geográficas, diferentes tipos de solo e diferentes práticas de manejo agrícola. As informações genéricas sobre as culturas são fornecidas pelo DSSAT e as informações

específicas das cultivares e suas variedades são fornecidas pelo usuário (BOOTE, 2019; JONES *et al.*, 2003).

O sistema DSSAT também requer um conjunto mínimo de dados para que se possa executar uma simulação. O *Minimum Data Set* (MDS) do DSSAT é um conjunto mínimo de dados necessários para a execução de simulações agrícolas. O MDS é composto por uma lista de variáveis meteorológicas, de solo e de planta que devem ser fornecidas para que o modelo possa simular o crescimento e desenvolvimento das culturas (BOOTE, 2019).

A lista completa do MDS pode variar dependendo do tipo de cultivo e do modelo específico dentro do DSSAT. Em geral, inclui informações como a data de plantio, o tipo de solo, as condições meteorológicas locais, a variedade da planta, a densidade de plantio, a fertilização e o manejo da cultura. Para utilizar o MDS do DSSAT, é necessário coletar e fornecer as informações exigidas pelo modelo. As informações sobre o solo e as condições meteorológicas podem ser obtidas através de estações meteorológicas locais e de análises de amostras de solo. As informações sobre a variedade da planta e seu manejo podem ser obtidas através de experimentos locais ou do conhecimento especializado de produtores locais (BOOTE, 2019).

Uma vez que as informações do MDS tenham sido coletadas, elas devem ser inseridas no modelo do DSSAT. O software DSSAT inclui uma interface gráfica de usuário (GUI) que pode ajudar os usuários a inserir as informações do MDS e executar as simulações. Também é possível utilizar o DSSAT através da linha de comando ou através de *scripts* de programação para automatizar o processo de entrada de dados e de execução das simulações (BOOTE, 2019). Essa última característica permite, por exemplo, que aplicativos possam ser construídos para facilitar a interação do usuário nas requisições de tarefas de simulação e apresentação de resultados.

A preparação dos dados de entrada para o modelo deve seguir padrões que, por vezes, podem ser complexos devido a grande quantidade de dados a ser manipulada. Com o propósito de facilitar esta etapa, o foi proposto o jDSSAT, que abstrai a complexidade da leitura e processamento de arquivos da plataforma. (DE ABREU RESENES *et al.*, 2019). Este permite a integração com diferentes sistemas operacionais e linguagens de programação para execução de modelos.

Outros trabalhos utilizando modelos de simulação DSSAT foram desenvolvidos, como, por exemplo, o Sisalert, um sistema web para previsão de risco de doenças e epidemias em culturas agrícolas (PAVAN *et al.*, 2006). Trata-se de um sistema web

projetado para prever doenças em plantas de forma precisa e em tempo real em sistemas de produção integrada. O sistema utiliza dados meteorológicos em tempo real e previsões para prever surtos de doenças de plantas em níveis local e regional. Ele fornece resultados de modelos de previsão para duas doenças do trigo e quatro doenças da macieira, sendo que também é possível enviar alertas por e-mail e celular. O Sisalert foi testado por agricultores e apresentou uma redução significativa no uso de pesticidas em comparação com sistemas convencionais, demonstrando seu potencial para integração em sistemas de suporte à decisão para o manejo de pragas e doenças.

O Sisalert utiliza o modelo de simulação *Fusarium Head Blight*, validado e ajustado para condições locais, contribuindo para uma produção agrícola mais sustentável e econômica. A plataforma Java foi escolhida para o desenvolvimento do sistema, incluindo Java Standard Edition (*J2SE*) para a lógica de negócios e Java Enterprise Edition (*J2EE*) para aplicativos server-side. Além disso, foram utilizadas diversas tecnologias web, como HTML, JavaScript, e APIs como Google Maps e AJAX para visualização e interação com os usuários. O sistema adota o padrão de design Model-View-Controller (MVC) e integra dados meteorológicos históricos e previstos para calcular índices de risco de infecção diários, fornecendo previsões de doenças verdadeiras e recomendando atividades de manejo adequadas com base nas condições climáticas previstas.

A literatura também destaca outros modelos de simulação em uso ou em desenvolvimento, diferentes do DSSAT. Nesse âmbito, pode-se citar como exemplo o SoySim (CERA *et al.*, 2017). Este modelo é mantido pela Universidade de Nebraska (EUA), sendo uma ferramenta computacional desenvolvida para simular o crescimento e desenvolvimento de culturas de soja (*Glycine max*) em diferentes condições ambientais e de manejo.

O modelo SoySim integra conhecimentos sobre fisiologia vegetal, meteorologia, solos e práticas agrícolas para prever o rendimento da cultura de soja em resposta a variáveis como temperatura, umidade, fotoperíodo, disponibilidade de nutrientes e práticas de manejo. Sua aplicação abrange desde a otimização do planejamento agrícola até a avaliação de estratégias de manejo sustentável, permitindo aos agricultores e pesquisadores explorar cenários hipotéticos e tomar decisões informadas para maximizar a produtividade e a eficiência dos recursos agrícolas.

2.5 Banco de dados e desenvolvimento mobile

Modelos de simulação geralmente consideram a manipulação de uma grande quantidade de dados para previsão e modelagem de diferentes cenários. No entanto, a gestão desta grande quantidade de informações pode ser complexa. Neste cenário, trabalhos utilizando banco de dados relacionais são demonstrados como uma possível solução para tal (CALDEIRA; PINTO, 1998).

Caldeira e Pinto (CALDEIRA; PINTO, 1998) demonstram uma interface chamada AGROSYS-DSSAT, desenvolvida para facilitar a coleta, o armazenamento e a recuperação de dados para simulações agrícolas. A AGROSYS-DSSAT usa um banco de dados relacional para armazenar os dados usados pelo DSSAT V3. O banco de dados é organizado em tabelas, cada uma contendo dados específicos sobre solos, clima, culturas, manejo de culturas, entre outros. Os usuários podem inserir, atualizar e excluir dados usando uma interface. A tecnologia utilizada o banco de dados MySQL juntamente com a linguagem Python.

A abordagem proposta por Lazzareti *et al.* (LAZZARETTI *et al.*, 2016) oferece uma solução de banco de dados para o sistema DSSAT. Segundo os pesquisadores, dependendo do tipo e do número de simulações, geralmente volumes massivos de dados de entrada e saída se apresentam ao usuário. Desta maneira, a utilização de um sistema de gerenciamento de banco de dados (SGBD) pode fornecer recursos tecnológicos e métodos acessíveis para lidar com *big data*. Neste estudo, ele integra modelos de simulação a um SGBD e demonstra as vantagens da abordagem denominada AgroDB, um banco de dados modelado para servir como repositório para modelos de simulação.

NoSQL (*Not Only SQL*) é um modelo de banco de dados que oferece uma alternativa ao tradicional SQL (*Structured Query Language*) para manipulação de grandes quantidades de dados. NoSQL é especialmente adequado para dados não estruturados e semiestruturados, que são comuns em aplicações web e móveis, e para projetos de *big data* que requerem escalabilidade e flexibilidade (KHAN; SHAHZAD, 2017). Uma das principais vantagens do NoSQL é sua escalabilidade horizontal, que permite adicionar mais servidores à medida que o volume de dados aumenta, mantendo o desempenho. Além disso, é projetado para oferecer alta disponibilidade e tolerância a falhas, garantindo que as aplicações permaneçam funcionais mesmo em caso de problemas técnicos.

NoSQL também oferece uma maior flexibilidade na modelagem de dados, permitindo que os desenvolvedores trabalhem com dados não estruturados sem a necessidade de um esquema rígido. Isso é especialmente útil em aplicações web e móveis que precisam lidar com dados variados e em constante mudança (KAUR; SACHDEVA, 2017; KHAN; SHAHZAD, 2017).

Nesse sentido, Khawas e Shah (KHAWAS; SHAH, 2018) demonstram um sistema que permite a utilização de uma nova tecnologia em banco de dados no padrão NoSQL, o Firebase (GOOGLE, 2023). No Firebase, não existe um relacionamento de tabelas de dados explícito por chaves primárias e chaves estrangeiras. Seus dados são relacionados em um arquivo no formato JSON, que permite uma alta disponibilidade de dados em tempo real, fundamental para utilização em aplicativos mobile (CHATTERJEE *et al.*, 2018).

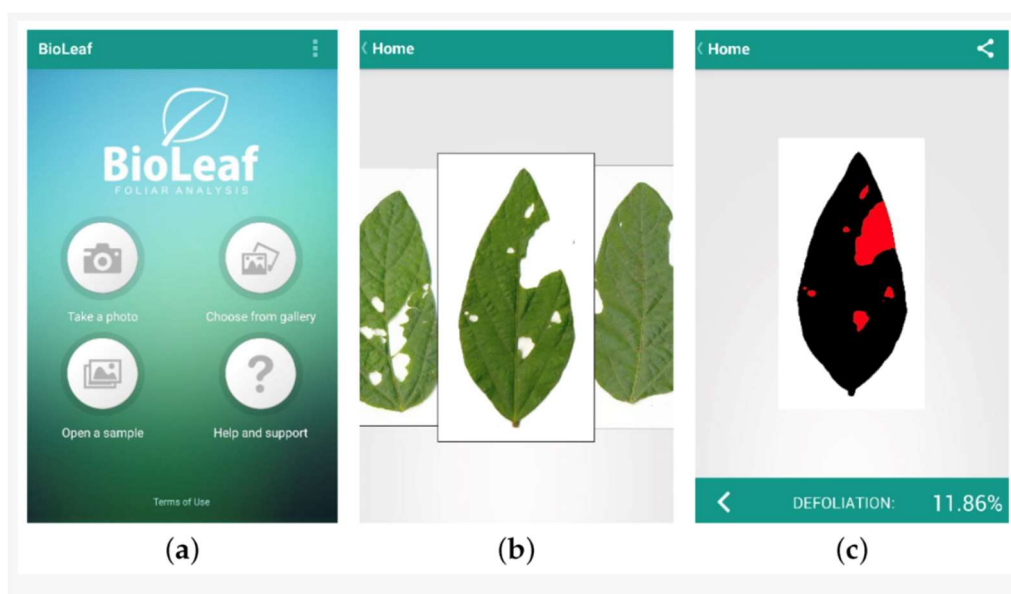
Quando se pensa em mobilidade e acesso à informação, de forma rápida e descomplicada, logo se imagina o uso de aplicativos em um *smartphone*. Nesse contexto, o desenvolvimento de aplicativos se torna um fator importante para trabalhos com este propósito. Segundo Dehnen-Schmutz *et al.* (DEHNEN-SCHMUTZ *et al.*, 2016), o uso de *smartphones* e aplicativos móveis pode melhorar significativamente a eficiência e a produtividade na agricultura. De acordo com o estudo dos autores, agricultores que utilizaram essas ferramentas relataram uma redução no tempo gasto em atividades administrativas, como preenchimento de formulários e registros, e um aumento no tempo gasto em atividades práticas de cultivo.

O uso de aplicativos no meio agrícola proporciona mobilidade e rapidez na obtenção de informações de diferentes fontes, permitindo aos agricultores tomarem decisões mais assertivas e eficazes para culturas. Mendes *et al.* (MENDES *et al.*, 2020a) demonstra como exemplo o BioLeaf, um aplicativo que permite identificar automaticamente as regiões das folhas que apresentam lesões causadas por insetos, bem como estimar a porcentagem de desfolha em relação à área total da folha (Figura 2). Esta aplicação utiliza imagens capturadas pelo próprio *smartphone* ou carregada a partir da galeria de fotos, e não requer que as folhas sejam removidas da planta, sendo um método não destrutivo de identificação.

Outro aplicativo demonstrado pelos autores (MENDES *et al.*, 2020a) é o Smartirrigation Cotton. O aplicativo utiliza dados de estações meteorológicas, parâmetros do solo, fenologia da cultura, coeficientes de cultura e aplicações de irrigação para estimar os déficits de água no solo da zona radicular. O usuário somente indica as coordenadas

GPS do local onde deseja programar a irrigação, o tipo de solo, o tipo de sistema de irrigação e a taxa de irrigação padrão. Quando o déficit de água no solo excede 40%, ou quando chuva é registrada na estação meteorológica mais próxima, é enviada uma notificação para o usuário. O aplicativo não fornece recomendações de aplicação de irrigação, mas os usuários podem usar as informações obtidas na tomada de decisão.

Figura 2. Telas do Aplicativo BioLeaf; a) home do aplicativo; b) imagem de uma folha com dano foliar parcial; c) imagem processada mostrando a área com o dano foliar para posterior mensuração.



Fonte: (MENDES *et al.*, 2020a).

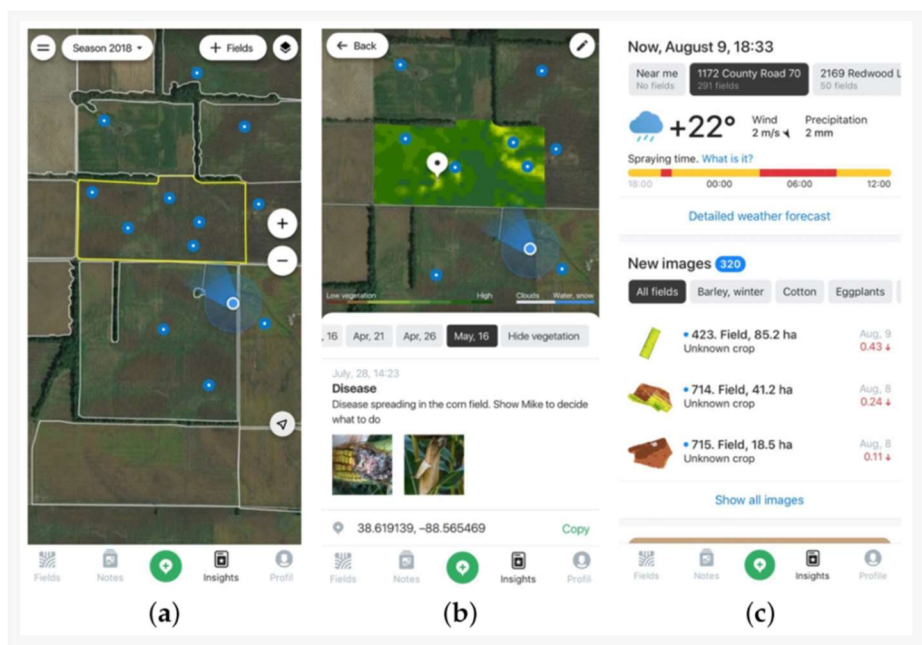
Outro exemplo de aplicativo, voltado para a área de solos, é o OneSoil Scouting (MENDES *et al.*, 2020a; ONESOIL SCOUTING, 2023). Ele utiliza imagens de satélite europeias com resolução de 8-10 metros por pixel para monitoramento de culturas. Com uma seleção no mapa, a aplicação determina automaticamente os limites da área da cultura, calcula o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e apresenta um relatório fotográfico que mostra a saúde das plantas. As imagens são atualizadas a cada cinco dias, e o aplicativo também permite que os agricultores detectem anomalias no crescimento da cultura, criando notas. O aplicativo também apresenta previsões meteorológicas úteis para auxiliar os agricultores na tomada de decisões sobre o momento ideal para pulverizar ou colher as culturas. A Figura 3 ilustra seus recursos.

Outro exemplo retratado pela revisão de Mendes *et al.* (MENDES *et al.*, 2020a) é o aplicativo Nitrogen Index, ferramenta desenvolvida pelo Departamento de Agricultura

dos Estados Unidos (USDA). Ele permite calcular o teor de nitrogênio no solo, como forma de aumentar a eficiência do uso de nutrientes e reduzir o impacto ambiental. O aplicativo é baseado no software Nitrogen Index 4.4, que realiza simulação de lixiviação de nitrogênio, armazenada no dispositivo. As simulações criadas podem ser enviadas por e-mail ou acessadas por um computador através do sistema de arquivos do dispositivo.

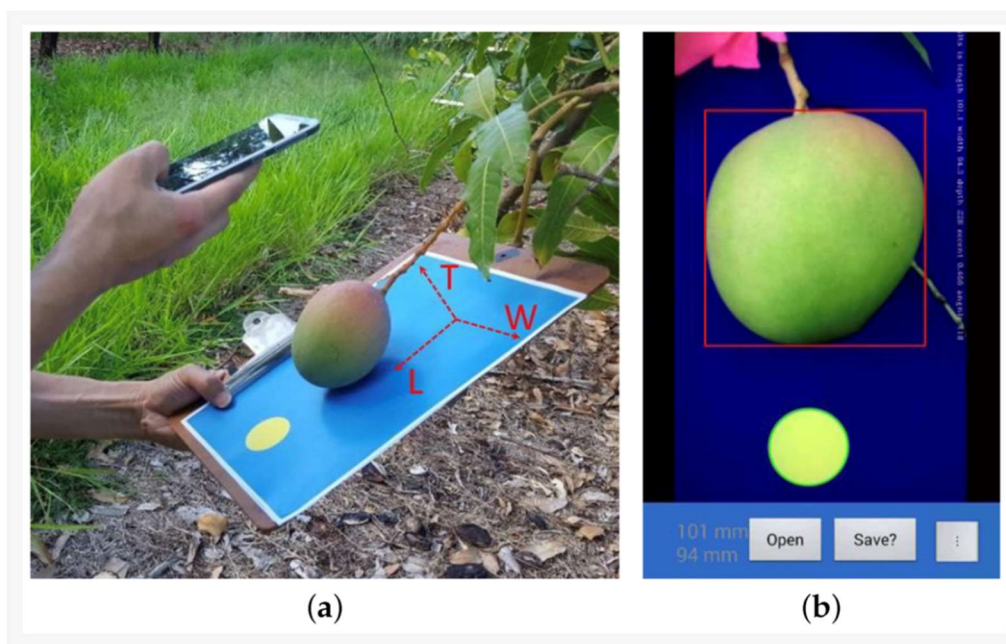
Por fim, outra aplicação que se destaca é o FruitSize (MENDES *et al.*, 2020a; WANG *et al.*, 2018). Ele é um aplicativo que mede o tamanho das frutas usando imagens tiradas de uma câmera de *smartphone* (Figura 4). O aplicativo requer um fundo azul e uma escala de referência amarela de tamanho conhecido para calcular corretamente o tamanho da fruta. O processamento da fruta nas imagens é realizado usando a biblioteca de processamento de imagem OpenCV (HOWSE; MINICHINO, 2020). Como resultado, o aplicativo fornece o tamanho (largura e comprimento) da fruta processada e usa dados de geolocalização para mapear a localização de todas as frutas processadas, sendo capaz de processar, em média, 240 frutas por hora.

Figura 3. Telas do Aplicativo OneSoil Scouting; a) Adicionando novos campos; b) Adicionando anotações aos campos; c) previsão do tempo.



Fonte: (MENDES *et al.*, 2020a; ONESOIL SCOUTING, 2023).

Figura 4. Telas do Aplicativo FruitSize; a) Capturando uma imagem para processar, sendo que o fundo deve ser azul; b) resultado do processamento.



Fonte: (HOWSE; MINICHINO, 2020; MENDES *et al.*, 2020a; WANG *et al.*, 2018).

A escolha da tecnologia para o desenvolvimento de aplicativos mobile também deve ser considerada. Nesse sentido, Payne (PAYNE, 2019) demonstra em seu trabalho as vantagens de se desenvolver um aplicativo utilizando a tecnologia Flutter (Flutter, 2023). Flutter é um kit de desenvolvimento, de código aberto, criado pela Google, baseado na linguagem de programação Dart, que possibilita a criação de aplicativos compilados nativamente para diferentes sistemas operacionais, entre eles sistemas *desktop* (Windows, MacOS X, Linux) e *smartphones* (Android e iOS), além de execução em diferentes aplicações web.

A grande vantagem desta tecnologia é a possibilidade de utilizar apenas um código fonte e poder gerar compilações nas diversas plataformas supracitadas. Além disso, é uma solução que demanda de menos recursos e apresenta uma maior eficiência média que outros frameworks similares (WU, 2018).

2.6 Trabalhos relacionados

Alguns trabalhos disponíveis na literatura demonstram a utilização dos modelos DSSAT como parte de trabalho, ou como principal meio. Desta maneira, cita-se um estudo que desenvolve um quadro de modelagem que explora conexões dos sistemas de

milho e etanol, dois importantes recursos alimentares e energéticos (ANDERSON *et al.*, 2018). Uma ferramenta de modelagem de culturas (DSSAT) e uma ferramenta de avaliação do ciclo de vida de biocombustíveis (GREET) estão conectadas usando uma abordagem de programação de arquitetura orientada a serviços.

O framework desenvolvido por Anderson *et al.* considerou o uso de numerosas análises de cenários sobre os impactos do fertilizante nitrogenado e da densidade populacional de plantas no crescimento do milho. Desta maneira, estudos de campos experimentais puderam testar essas variáveis uns contra os outros para determinar seu efeito no rendimento de grãos para diferentes anos e locais. De acordo com os autores, os resultados gerados podem contribuir significativamente para entender o efeito que a aplicação de nitrogênio e a densidade populacional de plantas têm no crescimento e na economia do agricultor.

Outro trabalho demonstra um framework para exploração de estratégias de conservação de águas subterrâneas para irrigação (XIANG *et al.*, 2020). Neste trabalho, os autores destacam e simulam o efeito das interações genéticas, clima, gestão da irrigação no crescimento das culturas, levando em conta a disponibilidade de água subterrânea para realize as irrigações necessárias, para que se atinjam os níveis de produtividades satisfatórios. O esquema é demonstrado para Finney County, Kansas, uma parte da região do aquífero Ogallala que sofre grave esgotamento das águas subterrâneas devido ao extenso bombeamento de águas subterrâneas para irrigação. Embora este artigo se concentre na apresentação do modelo e num exemplo de demonstração, estudos futuros podem concentrar-se na avaliação e quantificação do impacto das estratégias de conservação tanto no armazenamento de águas subterrâneas como no rendimento das culturas.

Este framework realizou a integração do DSSAT com o MODFLOW, um modelo de fluxo de águas subterrâneas com base física e distribuído espacialmente. Ele resolve a equação de fluxo para carga hidráulica de águas subterrâneas dependente do espaço e do tempo usando o método de diferenças finitas. Os autores concentraram-se na apresentação e demonstração do sistema de modelagem DSSAT-MODFLOW, sugerindo estudos futuros de avaliação de condições futuras sob mudanças no clima e nas práticas de gestão.

Também existem estudos que fazem a utilização de modelos para verificar qual a melhor combinação de matérias orgânicos e fertilizantes minerais para produção de milho (PINITPAITON; SUWANARIT; BELL, 2011). Os autores do estudo citado, além de utilizar diferentes doses e tipos de fertilizantes, simularam diferentes datas sazonais,

juntamente com os custos de cada uma das aplicações, resultando em diferentes recomendações para aquele tipo de experimento em questão. Utilizando resultados de estudos de caso de cinco anos de cultivo de milho, as simulações DSSAT no presente estudo orientaram a seleção de combinações eficientes de tratamentos compreendendo níveis de composto, resíduos de colheita e fertilizante mineral.

3 CAPÍTULO I

Calibração do modelo de CROPGRO-Soybean

3.1 Resumo

Os modelos de simulação agrícola, como o DSSAT-CROPGRO, são importantes ferramentas para prever rendimentos de culturas e avaliar os impactos das mudanças nas práticas agrícolas e condições ambientais. No entanto, a precisão desses modelos depende significativamente da calibração apropriada e da integração de dados observados em campo. A calibração dos modelos DSSAT-CROPGRO envolve o ajuste dos parâmetros do modelo para melhor representar o desempenho das culturas em condições específicas. Isso é alcançado comparando as previsões do modelo com dados reais coletados em experimentos de campo. Com isto, o objetivo deste trabalho é demonstrar a importância da calibração destes modelos além de demonstrar como foi feita a calibração para as cultivares de soja BMX Ativa RR® e NIDEIRA 5909 RR®, utilizadas neste trabalho. Dados utilizados para calibrar as cultivares no modelo foram obtidos em trabalhos de anos anteriores, sendo que a menor correlação dos dados simulados para os observados foi de 0.588 para o início da floração na cultivar NA 5909 RR®. Já a maior correlação foi para maturidade fisiológica da cultivar BMX Ativa RR® com o valor de 0.732, sendo que este processo tende a se comportar mais próximo da realidade se dispor de mais dados no ato da calibração.

Palavras-chave: DSSAT, CROPGRO, Soja.

3.2 Introdução

A arquitetura de plantas de soja tem influência no crescimento, no desenvolvimento e no potencial produtivo da planta, devido principalmente a chegada de produtos fitossanitários e a incidência de luz solar nos terços da planta. Além disso, a soja é metamérica, ou seja, ela se nutre por metâmeros, quando há produção de carboidratos num determinado terço da planta este é translocado para o nó que está inserido e para o que está abaixo e acima deste (MÜLLER, 2017a). Um dos possíveis problemas causados pelo crescimento excessivo da soja é justamente um dos mais importantes: seu potencial produtivo. Isso deve-se ao fato de que, principalmente se seu terço inferior não receber luminosidade correta, nós inférteis aparecem pelo fato de não haver luminosidade. Nesse sentido, é importante monitorar o desenvolvimento da planta para que não ocorra crescimento excessivo.

Para o correto funcionamento dos modelos de culturas é fundamental a simulação da fenologia da cultura. Aliado a isto, o uso da previsão do tempo no decorrer dos estádios de desenvolvimento possibilita verificar variações e duração dos estádios, bem como as variáveis ambientais que interferem na cultura. Deste modo, as previsões dos estádios de desenvolvimento da soja podem ser importantes no manejo da cultura (SALMERÓN; PURCELL, 2016).

O DSSAT é um programa de software que compreende modelos dinâmicos de simulação de crescimento de culturas para mais de 42 culturas (DSSAT, 2023). Ele é suportado por uma variedade de utilitários e aplicativos para clima, solo, genética, gerenciamento de culturas e dados experimentais observacionais e inclui conjuntos de dados de exemplo para todos os modelos de culturas. Os modelos de simulação de cultivos simulam crescimento, desenvolvimento e produtividade em função da dinâmica solo-planta-atmosfera. O DSSAT tem sido aplicado para abordar diferentes problemas e questões do mundo real, desde modelagem genética até gerenciamento de precisão e na fazenda, além de avaliações regionais do impacto da variabilidade climática e das mudanças climáticas (BOOTE, 2019).

Os modelos de cultura requerem dados meteorológicos diários, informações sobre a superfície do solo e perfil, e gestão detalhada da cultura como entrada. As informações genéticas das culturas são definidas em um arquivo de espécies de culturas fornecido pelo DSSAT e informações de cultivares ou variedades que devem ser fornecidas pelo usuário.

As simulações podem ser iniciadas no plantio ou antes do plantio através da simulação de um período de *pousio nu*. Essas simulações são realizadas em uma etapa diária ou, em alguns casos, em uma etapa horária, dependendo do processo e do modelo de cultura. Ao final de cada dia, os balanços hídricos, de nitrogênio, fósforo e carbono da planta e do solo são atualizados, bem como o estágio de desenvolvimento vegetativo e reprodutivo da cultura (BOOTE, 2019; JONES *et al.*, 2003).

Os modelos de simulação disponibilizados pelo DSSAT dispõem de cultivares genéricas, com padrões de simulação também genéricos. Para este trabalho, a utilização de modelos calibrados para cultivares específica torna-se crucial, pois qualquer mudança nos resultados da simulação pode mascarar o real estado da cultura que está sendo monitorada (BOOTE, 2019)

Ao manipular modelos de simulação é importante que estes, além de simular o crescimento e desenvolvimento, sejam condizentes com as condições reais do campo (BOOTE *et al.*, 1996). E, para que funcionem corretamente, devem também considerar a

calibração dos coeficientes para diferentes cenários (SALMERÓN; PURCELL, 2016). Por exemplo, a utilização dos grupos de maturação genérico disponíveis nos modelos pode representar previsões precisas do comportamento da cultivar, mas também podem não se encaixar, precisando da correta calibração deste ponto (SALMERÓN; PURCELL, 2016).

O modelo DSSAT-CSM-CROPGRO para a cultura da soja (CROPGRO-Soybean), alvo deste trabalho, considera diferentes valores de calibração, tornando sensíveis as diferenças para a temperatura e fotoperíodo durante os diferentes estádios de desenvolvimento da cultura. Esse modelo faz a simulação de processos do desenvolvimento vegetativo e reprodutivo que ocorrem na planta e a duração destes. Além disso, determina o crescimento das folhas e raízes e a duração da formação de vagens e sementes (SASEENDRAN *et al.*, 2010). Os mesmos também necessitam de entradas referentes as práticas de manejo adotadas, condições do clima e características das cultivares para predizer o crescimento e o desenvolvimento (BOOTE, 2019).

A calibração desse modelo se dá pela alteração do valor das variáveis do arquivo de cultivar presente no *Genotypes* da plataforma DSSAT. As informações fenológicas necessárias para calibrar estes coeficientes são data de semeadura, emergência, floração e maturação fisiológica, peso de 1000 grãos e, por fim, produtividade desta cultura (DALLACORT *et al.*, 2006).

Nesse sentido, a próxima seção apresenta o processo de calibração do modelo CROPGRO-Soybean para a proposta deste estudo.

3.3 Material e métodos

3.3.1 Coleta de dados das cultivares

As cultivares de soja selecionadas para este estudo foram a BMX Ativa RR® e a NIDEIRA 5909 RR®, as quais são frequentemente utilizadas na região sul do Brasil. Os dados referentes as características de cada cultivar foram obtidas em trabalhos científicos realizados na região sul do Brasil, entre estes, foram selecionados quatro trabalhos (Chavarria *et al.*, 2015; Chaves, 2012; Fontana, 2016; Junior, 2012). Essas cultivares foram escolhidas para a calibração do modelo pelo fato de haver disponibilidade de dados.

Vale frisar que existe uma dificuldade em obter-se dados sobre cultivares devido ao fato de que estes são obtidos geralmente por experimentos conduzidos pelos seus

responsáveis, e nem sempre os mesmos podem disponibilizá-los, por questões de sigilo. Cabe lembrar também que o principal objetivo desse estudo é o desenvolvimento de um framework que facilita a simulação do crescimento da cultura da soja, e não diz respeito a condução de experimentos em campo.

3.3.2 Definição de parâmetros e variáveis no modelo

Buscando o objetivo de trazer informações que sejam importantes para avaliar o comportamento da cultivar de soja durante seu desenvolvimento, foram elencadas as variáveis de saída do modelo (Tabela 1).

As variáveis escolhidas foram subdivididas em características fisiológicas da cultivar de soja, sendo elas: índice de área foliar, peso vegetativo da folha e da haste, e altura e largura da haste. O restante das variáveis escolhidas é de cunho geral, e trazem informações importantes como número e peso de grãos, datas de plantio, emergência, início do período reprodutivo, maturação fisiológica, e previsão de colheita.

Tabela 1. Códigos utilizados no DSSAT e suas descrições.

DSSAT Código e Descrição	
LAID – Índice de área foliar (IAF)	GWGD – Peso unidade do grão
LWAD – Peso vegetativo da folha	PDAT – Data de plantio
SWAD – Peso vegetativo da haste	EDAT – Data de emergência
VWAD – Folha + haste	ADAT – Início do reprodutivo
CHTD – Altura da haste	MDAT – Maturação fisiológica
CWID – Largura da haste	HDAT – Previsão de colheita
G#AD – Numero de Grãos	

Fonte: Autor, 2022.

Em um primeiro momento, foram realizadas simulações utilizando uma cultivar com grupo de maturação genérico, com dados de solo também genéricos, mas com diferentes dados climáticos (o objetivo era visualizar uma possível alteração na curva destas variáveis). Para tal simulação, foi utilizado a interface desktop do DSSAT versão 4.8 (BOOTE, 2019).

A entrada de dados é feita em tempo real pela aplicação desktop do DSSAT, dados estes contidos em arquivos que são específicos para cada tipo de dado, como por exemplo

o arquivo de clima que tem como extensão de arquivo o WTH (PASSOFUNDO.WTH). Estes dados de clima que devem estar presentes neste arquivo, como dados referentes a radiação, temperatura máxima e mínima, chuvas, vento e umidade relativa vindas de serviços meteorológicos como INMET (INMET, 2023) e Nasa Power Weather (NASA POWER, 2023).

Quanto a dados referente ao solo como teores de areia, silte e argila, carbono orgânico, textura do solo, ponto de murcha permanente, capacidade de campo, densidade do solo, condutividade elétrica do solo, fator de crescimento da raiz será obtido em arquivos de solos genéricos mapeados para o Brasil.

3.3.3 Calibração do modelo

Para o desenvolvimento do framework proposto, optou-se pela utilização do modelo DSSAT CROPGRO-Soybean. Isso deve-se ao fato de um prévio conhecimento sobre o modelo, bem como a familiaridade com o sistema.

A calibração de cultivares em modelos de simulação agrícola desempenha um papel crucial na obtenção de resultados precisos e confiáveis. O DSSAT-CSM-CROPGRO é um grupo de modelos amplamente utilizado para simular o crescimento e desenvolvimento de culturas, bem como prever o rendimento sob diferentes condições ambientais. Antes de iniciar a calibração do modelo de interesse, é essencial coletar dados experimentais da nova cultivar em diferentes condições de campo. Isso inclui informações sobre o ciclo de cultivo, datas de plantio e colheita, dados meteorológicos, uso de fertilizantes e práticas de manejo. A qualidade e a quantidade dos dados coletados desempenham um papel crucial na precisão da calibração (JONES *et al.*, 2003).

De forma generalista, o primeiro passo é identificar os parâmetros-chave do modelo que influenciam diretamente o crescimento e o rendimento da cultivar. Esses parâmetros podem incluir taxas de crescimento, alocação de biomassa, eficiência de uso de nutrientes e sensibilidade ao estresse ambiental. Após utilizando os dados experimentais coletados, inicializa-se o modelo com as informações específicas da nova cultivar. Isso envolve inserir detalhes sobre a cultivar, práticas de manejo e condições ambientais iniciais (JONES *et al.*, 2003).

Deve-se então realizar iterações de calibração ajustando os parâmetros-chave do modelo para reproduzir o comportamento observado da cultivar nos dados experimentais.

Técnicas de otimização, como algoritmos genéticos ou métodos de ajuste de curva, podem ser empregadas para encontrar os melhores valores de parâmetros que minimizem as diferenças entre os dados simulados e observados. Da Silva (SILVA, 2018) também demonstra uma forma de validação destes dados por validação cruzada, que consiste em dividir os dados experimentais em conjuntos de calibração e validação. Nesse caso, ajusta-se o modelo usando o conjunto de calibração e, em seguida, valida-se comparando os resultados simulados com os dados de validação.

A calibração de uma nova cultivar de soja no modelo CROPGRO-Soybean é um processo detalhado que envolve a coleta de dados experimentais, ajuste de parâmetros-chave e validação. A precisão do modelo calibrado é essencial para previsões de rendimento confiáveis e tomadas de decisão agrícola informadas. Com isto, pode-se empregar mais de uma forma de calibração. Primeiramente, pode-se ajustar valores de grupos de maturação presentes no arquivo de cultivares da plataforma DSSAT (neste caso, SBGR0048.CUL). De forma manual, pode-se ajustar os valores da nova cultivar que está sendo inserida neste arquivo, chegando-se a valores que condizem com a nova cultivar ali declarada. Também existem ferramentas integradas com a IDE do DSSAT que realizam este processo de forma automatizada, sendo ela a GLUE. Esta ferramenta realiza simulações alterando combinações de parâmetros fenológicos e de crescimento, buscando pelo conjunto que representa o menor erro possível, com base nos dados observados inseridos no experimento em questão (SALMERÓN; PURCELL, 2016).

Desta forma, e com o intuito de regionalizar e deixar o modelo utilizado com maior precisão na predição destas variáveis, calibrou-se e testou-se o modelo para suportar as cultivares BMX Ativa RR® (com grupo de maturação 5.6 e hábito de crescimento determinado) e NIDEIRA 5909 RR® (com grupo de maturação 6.2 e hábito de crescimento indeterminado). Posteriormente, adicionou-se suporte a mais duas cultivares, que seguem o mesmo processo para calibração das supracitadas: BMX ZEUS IPRO® (com grupo de maturação 5.5 e hábito de crescimento indeterminado) e TMG 7262 RR® (com grupo de maturação 6.0 e hábito de crescimento semideterminado). Todas elas foram criadas a partir de grupos de maturação genérico, sendo que após calibrada, correspondem ao real comportamento da cultivar. Boote *et al.* (BOOTE *et al.*, 2001) demonstram a importância de considerar as diferenças genéticas de cada cultivar bem como as características e do ciclo e características vegetativas das mesmas de modo que a calibração se aproxime ao máximo da realidade vivida em campo.

3.4 Resultados e discussão

O uso de modelos de simulação que já foram testados e validados torna mais robusta a simulação do crescimento e desenvolvimento da cultura, pois é possível focar no problema do estudo e não na programação computacional (PAVAN, 2007). Nesse sentido, como forma de validar a calibração do modelo, fez-se algumas simulações para verificar o comportamento do mesmo, considerando as duas cultivares de estudo.

O ponto de partida para utilizar os modelos de simulação é reunir dados que contemplem o *Minimum Data Set* (MDS), um conjunto mínimo de dados necessários para a execução de simulações agrícolas com o software DSSAT. O MDS é composto por uma lista de variáveis meteorológicas, de solo e de planta que devem ser fornecidas para que o modelo possa simular o crescimento e desenvolvimento das culturas e prever sua produtividade.

Desta maneira foi organizada uma tabela com o MDS, incluindo instruções sobre os dados e também uma lista completa de todos os códigos utilizados nos *headers* da tabela MDS. A Figura 5 demonstra uma parte deste conjunto de dados.

Neste conjunto de dados destacam-se as abas da planilha, na barra inferior da Figura 5. Nestas abas do MDS são descritos subconjuntos de dados, como o arquivo de experimento, que contém informações gerais como data de plantio, cultivar, perfil de solo, estação meteorológica entre outras. Também é destacado informações sobre o solo, condições iniciais, estação meteorológica e no caso deste experimento em questão, dados temporais e dados sumarizados do experimento.

Este formato tabular permitiu uma organização mais rápida de dados sumarizados e temporais das cultivares suportadas pelo framework proposto, diminuindo o tempo para que a calibração de cultivares e ajustes mais sensíveis pudessem ser feitos, e permitindo seu reuso para novas cultivares.

Após a organização destes dados para inserção nos arquivos de entrada do modelo, como forma de demonstrar a interação do modelo com as diferentes entradas de dados, em especial para este caso, ao do clima, foram geradas algumas simulações utilizando uma cultivar de grupo de maturação genérico do próprio DSSAT-CSM-CROPGRO.

Figura 5. Planilha criada com o propósito de elencar o MDS do DSSAT. Na aba “Description”, são inseridos os dados gerais do experimento, além de uma lista completa dos códigos e suas descrições.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	F
1	Description file for DSSAT						Irrigation operations codes			Planting Distribution Codes						
2							IR001	Furrow (mm)			R	Rows				
3	*This tab is a simple description of experiment and used codes						IR002	Alternating Furrows (mm)			H	Hills				
4							IR003	Flood (mm)			U	Uniform/Broadcast				
5	Location	Piracicaba, SP - Brazil					IR004	Sprinkler (mm)			RB	Rows on beds				
6	Lat	-22,6					IR005	Drip or Trickle (mm)			N	Unknown/not given				
7	Long	-47,5					IR006	Flood Depth (mm)			P	Pots				
8	Elevation	568 m					IR007	Water table depth (mm)								
9	Crop	Soybean					IR008	Percolation rate (mm) day-1			Planting Method Codes					
10	Crop	BRS 284					IR009	Bund height (mm)			S	Dry seed				
11	Maturation Group	6.5					IR010	Puddling (For Rice Only)			T	Transplants				
12							IR011	Constant Flood depth (mm)			N	Nursery				
13							IR012	Subsurface (burried) drip			P	Pregeminated seed				
14	Treatments	Seed Date	Initial Condition		Soil	Weather										
15	P1 - S	2013-10-18			75%											
16	P2 - S	2013-11-14			75%											
17	P3 - S	2014-01-08			50%											
18																
19																
20																
21																
22																
23																
24																
25																
26																
27																
28																
29																
30																
31																
32																
33																
34																
35																
36																
37																
38																
39																
40																
41																
42																
43																
44																
45																
46																
47																
48																
49																
50																

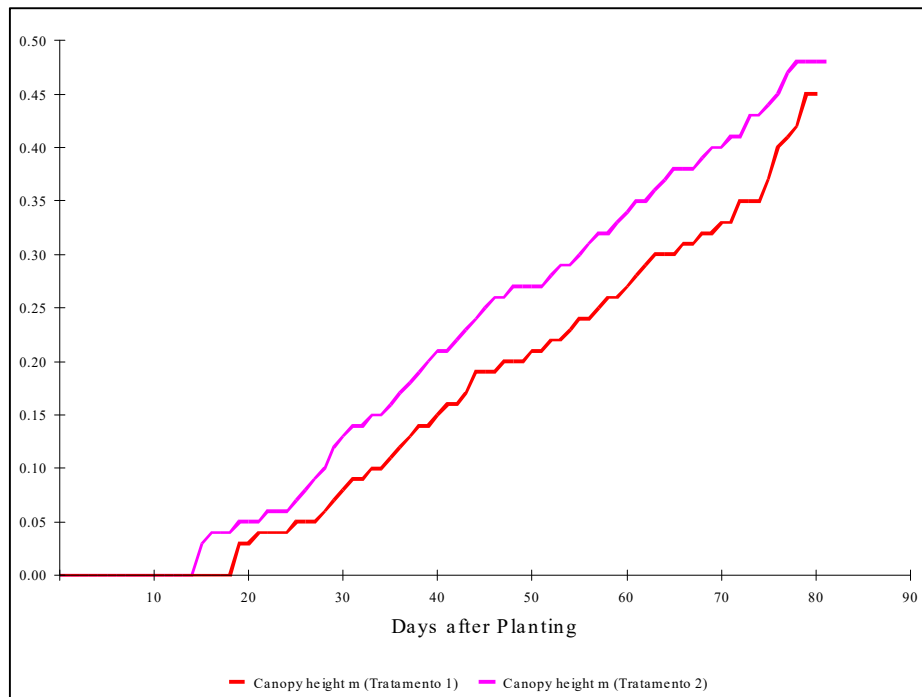
Fonte: Autor, 2022.

A Figura 6 demonstra um gráfico na qual é simulado a altura da haste de uma cultivar genérica de soja durante seu crescimento, considerando os mesmos dados de solo para dois tratamentos: dados de clima original (tratamento 1) e dados de clima com 10% menos radiação solar diária e 10% mais de chuva diária (tratamento 2). Neste caso, o modelo simulou uma média de até 5cm a mais de comprimento da haste para o tratamento 2, comparado ao tratamento 1, demonstrando a resposta que o modelo gera para esta diferença de dados de clima. Nota-se também que a emergência das plantas é mais rápida para a simulação com menos radiação solar.

Seguindo a mesma lógica, na Figura 7 demonstra-se um gráfico do número de folhas por haste gerados na simulação. Nela, pode-se observar que o tratamento 2 obteve um número maior de folhas se compara ao original.

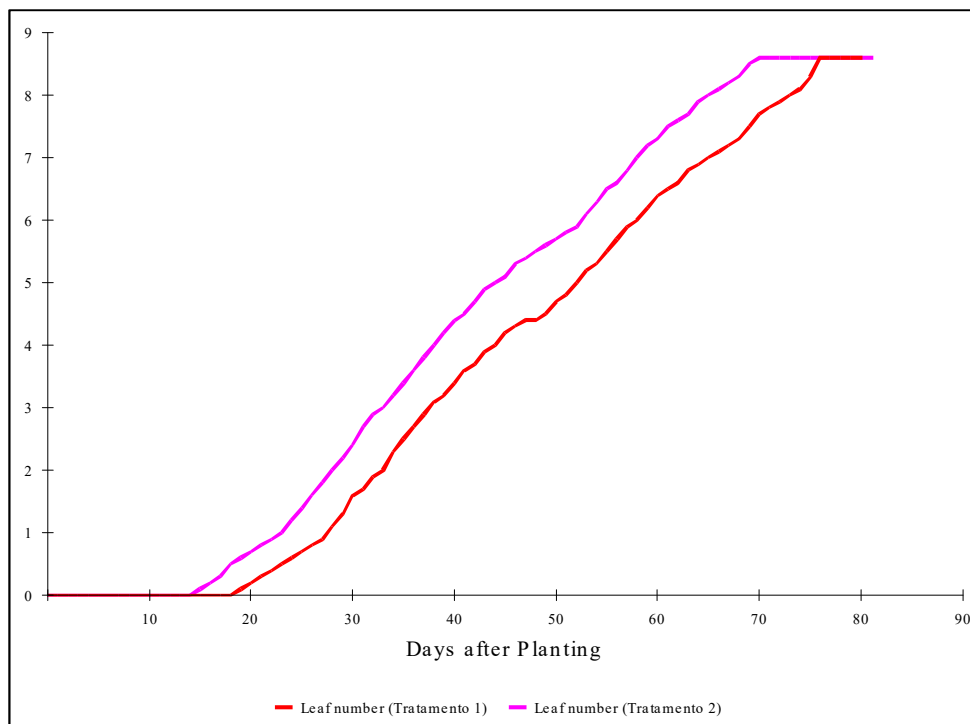
O crescimento excessivo em soja causa problemas como diminuição da incidência de energia luminosa nos terços inferiores, podendo ocasionar danos na produtividade da cultura. Logo, é importante acompanhar os estádios de crescimento, visando uma possível intervenção, podendo ser ela o ajuste de população da cultivar ou utilizando outra cultivar com características diferentes (MÜLLER *et al.*, 2017).

Figura 6. Simulação de cultivar genérica com duas situações de clima diferente e sua relação com a altura da haste da soja, este gráfico foi gerado pelo DSSAT versão 4.7.



Fonte: Autor, 2021.

Figura 7. Simulação da mesma cultivar com duas situações de clima diferente e sua relação com o número de folhas por haste.



Fonte: Autor, 2021.

Na Tabela 2 é demonstrada as diferenças de valores observados e simulados em diferentes estádios fenológicos, estes valores simulados são provenientes de uma cultivar de grupo de maturação genérica da plataforma, sendo grupo 5 para a BMX Ativa RR® e grupo 6 para a NIDEIRA 5909 RR®. Isso mostra a importância de calibrar os modelos até os valores fiquem próximos da realidade.

Nesse contexto, é essencial garantir que a ferramenta reproduza com precisão o comportamento das culturas e suas respostas as condições ambientais e práticas de manejo específicas de uma determinada região. Além disso, permite que os modelos forneçam previsões mais confiáveis e *insights* valiosos para os agricultores, pesquisadores e tomadores de decisão, auxiliando na otimização do manejo das culturas, na adaptação a condições locais e na redução de riscos, desperdícios e custos, contribuindo assim para o aumento da produtividade agrícola (BOOTE, 2019).

As diferenças demonstradas na Tabela 2 são ocasionadas pela simulação realizada não conter as cultivares calibradas em seu modelo, sendo este o próximo passo realizado para adequar o modelo ao propósito desse estudo.

Tabela 2. Simulação do crescimento de plantas de soja antes da calibração. Dados oriundos do arquivo PlantGro.OUT.

Cultivar	<i>Canopy height</i> (Estatura)	Observado	Simulado
		*Metros	
BMX Ativa RR®	V5	0.21	0.28
	V7	0.32	0.46
	R2	0.45	0.5
	R5	0.75	0.52
NIDEIRA 5909 RR®	V5	0.27	0.32
	V7	0.40	0.56
	R2	0.75	0.62
	R5	1.12	0.62

Fonte: Autor, 2022.

Na Tabela 3 são demonstrados os coeficientes genéticos da soja para os grupos de maturação (GM) 5 e 6 para o modelo CSM-CROPGRO-Soybean. Observa-se que existem diferenças de valores para os coeficientes entre os grupos de maturação, sendo que estes

foram utilizados como valores base para a calibração das cultivares utilizadas neste trabalho. No caso desse estudo, utilizou-se a cultivar BMX Ativa RR®, pertencente ao GM 5.0, e a cultivar NIDEIRA 5909 RR®, pertencente ao grupo GM 6.0.

Tabela 3. Descrição dos coeficientes genéticos de soja dos grupos de maturação (GM) 5.0 e 6.0, correspondentes estes aos cultivares utilizados neste trabalho.

Coeficiente	Sigla	GM 5.0	GM 6.0
Comprimento crítico do dia, acima do qual o processo de desenvolvimento reprodutivo não é afetado (h)	CSDL	12.83	12.58
Inclinação da resposta relativa do desenvolvimento para com o fotoperíodo (1/h)	PPSEN	0.303	0.311
Período entre a emergência da planta e o aparecimento da primeira flor (dias foto termais)	EM-FL	19.8	20.2
período entre o aparecimento da primeira flor e o primeiro legume (dias foto termais)	FL-SH	8.0	9.0
Período entre o aparecimento da primeira flor e o início da formação de grãos (dias foto termais)	FL-SD	15.5	16.0
Período entre o início da formação de grãos e a maturidade fisiológica (dias foto termais)	SD-PM	34.8	35.6
Período entre o aparecimento da primeira flor e o final da expansão foliar (dias foto termais)	FL-LF	18.0	18.0
Duração do período de enchimento de grãos nas vagens em condições normais de desenvolvimento (dias foto termais)	SFDUR	23	23
Tempo necessário para a cultivar atingir condições ideais de legumes (dias foto termais)	PODUR	10	10
Taxa máxima de fotossíntese da folha em taxa ótima de temperatura (30 °C, 350 ppm CO ₂ , alta luz) (mg CO ₂ m ⁻² s ⁻¹)	LFMAX	1.030	1.030
Área foliar específica sob condições de crescimento padrão (cm ²)	SLAVAR	375	375
Tamanho máximo da folha completamente expandida (cm ²)	SIZLF	180	180
Máxima fração do crescimento diário particionada para legume e grão	XFRT	1	1
Peso máximo por grão (g)	WTPSD	0.18	0.18
número médio de grãos por vagem sob condições de crescimento padrão (unidade vagem ⁻¹)	SDPDV	2.05	2.05

Fonte: Autor, 2022.

A calibração do modelo para cada cultivar pode ser iniciada pela calibração dos coeficientes fenológicos, ou seja, ajuste do tempo que cada cultivar demora para realizar sua passagem de estágio. Em seguida, faz-se a calibração dos coeficientes de crescimento, onde é importante ter dados coletados em campo da cultivar para analisar a dispersão destes dados e fazer os ajustes necessários para tal (DALLACORT *et al.*, 2006).

Desta maneira, utilizando a interface do DSSAT versão 4.8, aplicou-se a técnica de tentativa e erro para construir o experimento inicial com as cultivares utilizadas neste trabalho. Os dados climáticos foram retirados do INMET (INMET, 2023) e o restante dos dados como solo, condições iniciais, datas e os dados temporais e sumarizados foram retirados do experimento. Após isso, fez-se a primeira simulação utilizando as cultivares genéricas com GM 5.0 e 6.0.

A partir da primeira rodada de simulação, notou-se a dispersão dos dados observados para os dados simulados, como demonstrado nas Tabela 2. Entendendo então a dispersão destes dados, de forma manual, foi feito o ajuste dos coeficientes demonstrados na Tabela 3, com o intuito de aproximar o máximo possível os dados simulados dos dados observados. Valores para o fotoperíodo críticos como o CSDL, a curva PPSEN e o tempo termal entre a emergência até o florescimento EM-FL (Tabela 4) foram alterados com o intuito de adequar o valor a quantidade de dias que a cultivar entra no estágio de florescimento. A Tabela 5 demonstra um exemplo, onde a diferença entre o observado e o simulado após ajuste destes coeficientes da cultivar NA 5909 RR® caiu de oito para somente três dias.

Tabela 4. Coeficientes de fenologia ajustadas por tentativa e erro. Nota-se a diferença dos valores pelo fato de que pertencem a grupos de maturação diferentes (a descrição dos códigos pode ser vista na Tabela 3).

Cultivares	Coefficiente		
	CSDL	PPSEN	EM-FL
BMX Ativa RR®	12.81	0.306	23.0
NA 5909 RR®	13.05	0.308	28.40

Fonte: Autor, 2022.

Com o arranjo do ciclo das cultivares, fez-se o ajuste dos coeficientes de área foliar, taxa fotossintética máxima, peso de mil sementes até chegar na produtividade final. Para tanto, observou-se a dispersão dos dados simulados perante ao dados observados,

fazendo ajustes nos valores dos coeficientes da cultivar utilizando a técnica de tentativa e erro, até que esta dispersão fosse a menor possível.

Tabela 5. Simulação da fenologia de plantas de soja na avaliação e após calibração, também e demonstrada a correlação dos dados observados para os simulados após calibração do modelo.

Cultivar	Fenologia	Observado	Simulado	d-Stat.
		Dias após semeadura (DAS)		
<i>Avaliação do modelo</i>				
BMX Ativa RR®	R1, início da floração	50	33	-
	R3, pod inicial	61	46	-
	R5, semente inicial	70	58	-
	R7, maturidade fisiológica	108	107	-
NA 5909 RR®	R1, início da floração	45	36	-
	R3, pod inicial	55	53	-
	R5, semente inicial	68	66	-
	R7, maturidade fisiológica	119	124	-
<i>Calibração do modelo</i>				
BMX Ativa RR®	R1, início da floração	50	48	0.588
	R3, pod inicial	61	59	0.636
	R5, semente inicial	70	69	0.643
	R7, maturidade fisiológica	108	106	0.732
NA 5909 RR®	R1, início da floração	45	47	0.580
	R3, pod inicial	55	59	0.688
	R5, semente inicial	68	72	0.622
	R7, maturidade fisiológica	119	110	0.718

Fonte: Autor, 2022.

Na Tabela 5 observa-se a correlação entre os dados destas cultivares, onde a menor correlação dos dados simulados para os observados foi de 0.588 para o início da floração na cultivar NA 5909 RR®. Já a maior correlação para maturidade fisiológica da cultivar BMX Ativa RR® foi com o valor de 0.732. Vale lembrar que, quanto mais próximo de 1 este valor, menos dispersão e mais correlacionados os valores do simulado estão para o observado e vice-versa.

É importante o acompanhamento dos estádios fenológicos da cultura para o planejamento dos tratos culturais e da colheita das plantas. A simulação da fenologia para a cultivar BMX Ativa RR® no estágio reprodutivo simulou uma quantidade menor de

dias para a planta atingir o estágio, sendo está maior diferença verificada no estágio R1 de 17 dias (Tabela 3). Após algumas rodadas de calibração, ajustando valores, a diferença diminuiu para três dias no estágio R1 para a cultivar BMX Ativa RR®.

Para a cultivar NA 5909 RR® a maior diferença também estava no estágio fenológico R1, sendo a diferença de 8 dias. Da mesma forma, após calibração do modelo chegou-se na diferença de 2 dias. No geral, o modelo de simulação foi mais preciso no início do estágio reprodutivo para a cultivar NA 5909 RR®, mas este previu um alongamento de ciclo de cinco dias (Tabela 5).

A calibração adequada destes coeficientes permite que o modelo forneça previsões mais precisas e realistas sobre o desempenho das culturas em diferentes condições ambientais e de manejo. Isso é essencial para tomar decisões como o planejamento de plantio, o uso de e a previsão de rendimentos.

3.5 Conclusão

Modelos calibrados ajudam a identificar potenciais riscos, como secas, pragas ou doenças, permitindo a implementação de estratégias de mitigação e a tomada de decisões. Também pode-se afirmar que a correta calibração do modelo CROPGRO para as culturas de interesse faz-se necessária para que os dados gerados pelas simulações se tornem o mais próximo da realidade. Desta maneira, as variáveis que estão sendo utilizadas para o acompanhamento da cultura durante seu ciclo possam resultar em previsões assertivas do comportamento das cultivares utilizadas para o trabalho.

A calibração dos cultivares não segue um padrão universal de valor mínimo de correlação, pois isso pode variar dependendo das circunstâncias e dos critérios estabelecidos para a cultivar em questão. Muitas vezes, consideram-se correlações superiores a 0,7 ou 0,8 como indicativos de uma boa concordância entre os dados observados e simulados (AHMED *et al.*, 2020). Desta maneira, pode-se afirmar que de modo geral as cultivares foram calibradas, com valores de correlação d-Stat variando de 0.588 a 0.718. Contudo, a falta de acesso a mais dados observados não permitiu uma calibração mais efetiva. Acredita-se que com a utilização de mais dados observados em campo pode-se chegar a valores de correlação melhor, dando mais confiabilidade a calibração das cultivares. Além destes pontos, é importante lembrar que este estudo possui limitações, pois foram feitas as calibrações utilizando dados pontuais de uma

região, sendo que para um melhor resultado, deve-se utilizar dados de mais experimentos, e considerando outras regiões.

Também vale lembrar que além da correlação d-Stat, outros métodos de avaliação de desempenho do modelo não considerados para este trabalho, como o índice de eficiência de modelo (EF) ou o erro quadrático médio (RMSE), podem ser usados para avaliar a qualidade da calibração. Ressalta-se que a calibração de um modelo é um processo iterativo e requer ajustes finos nos parâmetros do modelo para melhorar a correspondência entre os dados observados e simulados. O conhecimento detalhado sobre as características específicas da cultivar de soja, bem como a disponibilidade de dados de campo de alta qualidade, são cruciais para realizar uma calibração bem-sucedida.

4 CAPÍTULO II

Soybean Alert API

4.1 Resumo

A utilização de modelos de simulação desempenha um papel crucial em diversas áreas, como ciência, engenharia e agricultura, para prever resultados e tomar decisões embasadas em dados. Os modelos DSSAT-CROPGRO envolvem uma grande quantidade de passos para que possam ser executados, além de exigirem um formato pré-definido de entrada de dados. Nesse contexto, foi desenvolvida uma solução para coletar, organizar, executar os modelos e retornar estes dados gerados de uma forma ágil e segura, denominada Soybean Alert API. Este capítulo demonstra como são obtidos e organizados os dados necessários para a entrada do modelo de simulação DSSAT-CROPGRO na API criada, além de como o modelo pode ser executado, como suas saídas são organizadas, e detalhes da estrutura que sustenta esta API em execução, aguardando requisições vindas do aplicativo Soyben Alert. A API realiza de forma automática todo o processo de coleta de dados climáticos e de solo, considerando quatro informações vindas pela requisição. Ela também faz a montagem de todos os arquivos necessários para rodar o modelo de simulação, que após sua execução, organiza e retorna os dados configurados para o aplicativo.

Palavras-chave: DSSAT, Docker, Weather, Soil

4.2 Introdução

A agricultura é um dos setores que está crescendo no mercado mundial e que necessita de inovações e tecnologia para os cultivos (LOPES, 2023). Os principais cultivos de grãos no Brasil são soja, milho, arroz, feijão e trigo e, dentre esses, a cultura da soja se destaca no setor nacional e de exportação, pois o Brasil está entre os países de referência mundial (CONTINI *et al.*, 2010).

O manejo da cultura da soja deve ser realizado de maneira precisa para garantir elevadas produtividade e rentabilidade ao produtor. Para tanto, as práticas de manejo devem ser assertivas. Nesse sentido, o desenvolvimento de novas tecnologias permite o agricultor acompanhar o crescimento e desenvolvimento das plantas de soja e, com isso, pode adotar o manejo correto (SAIZ-RUBIO *et al.*, 2020).

O desenvolvimento de softwares que utilizem modelos de simulação de culturas possui usos atuais e potenciais para auxiliar a responder questões de pesquisa e realizar a gestão das culturas (DIAS *et al.*, 2020). Estes também podem auxiliar no entendimento

sobre as interações da genética, fisiologia, condições ambientais e na organização dos dados, além de ajudar na tomada de decisões sobre as práticas de manejo, como aplicação de fertilizantes e agroquímicos e no uso racional da irrigação (BOOTE *et al.*, 1996). O desenvolvimento de um aplicativo voltado para o manejo da soja engloba principalmente as variáveis relacionadas ao clima e ao solo. Para isso, é importante utilizar dados provenientes do campo e que simulem o cotidiano do produtor para estimar o crescimento e o desenvolvimento de plantas de soja, no cenário mais próximo do real.

Com isso a criação de aplicativos para simulação de culturas envolve diversos processos, desde a concepção de sua interface, até o projeto e desenvolvimento de todos os serviços que estão executando em um servidor na nuvem. Os aplicativos também precisam ser responsáveis pela gestão de coleta de dados de clima, solo e do manejo, além de reorganizar os dados de forma que o modelo de simulação possa consumi-los.

Os dados utilizados como entrada dos modelos de simulação são importantes para uma correta execução do modelo, bem como a correta interpretação e organização dos dados de saída do modelo. Desta forma, destaca-se a importância da utilização de microsserviços para a criação de uma API, tornando-a flexível, escalável e modular (YELLAVULA, 2020). Ao dividir uma aplicação em microsserviços independentes que servem como unidades funcionais autônomas, torna-se mais fácil desenvolver, testar e manter cada componente. Isso permite uma maior agilidade no desenvolvimento de software, facilitando a adaptação a mudanças de requisitos e a incorporação de novos recursos de forma eficiente. Além disso, os micros serviços podem ser dimensionados individualmente, o que otimiza o uso de recursos e permite que a aplicação mantenha um desempenho consistente, independentemente da carga de trabalho (BIGHET *et al.*, 2019).

Com isso em mente, esta seção tem como objetivo demonstrar o desenvolvimento do software Soybean Alert API, uma solução para a coleta e a organização dos dados utilizados pelo modelo de simulação, e para a disponibilização destes aos usuários da solução.

4.3 Material e métodos

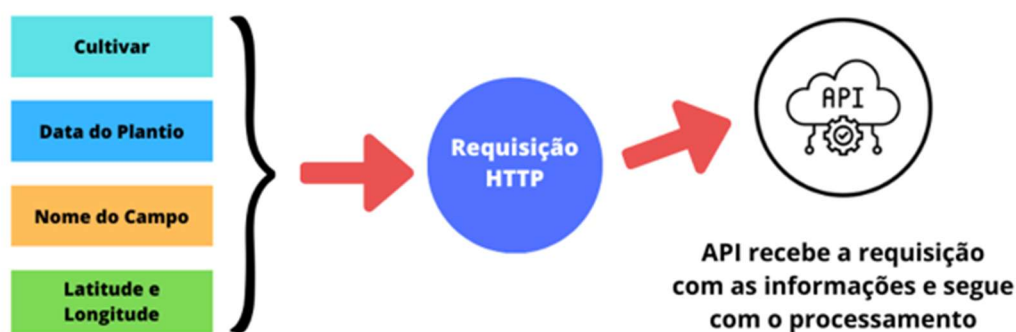
Os dados necessários para que possa ser executado o modelo de simulação foram subdivididos em dados vindos do usuário, dados climáticos e dados de solo. Isso facilita o gerenciamento de dados da API proposta, que processa e retorna estes dados organizados para a aplicação mobile.

4.3.1 Aquisição de dados do usuário

A maneira como foi projetada a coleta de informações do usuário vindas de um aplicativo foi simples, de forma que apenas dados relevantes para o funcionamento são solicitados, quais sejam: cultivar, data do plantio, nome do campo e latitude/longitude.

Estas informações são coletadas pelo aplicativo Soybean Alert (Seção 5) e enviadas via requisição HTTP (mensagem enviada para um servidor web iniciar determinada tarefa) para a API. Entre os dados solicitados, a data do plantio também é utilizada posteriormente para calcular a data de início da simulação, e os dados de latitude e longitude servem de referência na coleta de dados climáticos, previsões do tempo e perfis de solo. A Figura 8 ilustra esse procedimento.

Figura 8. Diagrama demonstrando a coleta de quatro variáveis informadas na aplicação, necessárias para a posterior coleta automática de dados adicionais para montagem dos arquivos de entrada do modelo DSSAT-CROPGRO-Soybean.



Fonte: Autor, 2023.

4.3.2 Aquisição de dados meteorológicos

Dados de clima para construção do arquivo utilizado pelo modelo de simulação são provenientes do serviço Nasa Power Weather (NASA POWER, 2023), o qual disponibiliza o mesmo formato de entrada de dados utilizado pelo modelo de simulação.

O arquivo de clima chama-se Weather Station e é constituído por latitude, longitude, elevação, concentração de CO₂ e um nome identificador, seguido pelas observações acumuladas de forma diária, sendo as variáveis data, radiação, temperatura máxima, temperatura mínima, chuva, vento, humidade relativa máxima, e seu identificador.

Este arquivo de clima é construído a partir das informações que foram coletadas do usuário. Desta forma, é feita uma requisição adicional da API proposta para os serviços do Nasa Power Weather, passando como parâmetro a latitude, a longitude e o período em que deve ser consultado estes dados climáticos, período este que vai da data no horário da solicitação da simulação até 15 anos passados a esta data.

O resultado desta consulta ao serviço é o retorno de um arquivo JSON com dados climáticos para 10 anos até a data final da simulação. Desta forma, logo após o retorno destes dados, o arquivo NAWB.WTH é gerado no formato utilizado como entrada padrão para o modelo de simulação (Figura 9).

Figura 9. Arquivo de clima contendo dados climáticos de 10 anos utilizado como entrada para o modelo de simulação. Nota-se em seu cabeçalho uma legenda com informações sobre os dados do arquivo.

```

1  $WEATHER DATA: NASA
2
3  ! T2M    Temperature at 2 Meters (C)
4  ! TMIN   Temperature at 2 Meters Minimum (C)
5  ! TMAX   Temperature at 2 Meters Maximum (C)
6  ! TDEW   Dew/Frost Point at 2 Meters (C)
7  ! RH2M   Relative Humidity at 2 Meters (%)
8  ! RAIN   Precipitation Corrected (mm/day)
9  ! WIND   Wind Speed at 2 Meters (m/s)
10 ! SRAD   All Sky Surface Shortwave Downward Irradiance (MJ/m^2/day)
11 ! Mean elevation for source NASA/POWER data tile (0.5 x 0.625 grid cell) = 563.64m
12
13 @ INSI   WTHLAT  WTHLONG  WELEV   TAV  AMP  REFHT  WNDHT
14 | NASA  -28.489  -52.792  563.64  13.0 16.1  2      2
15
16 @ DATE   T2M     TMIN    TMAX    TDEW   RH2M   RAIN    WIND    SRAD
17 2013001  20.6   15.9   22.8   17.9   85.2   6.1    2.8    11.5
18 2013002  17.8   12.9   23.8   12.6   73.9   0.0    2.5    29.9
19 2013003  20.5   12.7   28.0   15.6   75.8   0.0    1.9    30.6
20 2013004  22.9   16.2   29.3   17.4   73.2   0.0    1.7    30.9
21 2013005  22.9   19.5   26.3   20.8   87.8   16.5   1.8    10.8
22 2013006  23.3   20.2   26.5   21.2   88.7   3.4    1.7    4.1
23 2013007  23.4   20.7   26.0   21.9   91.8   12.1   2.2    13.0
24 2013008  23.8   20.3   28.4   21.0   85.5   3.8    1.7    17.8
25 2013009  22.4   17.4   28.3   17.9   77.2   0.0    2.9    29.1
26 2013010  20.3   15.1   27.0   15.0   74.2   0.0    2.9    32.8

```

Fonte: Autor, 2023.

Além deste conjunto de resultados, é criado um segundo arquivo de clima que utiliza o primeiro já criado como base sendo adicionada a ele informações de previsão de tempo para aquela latitude e longitude. Este arquivo com dados da previsão é utilizado

para a simulação de previsão de como a cultivar de soja irá se comportar futuramente. A previsão do tempo utilizada é recebida via API do serviço tomorrow.io (Tomorrow.io API, 2023). Esta API disponibiliza previsão do tempo para todos os locais do globo.

Os dados fornecidos pelo NASA Power podem não ser totalmente precisos devido a várias fontes de incerteza inerentes ao processo de coleta, processamento e modelagem. Essas fontes incluem limitações dos instrumentos de medição, erros de calibração, interpolação e extrapolação dos dados para áreas sem medições diretas, suposições e simplificações nos modelos utilizados, variações naturais nos fenômenos estudados e limitações na cobertura espacial e temporal dos dados. Embora os dados do NASA Power sejam valiosos para uma ampla gama de aplicações, é essencial reconhecer e considerar essas incertezas ao interpretar e utilizar os resultados obtidos (TAYYEH; MOHAMMED, 2023). Também deve-se atentar a confiabilidade dos dados de previsão obtidos pelo tomorrow.io, pois a previsão nem sempre se confirma, e quanto maior a quantidade de dias de previsão, menor a chance de que ela possa se confirmar (BAUER; THORPE; BRUNET, 2015).

4.3.3 Aquisição de dados de solo

Para a criação de arquivo de solo, foi utilizado a base *Global High-Resolution Soil Profile Database for Crop Modeling Applications* (Banco de Dados Global de Perfis de Solo em Alta Resolução para Aplicações de Modelagem de Culturas) (HAN; INES; KOO, 2015). Este recurso fornecer informações detalhadas sobre perfis de solo de várias regiões ao redor do mundo, oferecendo uma compreensão abrangente das variações espaciais, propriedades e características específicas do solo, em alta resolução. Ele inclui dados como textura do solo, teor de matéria orgânica, densidade aparente, pH, disponibilidade de nutrientes e capacidade de retenção de água.

O banco de dados é particularmente benéfico para aplicações de modelagem de culturas, pois permite que pesquisadores e especialistas agrícolas simulem e prevejam com precisão o crescimento e a produtividade das culturas. Ao incorporar as propriedades específicas do solo nos modelos de culturas, ele aprimora a precisão das previsões relacionadas ao rendimento das culturas, requisitos de água, absorção de nutrientes e resposta a diferentes práticas de manejo.

Por meio da latitude e da longitude disponibilizada pelo usuário, a API faz uma procura pelo arquivo de solo chamada soil.SOL (Figura 10), o qual possuem em cada

perfil listado a latitude e a longitude, além de um código de solo, úteis para modelos de simulação (destacados na figura). Este arquivo foi montado utilizando os dados provenientes do *Global High-Resolution Soil Profile Database for Crop Modeling Applications* (Banco de Dados Global de Perfis de Solo em Alta Resolução para Aplicações de Modelagem de Culturas) (HAN; INES; KOO, 2015).

Cada perfil de solo mapeado neste arquivo corresponde a uma região de 8 km de latitude por 8 km de longitude, resultando em uma área de 64 km². Também se observa que os dados são estratificados em camadas que vão de 5 cm até 2 metros de profundidade. Segundo Piekarski *et al.* (PIEKARSKI *et al.*, 2016), em uma única propriedade, ou até mesmo parcela do campo, podem haver diferentes tipos de solo e fertilidade, o que pode mascarar o verdadeiro resultado da simulação.

Figura 10. Arquivo de solo com todos os perfis para todo o Brasil, denominado BR.sol. Os perfis foram inseridos manualmente nos arquivos do DSSAT, extraídos do *Global High-Resolution Soil Profile Database for Crop Modeling Applications*. O rótulo grifado à esquerda corresponde ao código do perfil de solo que é exportado para o arquivo de experimento do modelo, baseado na latitude e longitude (grifo central).

```

> DSSAT48 > Soil > BR.SOL
@ SCOM SALB SLU1 SLDR SLRO SLNF SLPF SMHB SMPX SMKE
BK 0.10 6.00 0.50 75.00 1.00 1.00 SA001 SA001 SA001
@ SLB SLMH SLLL SDUL SSAT SRGF SSKS SBDM SLOC SLCL SLSI SLCF SLNI SLHW SLHB SCEC SADC
5 A 0.212 0.335 0.426 1.00 0.20 1.18 3.21 35.40 25.30 -99.0 0.12 5.26 -99.0 20.6 -99.0
15 A 0.224 0.347 0.432 0.85 0.16 1.20 2.72 37.37 24.48 -99.0 0.09 5.34 -99.0 18.0 -99.0
30 AB 0.238 0.363 0.440 0.70 0.12 1.23 2.07 39.92 23.50 -99.0 0.07 5.43 -99.0 17.6 -99.0
60 BA 0.251 0.376 0.448 0.50 0.09 1.28 1.33 42.15 22.42 -99.0 0.06 5.54 -99.0 18.3 -99.0
100 B 0.252 0.377 0.447 0.38 0.09 1.34 0.77 42.29 21.75 -99.0 0.05 5.69 -99.0 18.5 -99.0
200 BC 0.243 0.366 0.440 0.05 0.11 1.40 0.44 40.75 21.26 -99.0 0.05 5.86 -99.0 18.5 -99.0

*BR06014959 BRA ClayLoam 200 ISRIC soilgrids + HC27
@SITE COUNTRY LAT LONG SCS Family
-99 BR -26.042 -53.375 HC_GEN0011
@ SCOM SALB SLU1 SLDR SLRO SLNF SLPF SMHB SMPX SMKE
BK 0.10 6.00 0.50 75.00 1.00 1.00 SA001 SA001 SA001
@ SLB SLMH SLLL SDUL SSAT SRGF SSKS SBDM SLOC SLCL SLSI SLCF SLNI SLHW SLHB SCEC SADC
5 A 0.216 0.342 0.431 1.00 0.18 1.15 3.78 36.04 26.79 -99.0 0.12 5.17 -99.0 23.6 -99.0
15 A 0.227 0.354 0.437 0.85 0.15 1.17 3.20 38.01 26.09 -99.0 0.09 5.24 -99.0 20.6 -99.0
30 AB 0.242 0.369 0.445 0.70 0.11 1.20 2.43 40.55 24.92 -99.0 0.07 5.34 -99.0 20.0 -99.0
60 BA 0.256 0.383 0.453 0.50 0.09 1.25 1.56 42.92 23.84 -99.0 0.06 5.45 -99.0 20.9 -99.0
100 B 0.256 0.382 0.452 0.38 0.09 1.31 0.91 42.93 23.32 -99.0 0.05 5.59 -99.0 21.0 -99.0
200 BC 0.247 0.372 0.445 0.05 0.10 1.36 0.52 41.38 22.80 -99.0 0.05 5.77 -99.0 21.0 -99.0

```

Fonte: Autor, 2023.

O Global High-Resolution Soil Profile Database for Crop Modeling Applications é um recurso crucial para entender e prever a produção agrícola em escala global. Os dados desse banco são gerados através de uma combinação de métodos de coleta de dados

in situ, como amostragem de solo em campo e medições laboratoriais detalhadas. Essas amostras são coletadas em locais estratégicos em todo o mundo, considerando uma variedade de condições climáticas, tipos de solo e práticas agrícolas. Além disso, são utilizadas técnicas avançadas de sensoriamento remoto e modelagem para complementar os dados coletados no terreno, o que pode não corresponder ao real estado do solo que está sendo utilizado, mas sim uma caracterização aproximada (HAN; INES; KOO, 2015).

4.3.4 Ferramentas utilizadas

Para todo o desenvolvimento desta API, foram utilizadas como ferramentas o Visual Studio Code, PHP e Docker. Para gestão e desenvolvimento de código, optou-se pela IDE (*Integrated Development Environment*) Visual Studio Code (Visual Studio Code. 2023). Ele oferece uma vasta gama de extensões e recursos que simplificam a codificação, depuração e gerenciamento de projetos, contribuindo para um desenvolvimento mais produtivo e organizado.

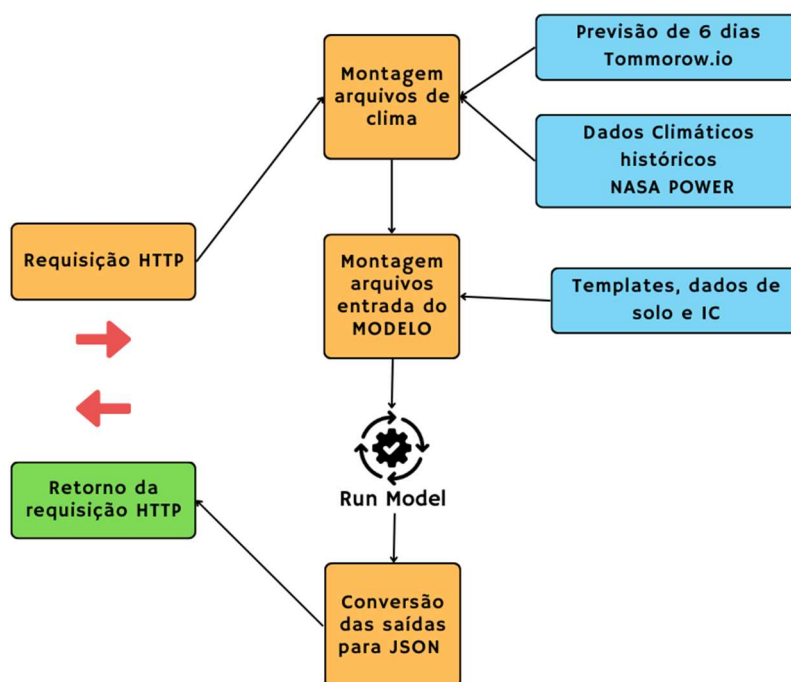
A linguagem utilizada foi o PHP (PHP, 2023), comumente aplicada para processar requisições, manipular dados e gerar respostas personalizadas com base nas solicitações do cliente. Os recursos que esta ferramenta oferece são fundamentais para a construção de aplicações interativas e dinâmicas, pois permitem a entrega de conteúdo dinâmico e a interação com bancos de dados, formando a base de muitas aplicações e serviços online.

A arquitetura da API foi sustentada pela tecnologia Docker. Sua escolha se deve ao fato de que todo o processo de *deploy* acaba sendo simplificado, o que ocasiona em uma demanda menor de trabalho para tal. Esta tecnologia usa recursos de virtualização em nível de sistema operacional para entregar software em pacotes (Docker. 2023). Docker é uma ferramenta essencial no desenvolvimento de APIs, oferecendo uma abordagem eficaz para a criação e gerenciamento de ambientes de desenvolvimento e produção altamente padronizados e isolados. É possível empacotar todos os componentes da API, incluindo o código, as dependências, o sistema operacional e as configurações em contêineres que podem ser facilmente compartilhados entre desenvolvedores e implantados em diferentes ambientes. Isso garante que a API funcione consistentemente em qualquer lugar, reduzindo as discrepâncias entre ambientes de desenvolvimento e produção, o que muitas vezes é uma fonte de erros e problemas de implantação.

4.4 Resultados e discussão

Como forma de simplificar o entendimento do fluxo de toda API, a Figura 11 demonstra de forma sintética seu funcionamento. A requisição HTTP é enviada para API, sendo que a mesma contém informações-chaves para o processo, como a geolocalização do campo, utilizada para recuperar na primeira parte do processo a previsão do tempo na API da Tomorrow.io (“Tomorrow.io API”, 2023) e os dados climáticos históricos no Nasa Power (“NASA POWER”, 2023). Logo após inicia o processo de criação e montagem de mais arquivos de entrada do modelo (como dados de solo e condições iniciais), a execução do modelo e o retorno das saídas do modelo ao usuário.

Figura 11. Diagrama simplificado da API Soybean Alert. O usuário faz a requisição, e aguarda seu retorno até o término do processamento da API.



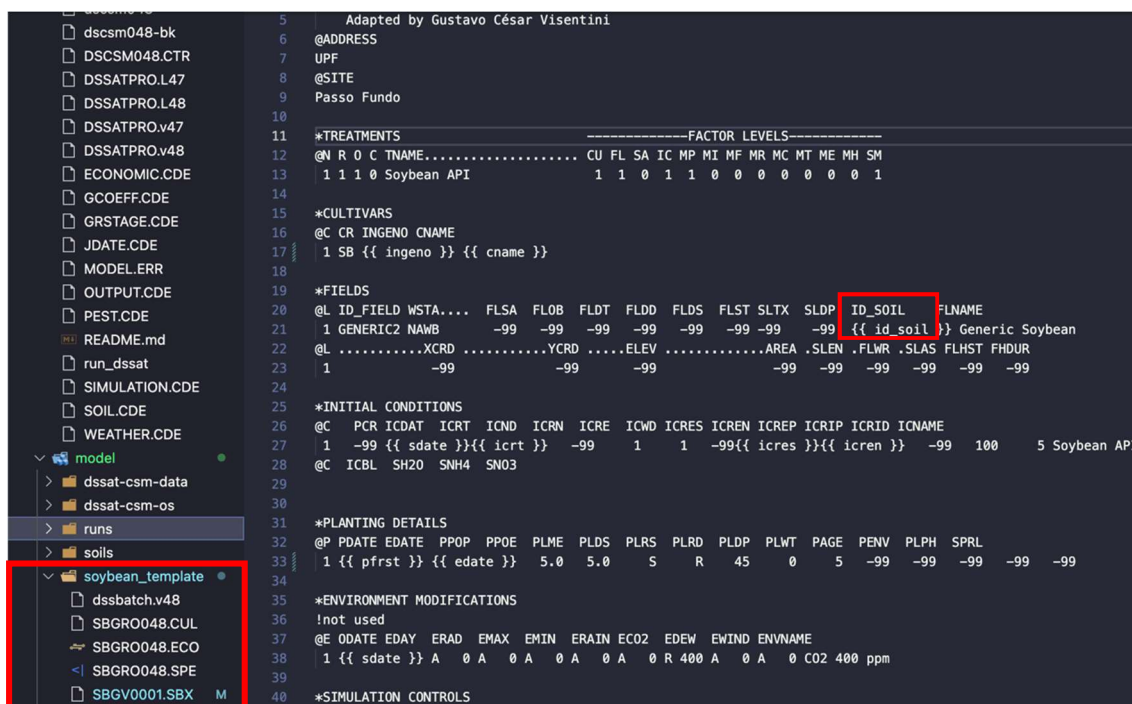
Fonte: Autor, 2022.

As próximas subseções apresentam os resultados relacionados ao uso da ferramenta Soybean Alert API. Ela destaca a organização dos dados mínimos para execução do modelo, como ocorre a solicitação de uma requisição de simulação, bem como a saída dos dados resultantes que podem ser consumidos pelo usuário final através de um aplicativo de forma detalhada.

4.4.1 Organização de pastas e template

Como forma de organizar as pastas contendo os arquivos de entrada do modelo, foi organizada uma pasta base chamada “soybean_template” contendo arquivos necessários bases para o modelo. Na Figura 12 é demonstrada a estrutura desta pasta.

Figura 12. Diretório *template* (à esquerda) e conteúdo de arquivo SBX com dados a serem substituídos em tempo de execução.



Fonte: Autor, 2022.

Destacado em vermelho à esquerda da Figura 12, demonstra-se a pasta *template* utilizada para gerar uma simulação. Esta pasta contém os arquivos base para montagem de todas as simulações utilizadas pela plataforma. Eles contêm informações importantes sobre as cultivares calibradas, bem como outros arquivos que são modificados dinamicamente com informações vindas do usuário. Nesta pasta, observa-se cinco arquivos diferentes, sendo eles os seguintes:

- **SBGRO048.CUL:** Neste arquivo estão armazenadas todas as informações de cultivares calibradas que são utilizadas pela plataforma. Caso seja necessário

inserir mais cultivares, será neste arquivo que deverá ser inserida as características das novas cultivares calibradas;

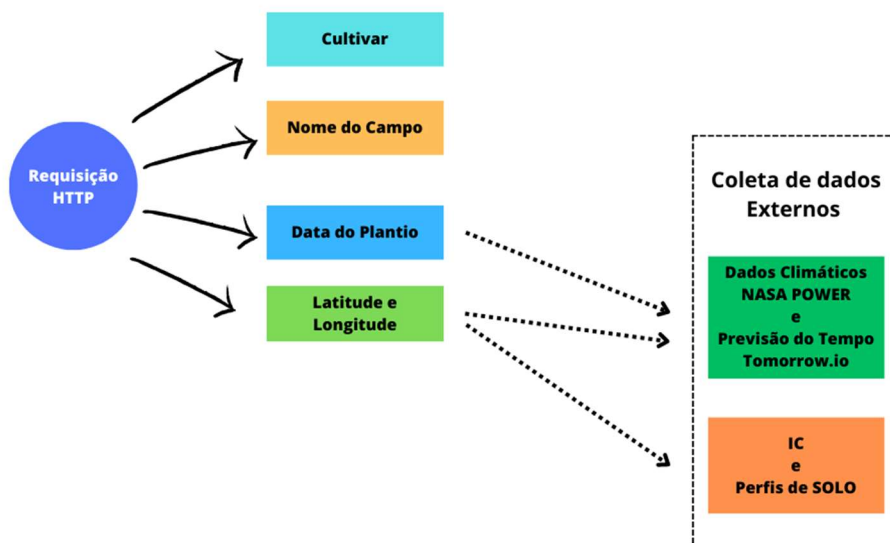
- **SBGRO048.ECO:** Este arquivo contém coeficientes específicos relacionados às características genéticas e fisiológicas de diferentes ecótipos de diferentes cultivares de soja;
- **SBGRO048.SPE:** Este por sua vez fornece informações sobre várias características da soja, como taxas de crescimento, duração dos estágios de desenvolvimento, fotossíntese, alocação de biomassa, exigências de temperatura e outras características específicas da espécie de soja sendo estudada;
- **SBGRO048.SBX:** Este arquivo, que está sendo demonstrado na Figura 10, contém todas informações referentes a simulação, data de plantio, local do plantio, código da estação meteorológica utilizada, densidade, entre outros. Ele possui marcadores em seu conteúdo que são modificados dinamicamente em tempo de execução com informações vindas do usuário.

Destacado em vermelho a direita da Figura 12, também se observa o ID_SOIL, seguido pela diretiva “`{{ id_soil }}`”. Neste campo deve ser inserido o id do solo anteriormente obtido pela latitude e longitude recebidas da coleta de dados do usuário. Além desta informação, destaca-se também as diretivas “`{{ prfst }}`”, substituída pela data de plantio, “`{{ ingeno }}`” e “`{{ cname }}`” substituídas pela cultivar selecionada pelo usuário e que serão substituídas pela API em tempo de execução.

4.4.2 Executando uma requisição de simulação

A cada nova solicitação de simulação na API, um processo específico é seguido para garantir que a simulação seja executada conforme o planejado. Inicialmente, a API utiliza as coordenadas de latitude e longitude fornecidas para consultar a API da Nasa Power Weather. Durante essa consulta, também são especificadas as datas de início e término para a obtenção do conjunto de dados climáticos necessários para a simulação. Desta forma, são criados dois arquivos de clima para ser utilizado posteriormente. De maneira análoga, a API faz a busca pelo perfil de solo daquela região no banco de dados, gerando assim um conjunto pré-formatado de dados de clima, solo e condições iniciais da região informada pelo usuário. Na Figura 13 é ilustrado a sequência e organização destes dados.

Figura 13. A partir da latitude, longitude e data de plantio informada pelo usuário, a API gera os dados de clima e previsão do tempo por meio do Nasa Power Weather e Tomorrow.io.



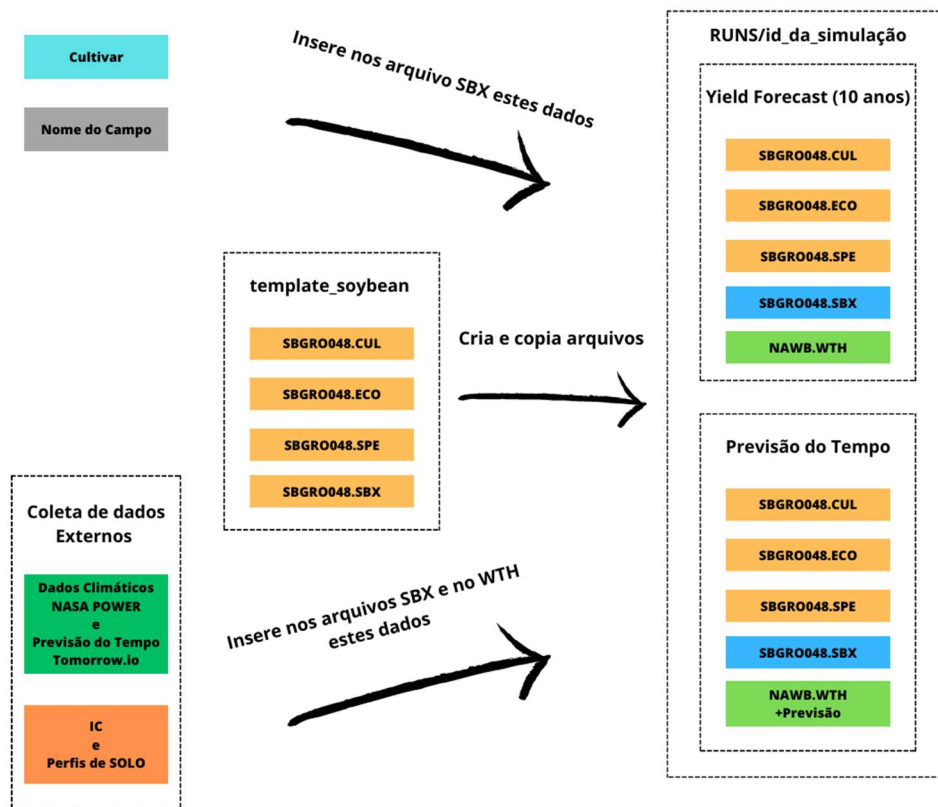
Fonte: Autor 2023.

O segundo passo é a criação das estruturas e arquivos a serem utilizados pelo modelo de simulação para gerar os resultados. Na Figura 14 é demonstrado como fica esta estrutura, onde dentro da pasta RUNS são criadas subpastas “Yield Forecast” e “Previsão do Tempo”, e copiada para dentro delas os arquivos do template_soybean.

Após esta etapa, a API insere as informações como data de plantio, identificador do solo, cultivar e outras informações no arquivo de experimento SBRO048.SBX. Posteriormente, criam-se os arquivos de clima para cada uma das pastas. Na pasta “Yield Forecast”, o arquivo de clima contém dados de anos passados até a data atual. Já na pasta “Previsão do tempo” são adicionados os registros de previsão futura de clima provenientes da API tomorrow.io.

Estes dados de previsão são de seis dias gratuitos, mas podem chegar até 60 dias de previsão, bastando contratar adicionalmente este serviço. Utilizando a pasta template_soybean, a API cria uma estrutura dentro da pasta RUNS, com um identificador de sessão da simulação. Essa pasta contém duas subpastas, Yield Forecast e Previsão do Tempo, que armazenam seus respectivos registros. Na Figura 14 é demonstrado este processo por meio de um diagrama.

Figura 14. Estrutura de pastas criada para separar os tipos de simulação.



Fonte: Autor 2023.

4.4.3 Organização e retorno dos dados

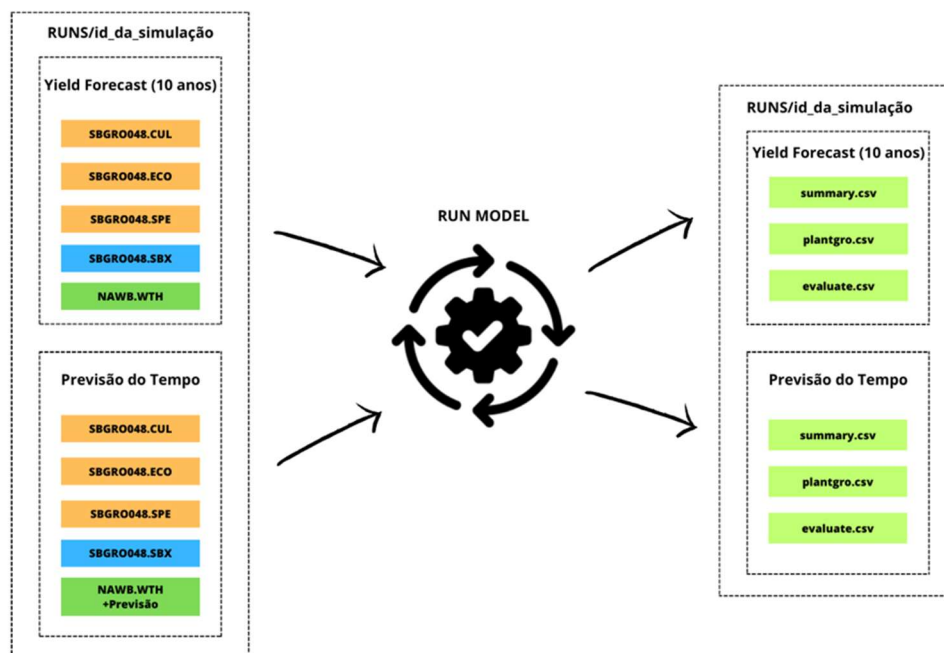
Após organizar todos os dados nos arquivos de entrada do modelo para cada uma das pastas, o modelo é executado uma única vez para cada uma das pastas, gerando assim os resultados para cada uma delas. A Figura 15 mostra este processo, destacando a estrutura de arquivos antes e após executada uma simulação para cada uma das situações.

Quando a execução da simulação não ocorre de maneira correta, a API finaliza a execução e retorna na requisição uma mensagem informando a falha da execução da simulação. Por outro lado, quando a simulação foi concluída com sucesso, passa-se para os próximos passos. Em todo o processo de requisição até o retorno dos dados solicitados, o usuário fica em espera.

Na Figura 16 é demonstrado os arquivos resultantes da simulação, separados em duas pastas, “Yield Forecast” e “Previsão do Tempo”. Os arquivos que estão em formato CSV são convertidos para um único arquivo em formato JSON, o qual também contém dados de geolocalização, nome do experimento e a cultivar utilizada na simulação.

Finalmente após montar este arquivo JSON, a API retorna este arquivo na requisição HTTP para o aplicativo solicitante.

Figura 15. A execução do modelo ocorre assim que a estrutura de dados e arquivos está montada e pronta para simulação. Caso a mesma retorne sucesso, são gerados dados de saída em formato csv, que após são convertidos para o formato JSON.



Fonte: Autor, 2023.

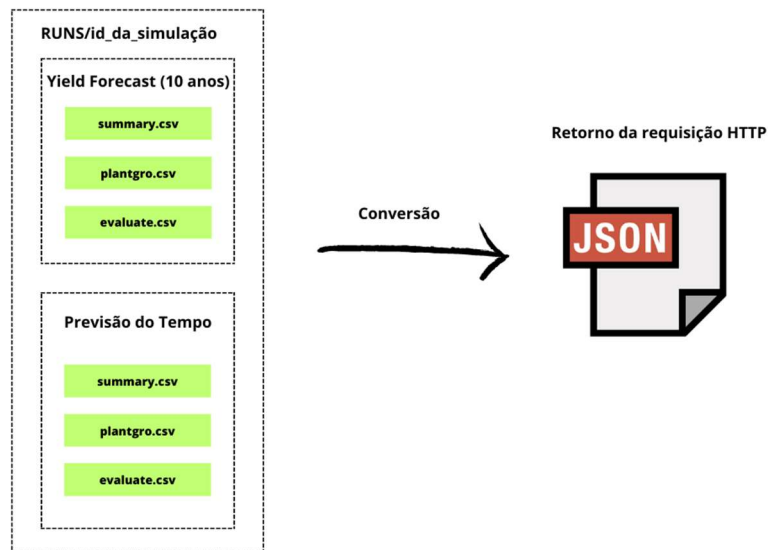
Uma importante funcionalidade do framework é a possibilidade de simular utilizando a previsão para os próximos dias. Desta maneira, quando já existe uma simulação criada e o usuário está acompanhando-a por meio de um aplicativo, todo dia ele pode solicitar uma nova simulação para aquele experimento, sendo que o processo para tal é exatamente o mesmo, bastando somente solicitar via aplicativo uma nova simulação. Todos os dados como Latitude, Longitude, Cultivar e nome do campo já estão definidas na simulação anteriormente criada.

4.5 Conclusão

O desenvolvimento da Soybean Alert API é crucial para o funcionamento do framework como um todo, pois não é possível realizar a simulação diretamente de um dispositivo móvel. Um motivo para tal é a alta complexidade para organizar os arquivos de entrada do modelo, bem como gerenciar suas saídas, o que podem ser resolvidos por

uma API hospedada na nuvem. Outro problema que a adoção de uma API resolve é automação de processos com o sistema DSSAT para requisições de aplicativos móveis, uma vez que a plataforma está disponível apenas para ambientes *desktop*.

Figura 16. Assim que a estrutura está pronta com todos os arquivos e dados para a execução do modelo, o mesmo é executado e caso a mesma retorne sucesso, é gerada a saída em JSON.



Fonte: Autor, 2023.

O processo de captação e organização dos dados climáticos foram organizados de tal maneira que é possível realizar simulações utilizando qualquer data desde 1984, ano que o Nasa Power (“NASA POWER”, 2023) começou a disponibilizar dados publicamente, somando-se os dias de previsão ao arquivo de clima obtidos pelo serviço Tomorrow.io (“Tomorrow.io API”, 2023).

Entende-se que o objetivo de tornar a manipulação dos dados de entrada e consulta de dados climáticos utilizados na simulação foi cumprido por intermédio da API proposta, bem como a geração dos resultados e organização dos mesmos para retorno e exibição ao usuário no aplicativo.

5 CAPÍTULO III

Soybean Alert Mobile

5.1 Resumo

A utilização de aplicativos *mobile* no meio agrícola vem crescendo devido a adoção de novas técnicas computacionais para processar dados, bem como a facilidade que análises agronômicas podem chegar ao produtor em tempo real. Com isso em mente, o objetivo deste trabalho é apresentar o desenvolvimento do aplicativo Soybean Alert Mobile, que considera a geração de dados de fisiologia e da produtividade de cultivares de soja utilizando o modelo de simulação CROPGRO-Soybean. O aplicativo utiliza dados que são solicitados ao usuário para envio à Soybean Alert API, onde ocorre a construção dos arquivos de entrada do modelo e a simulação, que posteriormente retorna os resultados. A solução apresenta uma interface de fácil uso e entendimento, sendo possível realizar simulações para quatro cultivares, NA 5909RR®, Brasmax Ativa RR®, TMG 7262 RR® e Brasmax ZEUS IPRO®. O usuário precisa informar somente a cultivar, a data de semeadura, o nome do campo e a localização geográfica em um mapa, para realizar a simulação. O aplicativo oferece uma interface interativa de resultados, com gráficos e datas importantes para acompanhamento de uma cultivar de soja. Um rápido estudo comparativo, com dados de campo das cultivares Brasmax Ativa RR e NA5909RG, mostrou que a solução proposta estimou valores muito próximos da realidade para o índice de produtividade final (Kg/ha), com variação de apenas 4,69% e 2,96% para cada cultivar, respectivamente. Desta forma o usuário consegue acompanhar o desenvolvimento de todo o ciclo da cultura da soja, facilitando sua tomada de decisão.

Palavras-chave: Aplicativo Mobile, DSSAT, Flutter, Soja.

5.2 Introdução

A utilização de smartphones no meio agrícola vem tomando novas proporções dia a dia, seja ela como um simples guia de identificação de pragas por comparação de fotos ou utilizando visão computacional e inteligência artificial para este processo (MENDES *et al.*, 2020). Desta forma, o desenvolvimento de novas tecnologias em aplicativos se torna mais presente no meio agrícola em processos de tomada de decisão.

A literatura destaca que a criação de aplicativos mobile voltados para agricultura visam o manejo de pragas, fertilidade do solo e irrigação (OLIVEIRA *et al.*, 2022), sendo muitos deles com automação baseada em IoT (*Internet of Things*). Nesse contexto, é importante a recuperação de dados reais sobre a condição do solo, culturas e o clima monitorado por meio de sensores interconectados no campo (SHAFI *et al.*, 2019). Além

disso, técnicas de obtenção de imagens aéreas, seja de satélites ou de drones, são fundamentais para entender como deve ser manejada a próxima cultura com base no que aconteceu no passado, ou simplesmente saber se a cultura está ou não dentro dos padrões esperados (SHAFI *et al.*, 2019).

A criação de softwares em geral exige informações que caracterizam o campo e vários testes de simulação para melhorar o gerenciamento da cultura (BOOTE *et al.*, 1996). Para ilustrar esse cenário, Patil *et al.* demonstram um sistema integrado de monitoramento de fazendas por meio de um aplicativo para smartphone. Nele, os usuários agricultores podem monitorar remotamente a fazenda e visualizar dados como umidade do solo, molhamento folhar, nível de acidez do solo, temperatura e umidade ambiente. O sistema também interpreta os dados coletados e gera insights para recomendar uma tomada de decisão ao produtor (PATIL *et al.*, 2020).

No Brasil, o setor primário se destaca na produção e exportação de soja, possui grande extensão territorial destinada ao cultivo desta oleaginosa e, conseqüentemente, existe uma grande quantidade de produtores envolvidos na produção desta cultura (RAMOS *et al.*, 2020). Os produtores nos seus smartphones têm acesso à internet e, por meio de aplicativos, podem solicitar, informar e analisar dados capazes de auxiliá-los no acompanhamento do desenvolvimento das culturas.

Neste contexto, esta seção tem como objetivo demonstrar o desenvolvimento do aplicativo Soybean Alert Mobile. O mesmo foi concebido com o propósito de se tornar um canal de comunicação capaz de levar previsões geradas para a cultura da soja até os produtores. A solução foi implementada utilizando a tecnologia Flutter (FLUTTER, 2023), e está disponível nas versões Android e iOS.

5.3 Material e métodos

Com o crescente cenário de desenvolvimento de aplicativos móveis, encontrar soluções que permitam a criação de experiências de usuário excepcionais de forma ágil e eficiente tornou-se uma prioridade para desenvolvedores e empresas. Nesse contexto, a ferramenta Flutter se apresenta como uma abordagem diferenciada para o desenvolvimento multiplataforma de aplicativos móveis, de maneira rápida e objetiva (BOUKHARY *et al.* 2019).

Desenvolvido pela Google, o Flutter proporciona uma experiência de desenvolvimento mais consistente e produtiva, permitindo a criação de interfaces de

usuário ricas, responsivas e interativas, ao mesmo tempo em que simplifica a manutenção e a escalabilidade das aplicações (FLUTTER, 2023). A linguagem utilizada para o desenvolvimento é a Dart (DART, 2023), uma linguagem que pode ser executada em ambientes nativos (como aplicativos *mobile* e programas *desktop*) e em ambientes web.

Um ponto forte que também pesou para a escolha desta tecnologia foi a possibilidade de utilizar um único código fonte para as duas plataformas, Android e iOS. Além disso, a performance do aplicativo pode chegar perto de um aplicativo nativo de plataforma (TASHILDAR *et al.*, 2020).

Uma das peculiaridades no desenvolvimento de aplicativos em Flutter é a possibilidade de utilizar *packages* (pacotes com códigos pré-prontos), os quais facilitam o desenvolvimento pelo reuso de código, além de manter a aplicação mais organizada para manutenção. Os Dart *packages* ou Flutter *packages* estão disponíveis no repositório oficial das ferramentas (DART, 2023).

Já o gerenciamento de dados e de usuários do aplicativo é feita pelo banco de dados Firebase (FIREBASE, 2023), também disponibilizado pela Google. Este banco é amplamente utilizado por desenvolvedores de aplicativos móveis, pois proporciona uma escalabilidade horizontal automática, permitindo que aplicativos cresçam sem preocupações com a infraestrutura de armazenamento (PAYNE *et al.* 2019). Ele oferece capacidade de sincronização em tempo real facilita a atualização instantânea de dados em todos os dispositivos conectados, tornando-o ideal para aplicativos que necessitam de colaboração em tempo real e notificações do tipo *push*.

Além disso, possui integração nativa com outros serviços do Google, como autenticação, armazenamento de arquivos e funções em nuvem – o que facilita a construção rápida de aplicativos robustos e eficientes. A integração entre Flutter e Firebase se dá pelo Dart *packages*, sendo o Firebase Auth responsável pelo gerenciamento de usuários, e o Firebase Firestore responsável pelos dados dos usuários e dados das simulações associadas a eles.

Para o desenvolvimento, foi utilizada a IDE Visual Studio Code (VSCODE, 2023), um editor de código-fonte desenvolvido pela Microsoft. Ele inclui suporte para depuração, controle de versionamento, complementação inteligente de código para diversas linguagens, e refatoração de código.

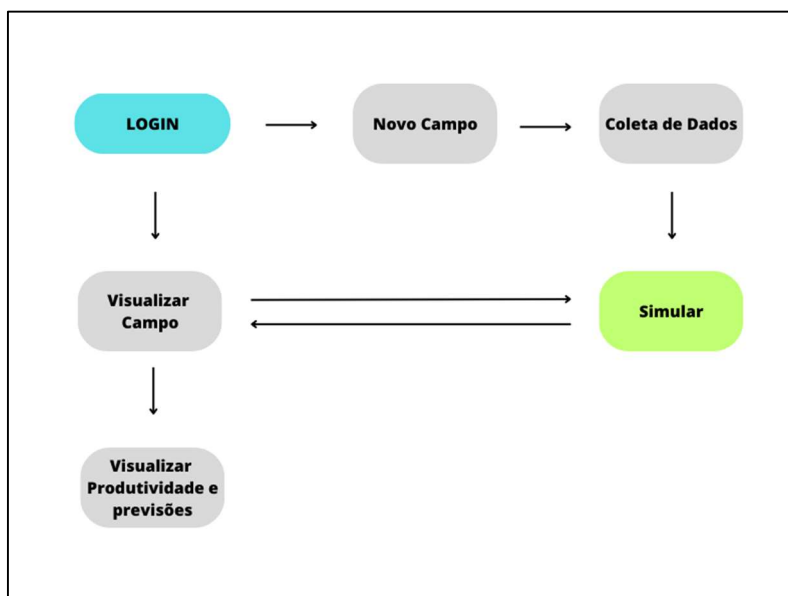
5.4 Resultados e discussão

As próximas subseções apresentam os resultados relacionados ao uso do aplicativo proposto, organizadas da seguinte forma: a primeira subseção destaca os recursos e funcionalidades da solução para o usuário final, enquanto que a segunda seção apresenta um estudo de caso com o objetivo de validar os resultados gerados pelo framework como um todo. O aplicativo Soybean Alert Mobile faz parte de um framework para simulação do crescimento da cultura da soja, necessitando dos serviços e se comunicando com o software Soybean Alert API para executar as simulações utilizando o modelo CROPGRO-Soybean.

5.4.1 Recursos e funcionalidades

Uma característica do aplicativo desenvolvido é seguir fluxos entre telas de uma maneira simplificada, tornando-o simples de ser utilizado. Na Figura 17, é demonstrado um fluxograma de telas do aplicativo Soybean Alert Mobile, que inicia o fluxo pelo login, seguido de uma listagem de campos criados pelo usuário em um período anterior.

Figura 17. Fluxograma de utilização do aplicativo Soybean Alert Mobile.



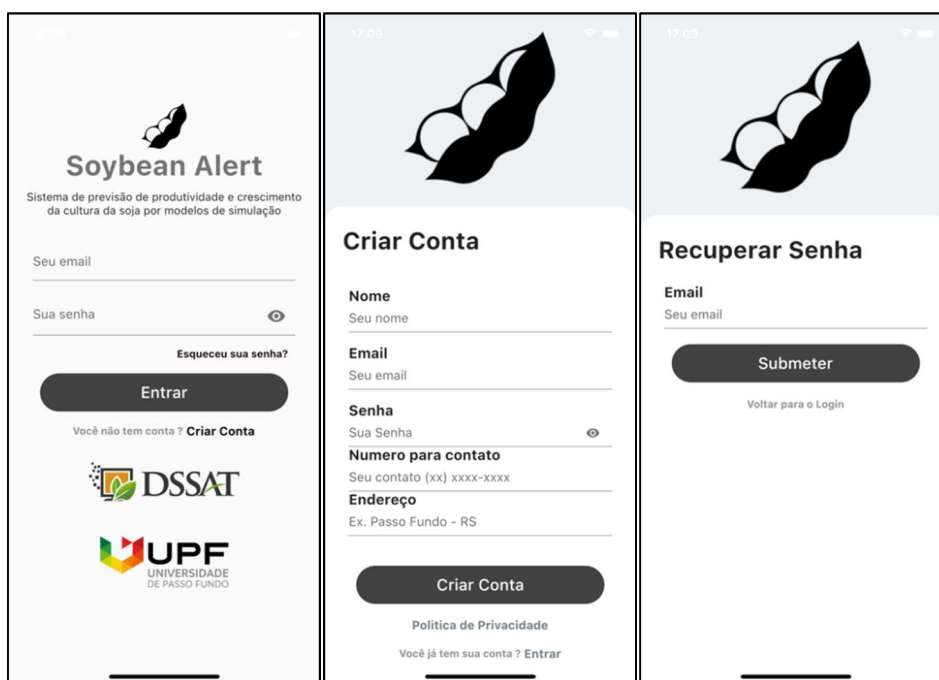
Fonte: Autor, 2022

O usuário também pode criar um novo campo sendo direcionado a uma nova tela, onde são coletados todos os dados necessários para iniciar uma nova simulação. Após

esse processo ser finalizado com sucesso, o usuário é direcionado à tela de visualização desta nova simulação. Por outro lado, quando selecionada uma simulação já existente, o usuário é direcionado a tela de visualização, sendo também possível se disponível simular novamente este campo, atualizando dados de clima e previsão, como também visualizar mais detalhes do campo selecionado.

O design da interface do aplicativo foi projetado de forma simples, usando *layouts* pré-definidos disponíveis pelo Flutter, visando facilitar a exploração e a compreensão do manuseio e das informações obtidas (ADAMA *et al.*, 2018). Na Figura 18, é demonstrada a tela de login do aplicativo, com acesso autenticado por e-mail e senha pessoal. Pode-se observar também a tela de criação de conta no aplicativo, para novos usuários, informando dados pessoais básicos. Em caso de esquecimento de senha, o usuário pode solicitar a recuperação da mesma.

Figura 18. Tela de login, criar conta e recuperação de senha do aplicativo Soybean Alert Mobile.

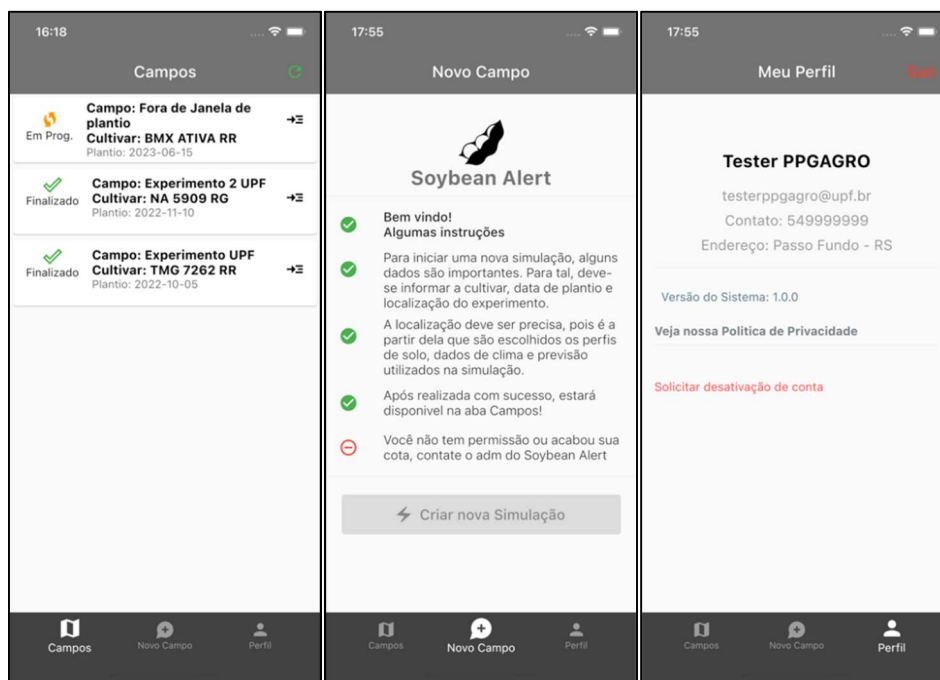


Fonte: Autor, 2022

Após criar a conta, o usuário necessita aguardar a liberação do autor da aplicação para uso da solução. Isso se deve ao fato de gerenciar o controle do acesso ao aplicativo, devido a disponibilidade ainda limitada dos serviços de processamento e simulação em um servidor dedicado gratuito na AWS. Na Figura 19 é demonstrada a tela inicial quando

o usuário cria a conta, mas ainda sem a permissão para criar campos de simulação. Estes campos somente podem ser liberados pelo desenvolvedor do sistema, pois a solução proposta ainda não é um produto oficial, sendo restrito para testes.

Figura 19. Da esquerda para a direita, tela de Campos de simulação, em novo campo é demonstrada as instruções e a tela de perfil do usuário do aplicativo Soybean Alert Mobile.



Fonte: Autor, 2022.

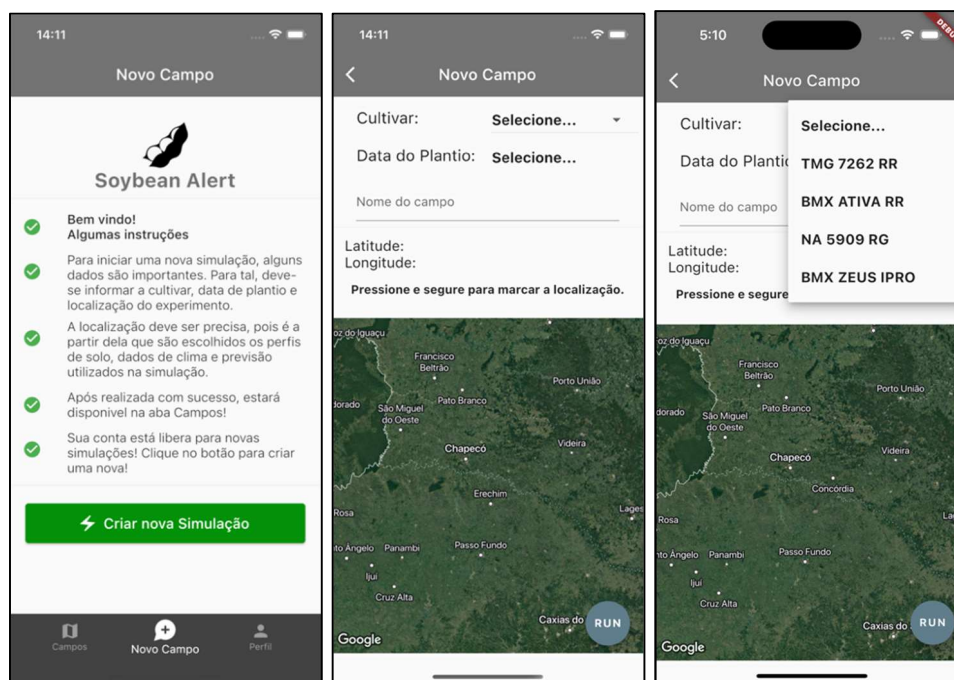
Após a liberação do aplicativo, o usuário pode iniciar a criação de campos para realizar as simulações do mesmo. Desta maneira, o botão Criar nova simulação da aba Novo Campo é habilitado (Figura 20), sendo que o mesmo leva para uma nova tela para entrada de dados sobre o campo que será simulado.

Visando a simplicidade no uso desta ferramenta, quatro entradas de dados são necessárias para que o aplicativo monte um campo de simulação. Desta maneira, a primeira informação é a cultivar que está disponível, tendo quatro opções de seleção: TMG 7162 RR, BMX ATIVA RR, NA5909 RG e BMX ZEUS IPRO (Figura 20). Cabe lembrar que novas cultivares podem ser adicionadas ao aplicativo, se necessário.

O próximo passo é inserir a data de plantio do experimento, sendo que somente é permitido inserir a data de plantio até a data atual que o usuário se encontra, não podendo

inserir datas futuras e também se limitando ao zoneamento de plantio da região sul do Brasil (Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul).

Figura 20. Acesso liberado para criação de novos campos de simulação, e área para criação do campo de simulação, onde são inseridos todos os dados essenciais para montar a simulação do aplicativo Soybean Alert.



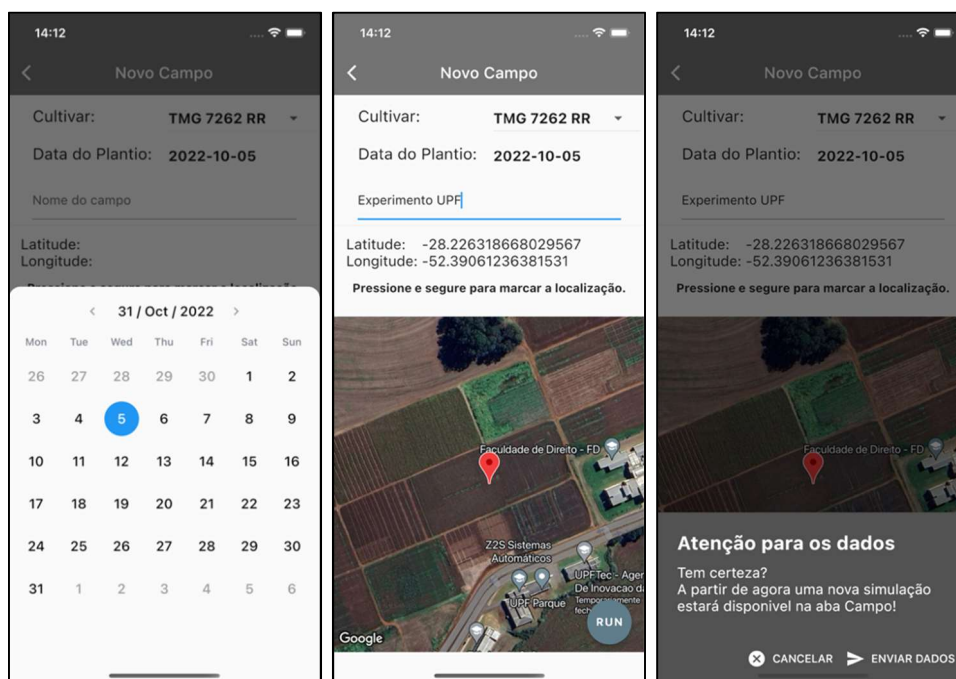
Fonte: Autor, 2022.

A data de plantio também é utilizada para saber qual o ponto de partida para a simulação, sendo que a simulação é iniciada três meses antes do plantio, para que o modelo consiga normalizar todos os valores utilizados na simulação. Além disso, a data de plantio é utilizada para saber qual o período de dados climáticos deve ser consultado. Estas informações são importantes para que o seja montado corretamente o arquivo de experimento (.SBX) na API. Também é disponibilizado um campo para inserir o nome que será utilizado para identificar aquele campo de simulação.

O último dado necessário para que o usuário possa realizar uma simulação é selecionar no mapa aonde se encontra o campo de cultivo dele no Soybean Alert Mobile. Desta maneira, utilizando a latitude e a longitude, a requisição enviada ao Soybean Alert API consegue agrupar as informações de dados climáticos históricos desde 1984, a previsão do tempo para seis dias, o perfil de solo e todas as informações pertinentes daquele local – além das condições iniciais para o dia do plantio e início da simulação.

Na Figura 21 é demonstrado como o processo de entrada de dados é realizado no Soybean Alert Mobile, sendo que após tudo preenchido corretamente. O usuário pode clicar no botão RUN para que possa confirmar a requisição de simulação ou cancelar os dados preenchidos, limpando os campos. Quando enviada a requisição para a Soybean Alert API uma mensagem é mostrada para o usuário explicando que a requisição pode demorar até 50 segundos para a conclusão. Quando finalizada com sucesso, o usuário é direcionado para a aba Campos, onde estará disponível em uma lista, o seu campo de simulação, além de outros que já foram simulados anteriormente.

Figura 21. A seleção da data de plantio também implica com a data do início da simulação. Demonstra-se também os dados preenchidos de um campo de simulação, bastando no final clicar no botão RUN para enviar os dados para a API.



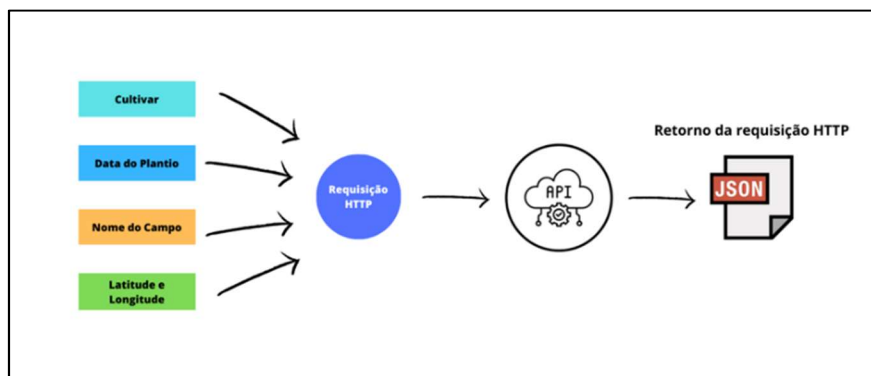
Fonte: Autor, 2022.

A Figura 22 apresenta o fluxo do que acontece quando o usuário envia uma requisição para a Soybean Alert API. Nota-se que a requisição é feita via protocolo HTTP, e quando finalizada a simulação, a mesma retorna arquivo em formato JSON para o aplicativo, onde serão executados os próximos passos.

Assim que solicitada uma requisição de simulação e há sucesso no retorno, o aplicativo Soybean Alert Mobile salva no banco de dados Firebase Firestore (FIREBASE, 2023) todo o retorno de dados. A Figura 23 mostra a estrutura básica de como as

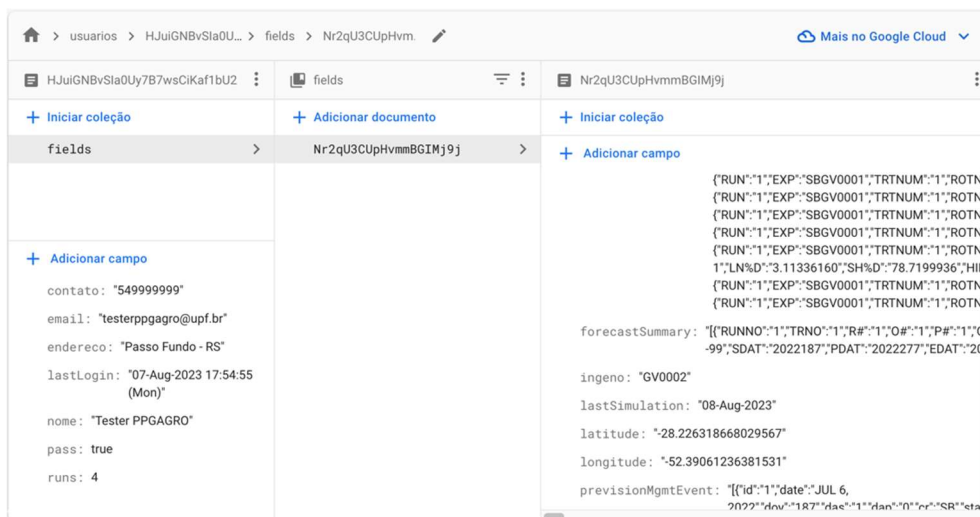
informações são armazenadas, no padrão chave-valor. Nota-se que cada campo tem um identificador único associado, e dentro deste todas as informações da simulação daquele campo em questão.

Figura 22. Ilustração de como funciona a requisição simplificada de uma nova simulação para a API Soybean API, onde após gerar os resultados, o retorno é feito em um arquivo JSON.



Fonte: Autor, 2022.

Figura 23. Estrutura do banco de dados Firestore do Firebase. Nota-se que este banco é NoSQL, e a estrutura segue o padrão chave-valor.

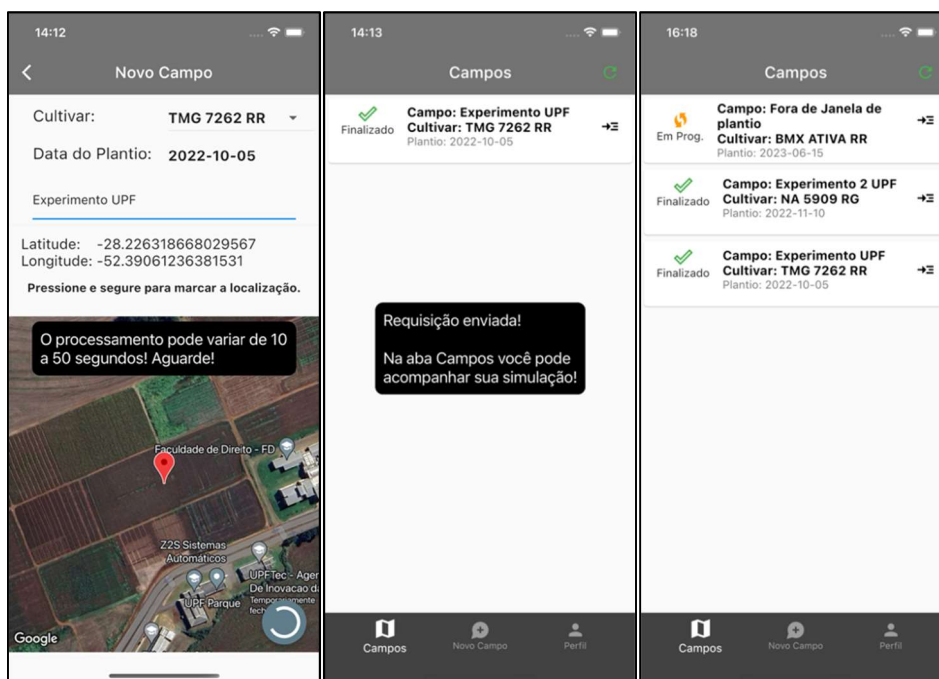


Fonte: Autor, 2022.

Na aba Campos do aplicativo, pode-se selecionar o campo que foi simulado já contendo todos os resultados de previsão de produtividade, bem como previsão de como

a planta se comportará com seu desenvolvimento nos próximos seis dias, considerando a previsão do tempo. Na Figura 24 ilustra três campos de simulações diferentes. Pode-se observar, da esquerda para a direita, o status da simulação, que pode ser finalizada ou em progresso. Respectivamente, o primeiro status indica que o ciclo da cultura já se encerrou por vários motivos, e o segundo indica que a cultura ainda não encerrou seu ciclo, e ainda é possível simular. Também é demonstrado informações como o nome que foi dado ao campo, cultivar selecionada para a simulação e também a data que foi realizado o plantio.

Figura 24. Após enviada a requisição, o usuário é informado do tempo estimado para o retorno da simulação. Em caso positivo, ele é direcionado para a página Campos, onde estão listados todos os campos de simulação do usuário.

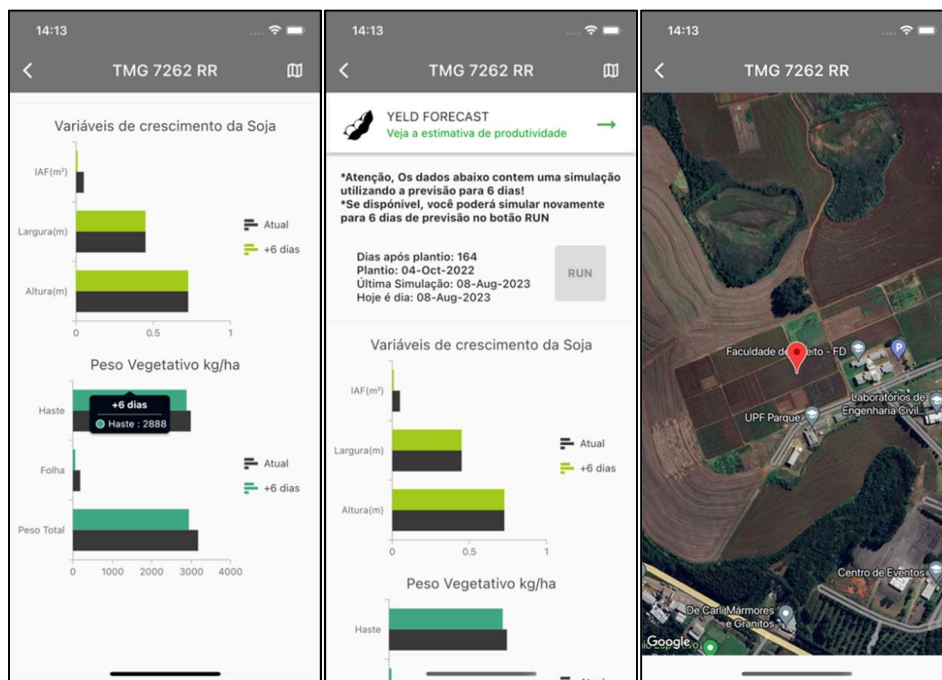


Fonte: Autor, 2022.

Ao escolher um campo na aba Campos, pode-se visualizar os detalhes relacionados do campo selecionado. Na Figura 25, imagem da esquerda, pode-se observar as informações da simulação anteriormente realizada. Informações de variáveis como índice de área foliar (IAF), largura e altura da planta, bem como dados do peso vegetativo da haste e da folha são demonstradas em gráficos de barras horizontais e dinâmicas. O usuário observa em preto os valores até o dia atual e em verde os valores simulados para

seis dias a frente, sendo que estes gráficos podem ser ocultados e também podem mostrar informações quando clicados, tornando a experiência mais interativa.

Figura 25. Telas com informações da simulação do campo. Demonstra-se, da esquerda para a direita, a previsão para seis dias, informações gerais complementares e, por último, a localização do campo selecionado no mapa. Esta é uma simulação já com ciclo finalizado, onde notam-se valores iguais para o intervalo da previsão.



Fonte: Autor, 2022.

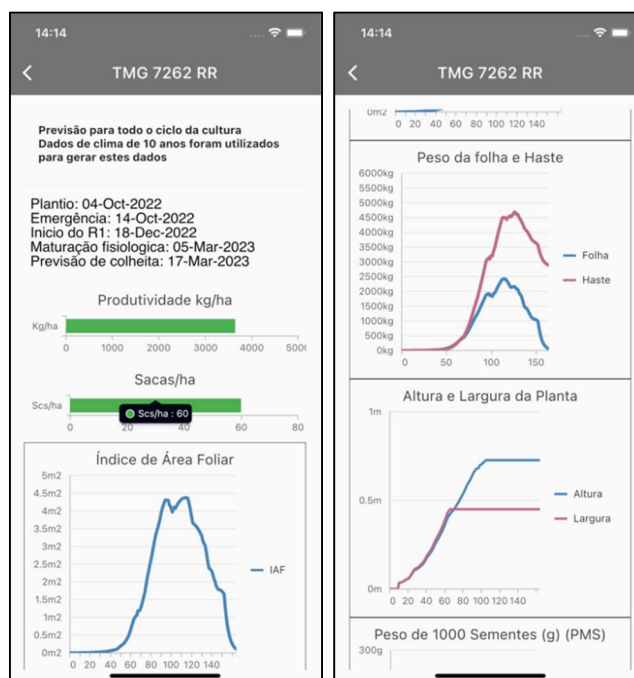
Na imagem central da Figura 25, são exibidas informações gerais, como a data de plantio, dias que decorreram após o plantio, término desta contagem quando o ciclo se encerra, além da data da última simulação e da data atual. Nota-se que se a data atual e a última data de simulação forem iguais, ou o ciclo da cultura já encerrou, o usuário não pode mais simular este campo. Quando ultrapassa, no mínimo, um dia da última simulação e ainda não foi encerrado o ciclo da cultivar, o botão RUN é habilitado e uma nova requisição de simulação é enviada a API. Novos dados de clima e de previsão são obtidos e todo o desenvolvimento e a previsão da cultivar são simulados e retornam para visualização nesta mesma tela.

Ainda no topo da imagem central da Figura 25, o usuário pode ter acesso ao botão “Yield Forecast”, o qual leva para uma próxima tela que contém dados de produtividade

para aquela cultivar, para todo o período de vida dela. Mesmo se o plantio tenha sido realizado a poucos dias, essa opção realiza uma simulação utilizando dados históricos desde 1984, estimando o comportamento da cultivar no decorrer de todo o ciclo da cultura.

A Figura 26 demonstra a simulação do campo selecionado para “Yield Forecast”. Neste exemplo, observa-se uma simulação que abrange todo o desenvolvimento da cultura, incluído o seu desenvolvimento afrente da data da simulação. Estes dados são gerados a partir de dados históricos desde 1984, oriundos da API da NASA POWER (NASA POWER, 2023) para a posição informada no mapa. Informações importantes como a data de emergência, data do início do estágio reprodutivo, bem como para maturação fisiológica e previsão de colheita são demonstrados ao usuário. Informações fisiológicas da cultivar também são informadas em gráficos interativos, conforme já citado anteriormente.

Figura 26. Tela do “Yield Forecast”, onde é demonstrado ao usuário uma estimativa de produtividade, bem como datas importantes no decorrer do desenvolvimento da cultivar.

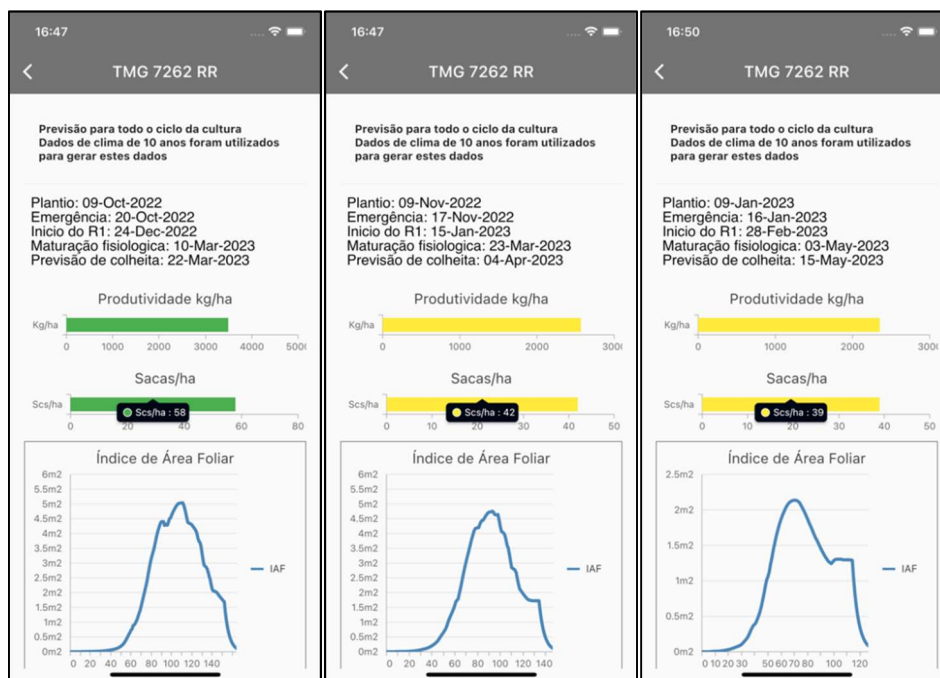


Fonte: Autor, 2023.

A utilização do aplicativo Soybean Alert Mobile também pode ser uma ferramenta para escolher a melhor data de plantio para a determinada cultivar. Isto deve-se ao fato de que é possível simular diferentes datas para o mesmo ponto, o que retorna diferentes

resultados de produtividade devido a diferentes comportamentos climáticos. Desta forma, auxilia-se o produtor a escapar de possíveis problemas climáticos, e contribuir para uma eventual maior produção final. A Figura 27 mostra a simulação para o mesmo campo, mesmo local, mesma cultivar, mas com datas de plantio diferentes. Observa-se que o plantio da cultivar TMG 7262RR na data de 09 de outubro de 2022 resultou na produtividade final de 58 sacas/há. Já para o plantio para o dia 09 de novembro de 2022, exatamente 30 dias após, foi observada uma produção final de 42 sacas/ha.

Figura 27. Simulação da mesma cultivar, no mesmo local, mas com datas de plantio diferentes. Observa-se que há diferença de produtividade, além de diferenças fisiológicas na planta, como IAF, altura e largura e produção de biomassa.



Fonte: Autor 2023.

Também se fez uma simulação para a data de 09 de janeiro de 2023 (Figura 27, à direita), visando a safrinha de soja. Nesse cenário, observa-se que a produção ficou em 39 sacas/ha. Também é observado que o IAF caiu mais da metade, 1,8m² na safrinha, contra 4,5m² na data de plantio de outubro. Pode-se ver também que as características da fisiologia da planta como IAF, altura e largura, bem como os valores de produção da biomassa são afetados. Desta forma o produtor pode simular qual a melhor data para o plantio da cultivar utilizando dados do campo em questão que será implantada a cultura.

5.4.2 Estudo de caso

As demandas crescentes por alimentos, as mudanças climáticas e a necessidade de uma gestão agrícola mais eficiente têm impulsionado a busca por soluções inovadoras na agricultura moderna (DAL SOGLIO, 2016). Aplicativos agrícolas têm surgido como uma resposta inovadora para enfrentar desafios na agricultura moderna. Essas soluções computacionais são responsáveis por oferecer uma variedade de funcionalidades, desde monitoramento climático em tempo real até sistemas de gestão de fazendas e rastreamento de culturas. Elas podem proporcionar aos agricultores informações valiosas para a tomada de decisões informadas, melhorando a produtividade, reduzindo os custos e promovendo a sustentabilidade (SEIXAS *et al.*, 2017).

Nesta seção de estudo de caso, aborda-se a utilização do Soybean Alert Mobile, juntamente com o Soybean Alert API, com o objetivo de validar os resultados gerados pela solução proposta. Para tanto, considera-se dados de trabalhos publicados em artigos científicos que demonstram dados de crescimento e produtividade sobre cultivares calibradas e disponíveis no framework (CHAVARRIA *et al.*, 2017b, 2017a; MÜLLER, 2017b; MÜLLER *et al.*, 2017, 2018).

A primeira cultivar considerada foi a Brasmax Ativa RR, que possui ciclo determinado, grupo de maturação 5.6 e uma característica de estatura de planta baixa. A segunda cultivar foi a NA5909 RG que possui ciclo indeterminado de crescimento, grupo de maturação 5.9 e uma estatura de planta mediana. A semeadura destes experimentos foi realizada no dia 01/12/2015, em área com altitude ao nível do mar de 667 m, e coordenadas geográficas Lat -28.226, Lon -52.390 na cidade de Passo Fundo, RS (MÜLLER, 2017).

Para a geração dos resultados com as cultivares supracitadas, apresentados pelas Tabelas 6 e 7, foram aplicadas as mesmas datas de plantio implementadas em campo, mesma localização, bem como dados de clima do período em que o experimento foi conduzido em campo pelos autores.

A Tabela 6 demonstra os dados da cultivar Brasmax Ativa RR oriundos do campo e simulados com o aplicativo. Nota-se que para as variáveis de índice de área foliar, peso de 1000 grãos (PMS) e produtividade final (Kg/ha), os valores obtidos no campo foram maiores do que os calculados pelo aplicativo. A maior variação foi em relação ao índice de área foliar, onde o valor simulado foi, aproximadamente, 27,96% inferior ao valor de campo.

Tabela 6 – Variáveis analisadas em campo em comparação com variáveis geradas pelo framework Soybean Alert (API e Mobile). Os dados da coluna em campo foram retirados do estudo de Müller (MÜLLER, 2017), para a cultivar Brasmax Ativa RR.

Cultivar Brasmax Ativa RR		
	Em campo	Soybean Alert
Índice de área foliar (IAF) em R2	5,83 cm ²	4,2 cm ²
Peso de folhas R1-R2	934 kg/ha	1090 kg/ha
Peso de hastes	-	1800 kg/ha
Altura da planta em R2	64,6 cm	73 cm
Peso de 1000 grãos (PMS)	193 g	189 g
Produtividade final (Kg/ha)	5.242 kg/ha	4.996 kg/ha
Emergência	-	09/12/2015
Início do estágio reprodutivo (R1)	-	21/01/2016
Maturação fisiológica	-	17/03/2016
Previsão de colheita	-	29/03/2016

Fonte: Autor, 2023.

Por outro lado, as demais variáveis apresentaram uma leve variação na simulação (aproximadamente 2,07% para peso e 4,69% para produtividade), com valores muito próximos do que se mediu em campo. Especialmente para a produtividade final, pode-se afirmar que valor estimado é aceitável como uma referência preditiva.

Outros valores de variáveis como altura de planta e peso de folhas, foram menores para os dados em campo se comparado com os dados simulados. Pela simulação, a aplicativo estimou, aproximadamente, 17% a mais para o peso de folhas, e 13% para a altura da planta. Datas de emergência, início do estágio reprodutivo, maturação fisiológica e previsão de colheita somente foram fornecidas pelo aplicativo Soybean Alert, o que pode ser considerado como um diferencial da solução proposta para o agricultor.

Na Tabela 7, dados da cultivar NA5909 RG são apresentados em comparação aos dados gerados pelo aplicativo Soybean Alert. Nota-se que, para a maioria das variáveis, os valores obtidos no campo foram levemente superiores aos calculados pelo aplicativo, com exceção para a variável peso de 1000 grãos (PMS). A maior variação foi em relação

ao peso de folhas, onde o valor simulado foi, aproximadamente, 19,48% inferior ao valor de campo.

Tabela 7 – Variáveis analisadas em campo em comparação com variáveis geradas pelo framework Soybean Alert (API e Mobile). Os dados da coluna em campo, foram retirados do estudo de Müller (MÜLLER, 2017), para a cultivar NA5909 RG.

Cultivar NA5909RG		
	Em campo	Soybean Alert
Índice de área foliar (IAF) em R2	2,17 cm ²	2,0 cm ²
Peso de folhas R1-R2	929 kg/ha	748 kg/ha
Peso de hastes	-	1049 kg/ha
Altura da planta	75 cm	69 cm
Peso de 1000 grãos (PMS)	165 g	188 g
Produtividade final (Kg/ha)	4.924 kg/ha	4.777 kg/ha
Emergência	-	09/12/2015
Início do estágio reprodutivo (R1)	-	16/01/2016
Maturação fisiológica	-	21/03/2016
Previsão de colheita	-	02/04/2016

Fonte: Autor, 2023.

Por outro lado, as demais variáveis apresentaram uma variação pequena na simulação (aproximadamente 7,83% para índice de área foliar, 8% para altura da planta e 2,96% para produtividade). Já o peso de 100 grãos (PMS), a simulação estimou um valor, aproximadamente, 13,93% superior ao obtido no campo.

Novamente, pode-se destacar o percentual relacionado a produtividade final, que apresentou um valor muito próximo da realidade de campo. Portanto, pode-se reforçar que valor estimado para a produtividade pela ferramenta é aceitável como uma referência preditiva.

A qualidade das sementes de soja desempenha um papel crucial na obtenção de altas produtividades e na satisfação das necessidades da indústria. A maturação fisiológica das sementes é um fator crítico na determinação da qualidade, uma vez que influencia diretamente a capacidade germinativa, o vigor, a resistência a estresses ambientais e a longevidade das sementes de soja (WEERASEKARA *et al.*, 2021).

Durante o processo de maturação, ocorrem mudanças físicas e bioquímicas nas sementes de soja, incluindo a acumulação de substâncias de reserva, como amido e proteínas, e a perda de água. A maturação adequada é essencial para a formação de uma camada impermeável que protege as sementes e ajuda a mantê-las viáveis por longos períodos de armazenamento (WEERASEKARA *et al.*, 2021).

Segundo (LAMEGO *et al.*, 2013), após a maturação fisiológica ocorrer em campo, a cada dia que passa a qualidade das sementes decresce, dependendo das condições climáticas que a mesma está passando, principalmente em função da temperatura e umidade relativa do ar. Desta maneira, saber com certa precisão a data da maturação fisiológica torna-se importante pelos fatos já levantados anteriormente, mas também não menos importante, saber manejar de maneira correta uma dessecação pré-colheita.

Como o framework Soybean Alert é capaz de estimar esta data, a partir da simulação com dados, isso reforça a importância da solução como uma ferramenta de apoio à tomada de decisão no campo, orientado ao cultivo da soja.

A data de plantio da soja está diretamente relacionada às condições climáticas locais, e sua influência sobre o desenvolvimento das plantas e a formação de vagens e grãos é amplamente reconhecida. A decisão sobre o momento ideal de plantio deve levar em consideração fatores como a temperatura do solo, a disponibilidade de água, a ocorrência de geadas e as características das cultivares utilizadas, sendo que isto tem uma influência direta sobre a produtividade desta cultura (BATEMAN *et al.*, 2020).

Novamente sob o mesmo pretexto anteriormente destacado, uma das possibilidades e diferenciais do Soybean Alert é simular e apresentar diferentes datas de plantio. Para tanto, utiliza-se exatamente as mesmas características de solo e cultivar, com alteração das condições iniciais de solo, clima e disponibilidade hídrica para o campo em questão.

Nesse contexto, foram simuladas diferentes datas de plantio para o mesmo experimento apresentado anteriormente, para ambas as cultivares (Tabela 8). Pode-se observar que para a cultivar Brasmax Ativa RR, a melhor data de plantio foi simulada no dia 15/11/2015, chegando à produtividade total de 5.120 kg/ha (85,3 scs/ha). Já para a cultivar NA5909 RG, a melhor data de plantio continuou sendo a mesma data que foi implantada em campo, 4.777 kg/ha (79,6 scs/ha).

Nota-se também uma redução significativa de produtividade para datas mais tardias de plantio, como a data simulada de 15/01/2016. A menor produção dentre as duas cultivares foi registrada para a Brasmax Ativa RR com 1.374 kg/ha (22.9 scs/ha). A

Figura 28 demonstra o resultado da simulação as datas citadas, e também se observa que o índice de área foliar (IAF) é inferior se comparado com o plantio em 01/12/2015 – apresentado anteriormente na Tabela 6.

Tabela 8 – Simulação de plantio em diferentes datas com o objetivo de chegar a melhor produtividade final para as cultivares Brasmax Ativa RR e NA5909 RG. (* Data do plantio em campo do experimento (MÜLLER, 2017)).

Data do plantio	Cultivar	Produtividade kg/ha
25/10/2015	Brasmax Ativa RR	4.021 kg/ha
15/11/2015	Brasmax Ativa RR	5.120 kg/ha
*01/12/2015	Brasmax Ativa RR	4.996 kg/ha
15/01/2016	Brasmax Ativa RR	1.374 kg/ha
25/10/2015	NA5909 RG	4.125 kg/ha
15/11/2015	NA5909 RG	4.670 kg/ha
*01/12/2015	NA5909 RG	4.777 kg/ha
15/01/2016	NA5909 RG	1.441 kg/ha

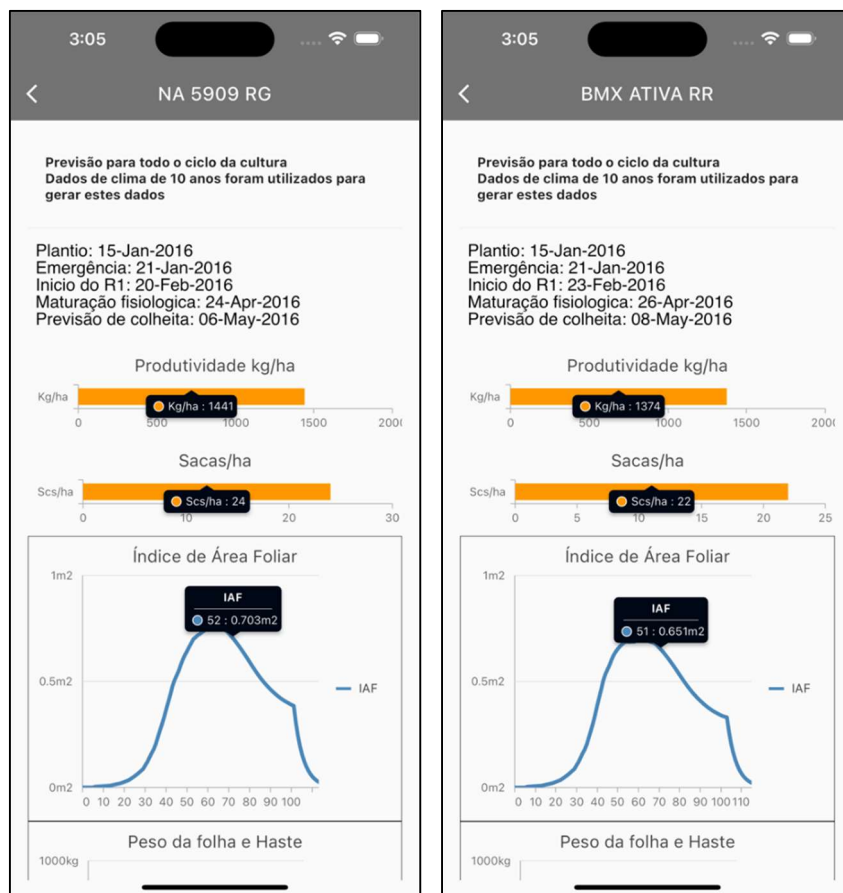
Fonte: Autor, 2023.

5.6 Conclusão

O aplicativo proposto foi desenvolvido com o objetivo de gerar uma ferramenta de fácil utilização e entendimento para diversos tipos de usuário, desde pesquisadores, agrônomos, profissionais da área agrícola até mesmo os produtores rurais, sendo capaz de reduzir o tempo necessário para que se possa realizar uma simulação de crescimento e produtividade da cultura da soja. A proposta computacional abstraiu várias etapas da construção das entradas de dados do modelo CROPGRO-Soybean.

A versão criada para este estudo considerou somente o suporte para simulações de campos na região Sul do Brasil, devendo ser respeitada as janelas de plantio bem como a utilização de dados coerentes com a realidade da região. Novas cultivares podem ser incluídas na plataforma, de modo que é necessário a obtenção de dados extraídos de experimentos da cultivar para que se possa fazer a correta calibração, trazendo dados mais condizentes com a realidade.

Figura 28. Simulação das cultivares Brasmax Ativa RR e NA5909 RG na data de 15/01/2016. Nota-se que a produção reduz consideravelmente pelo fato de o plantio ter sido feito já em uma data tardia, considera safrinha no Rio Grande do Sul.



Fonte: Autor, 2023.

A utilização do aplicativo em um caso de estudo real abre novas possibilidades de aplicações que ajudem na tomada de decisão. Nesse contexto, destaca-se uma futura implementação que seja capaz de executar simulações para um conjunto de datas de plantio, retornando valores de produtividade esperada para cada data. Como trabalho futuro também se destaca a coleta de dados de mais cultivares, ampliando assim a disponibilidade do API e do aplicativo do framework proposta Soybean Alert, além da possibilidade de realizar testes em campo, diretamente com produtores, visando além de melhor sua usabilidade, coletar dados para aprimorar a calibração do modelo utilizado.

A importância da utilização de dados pontuais de solo em comparação com um arquivo de solo genérico para modelos de simulação, como o DSSAT reside na capacidade de fornecer uma representação mais precisa e localizada das condições do solo. Apesar de solos genéricos oferecerem informações úteis em escala regional, eles também carecem da resolução necessária para capturar variações significativas nas

propriedades do solo em escalas menores, como campos individuais ou até mesmo parcelas experimentais. Ao incorporar dados pontuais de solo, que incluem características como textura, teor de matéria orgânica, capacidade de troca catiônica e pH, os modelos de simulação podem melhorar sua capacidade de prever os efeitos das práticas agrícolas e das condições ambientais sobre o rendimento das culturas. Essa abordagem mais detalhada permite uma adaptação mais precisa das estratégias de manejo agrícola, resultando em decisões mais informadas e, potencialmente, em maiores produtividades e eficiências agrícolas. Desta forma, destaca-se também como trabalho futuro a implementação no aplicativo de uma funcionalidade específica para criação e inserção de dados personalizados de solo.

6 CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou a solução Soybean Alert, um framework para simulação do crescimento da cultura da soja utilizando o modelo CROPGRO Soybean do sistema DSSAT. Esta solução é composta de um módulo responsável pela simulação e conexão com bases de dados (Soybean Alert API), e outro módulo destinado a coleta de dados do usuário e apresentação dos resultados (Soybean Alert Mobile). De forma integrada, eles podem gerar simulações para a cultura da soja, abstraindo a complexidade e usando os todos os recursos disponíveis do modelo DSSAT-CROPGRO.

O Soybean Alert API foi desenvolvido com o objetivo de abstrair o trabalho complexo de obter todos os dados e organizar os mesmos em entradas válidas para o modelo DSSAT CROPGRO. Além disso, ele é capaz de executar modelos de simulação, organizar e converter os dados em formatos JSON, e retornar dados pertinentes ao usuário para o aplicativo que permite a visualização dos resultados. Apesar da solução ter funcionando bem com dados gerais de solo fornecidos, eles nem sempre retratam o fiel estado do ponto selecionado em questão. Desta forma, pode-se destacar como trabalho futuro a possibilidade da criação de dados privados de solo, possibilitando o usuário montar sua base de dados de perfis de solo, o que para o resultado da simulação aproxima ainda mais da realidade.

O Aplicativo Soybean Alert pode trazer dois conjuntos diferentes de resultado para o usuário, o primeiro dele é a simulação utilizando dados de previsão, o que gera a simulação futura adiantada em seis dias, demonstrando comportamentos futuros da soja. Destaca-se que também é possível elevar estes dias de previsões até 60, dependendo apenas da contratação de um pacote de dados para a API de clima tomorrow.io. O segundo resultado é a simulação para todo o ciclo da cultura da soja, retratando datas importantes, como a passagem de um estágio fenológico para outro, bem como a produtividade final esperada para aquela simulação. Como trabalhos futuros, destaca-se a possibilidade de oferecer recursos para gerar simulações diárias em um período selecionado pelo usuário, para estimar a melhor data para o plantio, de forma automática – o que nesta versão de aplicativo ainda deve ser feita uma simulação por vez.

Por fim, como ponto forte do framework desenvolvido destaca-se seu fácil uso, com a abstração da complexidade de conexão com modelos em plataformas de simulação, bem como de cálculos agronômicos considerando diferentes variáveis. Sabe-se que, para utilizar os modelos de simulação DSSAT CROPGRO, existe um trabalho custoso que

envolve o levantamento e organização de dados climáticos para o correto formato de entrada, dados de solo, dados de campo e cultivares calibradas, além de organizar a saída desejada. Com uma ferramenta que desempenha essa tarefa de maneira organizada para o usuário, fica simples a busca e a apresentação dos dados e resultados de interesse.

Outro ponto importante é o fato dos resultados gerados pelo framework proposto. Nesse contexto, a tecnologia apresentada por este estudo pode ajudar o agricultor em diferentes frentes o planejamento da safra para os produtores de soja. Além disso, pode ajudar pesquisadores na simulação de culturas sob diferentes aspectos, contribuindo para o avanço de diversas frentes de manejo da cultura da soja.

REFERÊNCIAS

- ADAMA, A. *et al.* Dr. LADA: Diagnosing black pepper pest and diseases with decision tree. **International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology**, v. 8, n. 4–2, p. 1584–1590, 2018.
- Advisor - API de previsão do tempo.** Disponível em: <<https://advisor.climatempo.com.br/>>. Acesso em: 9 fev. 2023.
- AHMED, M. *et al.* Models calibration and evaluation. **Systems modeling**, p. 151–178, 2020.
- ANDERSON, R. *et al.* An integrated modeling framework for crop and biofuel systems using the DSSAT and GREET models. **Environmental Modelling & Software**, v. 108, p. 40–50, 2018.
- BATEMAN, N. R. *et al.* Effects of planting date for soybean growth, development, and yield in the southern USA. **Agronomy**, v. 10, n. 4, p. 596, 2020.
- BAUER, P.; THORPE, A.; BRUNET, G. The quiet revolution of numerical weather prediction. **Nature**, v. 525, n. 7567, p. 47–55, 2015.
- BIGHET, J. A. *et al.* **Proposta de Arquitetura Orientada a Microserviços para Aplicações de Internet das Coisas Industrial.** Congresso Brasileiro de Automática-CBA. **Anais...2019.**
- BONATO, E. R.; BONATO, A. L. V. A soja no Brasil: história e estatística. 1987.
- BOOTE, K. J. The DSSAT crop modeling ecosystem. p. 173–216, 10 dez. 2019.
- BOOTE, K. J.; JONES, J. W.; PICKERING, N. B. Potential Uses and Limitations of Crop Models. **Agronomy Journal**, v. 88, n. 5, p. 704–716, 1 set. 1996.
- BOOTE, K. J.; KROPFF, M. J.; BINDRABAN, P. S. Physiology and modelling of traits in crop plants: implications for genetic improvement. **Agricultural Systems**, v. 70, n. 2–3, p. 395–420, 1 nov. 2001.
- BOUKHARY, S.; COLMENARES, E. **A clean approach to flutter development through the flutter clean architecture package.** 2019 international conference on computational science and computational intelligence (CSCI). **Anais...IEEE**, 2019.

BROWN, I. *et al.* Influence of climate change on agricultural land-use potential: adapting and updating the land capability system for Scotland. **Climate Research**, v. 37, n. 1, p. 43–57, 2008.

CALDEIRA, C. P.; PINTO, P. A. Linking DSSAT V3 to a relational database: the AGROSYS–DSSAT interface. **Computers and electronics in agriculture**, v. 21, n. 1, p. 69–77, 1998.

CAMPEÃO, P.; SANCHES, A. C.; MACIEL, W. R. E. Mercado internacional de commodities: uma análise da participação do Brasil no mercado mundial de soja entre 2008 e 2019. **Desenvolvimento em Questão**, v. 18, n. 51, p. 76–92, 2020.

CERA, J. C. *et al.* Extending the evaluation of the SoySim model to soybean cultivars with high maturation groups. **Field Crops Research**, v. 201, p. 162–174, 2017.

CHATTERJEE, N. *et al.* Real-time Communication Application Based on Android Using Google Firebase. **International Journal of Advance Research in Computer Science and Management Studies**, v. 6, n. 4, 2018.

CHAVARRIA, G. *et al.* Growth regulator in wheat plants: reflexes on vegetative development, yield and grain quality. **Revista Ceres**, v. 62, p. 583–588, 2015.

CHAVARRIA, G. *et al.* Soybean Plants Architecture : From Solar Radiation Interception to Crop Protection World ' s largest Science , Technology & Medicine Open Access book publisher. n. May, 2017a.

CHAVARRIA, G. *et al.* Soybean Architecture Plants: From Solar Radiation Interception to Crop Protection. **Soybean - The Basis of Yield, Biomass and Productivity**, 2017b.

CHAVES, A. Formação do rendimento de grãos de soja em função de arranjos de plantas, genótipos e épocas de semeadura. 2012.

Conab - Safra Brasileira de Grãos. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>>. Acesso em: 1 fev. 2023.

CONTINI, E. *et al.* Dinamismo da agricultura brasileira 1. 2010.

DAL SOGLIO, F. K. A agricultura moderna e o mito da produtividade. **Desenvolvimento, agricultura e sustentabilidade**, v. 1, p. 11–38, 2016.

DALLACORT, R. *et al.* Utilização do modelo Cropgro-soybean na determinação de melhores épocas de semeadura da cultura da soja, na região de Palotina, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 28, n. 4, p. 583–588, 2006.

DART. **Dart programming language | Dart**. Disponível em: <<https://dart.dev/>>. Acesso em: 13 fev. 2023a.

DART. **Dart packages**. Disponível em: <<https://pub.dev/>>. Acesso em: 13 fev. 2023b.

DE ABREU RESENES, J. *et al.* jDSSAT: A JavaScript Module for DSSAT-CSM integration. **SoftwareX**, v. 10, p. 100271, 2019.

DEHNEN-SCHMUTZ, K. *et al.* Exploring the role of smartphone technology for citizen science in agriculture. **Agronomy for sustainable development**, v. 36, p. 1–8, 2016.

DIAS, G. V. S. *et al.* Simulação da pegada hídrica da soja no Mato Grosso baseada em projeções de mudanças climáticas. **Agrometeoros**, v. 27, n. 1, 2020.

Docker: Accelerated, Containerized Application Development. Disponível em: <<https://www.docker.com/>>. Acesso em: 28 jun. 2023.

DSSAT. DSSAT Platform.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E.; VORST, J. J. Response of Indeterminate and Determinate Soybean Cultivars to Defoliation and Half-plant Cut-off 1. **Crop Science**, v. 17, n. 6, p. 913–917, 1977.

FIREBASE. **Firestore.** Disponível em: <<https://firebase.google.com/?hl=pt>>. Acesso em: 13 fev. 2023.

Flutter - Build apps for any screen. Disponível em: <<https://flutter.dev/>>. Acesso em: 9 fev. 2023.

FONTANA, E. Rendimento de grãos de cultivares de soja em diferentes formas de semeadura e densidade de plantas. 2016.

HAN, E.; INES, A.; KOO, J. Global high-resolution soil profile database for crop modeling applications. **Harvard Dataverse**, v. 1, p. 1–37, 2015.

HOWSE, J.; MINICHINO, J. **Learning OpenCV 4 Computer Vision with Python 3: Get to grips with tools, techniques, and algorithms for computer vision and machine learning.** [s.l.] Packt Publishing Ltd, 2020.

INMET. **INMET.** Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 4 dez. 2023.

JONES, J. W. *et al.* **The DSSAT cropping system model.** [s.l.: s.n.]. v. 18

JUNIOR, F. DE J. V. Avaliação de cultivares de soja RR GM 5, da Rede Soja Sul de Pesquisa, irrigadas por aspersão em Bagé. **Resultados de Pesquisa de Soja na Embrapa Clima Temperado–2012**, p. 35, [s.d.].

KAUR, K.; SACHDEVA, M. **Performance evaluation of NewSQL databases.** 2017 International Conference on Inventive Systems and Control (ICISC). **Anais...IEEE**, 2017.

KHAN, W.; SHAHZAD, W. Predictive performance comparison analysis of relational & nosql graph databases. **International Journal of Advanced Computer Science and Applications**, v. 8, n. 5, 2017.

KHAWAS, C.; SHAH, P. Application of Firebase in Android App Development-A Study. **Article in International Journal of Computer Applications**, v. 179, n. 46, p. 975–8887, 2018.

LAMEGO, F. P. *et al.* Dessecação pré-colheita e efeitos sobre a produtividade e qualidade fisiológica de sementes de soja. **Planta Daninha**, v. 31, p. 929–938, 2013.

LAZZARETTI, A. T. *et al.* AgroDB – Integration of Database Management Systems with Crop Models. **8Th International Congress on Environmental Modelling and Software, Proceedings**, v. 1, n. 1, p. 194–201, 2016.

LOBELL, D. B.; GOURDJI, S. M. The influence of climate change on global crop productivity. **Plant physiology**, v. 160, n. 4, p. 1686–1697, 2012.

LOPES, I. V.; LOPES, M. DE R. O fim das cinco décadas de tributação da agricultura no Brasil. **Revista de Política Agrícola**, v. 19, n. 5, p. 31, 2023.

MENDES, J. *et al.* Smartphone applications targeting precision agriculture practices—A systematic review. **Agronomy**, v. 10, n. 6, p. 855, 2020a.

MULAZZANI, R. P. *et al.* Impact of soil compaction on 30-year soybean yield simulated with CROPGRO-DSSAT. **Agricultural Systems**, v. 203, p. 103523, 2022.

MÜLLER, M. Arquitetura de plantas de soja: interceptação de radiação solar, deposição de produtos fitossanitários e produtividade. p. 91, 2017a.

MÜLLER, M. *et al.* Grain Yield Differences of Soybean Cultivars Due to Solar Radiation Interception. **American Journal of Plant Sciences**, v. 08, n. 11, p. 2795–2810, 2017.

MÜLLER, M. Arquitetura de plantas de soja: Interceptação de radiação solar, deposição de produtos fitossanitários e produtividade. 2017b.

MÜLLER, M. *et al.* Architectural characteristics and heliotropism may improve spray droplet deposition in the middle and low canopy layers in soybean. **Crop Science**, v. 58, n. 5, p. 2029–2041, 2018.

MÜLLER, M. *et al.* Root growth and crop performance of soybean under chemical, physical, and biological changes after subsoiling. **Agronomy Journal**, v. 112, n. 2, p. 932–947, 2020.

NASA POWER. Disponível em: <<https://power.larc.nasa.gov/docs/services/api/>>. Acesso em: 21 jun. 2023.

NEUMAIER, N. *et al.* 7 ESTÁDIOS DE DESENVOLVIMENTO DA CULTURA DE SOJA. 2007.

OLIVEIRA, G.; [HTTPS://LATTES.CNPQ.BR/5847753257179866](https://lattes.cnpq.br/5847753257179866). ATRIBUTOS DA FERTILIDADE DO SOLO E A OCORRÊNCIA DE NEMATÓIDES NA CULTURA DA SOJA. 25 nov. 2022.

OLIVEIRA JUNIOR, A. DE *et al.* Estádios fenológicos e marcha de absorção de nutrientes da soja. 2016.

ONESOIL SCOUTING. **OneSoil. Make Reliable Agricultural Decisions with AI.**

PATIL, M. A.; ADAMUTHE, A. C.; UMBARKAR, A. J. Smartphone and IoT based system for integrated farm monitoring. **Techno-Societal 2018 - Proceedings of the 2nd International Conference on Advanced Technologies for Societal Applications**, v. 1 1, p. 471–478, 2020.

PAVAN, W. *et al.* Web-Based System to True-Forecast Disease Epidemics–Sisalert. 2006.

PAYNE, R. Beginning App Development with Flutter. **Beginning App Development with Flutter**, 2019.

PAYNE, R.; PAYNE, R. Using Firebase with Flutter. **Beginning App Development with Flutter: Create Cross-Platform Mobile Apps**, p. 255–285, 2019.

PHP. **PHP: Hypertext Preprocessor**. Disponível em: <<https://www.php.net/>>. Acesso em: 30 out. 2023.

PIEKARSKI, K. R. *et al.* **Simulação da produtividade da soja em três tipos de solo com o modelo AQUACROP**. Convibra Online Conference Agronomy. **Anais...**2016.

PINITPAITON, S.; SUWANARIT, A.; BELL, R. W. A framework for determining the efficient combination of organic materials and mineral fertilizer applied in maize cropping. **Field Crops Research**, v. 124, n. 3, p. 302–315, 2011.

RAMOS, C. M. *et al.* O Complexo Agroindustrial da Soja Brasileira. **Administração Rural – Volume 4**, 2020a.

RAMOS, C. M. *et al.* COMPETITIVIDADE E INSERÇÃO DA SOJA BRASILEIRA NO MERCADO INTERNACIONAL. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 43, n. spe1, p. 74–85, 9 maio 2020b.

REZAEI, E. E. *et al.* The potential of crop models in simulation of barley quality traits under changing climates: A review. **Field Crops Research**, v. 286, p. 108624, 1 out. 2022.

RIBEIRO, A. G. As escalas do clima. **Boletim de Geografia Teorética**, v. 23, n. 45–46, p. 288–294, 1993.

RODRIGUES, R. DE Á. *et al.* Utilization of the cropgro-soybean model to estimate yield loss caused by Asian rust in cultivars with different cycle. **Bragantia**, v. 71, p. 308–317, 2012.

SAIZ-RUBIO, V.; ROVIRA-MÁS, F. From Smart Farming towards Agriculture 5.0: A Review on Crop Data Management. **Agronomy 2020, Vol. 10, Page 207**, v. 10, n. 2, p. 207, 3 fev. 2020.

SALMERÓN, M.; PURCELL, L. C. Simplifying the prediction of phenology with the DSSAT-CROPGRO-soybean model based on relative maturity group and determinacy. **Agricultural Systems**, v. 148, p. 178–187, 1 out. 2016.

SASEENDRAN, S. A. *et al.* Adapting CROPGRO for Simulating Spring Canola Growth with Both RZWQM2 and DSSAT 4.0. **Agronomy Journal**, v. 102, n. 6, p. 1606–1621, 1 nov. 2010.

SEIXAS, M. A.; CONTINI, E. Internet das coisas (IoT): inovação para o agronegócio. 2017.

SHAFI, U. *et al.* Precision Agriculture Techniques and Practices: From Considerations to Applications. **Sensors** 2019, Vol. 19, Page 3796, v. 19, n. 17, p. 3796, 2 set. 2019.

SILVA, S. D. DA; 02556566027; [HTTP://LATTES.CNPQ.BR/8667322756483988](http://lattes.cnpq.br/8667322756483988). Simulação do crescimento, desenvolvimento e produtividade de milho em clima presente e futuro. 26 set. 2018.

SILVA, K. AGRONEGÓCIO E OS IMPACTOS PÓS-PANDEMIA: ANÁLISE NO ESTADO DE GOIÁS NO PERÍODO ENTRE 2019 E 2022. 2022.

TASHILDAR, A. *et al.* Application development using flutter. **International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science**, v. 2, n. 8, p. 1262–1266, 2020.

TAYYEH, H. K.; MOHAMMED, R. Analysis of NASA POWER reanalysis products to predict temperature and precipitation in Euphrates River basin. **Journal of Hydrology**, v. 619, p. 129327, 2023.

TEJO, D. P.; FERNANDEZ, C. H. DOS S.; BURATTO, J. S. SOJA: FENOLOGIA, MORFOLOGIA E FATORES QUE INTERFEREM NA PRODUTIVIDADE. 2019. **Tomorrow.io API**. Disponível em: <<https://docs.tomorrow.io/reference/welcome>>. Acesso em: 22 jun. 2023.

VISUAL STUDIO CODE. **Visual Studio Code - Code Editing. Redefined**. Disponível em: <<https://code.visualstudio.com/>>. Acesso em: 30 out. 2023.

VSCODE. **Visual Studio Code - Code Editing. Redefined**. Disponível em: <<https://code.visualstudio.com/>>. Acesso em: 13 fev. 2023.

WANG, Z. *et al.* In field fruit sizing using a smart phone application. **Sensors**, v. 18, n. 10, p. 3331, 2018.

WEERASEKARA, I. *et al.* The influence of seed production environment on seed development and quality of Soybean (*Glycine max* (L.) Merrill). **Agronomy**, v. 11, n. 7, p. 1430, 2021.

WILLINGHON PAVAN. **TÉCNICAS DE ENGENHARIA DE SOFTWARE APLICADAS À MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE DOENÇAS DE PLANTAS**. Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, jul. 2007.

WU, W. React Native vs Flutter, Cross-platforms mobile application frameworks. 2018. XIANG, Z. *et al.* DSSAT-MODFLOW: A new modeling framework for exploring groundwater conservation strategies in irrigated areas. **Agricultural Water Management**, v. 232, p. 106033, 2020.

YASSI, A. *et al.* Simulation and production of soybean plant growth (Glycine max (L) Merrill) using the DSSAT model with different scenarios of water supply and compost. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 343, n. 1, p. 012014, 2019.

YELLAVULA, N. **Hands-On RESTful Web Services with Go: Develop Elegant RESTful APIs with Golang for Microservices and the Cloud**. [s.l.] Packt Publishing Ltd, 2020.