

# PRODUTO 8

## DESCRIÇÃO METODOLÓGICA PARA OBTENÇÃO DOS PRODUTOS 2 A 7

### Contratada:

Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ  
Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz – FEALQ

### Execução:



### Contratante:



Inversión Pública & Adaptación al  
Cambio Climático en América Latina

Piracicaba, São Paulo  
Maio de 2019

## **1) Sumário**

2) INTRODUÇÃO .....	1
3) NOTA EXPLICATIVA .....	2
4) NOTA METODOLÓGICA DO PRODUTO 2 .....	3
5) NOTA METODOLÓGICA DO PRODUTO 3 .....	14
6) NOTA METODOLÓGICA DO PRODUTO 4 .....	17
7) NOTA METODOLÓGICA DO PRODUTO 5 .....	20
8) NOTA METODOLÓGICA DO PRODUTO 6 .....	21
9) NOTA METODOLÓGICA DO PRODUTO 7 .....	23

## 2) INTRODUÇÃO

De acordo com os Termos de Referência do Projeto intitulado “Investimento Público e Adaptação à Mudança do Clima na América Latina (IPACC II)”, PN: 2014.9049.9-002:

“No marco de implementação do projeto IPACC II, as contrapartes principais do Brasil, o Ministério de Planejamento, Desenvolvimento e Gestão (MP), o Ministério da Fazenda (MF) e o Ministério do Meio Ambiente (MMA), identificaram o setor agrícola como sendo um dos setores que aloca altos níveis de investimento público e privado, e ao mesmo tempo sendo um dos setores de maior vulnerabilidade aos efeitos da mudança do clima. Tais condições motivaram a execução de uma iniciativa piloto, conjuntamente com o Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), com a finalidade de inserir a gestão do risco climático nos instrumentos de análise de investimentos no setor e, desta forma, complementar o instrumento atualmente utilizado Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) buscando aprimorá-lo a partir da criação de recomendações de novas metodologias científicas, como suporte à política de gestão agrícola.”

O objetivo geral deste projeto é desenvolver um conjunto de recomendações visando reduzir as perdas agrícolas associadas aos efeitos da mudança do clima e que contribuam para uma alocação eficiente dos investimentos públicos e privados na agricultura. Como objetivo específico encontra-se o produto 8: *“Descrição metodológica do passo a passo para obtenção dos produtos 2 a 7, a fim de servir como guia para sua replicação em outras regiões e para outras culturas”*.

### **3) NOTA EXPLICATIVA**

Este produto mostra a descrição metodológica e o passo a passo para obtenção dos resultados 2 a 7. O documento está dividido em 9 seções. A primeira detalha a descrição do produto 2. A segunda seção mostra como se obtém o produto 3, em seguida, a seção 3 e 4, detalham os produtos 4 e 5. A seção 5 detalha o passo a passo para calcular a taxa de prêmio e a seção 6 mostra a forma de obtenção do produto 7.

#### **4) NOTA METODOLÓGICA DO PRODUTO 2**

A simulação com os modelos baseados em processos para a produtividade da cultura da soja no Paraná foi feita com dois dos sistemas de simulação mais reconhecidos científicas no mundo atualmente. São eles o Sistema de Suporte à Decisão e Transferência de Agrotecnologia – DSSAT, dentro do qual utilizou-se o modelo CropGro-Soybean e o Simulador de sistemas produtivos agrícolas – APSIM, sendo utilizado o APSIM-Soybean como modelo de simulação da cultura da soja. O Sistema de Suporte à Decisão e Transferência de Agrotecnologia (DSSAT do inglês Decision Support System Agrotechnology Transfer) simula o crescimento e desenvolvimento de 16 culturas ao longo do tempo, levando em conta o clima, o solo, o manejo e aspectos genéticos da cultura e vem sendo utilizado nos últimos 30 anos por usuários de todo mundo. O DSSAT contém também uma coleção de programas independentes (Figura 1) para organização dos dados de clima, solo, observações de campo, condições experimentais e informações genotípicas (JONES et al, 2003).

Este sistema incorpora diferentes modelos em um software que facilita a avaliação e aplicação dos modelos de culturas para diferentes propósitos (JONES et al., 2003). James & Cutforth (1996) descrevem o DSSAT como um conjunto de programas de computador projetados para acomodar modelos padronizados de culturas, permitindo ao usuário inserir, organizar e armazenar dados de cultura, solo e climáticos, permite a calibração e validação de modelos de crescimento de culturas e, também, permite a avaliação de diferentes sistemas de manejo em um local.

Cada modelo é estruturado utilizando abordagem modular, como descrito por Jones et al. (2001) Suas características mais importantes são: a separação dos módulos por linhas disciplinares; definição clara das interfaces para cada módulo; permite que componentes

individuais possam ser inseridos ou retirados com pouco impacto no programa principal; facilitação na documentação e manutenção dos códigos; permite que programações em diferentes linguagens possam ser ligados; permite uma fácil integração de diferentes tipos de aplicações; aceita para evolução do programa a integração de outros componentes como pecuária e consórcio de culturas; facilita a cooperação entre diferentes grupos de modelos onde cada um pode ser concentrado em módulos específicos.

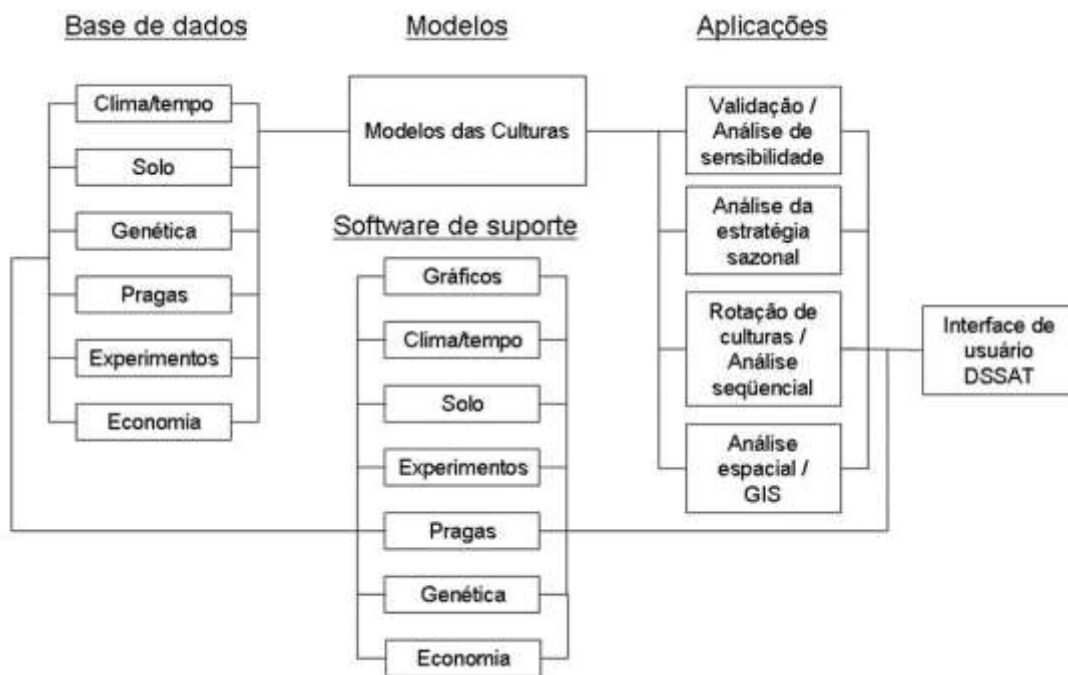


Figura 1 - Representação esquemática da base de dados, aplicação, e componentes de software e seus usos com modelos de culturas para aplicações no sistema DSSAT (adaptado de JONES et al., 2003).

De modo a otimizar o sistema, o DSSAT trabalha com alguns módulos comuns a diversos modelos, como aqueles que gerenciam o clima/tempo, o solo, o balanço de carbono e nitrogênio. No módulo de solo, por exemplo, a maioria das culturas utiliza uma abordagem com perfil unidimensional (horizontalmente homogêneo) e constituído por diferentes camadas verticais (JONES et al, 2003). Atualmente, contudo, ele já conta uma abordagem

que simula o balanço hídrico de modo bidimensional, considerando efeitos de cobertura de solo e interseção de sistemas agrícolas. O módulo solo integra informações de quatro módulos componentes: temperatura do solo, carbono e nitrogênio no solo e dinâmica da água. Para estimativa de evapotranspiração, o DSSAT possui o módulo solo-planta-atmosfera, reunindo dados de entrada de solo, planta e atmosfera, computando a interceptação da radiação solar pela cultura e calculando a transpiração máxima da copa em conjunto com a evaporação do solo. No cálculo de evapotranspiração, utilizada para estimar a transpiração foliar, o modelo pode utilizar uma ou duas opções. O padrão é o cálculo pelo método de Priestley & Taylor (1972), que exige somente dados de radiação solar e temperatura, descrito por Jones & Ritchie (1991). O método de Penman-FAO (DOORENBOS & PRUITT, 1977) para o cálculo da evapotranspiração potencial pode ser utilizado opcionalmente para melhor representação em condições áridas e de muito vento, sendo necessário dados de umidade do ar e velocidade do vento na entrada do DSSAT.

O Simulador de Sistemas de Produção Agrícola (APSIM - Agricultural Production Systems Simulator) é utilizado para simulação de sistemas agrícolas e que foi desenvolvido pela Unidade de Pesquisa em Sistemas de Produção Agrícola (APSRU), grupo colaborativo estabelecido sob liderança do CSIRO da Austrália. Desde sua criação, o APSIM foi projetado como um simulador de sistemas agrícolas que possui como característica combinar a estimativa de rendimento das culturas, de modo acurado e inerente ao sistema de gestão, com a previsão das possíveis consequências, em longo prazo, das práticas agrícolas sobre os recursos do solo (KEATING et al., 2003).

O sistema possui a finalidade de simular processos biofísicos em sistemas agrícolas, principalmente para os que têm interesse econômico e ecológico nas práticas de gestão, tomadas de decisão e análise dos riscos envolvidos na agricultura, como os de clima, solo e manejo. O sistema tem sido largamente utilizado no mundo em aplicações diversas, como por

exemplo, no suporte para a tomada de decisão no manejo nutricional de culturas, planejamento de sistemas agrícolas envolvendo sequência de cultivos e seu manejo, avaliação da previsão climática, previsão de safras, gestão e análise da cadeia de suprimentos em atividades do agronegócio, desenvolvimento de diretrizes para gestão de resíduos, avaliação dos riscos nas decisões político-governamentais e como um guia para atividades de investigação e educação (KEATING et al., 2003).

A engenharia de software que suporta o APSIM proporciona uma estrutura flexível para simulações climáticas, de manejo dos solos, no crescimento das culturas em diferentes sistemas agrícolas e para prever as possíveis alterações nos recursos do solo (PROBERT et al., 1998). O modelo também é capaz de simular o crescimento vegetativo, o acúmulo de nitrogênio e de açúcares, o consumo de água, a massa seca e fresca, com diferenciação entre estádios fenológicos. Para cana-de-açúcar também há diferenciação entre cana-planta e cana-soca e simula-se do efeito do manejo da palhada na cultura (Marin et al., 2013; Costa et al., 2014), da irrigação e de doses de nitrogênio (Thorburn et al. 2012). Os fatores avaliados são respostas ao clima, manejo, solo e aos fatores genéticos (KEATING et al.; 1999).

A estrutura do sistema no APSIM é constituída por:

- Um conjunto de módulos que simulam os processos biológicos e físicos em sistemas agrícolas;
- Módulos de gerenciamento que permitem ao usuário especificar as regras de manejo pretendidas e caracterizam o cenário simulado;
- Vários módulos para facilitar a entrada e saída de dados;
- Um mecanismo de simulação que controla todos os processos e mensagens entre os módulos independentes;

Estes elementos podem ser representados por um comando central e seus periféricos, como mostra a Figura 2.



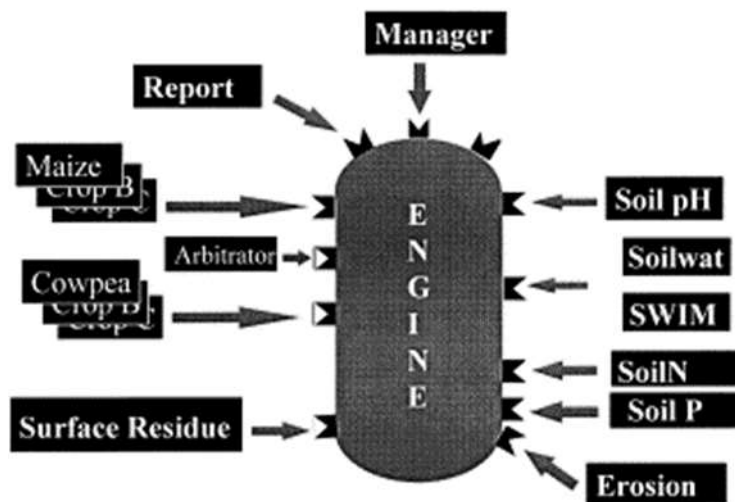


Figura 2. Representação esquemática dos componentes e modo de operação do sistema APSIM. Fonte: Keating et al., (2003).

A abordagem utilizada para seleção dos Modelos de Circulação Global (GCMs) a serem considerados neste projeto baseou-se no protocolo proposto pelo Projeto AgMIP que, por sua vez, vale-se do conceito de *Representative Climate Futures* (RCF) proposto por Whelton et al, 2012)<sup>1</sup>. A justificativa para o uso da abordagem RCFs está em se reduzir o tempo e a capacidade computacional necessária para as simulações e assim produção de uma grande quantidade de dados similares entre si. Além disso, dado que as projeções climáticas de longo prazo carregam incertezas e dado que a finalidade de estudos de vulnerabilidade climática como no presente projeto é a geração de cenários agrícolas futuros, a abordagem RCF é suficientemente robusta para permitir a avaliação de cenários futuros para a cultura da soja para o Estado do Paraná, assim como largamente utilizado na literatura científica<sup>2</sup> e

<sup>1</sup> Whetton, P., Hennessy, K., Clarke, J., McInnes, K., Kent. D. 2012. Use of Representative Climate Futures in impact and adaptation assessment. *Climatic Change*. 115(3–4), 433–442.

<sup>2</sup> Diversos estudos científicos publicados em periódicos internacionais de alto impacto valem-se da mesma abordagem usada neste projeto, citando-se como exemplos os seguintes:

- Marin, F.R., J.W. Jones, A. Singels, F. Royce, E.D. Assad, G.O. Pellegrino, and F. Justino. 2013. Climate change impacts on sugarcane attainable yield in Southern Brazil. *Climatic Change* 117: 227–239.

proposto do termo de referência do presente projeto. Com base nesta abordagem, foram gerados um cenário otimista (com o GCM de menor variação em relação a linha de base), intermediários e pessimistas (com base no GCM de maior variação em relação a linha de base) de produtividade futura da cultura da soja.

A variável de verificação utilizada como referência para a geração dos RCFs foi a temperatura do ar, por se tratar de variável climática que expressa a quantidade de energia no ambiente para a realização dos processos atmosféricos e que está fortemente correlacionada com a chuva e com a própria irradiância solar global. Vale lembrar que a temperatura, radiação solar e chuva são as variáveis de entrada para os modelos agrícolas utilizados neste projeto (DSSAT e APSIM, descritos mais a frente neste documento). Assim, com base na abordagem RCF e tendo a temperatura do ar como variável-critério, a partir de uma análise das base de dados do Paraná foram selecionados três GCMs, representado, como já mencionado, o modelo com a maior variação de temperatura em relação a linha de base, o modelo com a menor variação e, por fim, um modelo utilizando uma variação intermediária entre dois anteriores, dentre os 20 disponíveis AGMIP. Além desses três GCMs, incluiu-se um quarto modelo (HadGem2), por solicitação da equipe gestora do por ocasião da reunião de março de 2018. Assim, trabalhou-se com quatro bases de dados climáticos originados dos seguintes GCM's:

1. GCM de variação mínima em relação a LB: MIROC5;
2. GCM de variação média em relação a LB: BNU-ESM;

- 
- Rosenzweig, C., Jones, J. W., Hatfield, J. L., Ruane, A. C., Boote, K. J., Thorburn, P., ... Winter, J. M. (2013). The Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project (AgMIP): Protocols and pilot studies. *Agricultural and Forest Meteorology*, 170, 166–182. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2012.09.011>
  - Singels, A., Jones, M., Marin, F., Ruane, A., & Thorburn, P. (2014). Predicting Climate Change Impacts on Sugarcane Production at Sites in Australia, Brazil and South Africa Using the Canegro Model. *Sugar Tech*, 16(4). <https://doi.org/10.1007/s12355-013-0274-1>
  - Wilby, R.L., S. Charles, E. Zorita, B. Timbal, P. Whetton, and L. Mearns. 2004. Guidelines for use of climate scenarios developed from statistical downscaling methods. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Supporting Material, available from the Data Distribution Centre of the IPCC Task Group on Data and Scenario Support for Impacts and Climate Analysis (TGCI), [http://www.ipcc-data.org/guidelines/dgm\\_no2\\_v1\\_09\\_2004.pdf](http://www.ipcc-data.org/guidelines/dgm_no2_v1_09_2004.pdf).

3. GCM de variação máxima em relação a LB: CanESM2.
4. GCM adicional: HadGem2

Para cada um dos 4 GCMs selecionados, considerou-se 2 níveis de concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico, de modo a representar as forçantes radioativas descritas nos *Representative Concentration Pathways* (RCPs) 4.5 e 8.5. Assim, para efeito de simulação, foram assumidos os níveis de concentrações de CO<sub>2</sub> de 526 ppm (RCP 4.5) e 628 ppm (RCP 8.5), constituindo-se dessa forma, para cada local selecionado, 9 bases climáticas (1 atual e 8 futuros), como mostrado na Tabela 1. A Tabela 2 apresenta a variações médias de temperatura e chuva associadas a cada um dos GCM's selecionados.

Tabela 1. Relação de GCM's e RCP's utilizados nas simulações com os modelos agrícolas.

<b>Base climática</b>	<b>Clima Atual</b>	<b>Cenário Futuro/GCM</b>	<b>RCP</b>
1	Linha de base	--	--
2	--	MIROC5	4.5
3	--	MIROC5	8.5
4	--	BNU-ESM	4.5
5	--	BNU-ESM	8.5
6	--	CanESM2	4.5
7	--	CanESM2	8.5
8	--	HadGem2	4.5
9		HadGem2	8.5

Tabela 2. Variação em relação a linha de base de temperatura do ar e chuva total para o Estado do Paraná associada a cada CGM selecionados a partir da metodologia proposta por Hudson & Ruane (2013)<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> Hudson, N; Ruane, A. 2013. Guide for Running AgMIP Climate Scenario Generation Tools with R in Windows. Disponível em <http://www.agmip.org/wp-content/uploads/2013/10/Guide-for-Running-AgMIP-Climate-Scenario-Generation-with-R-v2.3.pdf>

<b>Base climática</b>	<b>Variação de temp. (°C)</b>	<b>Variação de chuva (%)</b>
2	0.9752	8.653%
3	1.6816	3.780%
4	1.7951	-5.737%
5	2.2237	-5.482%
6	2.8691	0.136%
7	3.9698	4.974%
8	2.3108	18.774%
9	3.1621	6.821%

Referente a resolução espacial dos mapas finais, considerando-se que a base de dados climáticos obtidos para a simulação da linha de base (densidade de 142 pontos de dados distribuídos no Estado do Paraná), isso permitiu gerar mapas com resolução de até 1,6 km de resolução<sup>4</sup>, portanto com maior nível de informação espacial do que o proposto inicialmente no termo de referência, que era de 5 km. Os métodos de downscaling podem ser de natureza dinâmica (e.g. valendo-se de modelo climáticos regionais) ou estatísticos (i.e. utilizando estatísticas climáticas históricas e informações sobre mudanças climáticas projetadas) ou ainda uma combinação de ambos. Assim, em acordo com os protocolos da principal referência científica mundial sobre estudos no campo da modelagem agrícola aplicada à mudança do clima - o programa AgMIP ([www.agmip.org](http://www.agmip.org)) e conforme descrito em Hudson & Ruane (2013)<sup>5</sup> e Ruane et al. (2013)<sup>6</sup>, neste projeto utilizou-se da abordagem estatística para a geração de cenários climáticos futuros que, por sua vez, baseiam-se na premissa de que o clima regional é condicionado por dois fatores principais: as condições climáticas de larga escala e as feições fisiografias (topografia, uso do solo, continentalidade/oceanidade), de

<sup>4</sup> Como disponível nas ferramentas de cartografia do software ArcGIS e detalhado em <https://www.esri.com/arcgis-blog/products/product/mapping/choosing-an-appropriate-cell-size-when-interpolating-raster-data/>

<sup>5</sup> Hudson, N; Ruane, A. 2013. Guide for Running AgMIP Climate Scenario Generation Tools with R in Windows. Disponível em <http://www.agmip.org/wp-content/uploads/2013/10/Guide-for-Running-AgMIP-Climate-Scenario-Generation-with-R-v2.3.pdf>

<sup>6</sup> Ruane, A.C., J.M.Winter, S.P.McDermid, N.I.Hudson. 2013. AgMIP Climate Data and Scenarios for Integrated Assessment. Chapter 3. Handbook of Climate Change and Agroecosystems.

modo que a informação climática é determinada, a princípio, por um modelo estatístico que relaciona as variáveis climáticas de larga escala (no caso deste projeto, os dados oriundos dos GCMs com as variáveis locais (base de dados que compõem a linha de base de cada uma das 142 estações meteorológicas utilizadas). Assim, os dados dos GCMs alimentam um modelo estatístico que estima o clima regional, considerando a estrutura temporal da série da linha de base. O ponto forte desta abordagem é permitir a obtenção de dados para localidades específicas (pontos ou bacias hidrográficas de pequena escala), como é o caso da abordagem utilizada neste projeto. Ademais, este método já leva em conta a correção de possíveis erros sistemáticos dos modelos, fazendo a geração dos cenários futuros a partir da perturbação estatística originada a partir dos GCM's sobre a série climática da linha de base, e não usando os dados futuros gerados pelos modelos propriamente ditos, o que permite fazer a comparação entre cenários agrícolas futuros e atuais com a devida coerência técnica.

Após a constituição da base climática, foi feita organização da base de solos do Paraná em três tipos de solos conforme classe textural (arenoso, médio, argiloso) também foram estabelecidos foram três tipos de materiais genéticos (ciclo precoce, médio e tardio) representando os diferentes tipos de comprimentos de ciclo da soja no Estado do Paraná. Seguindo a abordagem atualmente utilizada no ZARC, os solos foram agrupados em três categorias quanto à capacidade de retenção de água: arenoso (Tipo 1); textura média (Tipo 2); e argiloso (Tipo 3), conforme disposto na Instrução Normativa nº 2, de 09 de outubro de 2008 (<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/riscos-seguro/risco-agropecuario/documentos/INn2de09.10.2008.pdf>).

Os modelos parametrizados foram DSSAT/*CropGro-Soybean* e o modelo APSIM-*Soybean* e todas as simulações foram feitas com ambos os modelos em paralelo. Um terceiro cenário agrícola futuro foi gerado a partir da média dos dois modelos (DSSAT e APSIM). Por fim, para cada cenário climático, cada tipo de solo e cada genótipo foram simuladas 16 datas

de semeadura, em passos decendiais (ou seja, a cada 10 dias), entre agosto e dezembro de cada ano da base de dados (30 anos, entre 1980 e 2010).

Tais simulações geraram um banco de dados que foi analisado para a geração das zonas homogêneas de risco conforme descrito na próxima seção deste documento. Além disso, as simulações foram organizadas e os dados apresentados da forma de mapas de produtividade, risco climático e zonas homogêneas e compartilhadas, ainda no mês de Maio de 2019, com o comitê gestor do projeto.

A metodologia de mapeamento atende integralmente aos requisitos para a recomendação das datas de semeadura (assumindo-se ZARC como referência técnica para esse procedimento de recomendação de datas), uma vez que cada município é classificado integralmente em uma única classe de risco levando-se em conta a área de cada faixa de risco dentro do município. Esta técnica de classificação é importante para os casos em que um município é dividido em duas classes de risco diferentes. Nestes casos, tomou-se como classe aquela de menor risco e que representasse pelo menos 20% da área do município.

Como já mencionado, os mapas foram gerados para cada data de semeadura, tipo de solo e material genético utilizando os dois modelos baseados em processos (DSSAT-CropGro e APSIM-Soybean), além da média entre esses dois modelos, utilizando as bases climáticas oriundas da linha de base e dos oito GCM/RCP's selecionados. Entende-se, com base no que foi proposto no termo de referência do projeto e na descrição metodológica e produtos gerados, que este produto está finalizado.

Em suma, os passos que foram seguidos para a consecução deste produto foram os seguintes:

- Coletar e organizar e depurar as séries de dados meteorológicos em escala diárias, envolvendo as seguintes variáveis: temperatura máxima, temperatura mínima, chuva e

irradiância solar global. Dados de umidade do ar e velocidade do vento, se disponíveis, devem ser utilizados para melhoria na qualidade das simulações, mas não são essenciais.

- Definição dos perfis de solos típicos por região para as simulações, sendo os parâmetros hidráulicos (umidade na capacidade de campo, umidade no ponto de murcha permanente, umidade no ponto de saturação, densidade, condutividade hidráulica saturada, número da curva pelo método do servido de hidrologia dos Estados Unidos, e albedo do solo) são os essenciais para processamento, mas dados referentes a textura, as características químicas, ao teor de matéria orgânica pode ser incluídos nos arquivos referentes aos solos;
- Coleta e geração dos cenários climáticos futuros, segundo os protocolos do Projeto AgMIP, como descrito em Hudson & Ruane (2013)<sup>7</sup>. Este banco de dados permite obter cenários oriundos de 20 GCM's sendo possível processar todos eles. Assim como neste projeto, pode-se estabelecer um critério para seleção de GCM representativos, reduzindo-se assim a necessidade de processamento e a massa de dados gerados;
- Executar a simulação com os modelos baseados em processos e obter-se a média entre eles para efeito de análise. Caso seja usado um número de modelos suficiente, sugere-se calcular a mediana entre os modelos;
- Representar espacialmente na forma de mapas, para cada decênio, tipo de solo e genótipo os valores de produtividade média entre os modelos, interpolando-se os valores para os municípios com dados faltantes;
- Representar na forma de tabelas, para cada decênio, tipo de solo, genótipo e município, os valores da produtividade média entre os modelos.

---

<sup>7</sup> Hudson, N; Ruane, A. 2013. Guide for Running AgMIP Climate Scenario Generation Tools with R in Windows. Disponível em <http://www.agmip.org/wp-content/uploads/2013/10/Guide-for-Running-AgMIP-Climate-Scenario-Generation-with-R-v2.3.pdf>

## 5) NOTA METODOLÓGICA DO PRODUTO 3

Neste produto, os dados de entrada são os valores de produtividade gerados pelos modelos agrícolas descritos no produto 2, e ela se baseia numa simples premissa de cálculo frequência para estratificação do risco agrícola em escala de município. A estratificação municipal do risco foi feita considerando-se cinco níveis de risco (NR, 60%, 65%, 70%, 75% e 80%) aplicado sobre a produtividade média de cada município e, a partir dela fazendo uma análise frequencial, como mostrado na equação 1. Com ela, pode-se estabelecer qual o nível de risco para cada combinação (clima, solo, genética) e quantificar o nível de risco para cada data de semeadura. No presente caso, optou-se por não delimitar uma janela de semeadura fixa por entendermos que isso implicaria em perda de informações e empobrecimento dos resultados- na forma atual, basta ao tomador de decisão definir qual o nível de risco que se pretende admitir e então define-se a janela de semeadura para este nível de risco.

$$F_{i,j,k,l,r,q} = F(Y_{i,j,k,l,r} \geq Yc_{j,k,l,r} * NR_q) = \frac{(1 - m_{i,j,k,l,r,q})}{n} * 100$$

em que F é a frequência (em porcentagem) da produtividade para um determinada data de semeadura, solo, clima e genética ser maior do que o produto da produtividade média (30 anos e todas as datas de semeadura) (Yc) para um determinado solo, clima e genética aquela data, pelo nível de risco selecionado (NR), sendo dado em cinco (q) níveis (60%, 65%, 70%, 75% e 80%). i é data da semeadura, j é o município, k é o clima (linha de base ou climas futuros), l é o tipo de solo, r é o material genético. Neste estudo, o cálculo foi feito com a produtividade média aritmética de todos os decêndios, solos e genótipos, mas após uma análise mais detalhada, que não pôde ser incorporada nos resultados deste estudo, sugere-se que o uso futuro desta abordagem seja feita considerando-se a produtividade média



ponderada pela curva de semeadura regional, tipos de solos predominantes e genótipos preponderantes.

Este produto foi concluído e os resultados estão disponíveis no mesmo repositório do portal do Sistema Tempocampo, sendo lá apresentados como Tabelas de Risco. Tais tabelas estão organizadas para cada combinação de solo, grupo genético e clima, apresentando em cada uma delas o nível de risco referente a cada data de semeadura, permitindo assim recomendar as datas mais adequadas. Aqui, diferentemente da abordagem tradicional do ZARC de indicar ou não cada uma das datas, apresentadas o nível de risco na forma de classes, permitindo assim ao usuário selecionar quais níveis de risco pretende considerar na sua análise. Caso deseje, há também tabelas (no mesmo formato) apresentando o valor absoluto do risco climático (como opção no seletor *critério* do website). Assim, considerando-se os mapas de produtividade gerados no produto 2 e somando-se aqui os mapas gerados para cada nível de risco (e considerando-se a ramificação em termos de modelos, GCM's, RCP's, solos, genéticas e datas de semeadura) tem-se na pasta compartilhada com o comitê gestor do projeto cerca de 23.000 mapas referentes a todas as combinações simuladas. Entende-se, com base no que foi proposto no termo de referência do projeto e na descrição metodológica e produtos gerados, que este produto está finalizado.

Em suma, os passos que foram seguidos para a consecução deste produto foram os seguintes:

- Com base nas produtividades simuladas, estimar as frequências de se alcançar a produtividade crítica a ser definida conforme o escopo do estudo, utilizando uma abordagem de cálculo frequencial;

- Representar espacialmente na forma de mapas, para cada decêndio, tipo de solo e genótipo os valores das frequências calculadas, interpolando-se os valores para os municípios com dados faltantes;
- Representar na forma de tabelas, para cada decêndio, tipo de solo, genótipo e município, os valores das frequências calculadas.

## 6) NOTA METODOLÓGICA DO PRODUTO 4

Este produto trata da probabilidade de perda gerada tendo por base os dados de produtividade agrícola gerada nos produtos 2 e 3. A probabilidade de perda foi calculada a partir da seguinte expressão:

$$\text{Probabilidade de Perda (PP)} = \text{Prob}(Y \leq y_g)$$

em que  $Y$  é a produtividade agrícola e  $y_g$  é a produtividade garantida, ou seja, o nível de cobertura multiplicado pela produtividade estimada. O nível de cobertura variou de 60 a 80%, em múltiplos de 5%.

O ajuste de distribuições é fundamental para mensurar com o maior nível de precisão a probabilidade de perda. Nesse sentido, utilizou-se as seguintes distribuições paramétricas: Normal Assimétrica, Skew-T e a distribuição Odd Log-logística, por apresentarem robustez e flexibilidade na detecção de assimetrias e bimodalidades.

É importante destacar que poder-se-ia utilizar a Distribuição Normal pela facilidade matemática, mas poderia gerar resultados imprecisos, visto que os dados de produtividade podem apresentar certo grau de assimetria. Por isso, optamos pela Normal Assimétrica que capta a assimetria tanto negativa quanto positiva na distribuição dos dados.

Por outro lado, a Skew-T além de captar a assimetria na distribuição dos dados possui caudas “mais pesadas”, acomodando melhor os cálculos da probabilidade no início e no final da distribuição. Por fim, pode ser que os dados apresentam alguma forma de bimodalidade. Nesse caso, a distribuição Odd Log-logística é recomendada para modelar os dados.

O critério utilizado para a escolha do melhor modelo foi o critério de informação de Akaike (AIC). O AIC é um estimador da qualidade relativa de modelos estatísticos para um dado conjunto de dados (Akaike, 1974).

Dada uma coleção de modelos para os dados, o AIC estima a qualidade de cada modelo, em relação a cada um dos outros modelos. Assim, o AIC fornece um meio para a seleção de modelos. Suponha que tenhamos um modelo estatístico de alguns dados. Seja  $k$  o número de parâmetros estimados no modelo. Seja  $\hat{L}$  o valor máximo da função de verossimilhança para o modelo. Então, o valor AIC do modelo é dado por:

$$AIC = 2k - 2\ln(\hat{L})$$

Dado um conjunto de modelos candidatos, o modelo preferido é aquele com o valor mínimo de AIC. Assim, o AIC recompensa a qualidade do ajuste (avaliado pela função de verossimilhança), mas também inclui uma penalidade que é uma função crescente do número de parâmetros.

Outro critério que pode ser utilizado nessa situação é chamado de BIC (critério de informação Bayesiano), que penaliza mais fortemente modelos com um maior número de parâmetros do que o AIC tendendo, dessa forma, selecionar modelos com menor número de parâmetros.

Os passos a serem seguidos até a probabilidade de perda são:

- Coletar/Calcular e depurar as séries temporais de produtividade agrícola, por cultura, por unidade espacial (talhão, propriedade agrícola, distrito, município etc.)
- Para cada localidade, separar por:
  - Modelo (Dssat, Apsim etc.);
  - GCM;
  - RCP;
  - Genética;
  - Solo; e,
  - Data de plantio.
- Modelar cada série temporal de produtividade, ajustando as 3 distribuições de probabilidade;
- Escolher o melhor modelo utilizando o critério AIC; e,

- Calcular a probabilidade de perda, de acordo com os 5 níveis de cobertura (60 a 80%).

## 7) NOTA METODOLÓGICA DO PRODUTO 5

O índice de perda foi gerado tendo-se como base as informações de produtividade agrícola geradas no produto 2. O mercado segurador, em geral, utiliza um índice de perda que é base para o cálculo das indenizações. Esse índice depende da produtividade garantida, que é a multiplicação do nível de cobertura pela produtividade esperada, e a produtividade observada no ano t. Os índices de perda foram gerados tendo-se por base a seguinte equação:

$$\text{Índice de Perda (IP)} = (y_g - y_o)/y_g$$

em que  $y_o$  é a produtividade observada no ano t. Para o cálculo dos índices de perda utilizou-se as mesmas nove bases climáticas, ou seja, o clima atual (linha de base) e os oito cenários futuros/gcm combinado com os 2 RCPs, 4.5 e 8.5, respectivamente, além dos dois modelos agrícolas Dssat e Apsim.

Os passos a serem seguidos até o índice de perda são:

- Coletar/Calcular e depurar as séries temporais de produtividade agrícola, por cultura, por unidade espacial (talhão, propriedade agrícola, distrito, município etc.)
- Para cada localidade, separar por:
  - Modelo (Dssat, Apsim etc.);
  - GCM;
  - RCP;
  - Genética;
  - Solo; e,
  - Data de plantio.
- Modelar cada série temporal de produtividade utilizando a equação do índice de perda para cada um dos 5 níveis de cobertura (60 a 80%).

## 8) NOTA METODOLÓGICA DO PRODUTO 6

A taxa de prêmio é um parâmetro essencial em qualquer tipo de seguro, seja ele público ou privado. Uma taxa mal ajustada pode levar a desequilíbrios financeiro-atuariais chegando, em alguns casos, a inviabilizar a continuidade da carteira de seguros. Ademais, leva a um problema perverso no mercado segurador, denominado seleção adversa ou anti-seleção.

Uma vez escolhida a abordagem probabilística por meio do critério de informação de Akaike (AIC) ou critério de informação bayesiano (BIC), gera-se a estimativa da probabilidade de perda que é um dos parâmetros da taxa de prêmio e que pode ser calculada através da área sob a curva menor do que a produtividade garantida.

Desta forma, se denominarmos o nível de cobertura por  $\lambda$ , tal que  $0 < \lambda < 1$ , e a produtividade esperada por  $y_e$ , então a probabilidade da produtividade ser menor do que  $\lambda y_e$  será calculada através da área sob a densidade. A taxa de prêmio do seguro agrícola de produtividade/custeio é dada por (Goodwin e Ker, 1998):

$$\text{Taxa de prêmio} = \frac{F_Y(\lambda y^e) E_Y[\lambda y^e - (Y | y < \lambda y^e)]}{\lambda y^e}$$

onde  $E$  é o operador de esperança e  $F$  a distribuição cumulativa da produtividade.

Em alguns casos, a importância segurada é composta por mais de uma variável aleatória. Um exemplo é o seguro de faturamento. Nesse caso, há necessidade de se avaliar o comportamento da produtividade agrícola e o comportamento do preço futuro. Caso o preço seja fixado em dólar, existe ainda uma terceira variável que é a taxa de câmbio. Nota-se que, no caso anterior, a taxa de prêmio é calculada de forma univariada considerando apenas a

produtividade agrícola. No caso bivariado, a taxa de prêmio é fixada levando-se em conta a relação entre as duas variáveis, de acordo com a seguinte equação:

$$\text{Taxa de Prêmio} = \frac{F_y(X < x; Y < y | x, y < x_g, y_g) \cdot [x_g \cdot y_g - E(XY | x, y < x_g, y_g)]}{x_g \cdot y_g}$$

onde E é o operador de esperança, F a distribuição cumulativa da produtividade,  $x_g$  representa o preço garantido, que em geral baseia-se em uma proporção dos preços futuros negociados em bolsas de mercadorias e futuros;  $y_g$  diz respeito à produtividade garantida, obtida através de uma proporção da produtividade média histórica do produtor; x representa o preço ao final da safra do produtor enquanto que y representa a produtividade obtida ao final da safra.

Os passos a serem seguidos até a taxa de prêmio são:

- Coletar/Calcular e depurar as séries temporais de produtividade agrícola, por cultura, por unidade espacial (talhão, propriedade agrícola, distrito, município etc.)
- Para cada localidade, separar por:
  - Modelo (Dssat, Apsim, etc);
  - GCM;
  - RCP;
  - Genética;
  - Solo; e,
- Para cada série de produtividade estimar a produtividade esperada;
- Multiplicar por cada um dos níveis de cobertura;
- Calcular a probabilidade de perda;
- Multiplicar pela perda esperada; e,
- A taxa será encontrada após dividir o resultado pela produtividade garantida.

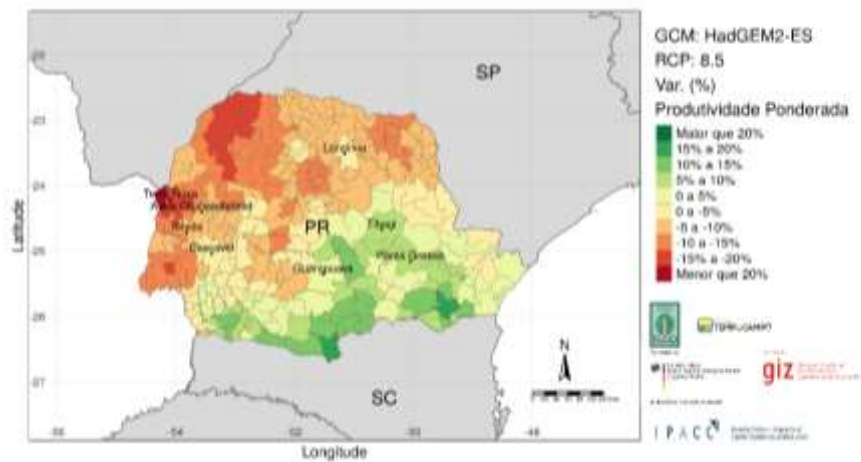


## 9) NOTA METODOLÓGICA DO PRODUTO 7

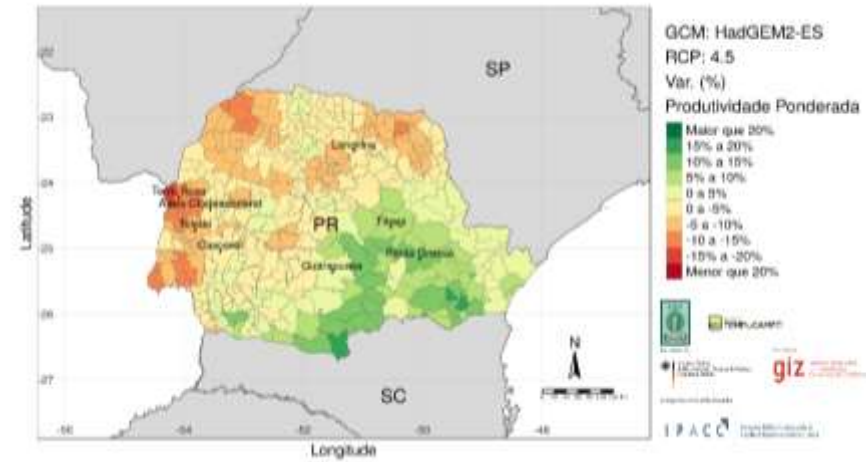
Este produto revela qual foi o “custo” em termos de aumento ou redução da produtividade estimada, probabilidade de perda (PP) e índice de perda (IP), em média, tomando-se por base o cenário “baseline” e os cenários futuros. As entradas utilizadas foram os resultados dos produtos 2, 4 e 5. Em outras palavras, visando a medição do impacto de cada um dos cenários RCP (Representative Concentration Pathways), desenvolvidos pelo Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), na PP e IP foi calculado o percentual de variação entre cada cenário e o nível atual (linha de base).

Para cada combinação de nível de cobertura e cenários (baseline e RCP) os valores dos índices de perda e probabilidade de perda foram obtidos pela média ponderada de todas as variáveis utilizadas para compor as variações tanto da produtividade quanto dos índices e probabilidades de perda, quais sejam: o tipo de solo (1, 2 e 3), o mês de semeadura (decêndios de agosto a dezembro), material genético (precoce, médio e tardio) e dois modelos Dssat e Apsim.

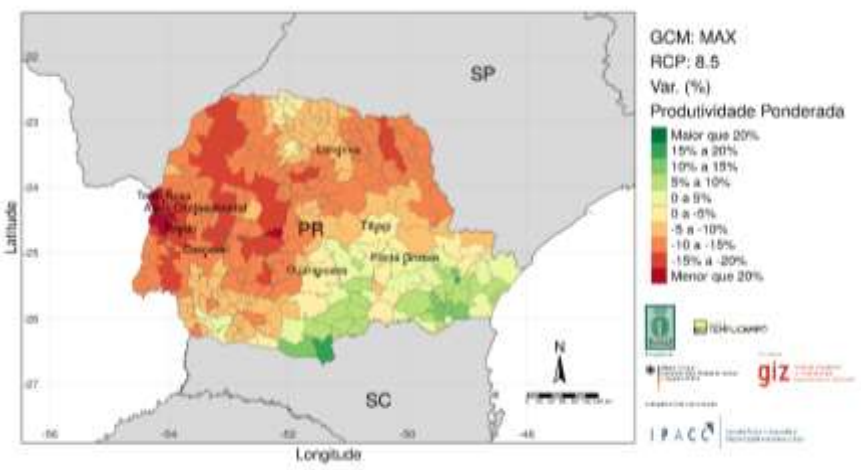
Para cada combinação do nível de cobertura e cenários (baseline e RCP) os valores dos índices de perda e probabilidade de perda foram obtidos por média ponderada dos resultados previamente obtidos. O produto final da ponderação consiste em 88 mapas, em nível de microrregião, detalhando a variação tanto no PP quanto no IP para cada cenário RCP. Oito desses mapas (Fig. 1) foram gerados a partir da diferença entre as produtividades simuladas com base no clima atual (linha de base) e os cenários futuros, permitindo avaliar a variação possível que seria causada pelo clima futuro.



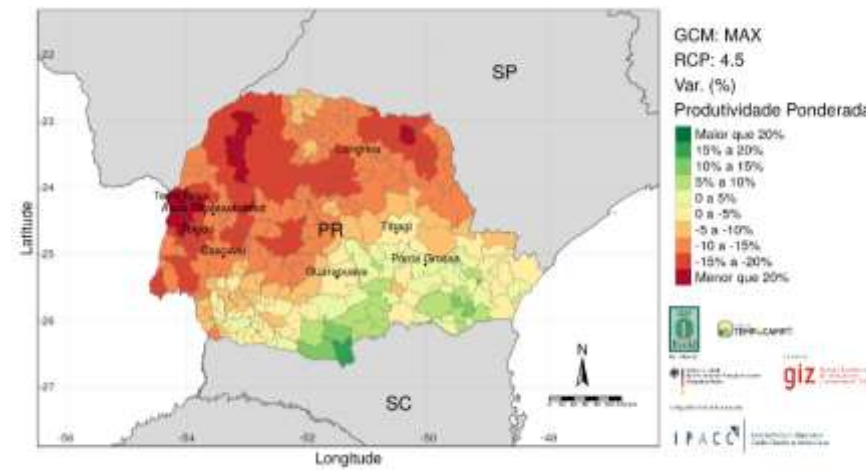
A



B



C



D

Figura 1. Variação relativa da produtividade ponderada simulada para oito cenários climáticos futuros, considerando como referência a série climática atual (linha de base).

## FLUXOGRAMA DO PROJETO

