

FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS
ESCOLA DE ECONOMIA DE SÃO PAULO

LILLIAN DE ALMEIDA EUFRÁZIA OLIVEIRA

**IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO RISCO DA CULTURA DA SOJA
E SUAS IMPLICAÇÕES NO SEGURO AGRÍCOLA**

SÃO PAULO
2020

LILLIAN DE ALMEIDA EUFRÁZIA OLIVEIRA

**IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO RISCO DA CULTURA DA SOJA
E SUAS IMPLICAÇÕES NO SEGURO AGRÍCOLA**

Dissertação apresentada à Escola de Economia de São Paulo, da Fundação Getulio Vargas – EESP – FGV, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronegócio.

Campo de conhecimento: Gestão e Risco

Orientador Prof. Dr. PAULO CESAR SENTELHAS

SÃO PAULO

2020

Oliveira, Lillian de Almeida Eufrázia.

Impactos das mudanças climáticas no risco da cultura da soja e suas implicações no seguro agrícola / Lillian de Almeida Eufrázia Oliveira. - 2020.

186 f.

Orientador: Paulo Cesar Sentelhas.

Dissertação (mestrado profissional MPAGRO) – Fundação Getulio Vargas, Escola de Economia de São Paulo.

1. Soja - Cultivo. 2. Seguro agrícola. 3. Mudanças climáticas. 4. Aquecimento global - Aspectos econômicos. I. Sentelhas, Paulo Cesar. II. Dissertação (mestrado profissional MPAGRO) – Escola de Economia de São Paulo. III. Fundação Getulio Vargas. IV. Título.

CDU 633.61

LILLIAN DE ALMEIDA EUFRÁZIA OLIVEIRA

**IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO RISCO DA CULTURA DA SOJA
E SUAS IMPLICAÇÕES NO SEGURO AGRÍCOLA**

Dissertação de Mestrado apresentada à Escola de Economia da Escola de Economia de São Paulo da Fundação Getulio Vargas – EESP/FGV, como requisito para a obtenção de título de Mestre em Agronegócio.

Data de Aprovação:

__/__/____

Banca examinadora:

Prof. Dr. Paulo Cesar Sentelhas
ESALQ/USP e FGV-SP

Prof. Dr. Gabriel Bruno de Lemos
Superintendente Agro – NEWE Seguros

Prof. Dr. Angelo Costa Gurgel
FGV-SP

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus por me guiar, iluminar e me dar tranquilidade para seguir em frente com os meus objetivos e não desanimar diante das dificuldades.

Agradeço aos meus pais e minha querida irmã, que me motivaram todos esses anos e entenderam meus momentos de ausência em prol deste objetivo.

Aos meus amados avós que me mostraram a importância de estudar, mesmo não tendo eles a mesma oportunidade em suas vidas. E hoje, me olham e me guiam do plano espiritual.

Ao Banco ABN AMRO, por proporcionar o meu desenvolvimento profissional e ao time de *Operations* pela colaboração e espírito de equipe diário, principalmente aos meus queridos chefes e mentores Giovani e Ortega por acreditar e reforçar sempre o meu potencial.

À Fundação Getulio Vargas e seu Corpo Docente pela oportunidade da realização do curso de Mestrado Profissional em Agronegócio (MPAgro), especialmente ao Alê e à Eula.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Paulo Cesar Sentelhas, pelos ensinamentos, pelas valiosas contribuições e inúmeras dicas durante toda a elaboração desta dissertação, sem ele este trabalho não seria possível.

Agradeço aos demais professores do MPAgro pela dedicação nas aulas ministradas, em particular ao Prof. Dr. Eduardo Delgado Assad e ao Prof. Dr. Angelo Gurgel pela atenção e disponibilidade na colaboração deste estudo.

Aos amigos da turma 11, pela amizade e por todas as horas de estudo e conhecimento compartilhado, além dos momentos de diversão e boas risadas, em especial à Marissol e ao Felipe, pelas inúmeras explicações sobre o funcionamento de usinas sucroalcooleiras. Pedro e André, pelas aulas no momento de tensão pré-provas, e à Ana Lins por mais uma parceria, desta vez acadêmica.

Finalmente, a todos que de alguma maneira contribuíram na minha formação tanto pessoal quanto profissional, dando suporte para a conclusão de mais uma etapa da minha vida. Felizmente, não estive sozinha nesta jornada que hoje, a qual se transforma em mais uma vitória!

A todos, o meu sincero e profundo MUITO OBRIGADA!

RESUMO

O presente trabalho teve como principal objetivo avaliar o risco climático da cultura da soja frente às mudanças climáticas, determinando os níveis de risco e, baseados nesses, analisar os impactos causados nos valores dos prêmios do seguro agrícola para diferentes regiões brasileiros, por meio de estudos de casos. Em particular, estimou-se a variação do valor do prêmio que o produtor de soja estaria disposto a pagar, tendo como fundamento a teoria microeconômica da incerteza. Na análise do risco climático, as ocorrências de déficit ou excesso hídrico foram estimadas por meio do cálculo dos balanços hídricos da cultura para 15 localidades, nos principais estados produtores de soja do Brasil que, por possuírem condições edafoclimáticas variadas, proporcionaram uma análise mais abrangente para diferentes épocas de semeadura (3), tipos de solos (3) e cenários climáticos (1980-2018, 2020-2059 e 2060-2099), sendo que as condições futuras obtidas por meio do modelo climático Eta-HadGEM2-ES. Os resultados mostraram que mesmo para o cenário atual (1980-2018) e considerando-se as datas de semeadura recomendadas pelo Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC/MAPA), há condições de risco para a cultura da soja, especialmente nas regiões de Formosa do Rio Preto, BA, e Tupanciretã, RS, causadas pela ocorrência de déficit hídrico durante a fase reprodutiva da soja. Para todas as regiões, os níveis de risco climático irão se elevar nos cenários de clima futuro, sendo o pior desses cenários o de longo prazo (2060-2099), tornando praticamente todas as regiões analisadas de alto risco, o que evidencia a importância da atualização recorrente da metodologia utilizada pelo ZARC em suas indicações aos produtores agrícolas. Com relação às implicações das mudanças climáticas na taxa de prêmio do seguro agrícola voltado à cultura da soja, foi constatado que, em grande parte dos casos, o aumento da taxa de prêmio será inevitável dado que nestes locais os níveis de risco climático irão aumentar substancialmente, elevando as taxas de prêmio em quase 100% nestes casos.

Palavras Chaves: Balanço hídrico; produtividade; déficit hídrico; zoneamento agrícola; *Glycine max* L.; teoria microeconômica; incertezas; seguro agrícola.

ABSTRACT

The present study aimed to evaluate the climatic risk for soybean crop under the future scenarios of climate change, to determine the levels of risk and, based on them, to analyze the impacts caused on agricultural insurance premiums values for different Brazilian regions, through case studies. In particular, the variation of value of the insurance premium that the soybean producer would be willing to pay, based on the microeconomic theory of uncertainty, was estimated. In the analysis of the climatic risk, the occurrences of water deficit or excess were estimated by calculating the crop water balance for 15 locations in the main soybean producing states in Brazil, which, due to their varied edaphoclimatic conditions, provided a more comprehensive analysis for different sowing dates (3), soil types (3) and climatic scenarios (1980-2018, 2020-2059 and 2060-2099), with future conditions obtained through the Eta-HadGEM2-ES climate model. The results showed that even for the current scenario (1980-2018) and considering the sowing dates recommended by the Agricultural Climate Risk Zoning (ZARC/MAPA), there are risk conditions for the soybean crop, especially in the regions of Formosa do Rio Preto, BA, and Tupanciretã, RS, caused by the occurrence of water deficit during the soybean reproductive phase. For all regions, the levels of climate risk will rise in the future climate scenarios, with the worst one being the long-term scenario (2060-2099), making almost all analyzed regions of high risk for soybean crop, which highlights the importance of the recurring update of the methodology used by ZARC in its recommendations to growers. With regard to the implications of climate change for the premium rate of agricultural insurance for soybean crop, it was found that, in most cases, an increase in the premium rate will be inevitable given that in these places the levels of climate risk will increase substantially (100%).

Keywords: Water Balance; productivity; water deficit; agricultural zoning; soybean; microeconomic theory; uncertainty; agricultural insurance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Relação entre o rendimento relativo da cultura da soja e níveis percentuais de sombreamento.	35
Figura 2 - Fases fenológicas da cultura da soja.	40
Figura 3 - Evapotranspiração máxima diária ao longo do ciclo da cultura da soja. ...	45
Figura 4 - Número de apólices de seguro agrícola contratadas por ano no Brasil para todas as culturas agrícolas.	51
Figura 5 - Número de apólices de seguro agrícola contratadas por ano no Brasil para a cultura da soja.	51
Figura 6 - Impacto de cenários de mudanças de temperatura para cultivo de soja no Brasil, para solo de textura média e época de semeadura primeiro decêndio de novembro.	53
Figura 7 - Impacto de cenários de mudanças de temperatura para cultivo de soja no Brasil e acréscimo de precipitação em 10%, para solo de textura média e época de semeadura primeiro decêndio de novembro.	54
Figura 8 - Distribuição espacial das localidades produtores de soja no Brasil empregadas no presente estudo, com suas respectivas classificações climáticas. ...	56
Figura 9 - Coeficiente de cultura da soja (K_c) ao longo de suas diferentes fases fenológicas.	59
Figura 10 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/04 em Alto Alegre, RR, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.	71

Figura 11 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/05 em Alto Alegre, RR, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.71

Figura 12 – Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/06 em Alto Alegre, RR, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.72

Figura 13 – Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/04 em Alto Alegre, RR, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm. ..73

Figura 14 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/05 em Alto Alegre, RR, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm. ..73

Figura 15 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/06 em Alto Alegre, RR, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm. ..74

Figura 16 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/04 em Alto Alegre, RR, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm. .75

Figura 17 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/05 em Alto Alegre, RR, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm. .75

Figura 18 – Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/06 em Alto Alegre, RR, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm. .76

Figura 19 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/11 em Baixa Grande do Ribeiro, PI, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.77

Figura 20 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/11 em Baixa Grande do Ribeiro, PI, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.77

Figura 21 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/01 em Baixa Grande do Ribeiro, PI, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.78

Figura 22 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/11 em Baixa Grande do Ribeiro, PI, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.79

Figura 23 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/12 em Baixa Grande do Ribeiro, PI, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.79

Figura 24 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/01 em Baixa Grande do Ribeiro, PI, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.80

Figura 25 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/11 em Baixa Grande do Ribeiro, PI, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.81

Figura 26 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/12 em Baixa Grande do Ribeiro, PI, no

cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.	81
Figura 27 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/01 em Baixa Grande do Ribeiro, PI, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.	82
Figura 28 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/10 em Balsas, MA, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.	83
Figura 29 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/11 em Balsas, MA, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.	83
Figura 30 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/12 em Balsas, MA, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.	84
Figura 31 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/10 em Balsas, MA, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm. ...	85
Figura 32 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/11 em Balsas, MA, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm. ...	85
Figura 33 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/12 em Balsas, MA, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm. ...	86

Figura 34 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/10 em Balsas, MA, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm. .87

Figura 35 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/11 em Balsas, MA, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm. .87

Figura 36 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/12 em Balsas, MA, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm. .88

Figura 37 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/10 em Campos Lindos, TO, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.89

Figura 38 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/11 em Campos Lindos, TO, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.89

Figura 39 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/12 em Campos Lindos, TO, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.90

Figura 40 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/10 em Campos Lindos, TO, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.91

Figura 41 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/11 em Campos Lindos, TO, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.91

Figura 42 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/12 em Campos Lindos, TO, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.	92
Figura 43 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/10 em Campos Lindos, TO, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.	93
Figura 44 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/11 em Campos Lindos, TO, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.	93
Figura 45 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/12 em Campos Lindos, TO, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.	94
Figura 46 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/09 em Campos Novos, SC, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.	95
Figura 47 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/10 em Campos Novos, SC, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.	95
Figura 48 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/11 em Campos Novos, SC, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.	96
Figura 49 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/09 em Campos Novos, SC, no cenário futuro	

de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.
.....97

Figura 50 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/10 em Campos Novos, SC, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.
.....97

Figura 51 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/11 em Campos Novos, SC, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.
.....98

Figura 52 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/09 em Campos Novos, SC, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.
.....99

Figura 53 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/10 em Campos Novos, SC, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.
.....99

Figura 54 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/11 em Campos Novos, SC, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.
..... 100

Figura 55 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/10 em Formosa do Rio Preto, BA, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm. 101

Figura 56 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/11 em Formosa do Rio Preto, BA, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.	101
Figura 57 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/12 em Formosa do Rio Preto, BA, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.	102
Figura 58 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/10 em Formosa do Rio Preto, BA, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.	103
Figura 59 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/11 em Formosa do Rio Preto, BA, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.	103
Figura 60 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/12 em Formosa do Rio Preto, BA, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.	104
Figura 61 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/10 em Formosa do Rio Preto, BA, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.	105
Figura 62 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/11 em Formosa do Rio Preto, BA, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.	105

Figura 63 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/12 em Formosa do Rio Preto, BA, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.	106
Figura 64 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/10 em Itapeva, SP, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.	107
Figura 65 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/11 em Itapeva, SP, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.	107
Figura 66 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/12 em Itapeva, SP, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.	108
Figura 67 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/10 em Itapeva, SP, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.	109
Figura 68 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/11 em Itapeva, SP, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.	109
Figura 69 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/12 em Itapeva, SP, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.	110
Figura 70 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/10 em Itapeva, SP, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.	111

Figura 71 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/11 em Itapeva, SP, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm. 111

Figura 72 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/12 em Itapeva, SP, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm. 112

Figura 73 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/04 em Macapá, AP, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm. 113

Figura 74 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/05 em Macapá, AP, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm. 113

Figura 75 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/06 em Macapá, AP, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm. 114

Figura 76 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/04 em Macapá, AP, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm. 115

Figura 77 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/05 em Macapá, AP, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm. 115

Figura 78 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/06 em Macapá, AP, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm. 116

Figura 79 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/04 em Macapá, AP, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm. 117

Figura 80 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/05 em Macapá, AP, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm. 117

Figura 81 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/06 em Macapá, AP, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm. 118

Figura 82 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/10 em Maracaju, MS, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm. 119

Figura 83 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/11 em Maracaju, MS, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm. 119

Figura 84 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/12 em Maracaju, MS, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm. 120

Figura 85 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/10 em Maracaju, MS, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm. 121

Figura 86 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/11 em Maracaju, MS, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm. 121

Figura 87 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/12 em Maracaju, MS, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm. 122

Figura 88 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/10 em Maracaju, MS, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.123

Figura 89 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/11 em Maracaju, MS, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.123

Figura 90 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/12 em Maracaju, MS, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.124

Figura 91 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/12 em Paragominas, PA, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm. 125

Figura 92 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/01 em Paragominas, PA, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm. 125

Figura 93 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/02 em Paragominas, PA, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm. 126

Figura 94 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/12 em Paragominas, PA, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm. 127

Figura 95 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/01 em Paragominas, PA, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm. 127

Figura 96 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/02 em Paragominas, PA, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm. 128

Figura 97 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/12 em Paragominas, PA, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm. 129

Figura 98 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/01 em Paragominas, PA, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm. 129

Figura 99 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/02 em Paragominas, PA, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm. 130

Figura 100 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/10 em Rio Verde, GO, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm. 131

Figura 101 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/11 em Rio Verde, GO, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm. 131

Figura 102 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/12 em Rio Verde, GO, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.	132
Figura 103 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/10 em Rio Verde, GO, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.	133
Figura 104 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/11 em Rio Verde, GO, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.	133
Figura 105 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/12 em Rio Verde, GO, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.	134
Figura 106 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/10 em Rio Verde, GO, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.	135
Figura 107 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/11 em Rio Verde, GO, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.	135
Figura 108 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/12 em Rio Verde, GO, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.	136
Figura 109 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/10 em Sorriso, MT, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.	137

Figura 110 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/11 em Sorriso, MT, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.	137
Figura 111 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/12 em Sorriso, MT, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.	138
Figura 112 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/10 em Sorriso, MT, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.	139
Figura 113 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/11 em Sorriso, MT, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.	139
Figura 114 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/12 em Sorriso, MT, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.	140
Figura 115 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/10 em Sorriso, MT, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.	141
Figura 116 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/11 em Sorriso, MT, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.	141
Figura 117 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/12 em Sorriso, MT, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.	142

Figura 118 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/09 em Tibagi, PR, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.	143
Figura 119 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/10 em Tibagi, PR, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.	143
Figura 120 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/11 em Tibagi, PR, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.	144
Figura 121 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/09 em Tibagi, PR, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.	145
Figura 122 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/10 em Tibagi, PR, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.	145
Figura 123 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/11 em Tibagi, PR, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.	146
Figura 124 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/09 em Tibagi, PR, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.	147
Figura 125 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/10 em Tibagi, PR, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.	147

Figura 126 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/11 em Tibagi, PR, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.	148
Figura 127 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/10 em Tupanciretã, RS, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.	149
Figura 128 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/11 em Tupanciretã, RS, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.	149
Figura 129 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/12 em Tupanciretã, RS, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.	150
Figura 130 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/10 em Tupanciretã, RS, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.	151
Figura 131 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/11 em Tupanciretã, RS, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.	151
Figura 132 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/12 em Tupanciretã, RS, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.	152
Figura 133 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/10 em Tupanciretã, RS, no cenário futuro	

de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.
..... 153

Figura 134 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/11 em Tupanciretã, RS, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.
..... 153

Figura 135 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/12 em Tupanciretã, RS, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.
..... 154

Figura 136 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/10 em Unaí, MG, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm. 155

Figura 137 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/11 em Unaí, MG, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm. 155

Figura 138 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/12 em Unaí, MG, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm. 156

Figura 139 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/10 em Unaí, MG, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm. 157

Figura 140 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/11 em Unaí, MG, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm. 157

Figura 141 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/12 em Unaí, MG, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm. 158

Figura 142 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/10 em Unaí, MG, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm. 159

Figura 143 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/11 em Unaí, MG, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm. 159

Figura 144 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/12 em Unaí, MG, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm. 160

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Localidades empregadas neste estudo com suas respectivas coordenadas geográficas e altitudes, e quantidade produzida de grãos de soja durante a safra 2017/2018, de acordo com o IBGE (2018).....	55
Tabela 2 - Capacidade média de água disponível (CAD) para os três grupos de solos empregados neste estudo, de acordo com Pereira et al. (2002).....	58
Tabela 3 - Fases fenológicas da cultura da soja com ciclo de 120 dias utilizadas neste estudo e propostas por Comunello (2015) para um ciclo de 110 dias.....	59
Tabela 4 - Datas de semeadura da cultura da soja empregadas no presente estudo para as 15 localidades analisadas e obtidas juntos ao Zoneamento de Risco Climático (ZARC) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Brasil (MAPA)..	60
Tabela 5 - Valores médios anuais das temperaturas máxima e mínima do ar e da chuva total em diferentes localidades brasileiras no período de 1980 a 2018.	67
Tabela 6 - Valores médios anuais das temperaturas máxima e mínima do ar e da chuva total em diferentes localidades brasileiras no período de 2020 a 2059, gerados a partir da base de dados atuais e do modelo climático Eta-HadGEM2-ES.	68
Tabela 7 - Valores médios anuais das temperaturas máxima e mínima do ar e da chuva total em diferentes localidades brasileiras no período de 2060 a 2099, gerados a partir da base de dados atuais e do modelo climático Eta-HadGEM2-ES.	69
Tabela 8 - Valores médios anuais das diferenças entre o cenário atual e o cenário futuro de médio prazo (2020 a 2059) para temperaturas máxima e mínima do ar e a chuva total em diferentes localidades brasileiras.	69
Tabela 9 - Valores médios anuais das diferenças entre o cenário atual e o cenário futuro de médio prazo (2060 a 2099) para temperaturas máxima e mínima do ar e a chuva total em diferentes localidades brasileiras.	70

Tabela 10 - Risco climático para a cultura da soja em diferentes localidades brasileiras, considerando-se a primeira época de semeadura em cada uma delas, três diferentes capacidades de água disponível (CAD) e o cenário atual. 161

Tabela 11 - Risco climático para a cultura da soja em diferentes localidades brasileiras, considerando-se a segunda época de semeadura em cada uma delas, três diferentes capacidades de água disponível (CAD) e o cenário atual. 162

Tabela 12 - Risco climático para a cultura da soja em diferentes localidades brasileiras, considerando-se a terceira época de semeadura em cada uma delas, três diferentes capacidades de água disponível (CAD) e o cenário atual. 162

Tabela 13 - Risco climático para a cultura da soja em diferentes localidades brasileiras, considerando-se a primeira época de semeadura em cada uma delas, três diferentes capacidades de água disponível (CAD) e o cenário futuro de curto prazo. 163

Tabela 14 - Risco climático para a cultura da soja em diferentes localidades brasileiras, considerando-se a segunda época de semeadura em cada uma delas, três diferentes capacidades de água disponível (CAD) e o cenário futuro de curto prazo. 164

Tabela 15 - Risco climático para a cultura da soja em diferentes localidades brasileiras, considerando-se a terceira época de semeadura em cada uma delas, três diferentes capacidades de água disponível (CAD) e o cenário futuro de curto prazo. 164

Tabela 16 - Risco climático para a cultura da soja em diferentes localidades brasileiras, considerando-se a primeira época de semeadura em cada uma delas, três diferentes capacidades de água disponível (CAD) e o cenário futuro de longo prazo. 165

Tabela 17 - Risco climático para a cultura da soja em diferentes localidades brasileiras, considerando-se a segunda época de semeadura em cada uma delas, três diferentes capacidades de água disponível (CAD) e o cenário futuro de longo prazo. 166

Tabela 18 - Risco climático para a cultura da soja em diferentes localidades brasileiras, considerando-se a terceira época de semeadura em cada uma delas, três diferentes capacidades de água disponível (CAD) e o cenário futuro de longo prazo..... 166

Tabela 19 - Variação do prêmio do seguro agrícola para a cultura da soja entre o cenário atual e cenário de curto prazo para o município de Balsas, MA, considerando as três épocas de semeadura e três diferentes capacidades de água disponível (CAD).
..... 167

Tabela 20 - Variação do prêmio do seguro agrícola para a cultura da soja entre o cenário atual e cenário de longo prazo para o município de Balsas, MA, considerando as três épocas de semeadura e três diferentes capacidades de água disponível (CAD).
..... 168

Tabela 21 - Variação do prêmio do seguro agrícola para a cultura da soja entre o cenário atual e cenário de curto prazo para o município de Campos Lindos, TO, considerando as três épocas de semeadura e três diferentes capacidades de água disponível (CAD). 169

Tabela 22 - Variação do prêmio do seguro agrícola para a cultura da soja entre o cenário atual e cenário de longo prazo para o município de Campos Lindos, TO, considerando as três épocas de semeadura e três diferentes capacidades de água disponível (CAD). 170

Tabela 23 - Variação do prêmio do seguro agrícola para a cultura da soja entre o cenário atual e cenário de curto prazo para o município de Sorriso, MT, considerando as três épocas de semeadura e três diferentes capacidades de água disponível (CAD).
..... 171

Tabela 24 - Variação do prêmio do seguro agrícola para a cultura da soja entre o cenário atual e cenário de longo prazo para o município de Sorriso, MT, considerando as três épocas de semeadura e três diferentes capacidades de água disponível (CAD).
..... 172

Tabela 25 - Variação do prêmio do seguro agrícola para a cultura da soja entre o cenário atual e cenário de curto prazo para o município de Tupanciretã, RS, considerando as três épocas de semeadura e três diferentes capacidades de água disponível (CAD). 173

Tabela 26 - Variação do prêmio do seguro agrícola para a cultura da soja entre o cenário atual e cenário de longo prazo para o município de Tupanciretã, RS, considerando as três épocas de semeadura e três diferentes capacidades de água disponível (CAD). 174

Tabela 27 - Variação do prêmio do seguro agrícola para a cultura da soja entre o cenário atual e cenário de curto prazo para o município de Unaí, MG, considerando as três épocas de semeadura e três diferentes capacidades de água disponível (CAD). 175

Tabela 28 - Variação do prêmio do seguro agrícola para a cultura da soja entre o cenário atual e cenário de longo prazo para o município de Unaí, MG, considerando as três épocas de semeadura e três diferentes capacidades de água disponível (CAD). 176

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO	34
2 - REVISÃO DE LITERATURA	38
2.1. A Cultura da Soja	38
2.1.1. Aspectos Gerais sobre a cultura da soja	38
2.1.2. Fases fenológicas da cultura da soja	39
2.1.3. Variáveis meteorológicas que afetam a produtividade da soja	40
2.1.4. Requerimentos climáticos da cultura da soja	43
2.2. Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC)	45
2.3. Seguro Agrícola	47
2.3.1. Teoria Microeconômica de Incerteza – Seguros	47
2.3.2. Importância do seguro agrícola	48
2.3.3. Seguro agrícola no mundo	49
2.3.4. Seguro agrícola no Brasil	50
2.4. Mudanças climáticas e seus impactos na agricultura	52
3 - MATERIAL E MÉTODOS	55
3.1. Locais analisados	55
3.2. Dados meteorológicos	56
3.3. Informações do solo	57
3.4. Dados da cultura	58
3.5. Cálculo do balanço hídrico da cultura da soja	60
3.6. Cálculo do Índice de Satisfação das Necessidades de Água (ISNA)	61
3.7. Cenários de mudanças climáticas	62
3.8. Avaliação do risco climático para a cultura da soja	63
3.9. Análise das implicações das mudanças climáticas no valor do seguro agrícola	63
4 - RESULTADOS	67

4.1. Condições climáticas das localidades analisadas	67
4.2. Variabilidade interanual do ISNA da cultura da soja	70
4.2.1. Alto Alegre, RR	70
4.2.2. Baixa Grande do Ribeiro, PI	76
4.2.3. Balsas, MA	82
4.2.4. Campos Lindos, TO	88
4.2.5. Campos Novos, SC	94
4.2.6. Formosa do Rio Preto, BA	100
4.2.7. Itapeva, SP	106
4.2.8. Macapá, AP	112
4.2.9. Maracaju, MS	118
4.2.10. Paragominas, PA	124
4.2.11. Rio Verde, GO	130
4.2.12. Sorriso, MT	136
4.2.13. Tibagi, PR	142
4.2.14. Tupanciretã, RS	148
4.2.15. Unaí, MG	154
4.3. Risco climático para a cultura da soja	160
4.3.1. Cenário atual	160
4.3.2. Cenário futuro de curto prazo	163
4.3.3. Cenário futuro de longo prazo	165
4.4. Implicações das mudanças climáticas no valor do seguro agrícola	167
4.4.1. Balsas, MA – Estudo de Caso para a Região Nordeste	167
4.4.2. Campos Lindos, TO – Estudo de Caso para a Região Norte	168
4.4.3. Sorriso, MT – Estudo de Caso para a Região Centro-Oeste	170
4.4.4. Tupanciretã, RS – Estudo de Caso para a Região Sul	172
4.4.5. Unaí, MG – Estudo de Caso para a Região Sudeste	174
5 - CONCLUSÃO	177
6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	178

1 - INTRODUÇÃO

A nível global, a soja está inserida economicamente como um dos principais produtos agrícolas. Já a nível nacional, é a principal cultura em extensão de área, com maior volume e valor bruto de produção (CONAB, 2018), sendo assim, de extrema importância para a economia do país, contribuindo efetivamente para o produto interno bruto brasileiro. Em pouco mais de 10 anos a produção brasileira de soja duplicou, passando de 58 milhões de toneladas na safra de 2006/2007 para aproximadamente 119 milhões de toneladas na safra de 2017/2018 (CONAB, 2018).

O sucesso da produção agrícola brasileira é reflexo de diversos fatores, dentre os quais podem ser elencados, as condições climáticas, as condições químicas e físicas do solo, a ocorrência de pragas, doenças e plantas daninhas, as características genéticas das cultivares, entre outros. Destes fatores, o clima é o único que os produtores não podem controlar completamente, mesmo em áreas irrigadas, o que faz com que o sucesso do empreendimento agrícola esteja associado à variabilidade climática, ou seja, ao risco de ocorrência de eventos meteorológicos adversos, como veranicos, geadas, vendavais e inundações. A produtividade da soja e sua qualidade são bastante influenciadas pelas condições climáticas prevaletentes durante o ciclo da cultura, já que as adversidades climáticas irão afetar os processos metabólicos das plantas, reduzindo o crescimento, alterando a duração das fases fenológicas da cultura e prejudicando a qualidade dos grãos (tamanho e teor de proteína) (SENTELHAS et al., 2018). Sendo assim, condições climáticas adequadas ao longo do ciclo, com temperaturas moderadas, boa insolação e distribuição de chuvas regular, são de extrema importância para a obtenção de elevadas produtividade e qualidade de grãos.

A falta de chuva ao longo do ciclo ou o seu excesso na colheita são os principais fatores que afetam a produtividade brasileira de soja (MONTEIRO, 2009). A cultura da soja é predominantemente cultivada sob condições de sequeiro, apresentando uma demanda hídrica elevada, chegando a alcançar um consumo de 8 mm por dia na fase reprodutiva, tendo, assim, o regime de precipitação papel fundamental para o sucesso da cultura (SENTELHAS et al., 2015). Por outro lado, o excesso hídrico, principalmente no final do ciclo, ocasiona sérios problemas em

relação à qualidade dos grãos, já que o excesso de chuvas aumenta a umidade gerando grãos mofados, e podendo ainda, ocorrer a germinação dos grãos dentro das vagens (DEL PONTE e ESKER, 2008). Além do efeito prejudicial da chuva excessiva na qualidade dos grãos e no processo de colheita, a recorrência de dias sucessivos nublados durante a fase de enchimentos dos grãos afeta diretamente a produtividade, pela diminuição de radiação solar que reduz a taxa fotossintética, conforme relação demonstrada na Figura 1. Ainda, o excesso de umidade causado pelas chuvas propicia a ocorrência de doenças, especialmente a ferrugem asiática da soja, o principal problema fitossanitário para a cultura (HARTMAN et al., 1999).

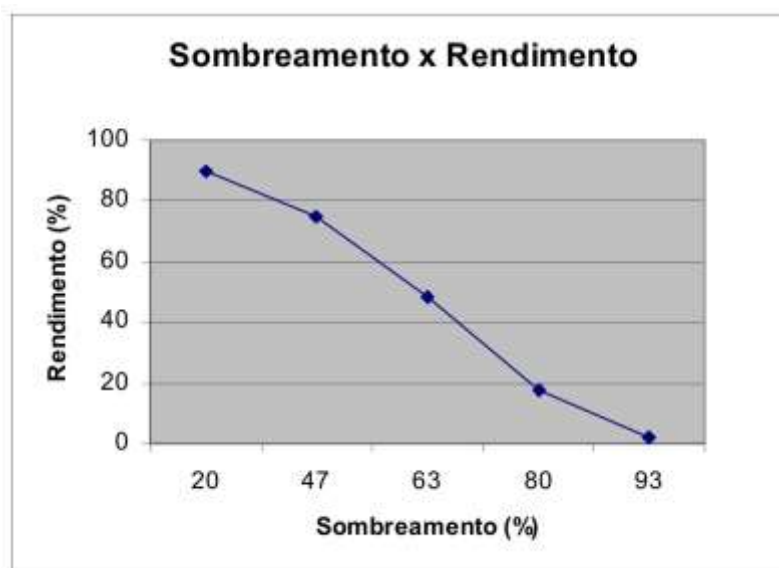


Figura 1 - Relação entre o rendimento relativo da cultura da soja e níveis percentuais de sombreamento.

Fonte: FARIAS, NEPOMUCENO e NEUMAIER (2007) (adaptado de Wahua e Miller, 1978)

Dada a grande influência das condições climáticas na cultura da soja, especialmente aquelas causadas pelos fenômenos adversos que reduzem a produtividade, é importante que os agricultores avaliem os riscos climáticos associados à cultura da soja em suas regiões, escolhendo, em função disso, as melhores épocas de semeadura de modo a maximizar a produtividade. Nesse sentido, estudos foram desenvolvidos com o objetivo de auxiliar no planejamento agrícola, o que resultou no zoneamento agrícola de risco climático (ZARC) (MAPA, 1996), o qual é o resultado da associação dos conhecimentos das áreas de agroclimatologia, modelagem de sistemas agrícolas e geoprocessamento.

O zoneamento agrícola de risco climático é uma ferramenta validada pela Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (EMBRAPA), criada em 1996 e transformada como política pública, onde atualmente dá suporte às políticas de crédito e seguro agrícola, possibilitando a gestão agrícola em todo o território nacional, auxiliando no planejamento do setor ao antever os riscos climáticos para diversas culturas. A aplicação desta ferramenta busca dar orientação aos produtores, indicando os períodos mais adequados de semeadura em função do ciclo da cultivar e do tipo de solo. Assim, o ZARC define o nível de risco envolvido em cada sistema de produção, delimitando as áreas para produção das culturas de modo a minimizar a interferência das secas e chuvas excessivas, consideradas como os principais eventos responsáveis pelas perdas de produtividade (GÖEPFERT et al., 1993).

Contudo, até mesmo nas melhores regiões agrícolas, há risco de ocorrência de eventos meteorológicos adversos, já que o ZARC considera como regiões de baixo risco aquelas em que há pelos menos 80% de probabilidade de sucesso das culturas, enquanto que o risco moderado-baixo considera probabilidades de sucesso da cultura entre 70% e 80% e o risco moderado-alto quando se tem entre 60% e 70% de chances da cultura ser bem sucedida. Sendo assim, os agricultores não estão totalmente livres de enfrentar problemas climáticos durante o ciclo das culturas, mesmo nas áreas de menores riscos climáticos. Caso esses eventos ocorram, há possibilidades de perdas que podem descapitalizar os produtores. Uma alternativa para se mitigar tais perdas é recorrer aos seguros agrícolas privados, por meio da cobertura de perdas sobre a produtividade esperada, reduzindo, assim, os impactos causados por eventos meteorológicos adversos, como incêndios, ventos intensos, granizo, excesso de chuvas, seca, geada e ondas de calor.

Em 2003, o governo federal sancionou a Lei nº 10.823 (BRASIL, 2003), em que criou o Programa de Subvenção ao Prêmio do Seguro Rural (PSR), com regulamentação em 2004 e início da operação apenas em 2005. Este programa foi criado com o objetivo de reduzir o prêmio do seguro pago pelos produtores rurais e incentivar o mercado de seguro agrícola privado. Entretanto, o risco de eventos meteorológicos adversos é determinado por meio de séries históricas do passado, as quais nem sempre refletem o risco que será enfrentado futuramente, especialmente se consideradas as mudanças climáticas que estão sendo prognosticadas. Com base

nisso, a hipótese deste estudo é de que sob os cenários futuros de clima, com elevação das temperaturas e alteração da quantidade e distribuição das chuvas, haverá alteração dos riscos climáticos para a cultura da soja, influenciando o seguro agrícola, em seus níveis de preço, demanda e oferta. Sendo assim, o presente estudo teve por objetivos determinar o risco climáticos para a cultura da soja nas principais regiões produtoras do Brasil nos cenários atual e futuro, a curto (2020-2059) e longo (2060-2099) prazos, e avaliar as implicações que essas alterações poderão trazer para o seguro agrícola, considerando-se condições hipotéticas no contexto da teoria microeconômica de incerteza.

2 - REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A Cultura da Soja

2.1.1. Aspectos Gerais sobre a cultura da soja

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é considerada uma das mais importantes culturas no contexto mundial e nacional. Seu primeiro registro como alimento foi há mais de 5.000 anos, sendo seu centro de origem a China, onde era cultivada pelo imperador chinês Shen-nung como uma fonte alternativa de alimentação. Atualmente, a utilização de seus grãos vem crescendo anualmente, sendo utilizados tanto como fonte de proteína na alimentação humana e animal, devido ao seu alto teor proteico (40%) (SEDIYAMA, 2009), como também na agroindústria, indústria química e, mais recentemente, como matéria-prima para produção de biodiesel (COSTA NETO e ROSSI, 2000).

Em um contexto global, a soja tem papel de destaque no agronegócio internacional, sendo o quarto grão mais produzido e consumido no mundo. Na safra de 2016/2017 foram produzidas aproximadamente 362 milhões de toneladas (FAO, 2019), ficando atrás apenas do milho, do trigo e do arroz. Os Estados Unidos ocupam a primeira posição, como o principal produtor da cultura, seguido por Brasil e Argentina, correspondendo a, respectivamente, 33,9%, 32,5% e 15,6% da produção mundial (FAO, 2019).

No Brasil, a soja é considerada a principal cultura em termos de área e volume de produção, sendo o estado do Mato Grosso o principal produtor, representando cerca de 27% da produção total do país, que atingiu o nível de aproximadamente 118 milhões de toneladas de grãos produzidos em 2018, de acordo com levantamento realizado pelo IBGE (IBGE, 2018), valorizando ainda mais o setor agrícola brasileiro, o qual possui papel primordial no desenvolvimento do país como provedor de alimentos e matérias-primas, além de contribuir com a geração de empregos, demandando mão-de-obra e fomentando o mercado interno e externo com a elevação nos níveis de exportação (BUAINAIN e GARCIA, 2015; MARANHÃO e VIEIRA FILHO, 2016).

No entanto, com o desenvolvimento de novas tecnologias e cultivares de alta performance, o cultivo de soja vem se expandindo cada vez mais para regiões antes consideradas sem aptidão agrícola para tal, como por exemplo, a região do “MATOPIBA”, que compreende o bioma Cerrado no sul do Maranhão, norte do Tocantins, sul do Piauí e oeste baiano. Nessa região, os níveis de produtividade eram pouco expressivos até meados dos anos 2000, a partir de quando começou a aumentar devido ao aprimoramento de técnicas de manejo do solo e do cultivo, além do melhoramento genético das cultivares adaptando-as para tais ambientes. Isso fez com que a região do MATOPIBA contribuísse com aproximadamente 11% do total de grãos de soja produzidos no Brasil na safra 2017/2018 (CONAB, 2018).

2.1.2. Fases fenológicas da cultura da soja

Conforme a classificação proposta por Fehr & Caviness (1977), a cultura da soja é dividida em duas principais fases, vegetativa (V) e reprodutiva (R).

Na fase vegetativa, ocorrem os estádios iniciais de emergência da planta (VE) e o surgimento das primeiras folhas, este chamado de cotilédone (VC) e até a abertura de todos os nós (V2-VN), antes da reprodução.

A fase reprodutiva se inicia a partir da floração, a qual compreende quatro estádios de desenvolvimento reprodutivo da planta, o florescimento (R1 e R2), seguido pelo desenvolvimento da vagem (R3 e R4), desenvolvimento do grão (R5 e R6) e de maturação (R7 e R8).

O conhecimento da fenologia da soja é de suma importância no contexto da determinação do risco climático da cultura uma vez que existem fases mais suscetíveis às condições meteorológicas adversas. De acordo com FARIAS et al. (2007), as fases mais sensíveis ao déficit hídrico ou redução da insolação, são as compreendidas entre R1 e R6, quando se define o número de vagens por planta e o número de grãos por vagem.

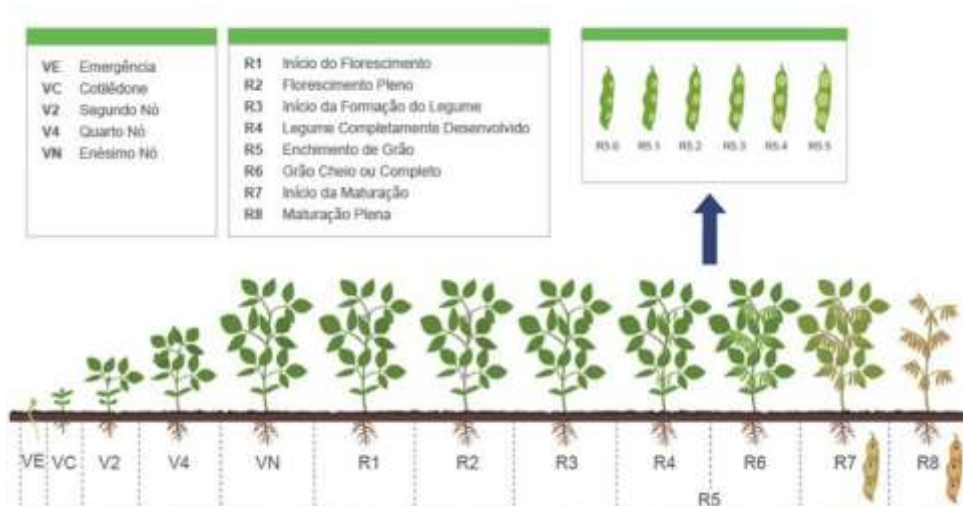


Figura 2 - Fases fenológicas da cultura da soja.

Fonte: FEHR, CAVINESS (1977)

2.1.3. Variáveis meteorológicas que afetam a produtividade da soja

Previamente ao início de um plantio, os produtores devem avaliar a aptidão do local, tanto em termos do tipo de solo como das condições climáticas que predominam neste, de modo que os mesmos sejam propícios para o desenvolvimento da cultura desejada para que propicie o estabelecimento de planejamento agrícola adequado (MEIRELES, 2007). Entre as variáveis que interferem no planejamento agrícola, existem muitas que estão além do controle dos produtores e são grandes os desafios a serem enfrentados, como é o caso os fatores climáticos. Dentre os fatores climáticos que afetam a produtividade da soja, é possível elencar como os principais a radiação solar, a temperatura do ar, o fotoperíodo e a chuva (SENTELHAS et al., 2018, DEL PONTE e ESKER, 2008).

O conhecimento da resposta da cultura da soja às variações das condições climáticas permite a avaliação de distintas estratégias de manejo da cultura, como a escolha da melhor data de semeadura, da cultivar, do local de cultivo, assim como das demais ações do manejo, como o controle de pragas e doenças, já que o clima de uma região não pode ser alterado, o que faz com que o sistema de cultivo tenha que ser adaptado ao ambiente de produção por meio do planejamento estratégico (SENTELHAS et al., 2018). Posteriormente, essas estratégias poderão ser ajustadas por meio das tomadas de decisão, ações essas que levam ao aumento da resiliência do cultivo, minimizando os riscos climáticos (SENTELHAS; MONTEIRO, 2009).

2.1.3.1. Radiação Solar

A radiação solar é de extrema importância no cultivo da soja, pois está diretamente relacionada aos diferentes processos associados ao crescimento e ao desenvolvimento da cultura, sendo um dos fatores mais limitantes, fornecendo energia para o processo da fotossíntese bruta da cultura (TAIZ & ZIEGER, 2004). A latitude é considerada um dos principais fatores que interferem na disponibilidade de energia solar em um determinado local ao longo do ano.

Segundo Monteith (1965), a produção de fitomassa é uma função da eficiência de conversão da radiação solar. Contudo, conforme citado por Shibles e Weber (1965), o índice de área foliar e o coeficiente de extinção de luz são os fatores que mais afetam a interceptação e o nível de atenuação da radiação solar, concluindo que apenas parte dessa radiação solar incidente consegue ser aproveitada pelas plantas, dependendo de seus parâmetros biológicos, físicos e geométricos. De um modo geral para a cultura da soja, a radiação solar está relacionada com a fotossíntese, alongação de haste principal e ramificações, expansão foliar, enchimento das vagens, desenvolvimento dos grãos e da fixação biológica do nitrogênio (CÂMARA, 2000). O total de fitomassa seca produzida pela soja, depende do percentual de radiação fotossinteticamente ativa interceptada e da eficiência de utilização dessa energia pelo processo fotossintético (SHIBLES & WEBER, 1965).

Devido ao fato da soja ser uma cultura do grupo C3, com menor eficiência fotossintética, em regiões com altas intensidades de radiação solar as plantas atingem o ponto de saturação luminosa, o que leva a uma diminuição da eficiência no uso da radiação (JIANG et al., 2004; ADAMS & ADAMS, 1992).

2.1.3.2. Temperatura do ar

A temperatura do ar é um dos elementos meteorológicos de maior importância no desenvolvimento da cultura da soja (BRUNINI et al., 1976). Juntamente com o fotoperíodo, a temperatura do ar é o fator moderador do ciclo das cultivares e da duração das diferentes fases fenológicas da soja (FIETZ; RANGEL, 2008), além de afetar a respiração de manutenção e a abscisão floral sob condições climáticas extremas (BONATO, 2000; FARIAS et al., 2009). Uma série de estudos

vem sendo realizados e indicam que a temperatura média do planeta à superfície vem aumentando consideravelmente nos últimos 120 anos, já tendo atingido 0,6°C a 0,7°C, tendo a maior parte deste aquecimento ocorrido nos últimos 50 anos. A última década apresentou os três anos mais quentes dos últimos mil anos da história recente da Terra.

Atualmente, existe um crescente consenso na comunidade científica de que as emissões antropogênicas dos Gases de Efeito Estufa (GEEs), principalmente o dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, CFCs e de aerossóis são consideradas responsáveis pelo aquecimento global observado nesses últimos 120 anos e não por uma eventual variabilidade natural do clima. (ASSAD et al., 2008)

2.1.3.3. Fotoperíodo

A influência do fotoperíodo sobre o desenvolvimento da soja é variável entre as cultivares, ou seja, cada cultivar possui um fotoperíodo crítico, acima do qual, o florescimento é atrasado. Por isso a soja é considerada uma planta de dias curtos (FARIAS et al., 2009). Plantas de dias curtos, são aquelas induzidas ao florescimento quando a duração do dia é menor do que o seu fotoperíodo crítico. Quando a duração do dia é maior do que o fotoperíodo crítico, as plantas não recebem o estímulo ambiental para florescer e continuam no período vegetativo.

Portanto o manejo do fotoperíodo e temperatura, por meio da escolha da cultivar e da data de semeadura é preponderante para o sucesso na produção de soja (RODRIGUES et al., 2006).

2.1.3.4. Chuva

A chuva é uma variável meteorológica de suma importância para a cultura da soja, considerando-se que esta é preponderantemente cultivada no Brasil sob condições de sequeiro. Assim, a regime pluviométrico (quantidade e distribuição), juntamente com a evapotranspiração da cultura, definem o balanço hídrico da cultura, que por sua vez define a disponibilidade de água no solo para a mesma. De acordo com Sentelhas et al. (2015), a baixa disponibilidade água no solo e o déficit hídrico resultante desta ao longo do ciclo da cultura são os fatores que mais penalizam a

produtividade da soja no Brasil (SENTELHAS et al., 2015), principalmente quando esse déficit ocorre na fase reprodutiva. A baixa disponibilidade hídrica reduz o potencial hídrico das plantas, o que estimula processos que levam à redução da transpiração, como o fechamento dos estômatos (GILBERT et al., 2011), a mudança do ângulo de exposição das folhas aos raios solares e a ocorrência de senescência (CASAROLI et al., 2007), condições que reduzem a absorção do CO₂, a taxa de fotossíntese (KAO; FORSETH, 1992) e, conseqüentemente, a produtividade da cultura.

2.1.4. Requerimentos climáticos da cultura da soja

2.1.4.1. Temperatura

A temperatura do ar afeta diversos processos na cultura da soja, dentre os quais a duração do ciclo, uma vez que ela interfere na velocidade das reações metabólicas da planta. Para que uma determinada fase de desenvolvimento da cultura da soja se conclua é necessário que as plantas acumulem uma certa quantidade de energia expressa em termos da temperatura do ar acima da temperatura basal da cultura, ou seja, graus-dias. Apesar de haver distinção entre os processos fisiológicos da soja relacionados à temperatura e ao fotoperíodo serem distintos, é a interação deles que define a duração do ciclo de uma dada cultivar (SENTELHAS et al., 2018). Nas regiões produtoras situadas a baixas latitudes, como no Maranhão, Piauí e Pará, onde o fotoperíodo está sempre abaixo do valor crítico das cultivares de soja, as fases fenológicas e a duração do ciclo da cultura são, basicamente, controladas pelo acúmulo de graus-dias. Por outro lado, nas latitudes mais elevadas, a duração das fases fenológicas e do ciclo são controladas pela interação entre os graus-dias e o fotoperíodo do ambiente.

Regiões com temperaturas menores do que 10°C ou maiores do que 40°C durante o ciclo da soja são impróprias ao cultivo desta cultura, uma vez que baixas temperaturas limitam o crescimento e o desenvolvimento das plantas, e as altas temperaturas promovem a abscisão de flores e vagens, reduzindo o potencial produtivo da cultura, especialmente quando as altas temperaturas veem acompanhadas da ocorrência de déficit hídrico. A faixa ideal de temperatura do ar para o crescimento e desenvolvimento da soja situa-se entre 20°C e 30°C (FARIAS et

al., 2009, EMBRAPA, 2011), porém ainda pode haver altas taxas de produção de fotoassimilados até 40°C, desde que não haja restrição hídrica para a cultura (BOOTE et al., 1998).

2.1.4.2. Fotoperíodo

O ciclo da cultura da soja, assim como a duração das suas diferentes fases de desenvolvimento, é determinado pela interação entre a temperatura do ar e o fotoperíodo do ambiente (FIETZ; RANGEL, 2008). As cultivares de soja apresentam distintas sensibilidades ao fotoperíodo, uma vez que existem diferentes fotoperíodos críticos para a ocorrência do florescimento. A soja é uma planta de dia curto, respondendo quantitativamente e não absoluta ao fotoperíodo do ambiente, ou seja, o florescimento ocorre de qualquer maneira, porém mais rapidamente se o fotoperíodo do ambiente for menor que o fotoperíodo crítico requerido pela cultivar (FARIAS et al., 2009).

A definição dos grupos de maturação da soja, que varia de 0 a 10, está associada ao fotoperíodo crítico de cada material genéticos. As cultivares dos grupos de maturação menores são recomendadas para as maiores latitudes, enquanto que as dos grupos de maturação maiores são utilizadas em baixas latitudes (BOOTE et al., 2003). Basicamente, os grupos de maturação definem a precocidade do período juvenil, sendo as cultivares dos grupos de maturação maiores mais tardias, ao passo que aquelas dos grupos de maturação menores são mais precoces (MUNDSTOCK; THOMAS, 2005), o que afeta a recomendação desses genótipos para as diferentes regiões de cultivo.

2.1.4.3. Disponibilidade hídrica

A produtividade das diversas culturas agrícolas brasileiras cultivadas sob condições de sequeiro, entre elas a soja, é altamente dependente da disponibilidade de água no solo, a qual, por sua vez, é o resultados da interação das características do solo (capacidade de água disponível), da cultura (fase fenológica, índice de área foliar e profundidade do sistema radicular) e do clima (radiação solar, temperatura do ar, umidade do ar, velocidade do vento e chuva), definindo as condições de balanço

hídrico da cultura, ou seja, os períodos com a ocorrência de estiagens durante as diferentes fases da cultura (ASSAD et al., 1998).

A necessidade de água na cultura da soja aumenta de acordo com o crescimento das plantas, atingindo o máximo durante a fase reprodutiva (floração e enchimento de grãos), a mais sensível à falta de água, quando a evapotranspiração máxima da cultura chega a atingir entre 7 mm e 8 mm por dia, de acordo com a Figura 3 (FARIAS, NEPOMUCENO, NEUMAIER, 2007). A ocorrência de déficits hídricos durante as fases críticas da cultura da soja, entre R1 e R6, acarreta em distúrbios fisiológicos, como o abortamento de vagens e a produção de grãos de pequeno tamanho e em menor número (SENTELHAS et al., 2018).



Figura 3 - Evapotranspiração máxima diária ao longo do ciclo da cultura da soja.

Fonte: FARIAS, NEPOMUCENO, NEUMAIER (2007)

2.2. Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC)

O Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) tem como base a integração de modelos de simulação de crescimento e desenvolvimento de culturas, bases de dados de clima e solo, técnicas de análise de decisão e ferramentas de geoprocessamento (CUNHA; ASSAD, 2001). Por meio do levantamento de dados climáticos históricos, realiza-se a simulação do balanço hídrico para uma análise do risco de déficit hídrico para as culturas. Os balanços hídricos são calculados para períodos de 10 dias, chamados decêndios, realizado de forma comum para mais de

40 culturas, das mais tradicionais, mais produzidas e comercializadas, como milho, soja e café, até para as culturas mais exóticas (MONTEIRO, 2009), permitindo indicar ao produtor, o melhor local e o período mais apropriado para o cultivo de determinada cultura, nas diferentes regiões brasileiras, além de relacionar os tipos de cultivares mais adequados para cada uma delas e as fases mais sensíveis das culturas, minimizando as perdas agrícolas (ASSAD et al., 2007).

A metodologia empregada no ZARC leva em conta elementos que influenciam diretamente no desenvolvimento da planta e, conseqüentemente, na produtividade da cultura, tais como temperatura, chuva, umidade relativa do ar, água disponível no solo e demanda hídrica da cultura. No entanto, a principal variável empregada no ZARC é o índice de satisfação da necessidade de água (ISNA), o qual expressa a evapotranspiração relativa, ou seja, a razão entre a evapotranspiração real da cultura da soja (E_{Tr}), em função da disponibilidade de água no solo, e a evapotranspiração máxima da cultura (E_{Tc}), durante a fase crítica desta (MONTEIRO, 2009). Ainda de acordo com MONTEIRO (2009), os níveis de ISNA admitidos como toleráveis pelas culturas variam de 0,55 a 0,65, o que representa que as culturas para expressarem boas produtividades podem tolerar déficits hídricos relativos ($1 - E_{Tr}/E_{Tc}$) da ordem de 0,35 a 0,45. Para que uma época de semeadura seja considerada de baixo risco, a mesma deverá ter pelo menos 80% dos anos da série histórica analisada com ISNA maior ou igual ao limiar da cultura (0,55 a 0,65). Caso essa probabilidade esteja entre 70 e 80%, o risco será considerado moderado-baixo, enquanto que valores entre 60 e 70% indicam risco moderado-alto. Caso a probabilidade do ISNA fica abaixo de 60%, o risco é considerado alto e os plantios nessa região/época de semeadura não são recomendados.

Assim, os produtores que seguirem as indicações do ZARC passam a ter acesso aos benefícios do Programa de Subvenção ao Prêmio do Seguro Rural (PSR) e facilidades na concessão de financiamentos do crédito rural junto as instituições financeiras, já que essas instituições terão a garantia de que os riscos climáticos associados à cultura segurada e/ou financiada serão mínimos. Esse sistema de zoneamento de risco foi pioneiro a nível mundial, servindo hoje de exemplo para outros países do mundo.

2.3. Seguro Agrícola

2.3.1. Teoria Microeconômica de Incerteza – Seguros

O risco, ou incerteza, fazem parte da vida dos indivíduos e com isso, para cada decisão tomada existe, um risco atrelado (VARIAN, 2006; PINDYCK & RUBINFELD, 2013). Por meio da teoria microeconômica de incerteza, abordada por Varian (2006) e Pindyck e Rubinfeld (2013), pode-se definir a relação entre o nível de risco de perda climática e o valor do seguro (prêmio). Desse modo, os indivíduos avessos ao risco estarão dispostos a fazer seguros mediante o pagamento de um prêmio às seguradoras e recebendo uma compensação de suas perdas, permitindo ao indivíduo igualar sua renda em caso da ocorrência de sinistro (Rothschild e Stiglitz, 1976).

De acordo com Ozaki (2008) e exemplificando a teoria microeconômica para o setor agrícola, define-se que cada produtor agrícola possui uma renda (W), a qual está condicionada às possíveis perdas (d). Considerando estados da natureza, e que para a análise do seguro existem apenas dois, o de ocorrer uma perda com probabilidade ω , em que define-se a renda por $W_1 = W - d$, e em caso de não ocorrência do prejuízo com probabilidade $1 - \omega$, o produtor mantém sua renda em W .

Por meio desta análise, pode-se relacionar a contratação do seguro pelo pagamento de um prêmio (P), o valor de indenização recebido (I), a renda final do produtor e as probabilidades de ocorrência de ambos os estados de natureza conforme o racional apresentado abaixo, para a renda final do produtor para cenários com e sem seguro agrícola e probabilidades de ocorrência de perdas (Ozaki, 2008):

a) Sem seguro

$$W_1 = W \rightarrow \text{não ocorrem perdas com probabilidade } 1 - \omega$$

$$W_2 = W - d \rightarrow \text{ocorrem perdas com probabilidade } \omega$$

b) Com seguro

$$W'_1 = W - P \rightarrow \text{n\~{a}o ocorrem perdas com probabilidade } 1 - \omega$$

$$W'_2 = W - P - d + I \rightarrow \text{ocorrem perdas com probabilidade } \omega$$

A partir deste racional, define-se o valor esperado da renda do produtor ao optar por adquirir o seguro agrícola ou se manter sem proteção (Ozaki, 2008):

a) Sem seguro

$$\bar{W} = (1 - \omega)(W) + \omega(W - d) \rightarrow \bar{W} = W_1 - \omega d$$

E a utilidade esperada como:

$$U(\bar{W}) = (1 - \omega) U(W_1) + \omega U(W_2)$$

a) Com seguro

$$\bar{W}_s = (1 - \omega)(W - P) + \omega(W - P - d + I) \rightarrow \bar{W}_s = (1 - \omega)(W'_1) + \omega(W'_2)$$

E a utilidade esperada como:

$$U(\bar{W}_s) = (1 - \omega) U(W'_1) + \omega U(W'_2)$$

A decisão do produtor em contratar o seguro agrícola será assertiva quando sua utilidade esperada com a contratação do mesmo for igual ou superior  sua utilidade esperada sem a sua contratação (Ozaki, 2008).

2.3.2. *Importância do seguro agrícola*

Os diversos riscos naturais que ameaçam as atividades agrícolas exigem a busca por alternativas que possam minimizar os impactos destes eventos adversos. Assim, o seguro agrícola desponta como uma ferramenta essencial para desenvolvimento e adoção de tecnologias, além de garantir estabilidade financeira no

agronegócio, reduzindo o êxodo rural e dívidas dos empréstimos de produtores (BRISOLARA, 2013).

2.3.3. Seguro agrícola no mundo

Ao contrário do que possa parecer, a demanda por seguros agrícolas pelos agricultores é relativamente baixa em quase todo o mundo, com exceção dos Estados Unidos, onde essa modalidade alcançou um grande sucesso (OZAKI, 2005). Contudo, este processo exigiu um prazo muito longo, de algumas décadas, sendo muito dispendioso e precisou, de forma determinante, da participação efetiva do Estado para reduzir a desconfiança dos produtores e das empresas agrícolas (GUIMARÃES e NOGUEIRA, 2009).

Desde a década de 1930, os Estados Unidos vêm desenvolvendo medidas para apoio ao seguro agrícola, porém, somente a partir da década de 90, houve um aumento expressivo das áreas rurais seguradas, quanto então o seguro foi definitivamente incorporado à política agrícola norte-americana (OZAKI, 2005). Atualmente, o seguro agrícola é praticamente uma obrigação por parte dos agricultores americanos, onde mais de 90% das lavouras possuem seguro (Sistema Nacional de Agricultura (SNA) (Agroanalysis, 2019).

Sendo assim, os países que visam utilizar esse instrumento em sua política agrícola, como o caso do Brasil, precisam avaliar os requisitos para o seu sucesso e aos resultados e estarem atentos para possíveis problemas gerados por conta de sua massificação, visto que na maioria dos países onde o seguro agrícola se encontra mais desenvolvido é comum a presença do Estado, atuando diretamente como segurador e/ou subsidiando prêmios e despesas operacionais das seguradoras, de forma a aumentar a atratividade tanto para as seguradoras como para os produtores rurais (GUIMARÃES; NOGUEIRA, 2009). No entanto, essa possibilidade pressupõe uma forte capacidade fiscal, condição esta encontrada, na maioria das vezes, apenas em países desenvolvidos, a exemplo do caso americano (GUIMARÃES e NOGUEIRA, 2009).

2.3.4. Seguro agrícola no Brasil

A partir de 1954, através da Companhia Nacional do Seguro Agrícola, o seguro agrícola brasileiro passou a ganhar escala expressiva. Nos meados dos anos 90, outras seguradoras tentaram, sem sucesso, ingressar no setor agropecuário brasileiro, um dos principais problemas enfrentados eram os preços elevados negociados, inibindo sua difusão no mercado (OZAKI e CAMPOS, 2017).

Uma década após, em 2003, o governo federal através da Lei nº 10.823 (BRASIL, 2003), cria o Programa de Subvenção ao Prêmio do Seguro Rural (PSR) com o objetivo de reduzir o prêmio do seguro pago pelos produtores rurais e incentivar a demanda no mercado de seguro agrícola privado.

O Programa de Subvenção do Prêmio do Seguro Rural (PSR) foi criado como uma fonte de apoio aos produtores rurais na proteção de suas lavouras contra eventos meteorológicos adversos (OZAKI, 2010). Por meio da subvenção econômica ao prêmio do seguro rural, o Governo Federal apoia financeiramente produtores que contratarem essa modalidade de garantia, arcando com parcela dos custos de aquisição do seguro. O percentual de subvenção pago pelo Governo Federal varia de 30% a 35% de acordo com as prioridades da política agrícola formulada pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). As modalidades de seguro rural amparadas pelo PSR são: agrícola; pecuária; florestal e aquícola (MAPA, 2018).

De acordo com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2017, através de seu Programa de Subvenção ao Prêmio do Seguro Rural (PSR)), o número de apólices de seguro agrícola contratadas por produtores rurais passou de 21 mil para 95 mil, aproximadamente, entre os anos de 2006 e 2019 (Figura 4).

Analisando esses números e destacando as apólices contratadas apenas para a soja, neste mesmo período, saímos do patamar inicial de 18 mil contratos para 39 mil, representando um crescimento de aproximadamente 220%, conforme demonstrado na Figura 5.

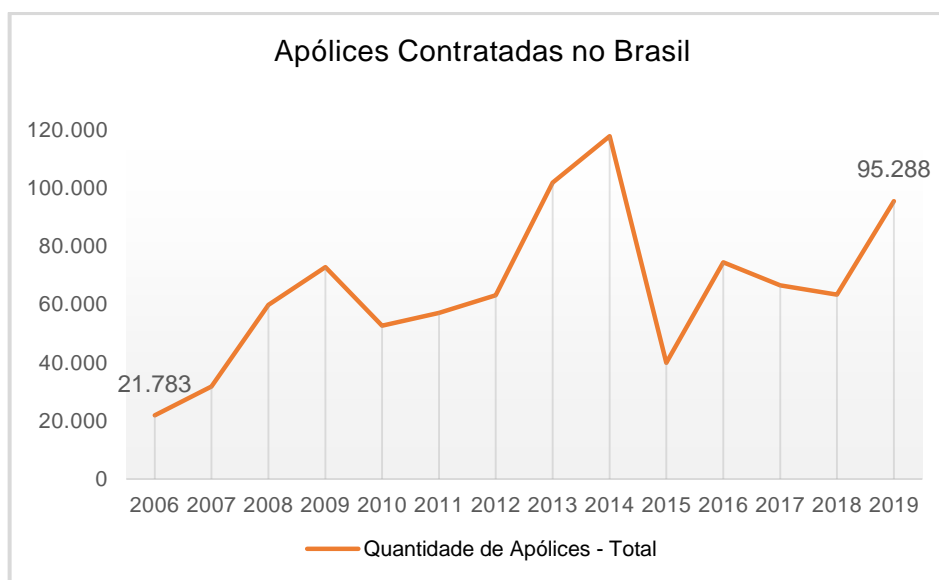


Figura 4 - Número de apólices de seguro agrícola contratadas por ano no Brasil para todas as culturas agrícolas.

Fonte: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – Programa de Subvenção ao Prêmio do Seguro Rural (PSR). Elaboração: Própria

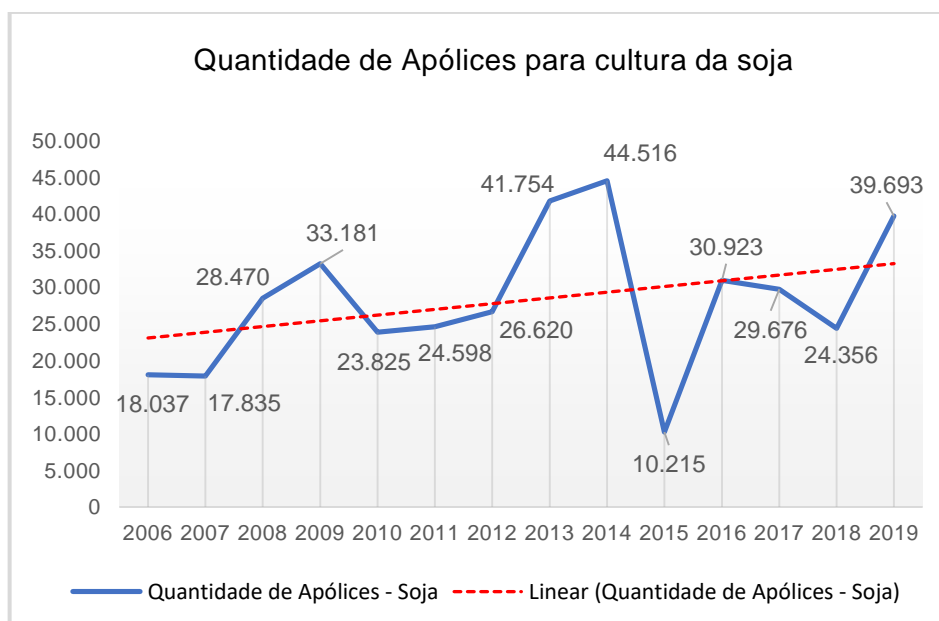


Figura 5 - Número de apólices de seguro agrícola contratadas por ano no Brasil para a cultura da soja.

Fonte: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – Programa de Subvenção ao Prêmio do Seguro Rural (PSR). Elaboração: Própria

Referenciando os eventos causadores dos sinistros, de acordo com os dados informados pelo MAPA (2018), a seca, com 4.773 apólices indenizadas, e o excesso de chuvas, com 508 apólices indenizadas, foram os principais eventos

Ao compararmos o Brasil a outros países agrícolas do mundo, fica evidente a falta de difusão do seguro agrícola (Agroanalysis, 2007). O mercado de seguros brasileiro apresenta um grande potencial a ser explorado, porém se faz necessário um esforço conjunto das áreas governamental, através de políticas, subvenções e resseguro, privada (seguradoras, resseguradores, agentes financeiros e produtores) e acadêmica na realização de estudos, de modo a se definir o modelo ideal de proteção para as lavouras e garantir o sucesso desse ramo do seguro.

2.4. Mudanças climáticas e seus impactos na agricultura

De um modo geral, todos os modelos climáticos globais ou regionais, apesar de algumas variações, apresentam projeções de clima futuro mais quente para o Brasil. Por outro lado, para os cenários de chuva não há uma definição exata do que possa vir a ocorrer no futuro, havendo, porém, indícios de aumento em algumas regiões e redução em outras (AMBRIZZI et al., 2007; MARENGO, 2009; PBMC, 2013; TORRES e MARENGO, 2013; CHOU et al., 2014; REBOITA et al., 2014; SÁNCHEZ et al., 2015), o que deverá afetar negativamente a maioria das culturas agrícolas. No caso da concentração de CO₂, gás fonte primária de carbono para a fotossíntese e responsável pela produção vegetal, espera-se que a sua elevação aumente as taxas de crescimento das culturas, resultando em maiores potenciais produtivos (STRECK, 2005; MARTINEZ et al., 2015). Por outro lado, maiores [CO₂] deverão causar redução da transpiração em função da menor abertura dos estômatos (LEAKEY, 2009; SILVA et al., 2012b), além de aumento das produtividades (JALOTA; RAY E PANIGRAHY, 2009). Apesar dessas abordagens serem plenamente justificáveis, diferentes respostas são esperadas em relação à elevação da [CO₂] entre as plantas com metabolismo fotossintético C3 e C4 (GRAY e BRADY, 2016).

Ao se considerar o aumento da temperatura do ar, os efeitos benéficos do aumento na [CO₂] sobre a produtividade agrícola poderá ser minimizado ou até

mesmo anulado, em decorrência do encurtamento do ciclo e devido ao aumento nos gastos energéticos das plantas com a respiração de manutenção (STRECK, 2005).

Estudo realizado pela EMBRAPA (1997), com base em relatório do IPCC publicado em 1995, mostrou que, se mantido o calendário atual de semeaduras do ZARC, as mudanças climáticas (com aumento de até 5,8°C) poderá reduzir a área de soja com baixo risco climático em até 60%, conforme ilustrado na Figura 6.

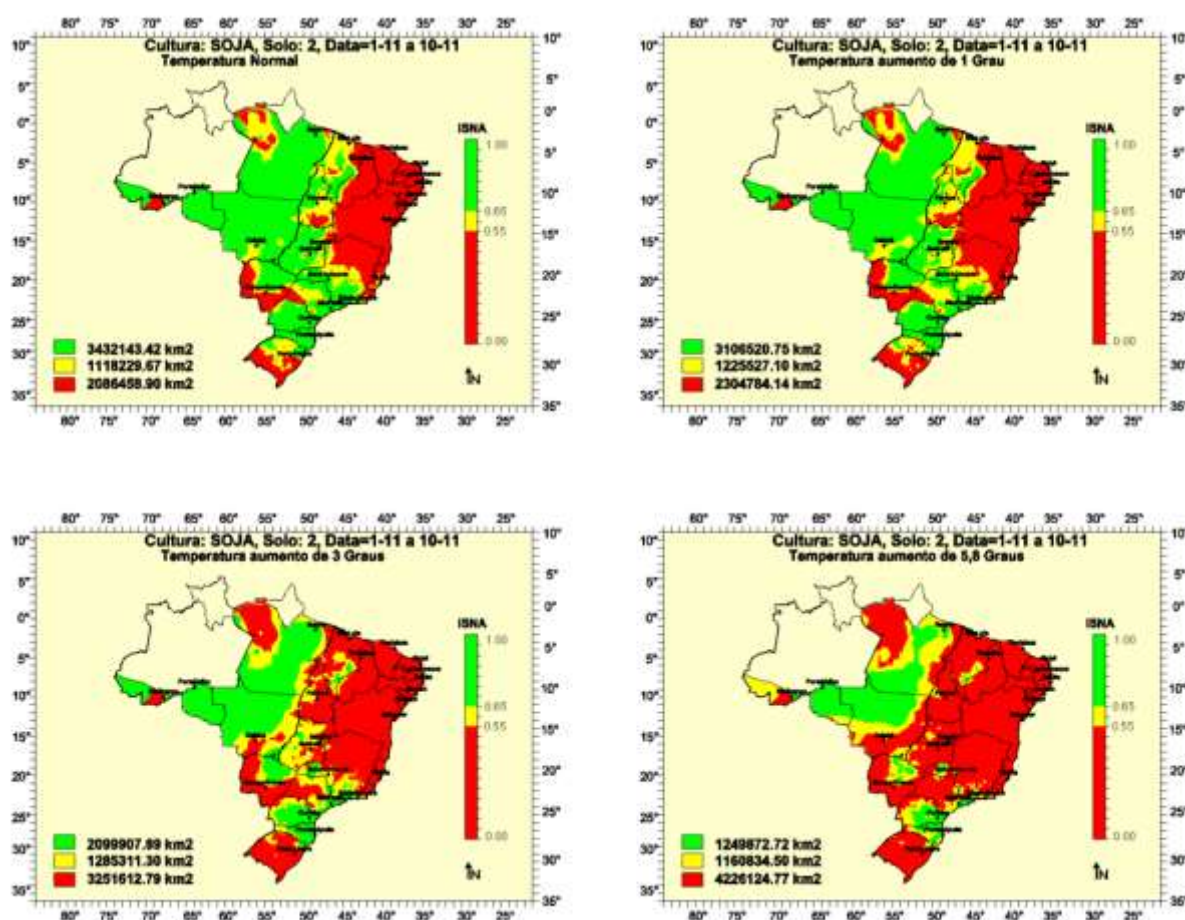


Figura 6 - Impacto de cenários de mudanças de temperatura para cultivo de soja no Brasil, para solo de textura média e época de semeadura primeiro decêndio de novembro.

Fonte: Sistema de Monitoramento Agrometeorológico - Agritempo, Estudo IPCC (1997) | Disponível em: <http://www.agritempo.gov.br/agritempo/mudancasClimaticas.jsp?lang=pt_br> Acesso em: jan. 2020.

O mesmo poderá ser observado caso haja um acréscimo de 10% nos níveis de chuva (Figura 7), sendo que as regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste serão as mais afetadas por essas possíveis mudanças. Considerando-se que essas mudanças climáticas afetam o ZARC da cultura da soja, é óbvio que essas também afetaram as

produtividades e, conseqüentemente, a forma como os agricultores, o governo e as seguradoras verão o mercado de seguros no futuro. Sendo assim, é importante que estudos sobre os impactos das mudanças climáticas no risco climático das culturas sejam realizados, de modo a balizar os agentes envolvidos em relação ao futuro que lhes aguarda.

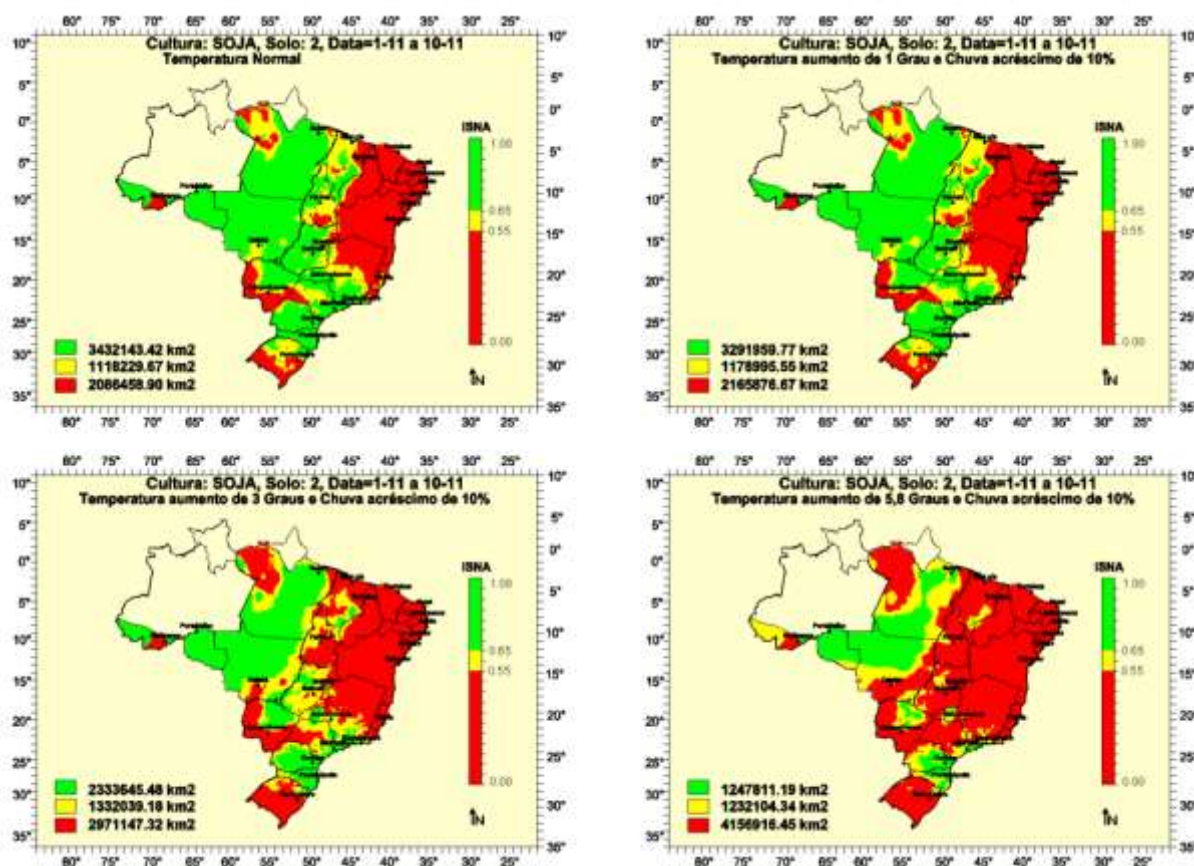


Figura 7 - Impacto de cenários de mudanças de temperatura para cultivo de soja no Brasil e acréscimo de precipitação em 10%, para solo de textura média e época de semeadura primeiro decêndio de novembro.

Fonte: Sistema de Monitoramento Agrometeorológico - Agritempo, Estudo IPCC (1997) | Disponível em: <http://www.agritempo.gov.br/agritempo/mudancasClimaticas.jsp?lang=pt_br> Acesso em: jan. 2020.

3 - MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Locais analisados

Os locais analisados neste estudo foram selecionados com base nos estados com maior participação no cultivo da soja no Brasil (Tabela 1) e por apresentarem diferentes condições edafoclimáticas (Figura 8). Esses locais representam os municípios com as maiores produções de soja em cada um de seus estados durante a safra 2017/2018 (IBGE, 2018).

Tabela 1 - Localidades empregadas neste estudo com suas respectivas coordenadas geográficas e altitudes, e quantidade produzida de grãos de soja durante a safra 2017/ 2018, de acordo com o IBGE (2018).

Município	Estado	Latitude		Longitude		Altitude	Quantidade Produzida de soja (toneladas) na safra 2017/18
Sorriso	MT	12° 40' 54"	Sul	55° 41' 58"	Oeste	399 m	2.232.000,00
Formosa do Rio Preto	BA	11° 02' 23"	Sul	45° 11' 23"	Oeste	501 m	1.653.280,00
Rio Verde	GO	17° 44' 28"	Sul	50° 55' 25"	Oeste	759 m	1.170.000,00
Maracaju	MS	21° 36' 35"	Sul	55° 10' 11"	Oeste	380 m	1.083.060,00
Baixa Grande do Ribeiro	PI	7° 50' 59"	Sul	45° 13' 11"	Oeste	359 m	635.538,00
Balsas	MA	7° 31' 47"	Sul	46° 02' 23"	Oeste	260 m	616.672,00
Tupanciretã	RS	29° 04' 47"	Sul	53° 50' 23"	Oeste	462 m	477.910,00
Paragominas	PA	3° 00' 00"	Sul	47° 20' 59"	Oeste	83 m	465.000,00
Unaí	MG	16° 21' 35"	Sul	46° 53' 59"	Oeste	594 m	422.400,00
Tibagi	PR	24° 31' 11"	Sul	50° 24' 35"	Oeste	735 m	395.625,00
Itapeva	SP	23° 58' 48"	Sul	48° 52' 47"	Oeste	690 m	341.400,00
Campos Lindos	TO	7° 58' 11"	Sul	46° 47' 59"	Oeste	291 m	213.060,00
Campos Novos	SC	27° 23' 59"	Sul	51° 13' 47"	Oeste	923 m	207.900,00
Alto Alegre	RR	3° 11' 59"	Norte	63° 23' 24"	Oeste	629 m	40.600,00
Macapá	AP	0° 02' 23"	Norte	51° 04' 12"	Oeste	13 m	38.130,00

Fonte: Elaborado pela autora, com base nos dados geográficos obtidos do sistema Google Earth e nos dados de produção do IBGE (2018).

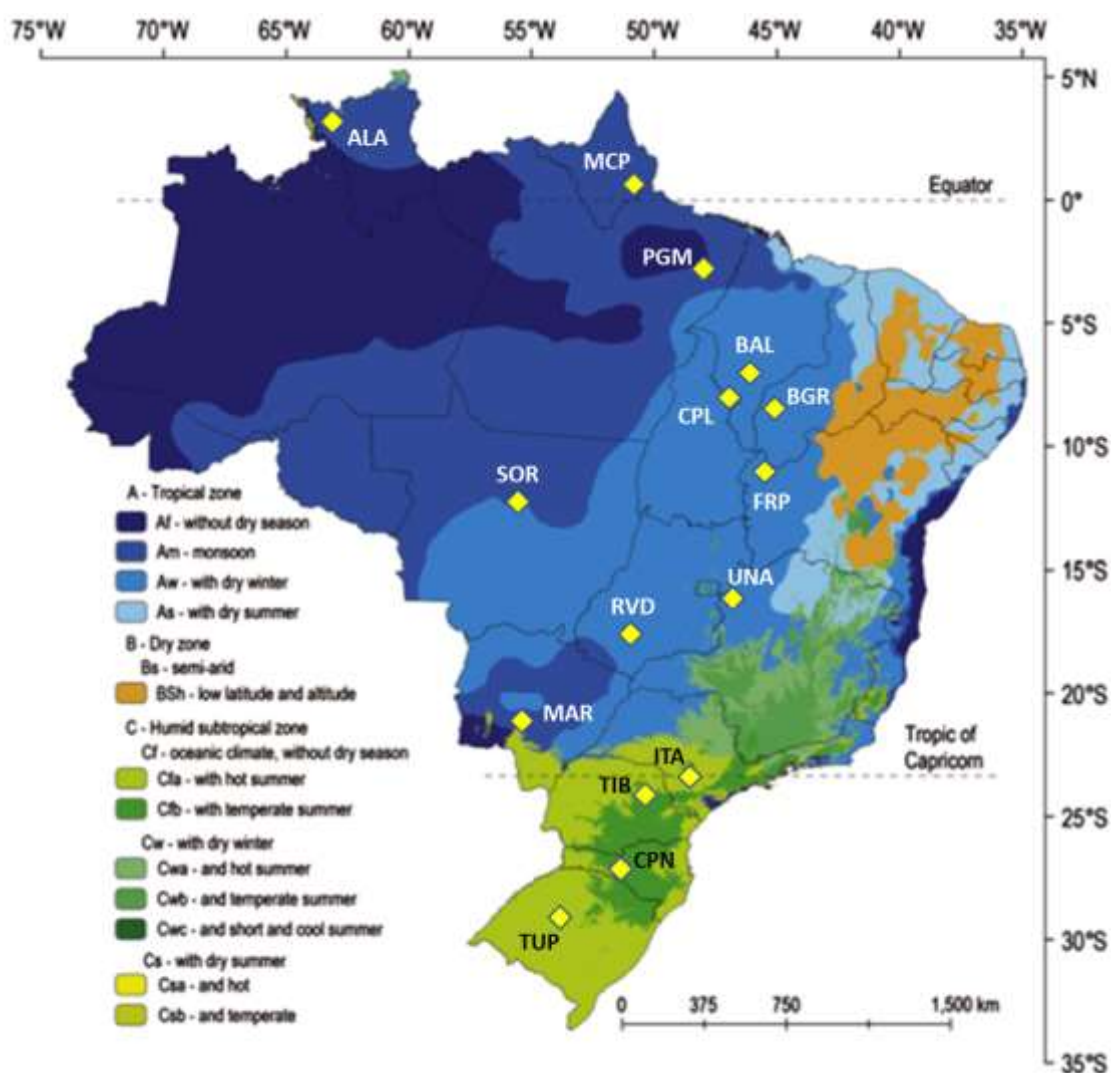


Figura 8 - Distribuição espacial das localidades produtoras de soja no Brasil empregadas no presente estudo, com suas respectivas classificações climáticas: ALA = Alto Alegre, RR; BAL = Balsas, MA; BGR = Baixa Grande do Ribeiro, PI; CPL = Campos Lindos, TO; CPN = Campos Novos, SC; FRP = Formosa do Rio Preto, BA; ITA = Itapeva, SP; MAR = Maracaju, MS; MCP = Macapá, AP; PGM = Paragominas, PA; RVD = Rio Verde, GO; SOR = Sorriso, MT; TIB = Tibagi, PR; TUP = Tupanciretã, RS; UNA = Unaí, MG. Fonte: Alvares et al. (2014).

3.2. Dados meteorológicos

Os dados meteorológicos referentes às temperaturas máxima e mínima do ar, chuva, radiação solar global e velocidade do vento, foram obtidos junto à base de dados em grid disponibilizada por Xavier et al. (2015), para o período de 1980 a 2015. Os dados do período de 2016 a 2018 foram obtidos pela interpolação dos dados disponíveis em cada região, usando os mesmos procedimentos empregados por Xavier et al. (2015), sendo esses fornecidos pelo Sistema Agrymax, da empresa Agrymet. Esses dados foram obtidos na escala diária e, posteriormente, transformados em dados decendiais, resultando em 36 decêndios por ano, sendo que

cada mês continham três decêndios (decêndio 1 = do 1º ao 10º dia; decêndio 2 = do 11º ao 20º dia; e decêndio 3 = do 21º ao último dia do mês). Os dados de radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa e velocidade do vento foram organizados de modo possibilitar a estimativa da evapotranspiração potencial (ETP) por meio do método de Penman-Monteith, parametrizado pela FAO em seu Boletim de Irrigação e Drenagem 56 (Allen et al., 1998).

3.3. Informações do solo

De acordo com Assad et al. (2001; 2007), as características físico-hídricas dos solos são fundamentais para a confecção dos zoneamentos agrícolas de risco climático, já que essas características definem a capacidade de água disponível (CAD) do solo, essencial para a confecção do balanço hídrico da cultura.

A metodologia padrão do ZARC classifica os solos brasileiros em três grandes grupos, de acordo com a textura (ASSAD et al., 2008), o que define a CAD, para a zona maior densidade radicular, a ser empregada no balanço hídrico da cultura. Solos arenosos são classificados como tipo 1, ou seja, são aqueles que possuem baixa capacidade de retenção de água. Os solos de textura média são denominados de tipo 2, tendo uma capacidade média de retenção de água, enquanto que os solos argilosos, classificados como tipo 3, são aqueles que tem alta capacidade de armazenamento de água (ASSAD et al., 2008).

Para o presente estudo foram consideradas diferentes capacidades médias de água disponível para os solos, em mm por cm de profundidade, de acordo com o seu tipo (Tabela 2). Admitiu-se uma CAD média de 0,5 mm/cm para os solos arenosos (Tipo 1), de 0,8 mm/cm para os solos de textura média (Tipo 2) e de 1,1 mm/cm para os solos argilosos (Tipo 3). Esses valores representam uma aproximação em relação à condição média para a maioria dos solos brasileiros (PEREIRA et al., 2002).

Tabela 2 - Capacidade média de água disponível (CAD) para os três grupos de solos empregados neste estudo, de acordo com Pereira et al. (2002).

Tipo de Solo	CAD média (mm/cm)
1	0,5
2	0,8
3	1,1

Fonte: Elaborado pela autora

A partir da CAD média para cada tipo de solo foram determinadas as CADs totais para cada um deles considerando-se uma profundidade efetiva do sistema radicular da soja (Z_r) de 60 cm, valor que representa a realidade das lavouras de soja no Brasil, como observado por Cardoso et al. (2006), Calonego e Rosolem (2010), Pivetta et al. (2011), Dessa forma, as CADs totais empregadas neste estudo foram: 30 mm para o solo Tipo 1; 48 mm para o solo Tipo 2; e 66 mm para o solo Tipo 3.

3.4. Dados da cultura

OS dados referentes à cultura da soja, empregados neste estudo foram a duração, em dias, das diferentes fases fenológicas e os valores do coeficiente de cultura (K_c), o qual é empregado na conversão da evapotranspiração potencial (ETP) em evapotranspiração máxima da cultura (ET_c), sendo $ET_c = ETP * K_c$.

As durações das fases fenológicas da cultura da soja foram baseadas no estudo de Comunello (2015). Este autor definiu a duração das fases fenológicas da soja tendo como base o ciclo total de 110 dias, o que representa adequadamente as cultivares empregadas nas áreas situadas no centro-norte do Brasil. Como, as áreas situadas na região mais ao sul do país tem ciclos maiores, adotou-se então um ciclo médio para todas as regiões produtoras do Brasil de 120 dias, como mostra a Tabela 3, com as fases de desenvolvimento vegetativo e reprodutiva sendo acrescidas de 5 dias em relação aos dados de Comunello (2015).

Tabela 3 - Fases fenológicas da cultura da soja com ciclo de 120 dias utilizadas neste estudo e propostas por Comunello (2015) para um ciclo de 110 dias.

Fase	Crescimento Inicial	Desenvolvimento Vegetativo	Reprodutiva	Maturação
Estádios	S-V2	V2-R1	R1-R5/R6	R6-R8
Comunello (dias)	10	20	60	20
Proposto (dias)	10	25	65	20

Fonte: Elaborado pela autora, de acordo com valores propostos por Comunello (2015)

Os coeficientes de cultivo da soja (K_c) empregados neste estudos também foram ajustados de acordo com estudo realizado por Comunello (2015), com os valores de K_c inicial, K_c Médio e K_c Final sendo, respectivamente, de 0,60; 1,50 e 0,6 (Figura 9), muito próximos dos valores empregados pelo ZARC, segundo o mesmo autor.

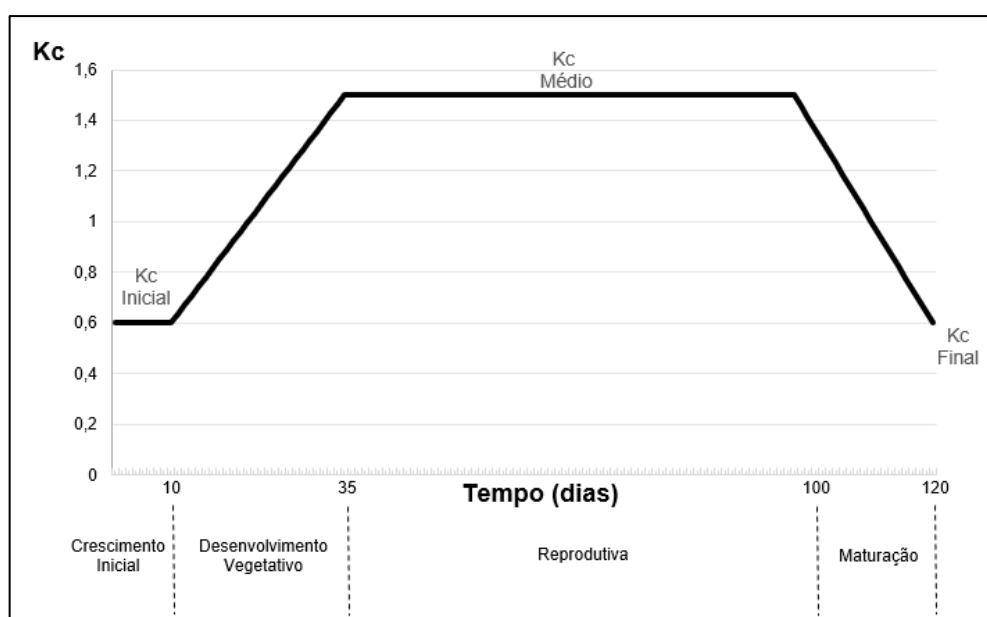


Figura 9 - Coeficiente de cultura da soja (K_c) ao longo de suas diferentes fases fenológicas.

Fonte: Elaborado pela autora, baseado em Comunello (2015)

Uma outra informação relativa à cultura da soja de extrema importância para a confecção do balanço hídrico de cultura é a definição da época de semeadura. Assim, definiu-se a época de semeadura preferencial de cada uma das 15 localidades avaliadas com base nas portarias do ZARC para a safra 2018/2019, disponíveis na página web do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Essas datas são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Datas de semeadura da cultura da soja empregadas no presente estudo para as 15 localidades analisadas e obtidas juntos ao Zoneamento de Risco Climático (ZARC) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Brasil (MAPA).

Localidade	Estado	Semeadura 1	Semeadura 2	Semeadura 3
Alto Alegre	RR	21/04	21/05	21/06
Baixa Grande do Ribeiro	PI	01/11	01/12	01/01
Balsas	MA	21/10	21/11	21/12
Campos Lindos	TO	21/10	21/11	21/12
Campos Novos	SC	21/09	21/10	21/11
Formosa do Rio Preto	BA	21/10	21/11	21/12
Itapeva	SP	01/10	01/11	01/12
Macapá	AP	01/04	01/05	01/06
Maracaju	MS	01/10	01/11	01/12
Paragominas	PA	01/12	01/01	01/02
Rio Verde	GO	11/10	11/11	11/12
Sorriso	MT	11/10	11/11	11/12
Tibagi	PR	11/09	11/10	11/11
Tupanciretã	RS	11/10	11/11	11/12
Unai	MG	21/10	21/11	21/12

Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados do ZARC/MAPA.

3.5. Cálculo do balanço hídrico da cultura da soja

Uma vez definidos os dados de chuva (P), CAD, ETP, Kc e as durações das fases fenológicas e as épocas de semeadura da soja nas diferentes localidades, procedeu com a elaboração do balanço hídrico da cultura. Para tanto, os dados diários de ETP multiplicados pelo Kc para a obtenção da ETc. Com os dados de CAD, P e ETc empregou-se o método de balanço hídrico de Thornthwaite e Mather (1955), o qual resulta nas seguintes informações: armazenamento de água no solo (ARM); armazenamento relativo de água no solo (ARM/CAD); evapotranspiração real (ETr), deficiência hídrica (DEF), excedente hídrico (EXC); e evapotranspiração relativa (ETr/ETc). As etapas do balanço hídrico de Thornthwaite e Mather (1955) são apresentadas a seguir, em que i representa o período atual e i-1 o período anterior:

1) Cálculo da chuva menos evapotranspiração da cultura: $(P-ETc)_i$;

2) Cálculo do negativo acumulado $(NAC)_i$ e do armazenamento $(ARM)_i$ simultaneamente: se $(P-ETc)_i < 0$, calcula-se o $NAC_i = (P-ETc)_i + NAC_{i-1}$ e, em seguida,

calcula-se o ARM_i , em que $ARM_i = CAD * e^{-|NAC_i|/CAD}$. Se $(P-ETc) > 0$, calcula-se primeiro o ARM_i , em que $ARM_i = ARM_{i-1} + (P-ETc)_i$, e em seguida calcula-se o NAC_i , em que $NAC_i = CAD * \ln (ARM_i/CAD)$;

3) Cálculo da alteração do armazenamento (ALT_i): $ALT_i = ARM_i - ARM_{i-1}$;

4) Cálculo da evapotranspiração real (ETr_i): quando $(P-ETc)_i \geq 0$, $ETr_i = ETc_i$. Caso $(P-ETc)_i < 0$, $ETr_i = P_i + |ALT_i|$;

5) Cálculo da deficiência hídrica (DEF_i): $DEF_i = ETc_i - ETr_i$;

6) Cálculo do excedente hídrico (EXC_i): se $ARM_i < CAD$, o excedente hídrico será igual a zero. Caso $ARM_i = CAD$, $EXC_i = (P-ETc)_i - ALT_i$.

7) Cálculo da evapotranspiração relativa (ETr/ETc), a qual varia de 0 a 1.

3.6. Cálculo do Índice de Satisfação das Necessidades de Água (ISNA)

O índice de satisfação da necessidade de água (ISNA) nada mais é do que a evapotranspiração relativa de uma dada cultura, durante os dias de seu ciclo, durante uma dada fase fenológica ou ao longo do ciclo de cultivo. Assim, o ISNA é dado pela relação entre a evapotranspiração real (ETr), determinada a partir do balanço hídrico da cultura, e a evapotranspiração máxima da cultura (ETc). De maneira resumida, o ISNA pode ser entendido como a relação entre o volume de água que a planta efetivamente consumiu e o volume necessário (ideal) imposto pelas condições meteorológicas, para atingir sua produtividade máxima.

A partir de 1996, o MAPA passou a recomendar épocas preferenciais de semeadura para diversas culturas, dentre as quais a soja, por meio do ZARC, o qual emprega o balanço hídrico da cultura (Farias et al., 2001). O método de determinação da épocas recomendáveis de semeadura das culturas anuais se baseia no ISNA ocorrido durante a fase reprodutiva das culturas, ou seja, entre o florescimento e o enchimento dos grãos, período considerado crítico para a cultura em termos de sua sensibilidade ao déficit hídrico, uma vez que esse déficit se constitui no principal fator

limitante para a obtenção de altas produtividades, como observado para a cultura da soja no Brasil (FARIAS, et al., 2005; SENTELHAS ET AL., 2015).

Como já mencionado no item anterior, a ETr é obtida pelo balanço hídrico da cultura, o qual tem como dados de entrada a chuva, a ETP e a CAD, obtendo-se assim, entre outras variáveis, a ETr. Com dados das séries históricas de 1980 a 2018, foram calculados os balanços hídricos da cultura da soja para cada época de semeadura e para um ciclo de 120 dias, tendo o período reprodutivo 65 dias (Tabela 4), gerando, assim, 39 safras. No total, foram efetuadas 5355 simulações gerando seus respectivos valores de ISNA para a fase crítica da soja, considerando-se 39 safras para o cenário atual (1980-2018) e 40 safras para dois cenários futuros (2020-2059 e 2060-2099), três épocas de semeadura e 15 locais.

3.7. Cenários de mudanças climáticas

Neste estudo foram utilizados os cenários de clima presente provenientes da base de dados do Xavier et al (2015) e futuro regionalizados pelo MCR Eta forçado com o modelo do sistema terrestre HadGEM2-ES (CHOU et al., 2014; ROCHA et al., 2019), compondo o que se conhece como Eta-HadGEM2-ES. Para o clima presente, correspondendo ao período de 1980 a 2018, a concentração de dióxido de carbono foi mantida constante, a 330 ppm. Para o clima futuro, as integrações numéricas foram executadas em dois períodos: 2020-2059 e 2060-2099, utilizando-se o cenário de emissões RCP 8.5, proveniente do Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2013), e o cenário presente já mencionado. Os cenários de emissão de gases de efeito estufa (GEE) são baseados no forçamento radiativo antropogênico total ao final do século XXI. Os modelos de desenvolvimento socioeconômicos podem assumir diferentes trajetórias que convergirão em quatro forçantes radiativas distintas, equivalentes às concentrações dos GEE denominados *Representative Concentration Pathway* (RCP). Os quatro diferentes cenários são denominados como: RCP 8.5, RCP 6.0, RCP 4.5 e RCP 2.6, que correspondem às forçantes radiativas de 8.5 Wm^{-2} , 6.0 Wm^{-2} , 4.5 Wm^{-2} e 2.6 Wm^{-2} , respectivamente. O primeiro RCP (8.5) é o mais pessimista e resulta em um aquecimento médio global de aproximadamente 4°C ao final do século XXI.

Uma vez gerados os cenários futuros de clima, esses foram empregados na confecção dos balanços hídricos da cultura da soja, a partir dos quais se obteve os valores de ISNA para a fase crítica da cultura da soja. Neste caso, considerou-se que não houve efeito do aumento da temperatura no ciclo da soja, mantendo-se este constante e com a fase crítica ocorrendo no mesmo período dos anos simulados para o cenário atual.

3.8. Avaliação do risco climático para a cultura da soja

Para definição de risco climático para a soja adotou-se o ISNA médio da fase crítica da cultura (fase reprodutiva), a qual corresponde a um período de 65 dias entre as fases R1 e R5/R6 (Tabela 3). O valor limite de ISNA para a soja foi similar ao empregado pelo ZARC e apresentado na Portaria Nº 71 de 11 de julho de 2019 pelo MAPA. Assim, de acordo com este limite de ISNA, as épocas de semeadura, em cada um dos anos agrícolas (safras), foram categorizadas como: favoráveis – $ISNA \geq 0,65$; intermédias – $0,55 \leq ISNA < 0,65$; desfavoráveis – $ISNA < 0,55$.

Uma vez categorizada cada uma das épocas de semeadura, de cada safra e cada local, passou-se à determinação do risco climático propriamente dito. Assim, definiu-se como baixo risco quando uma dada época de semeadura de um local apresentava pelo menos 80% dos anos (safras) com condição favorável, ou seja, $ISNA \geq 0,65$. Quando a probabilidade de $ISNA \geq 0,65$ se encontrava entre 70 e 79%, o risco foi classificado como médio e quando esse valor era menor do que 70% o risco foi definido como alto. Esse procedimento foi aplicado para cada local e considerando-se os três cenários climáticos: atual – de 1980 a 2018; futuro de curto prazo – de 2020 a 2059; e futuros de longo prazo – de 2060 a 2099.

3.9. Análise das implicações das mudanças climáticas no valor do seguro agrícola

Por meio do uso da teoria microeconômica de incerteza, abordada na revisão bibliográfica deste trabalho, relacionou-se como as mudanças climáticas poderão impactar o valor do seguro agrícola para a cultura da soja. Para tanto, de maneira teórica definiu-se, primeiramente, que a hipótese alternativa sobre a função de utilidade será equivalente a raiz quadrada da riqueza do produtor agrícola, $U =$

\sqrt{W} , que assim como a função logarítmica neperiana, $U = \ln W$, representam funções clássicas da teoria microeconômica capazes de captar o comportamento médio dos indivíduos de serem avessos ao risco.

Posteriormente, assumiu-se que a riqueza média (W) é definida pelo lucro médio do produtor. Para a estimativa do lucro médio foram levados em consideração o custo total de produção por hectare (CT) para cada local no ano de 2018, a produtividade média (Y) dos últimos 5 anos de cada região e o preço médio nacional da soja (Pn) para os 10 últimos anos. Com base nessas informações, o lucro médio foi dado por:

$$W = Pn \times Y - CT$$

Os valores do custo total e produtividade média foram obtidos junto à Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), em seu portal de informações agropecuárias (CONAB, 2018), enquanto que o preço médio nacional da soja foi calculado com base na série histórica divulgada pelo Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA) da ESALQ/USP, em seu banco de dados online (CEPEA, 2019).

Devido à limitação de mensuração e divulgação destes índices para alguns municípios, cinco estudos de casos foram definidos. Foram selecionados cinco localidades, sendo uma para cada região do Brasil: Sorriso, MT, representando a região Centro-Oeste; Balsas, MA, representando a região Nordeste; Tupanciretã, RS, representando a região Sul; Unaí, MG, representando a região Sudeste; e Campos Lindos, TO, representando a região Norte. Para os locais em que os dados de custo total de produção, produtividade média e preço médio da soja não estavam disponíveis, foram empregados valores de uma localidade próxima, no mesmo estado.

De modo a solucionar a questão-problema deste estudo, ou seja, o quanto mais caro ficaria o prêmio do seguro agrícola no futuro se as condições de risco aumentassem, foi necessário definir o nível de lucro esperado pelo produtor para ambos os estados de natureza, com ocorrência de perdas e sem a ocorrência delas, conforme discorrido na revisão bibliográfica (Ozaki, 2008).

Assumiu-se, portanto, que as probabilidades de ocorrência de sinistros são equivalentes aos níveis de riscos definidos anteriormente, conforme tópico 3.8. Assim, para valores de ω , foram considerados o nível de 20% para o baixo risco, o risco médio foi definido como sendo de 30% de perda e alto risco aquele acima de 40.

O nível estipulado de perda foi de 60% (d), o qual foi determinado com base no maior percentual de contratação de apólices de acordo com os indicadores do MAPA (MAPA, 2018), que demonstraram que 70% das apólices contratadas possuíam um nível de cobertura entre 60% e 69%.

O lucro esperado foi então definido como:

$$\bar{W} = (1 - \omega)(W) + \omega(W - d)$$

E a utilidade esperada como:

$$U(\bar{W}) = (1 - \omega) U(W_1) + \omega U(W_2)$$

em que:

- a) $U(W_1) = \sqrt{\bar{W}}$
- b) $U(W_2) = \sqrt{(W - d)}$
- c) $d = W \times (\%d)$

A partir do levantamento desses dados, o lucro médio do produtor e sua utilidade esperada puderam ser estipulados e comparados ao nível de lucro ideal para se atingir esta utilidade esperada:

$$\text{Lucro Ideal} = U(\bar{W})^2$$

Com base neste comparativo, chegou-se ao valor de prêmio ao qual o produtor estaria disposto a pagar para evitar qualquer perda, ou seja, o quanto ele estaria disposto a dispender para que a sua utilidade final seja igual ou superior à utilidade de se correr o risco de perda de produtividade na safra:

$$p = U(\bar{W})^2 - W$$

Este racional foi utilizado para os três cenários analisados, atual, de curto e de longo prazos. Destaca-se que os prêmios aqui estimados representam valores teóricos e não os praticados no mercado, pois o foco desta análise foi verificar o quanto mais caro o prêmio do seguro ficaria ao longo do tempo ao se realizar a comparação entre o valor teórico disposto a ser pago pelo seguro atual e o valor teórico do prêmio futuro, de curto e de longo prazos.

4 - RESULTADOS

4.1. Condições climáticas das localidades analisadas

As condições climáticas médias anuais entre as regiões analisada foram bastante distintas, considerando-se o cenário atual (Tabela 5), com as temperaturas máximas oscilando entre 23,1°C em Campos Novos, SC, e 33,1°C em Baixa Grande do Ribeiro, PI. Para as temperaturas mínimas as variações foram de 12,8°C em Campos Novos, SC, a 23,8°C em Macapá, AP. Para a chuva, as variações foram de 1037 mm/ano em Formosa do Rio Preto, BA, a 2360 mm/ano em Macapá, AP.

Tabela 5 - Valores médios anuais das temperaturas máxima e mínima do ar e da chuva total em diferentes localidades brasileiras no período de 1980 a 2018.

CENÁRIO ATUAL (1980 - 2018)			
Local	Tmax (°C)	Tmín (°C)	Chuva (mm/ano)
Alto Alegre, RR	32,5	23,0	2.051
Baixa Grande do Ribeiro, PI	33,1	21,0	1.164
Balsas, MA	32,8	21,6	1.264
Campos Lindos, TO	32,8	21,6	1.463
Campos Novos, SC	23,1	12,8	1.881
Formosa do Rio Preto, BA	32,7	19,4	1.037
Itapeva, SP	25,6	15,2	1.457
Macapá, AP	31,6	23,8	2.360
Maracaju, MS	29,2	17,5	1.470
Paragominas, PA	32,4	22,5	1.834
Rio Verde, GO	30,2	17,7	1.538
Sorriso, MT	32,4	20,1	1.889
Tibagi, PR	24,5	13,4	1.605
Tupanciretã, RS	24,8	14,3	1.899
Unaí, MG	30,9	18,0	1.378

Fonte: Elaborado pela autora

Quando foram considerados os cenários futuros, gerados a partir do modelo climático Eta-HadGEM2-ES, de um modo geral, houve aumento das temperaturas e variações predominantemente negativas das chuvas. Para o cenário futuro de curto prazo (2020-2059) (Tabela 6), as temperaturas máximas passaram a oscilar entre 26,4°C em Campos Novos, SC, e 36,7°C em Sorriso, MT, enquanto que para as temperaturas mínimas, os valores aumentaram, ficando entre 15,3°C em Campos Novos, SC, e 25,8°C em Macapá, AP. Para as chuvas, a maioria das

localidades apresentaram diminuição, com os valores anuais oscilando entre 497 mm/ano e 2000 mm/ano. Quando foi considerado o cenário futuro de longo prazo (2060-2099) (Tabela 7), as temperaturas subiram ainda mais, ficando as máximas entre 28,9°C e 40,6°C, as mínimas entre 17,7°C e 28,3°C. Para a chuva, novamente houve predominância de redução das mesmas, com o valor anual oscilando entre 364 mm/ano em Formosa do Rio Preto, BA, e 2057 mm/ano em Campos Novos, SC.

De um modo geral, o cenário futuro de curto prazo teve aumentos das temperaturas da ordem de 2,1°C a 4,8°C para a temperatura máxima e de 1,9°C a 3,5°C para a temperatura mínima (Tabela 8). No caso da chuva, as variações oscilaram entre -52% e 3% (Tabela 8). Para o cenário futuro de longo prazo (Tabela 9), os aumentos de temperatura foram de 5,2°C a 8,2°C para a temperatura máxima e de 4,2°C a 6,6°C para a temperatura mínima. Já para a chuvas, a variação dos valores anuais foi de -65% a 9%.

Tabela 6 - Valores médios anuais das temperaturas máxima e mínima do ar e da chuva total em diferentes localidades brasileiras no período de 2020 a 2059, gerados a partir da base de dados atuais e do modelo climático Eta-HadGEM2-ES.

CENÁRIO FUTURO CURTO PRAZO (2020 - 2059)			
Local	Tmax (°C)	Tmín (°C)	Chuva (mm/ano)
Alto Alegre, RR	34,7	24,9	2.000
Baixa Grande do Ribeiro, PI	36,0	23,5	630
Balsas, MA	35,8	24,0	727
Campos Lindos, TO	36,1	23,9	960
Campos Novos, SC	26,4	15,3	1.929
Formosa do Rio Preto, BA	35,9	21,8	497
Itapeva, SP	29,9	17,6	1.036
Macapá, AP	34,2	25,8	1.822
Maracaju, MS	33,6	21,0	1.092
Paragominas, PA	35,1	24,4	1.464
Rio Verde, GO	35,0	21,0	1.211
Sorriso, MT	36,7	22,8	1.400
Tibagi, PR	28,7	16,0	1.212
Tupanciretã, RS	27,8	16,9	1.790
Unaí, MG	34,9	20,4	737

Fonte: Elaborado pela autora

Tabela 7 - Valores médios anuais das temperaturas máxima e mínima do ar e da chuva total em diferentes localidades brasileiras no período de 2060 a 2099, gerados a partir da base de dados atuais e do modelo climático Eta-HadGEM2-ES.

CENÁRIO FUTURO LONGO PRAZO (2060 - 2099)			
Local	Tmax (°C)	Tmín (°C)	Chuva (mm/ano)
Alto Alegre, RR	39,4	27,9	1.436
Baixa Grande do Ribeiro, PI	38,8	26,0	487
Balsas, MA	38,9	26,5	552
Campos Lindos, TO	39,4	26,7	714
Campos Novos, SC	28,9	17,7	2.057
Formosa do Rio Preto, BA	38,7	24,1	364
Itapeva, SP	32,9	20,0	937
Macapá, AP	38,1	28,3	952
Maracaju, MS	36,9	24,1	1.070
Paragominas, PA	39,1	26,8	1.110
Rio Verde, GO	38,3	24,1	1.197
Sorriso, MT	40,6	25,8	1.265
Tibagi, PR	31,8	18,5	1.193
Tupanciretã, RS	30,0	19,3	1.995
Unaí, MG	38,1	23,0	594

Fonte: Elaborado pela autora

Tabela 8 - Valores médios anuais das diferenças entre o cenário atual e o cenário futuro de médio prazo (2020 a 2059) para temperaturas máxima e mínima do ar e a chuva total em diferentes localidades brasileiras.

CENÁRIO FUTURO CURTO PRAZO (2020 - 2059)			
Local	Tmax (°C)	Tmín (°C)	Chuva (mm/ano)
Alto Alegre, RR	2,1	1,9	-2%
Baixa Grande do Ribeiro, PI	3,0	2,4	-46%
Balsas, MA	3,0	2,5	-43%
Campos Lindos, TO	3,3	2,4	-34%
Campos Novos, SC	3,3	2,5	3%
Formosa do Rio Preto, BA	3,3	2,4	-52%
Itapeva, SP	4,3	2,3	-29%
Macapá, AP	2,6	2,1	-23%
Maracaju, MS	4,4	3,5	-26%
Paragominas, PA	2,7	1,9	-20%
Rio Verde, GO	4,8	3,3	-21%
Sorriso, MT	4,3	2,7	-26%
Tibagi, PR	4,3	2,6	-25%
Tupanciretã, RS	3,0	2,6	-6%
Unaí, MG	4,0	2,4	-47%

Fonte: Elaborado pela autora

Tabela 9 - Valores médios anuais das diferenças entre o cenário atual e o cenário futuro de médio prazo (2060 a 2099) para temperaturas máxima e mínima do ar e a chuva total em diferentes localidades brasileiras.

CENÁRIO FUTURO LONGO PRAZO (2060 - 2099)			
Local	Tmax (°C)	Tmín (°C)	Chuva (mm/ano)
Alto Alegre, RR	6,9	4,8	-30%
Baixa Grande do Ribeiro, PI	5,8	5,0	-58%
Balsas, MA	6,1	4,9	-56%
Campos Lindos, TO	6,6	5,1	-51%
Campos Novos, SC	5,8	4,9	9%
Formosa do Rio Preto, BA	6,0	4,7	-65%
Itapeva, SP	7,3	4,8	-36%
Macapá, AP	6,4	4,6	-60%
Maracaju, MS	7,7	6,6	-27%
Paragominas, PA	6,7	4,2	-39%
Rio Verde, GO	8,1	6,4	-22%
Sorriso, MT	8,2	5,7	-33%
Tibagi, PR	7,3	5,1	-26%
Tupanciretã, RS	5,2	5,0	5%
Unaí, MG	7,2	5,0	-57%

Fonte: Elaborado pela autora

4.2. Variabilidade interanual do ISNA da cultura da soja

A variabilidade interanual do ISNA é o que define o risco climático para as culturas agrícolas no ZARC/MAPA. Esses valores são apresentados a seguir para todas as localidades analisadas, para a três épocas de semeadura definidas para cada local e para os três cenários climáticos considerados (atual, 2020-2059 e 2060-2099).

4.2.1. Alto Alegre, RR

4.2.1.1. Cenário atual

As Figuras 10, 11 e 12 apresentam a variabilidade interanual do ISNA para a localidade de Alto Alegre, RR, no cenário atual (1980-2018). Observa-se que há variação entre os anos e épocas de semeadura, porém com a grande maioria deles permanecendo acima do limiar do ISNA de 0,65, o que indica boas condições para o cultivo da soja na região, independentemente da CAD considerada.

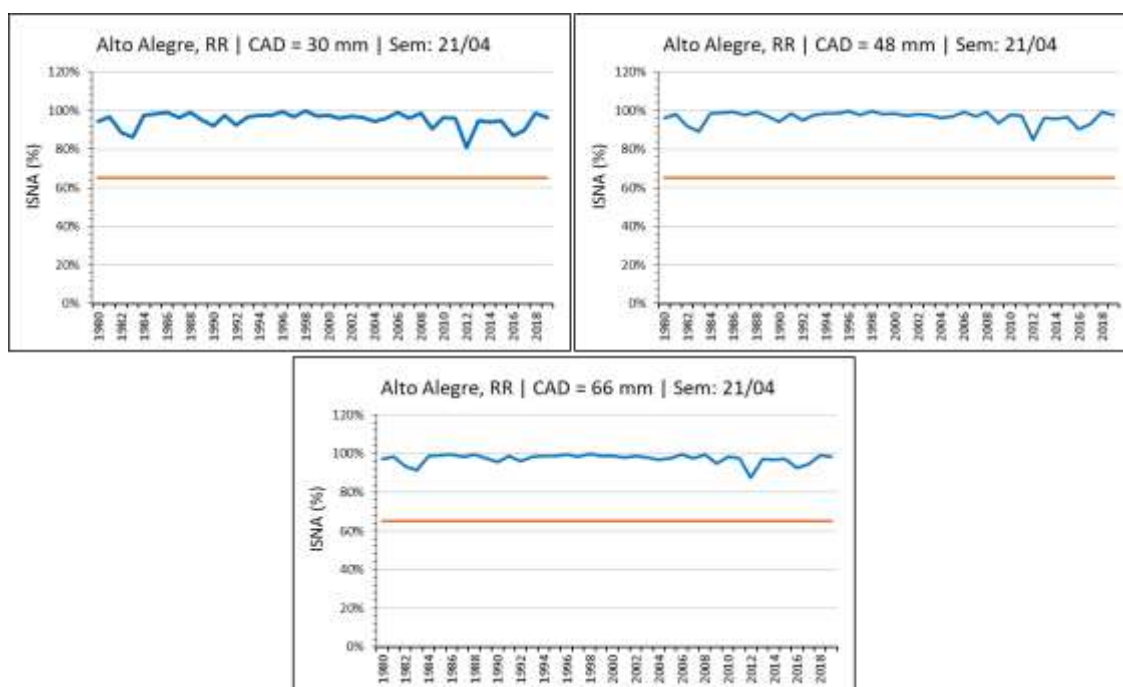


Figura 10 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/04 em Alto Alegre, RR, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

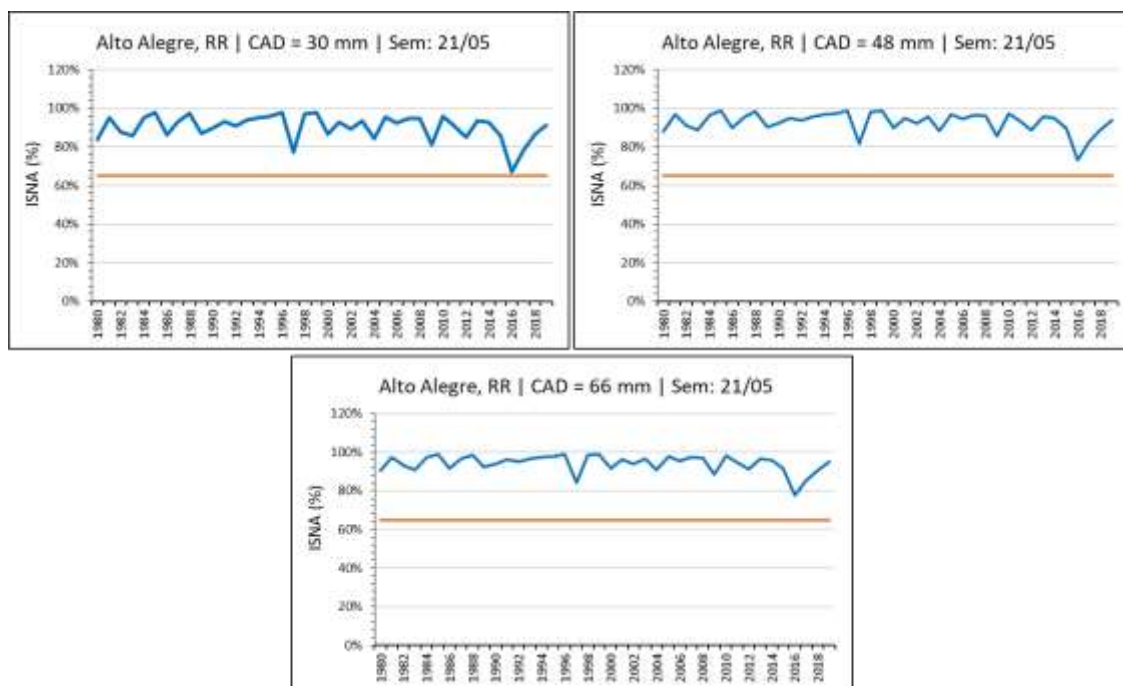


Figura 11 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/05 em Alto Alegre, RR, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

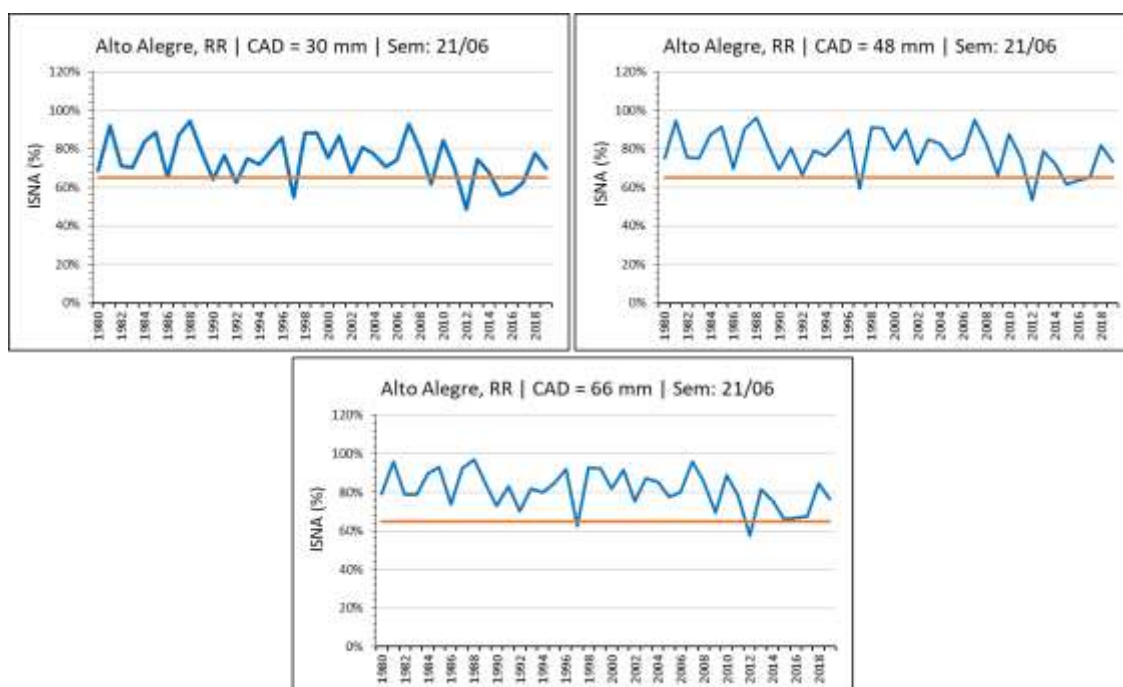


Figura 12 – Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/06 em Alto Alegre, RR, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

4.2.1.2. Cenário futuro de curto prazo

Quando se considera o cenário de clima futuro de curto prazo (Figuras 13, 14, e 15) observa-se primeiramente maior variabilidade interanual do ISNA, com aumento do número de anos com esse índice ficando abaixo de 0,65. Observa-se nessas figuras que há um aumento do risco climático, nesse cenário climático, com o atraso da semeadura de 21/04 (Figura 13) para 21/06 (Figura 15). Isso mostra claramente que sob um cenário como este, com aumento das temperaturas da ordem de 2°C e redução da chuva em cerca de 2% (Tabela 8), a janela de cultivo da soja fica mais estreita, com o risco aumentando com o atraso dos plantios. Essa informação é muito importante a nível de planejamento agrícola, já que auxilia no entendimento de quais ações de manejo agrícola podem ser adotadas no sentido de mitigar os impactos das mudanças do clima na produção de soja nessa região do Brasil, atualmente considerada como uma fronteira agrícola.

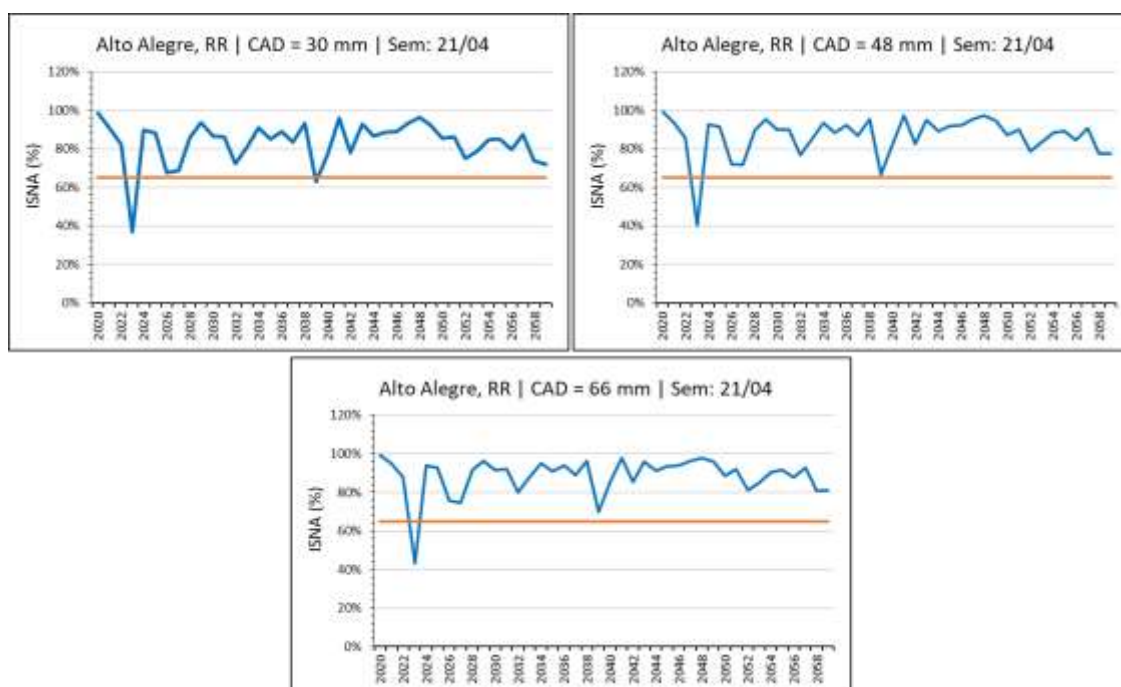


Figura 13 – Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/04 em Alto Alegre, RR, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

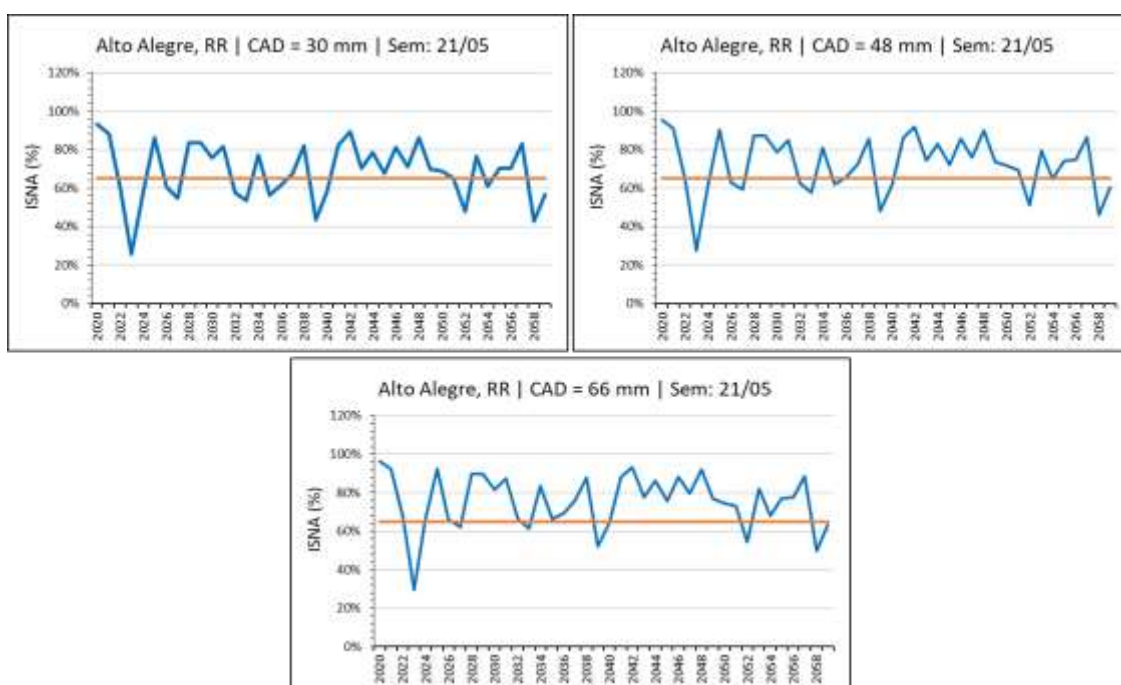


Figura 14 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/05 em Alto Alegre, RR, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

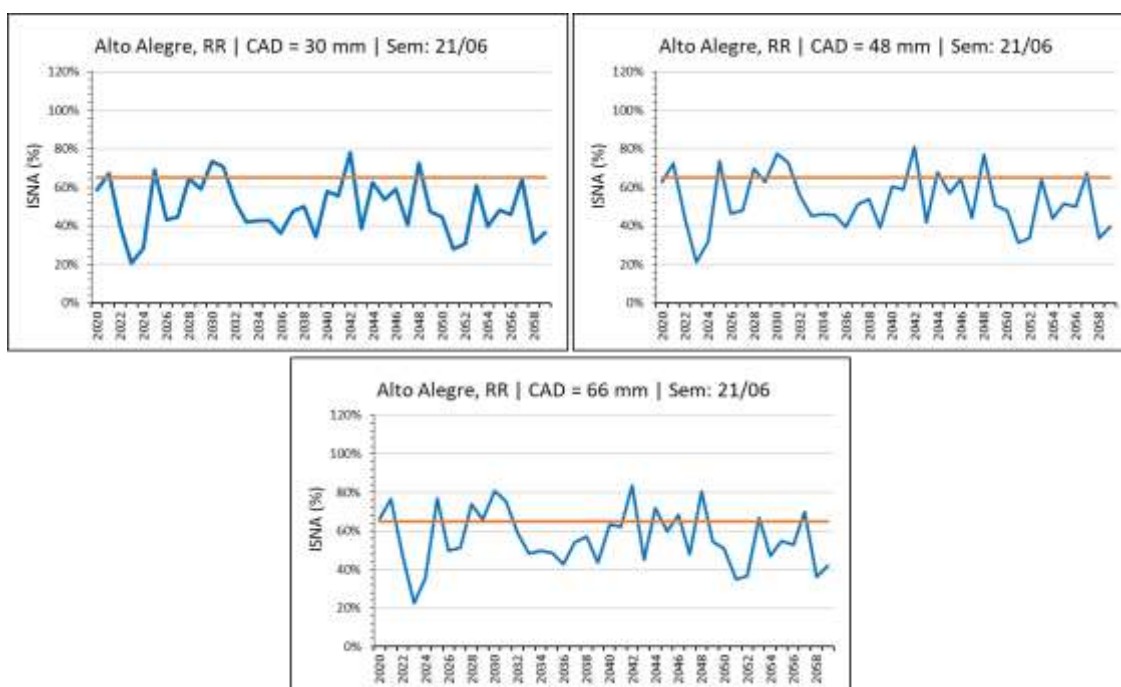


Figura 15 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/06 em Alto Alegre, RR, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

4.2.1.3. Cenário futuro de longo prazo

Para o cenário climático de longo prazo (Figuras 16, 17 e 18), observa-se que a probabilidade do ISNA ficar abaixo de 0,65 aumenta substancialmente, especialmente nas épocas de semeadura 2 e 3, chegando nesta última a ficar praticamente todos os anos com o ISNA abaixo de 0,65 (Figura 18). Nessa condição climática extrema, com aumentos de temperatura entre 5°C e 7°C e redução das chuvas em 30% (Tabela 9), o cultivo soja seria apenas possível na época de semeadura 1 (21/04), quando o ISNA ainda permanece acima de 0,65 em boa parte dos anos (Figura 16). Apesar disso, mesmo nesta época de semeadura as produtividades deverão sofrer reduções expressivas já que o maior déficit hídrico não deverá ocorrer somente na fase crítica da cultura (reprodutiva), mas também na fase vegetativa, quando a falta de água reduz o porte das plantas (SENTELHAS, et al., 2018).

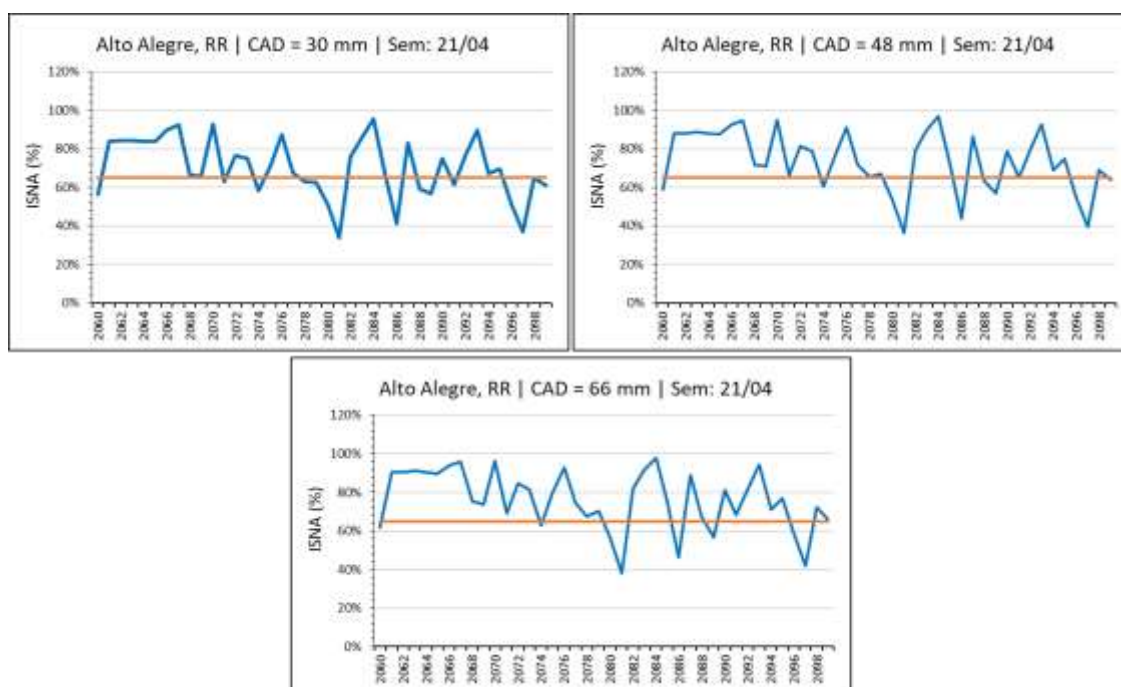


Figura 16 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/04 em Alto Alegre, RR, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

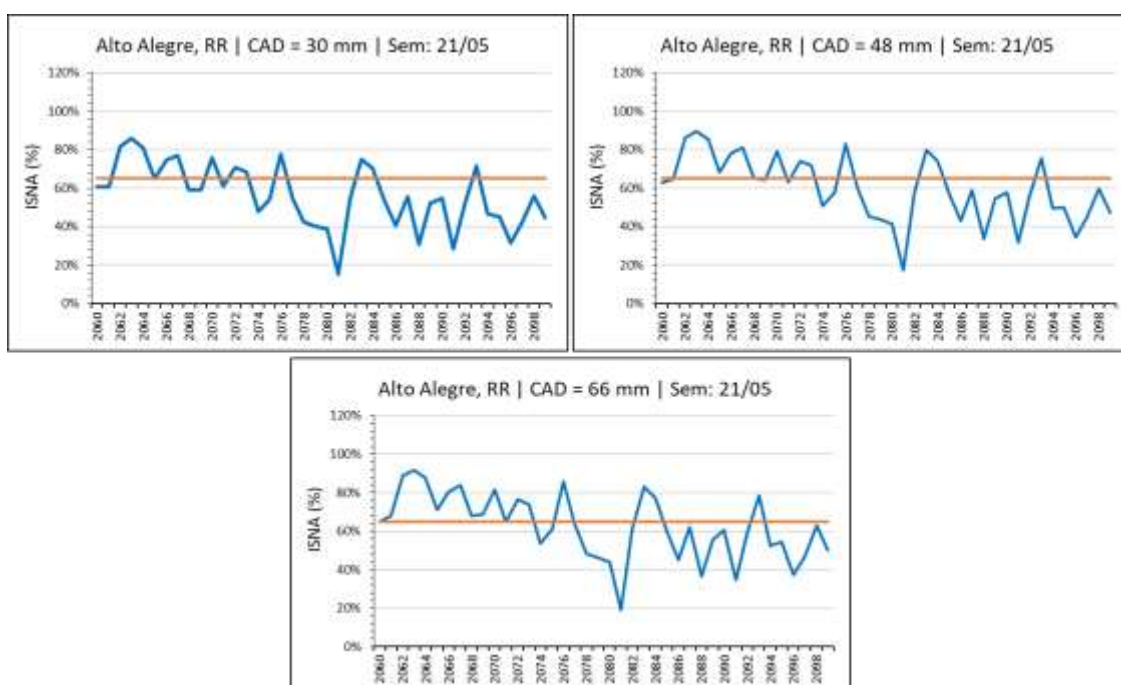


Figura 17 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/05 em Alto Alegre, RR, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

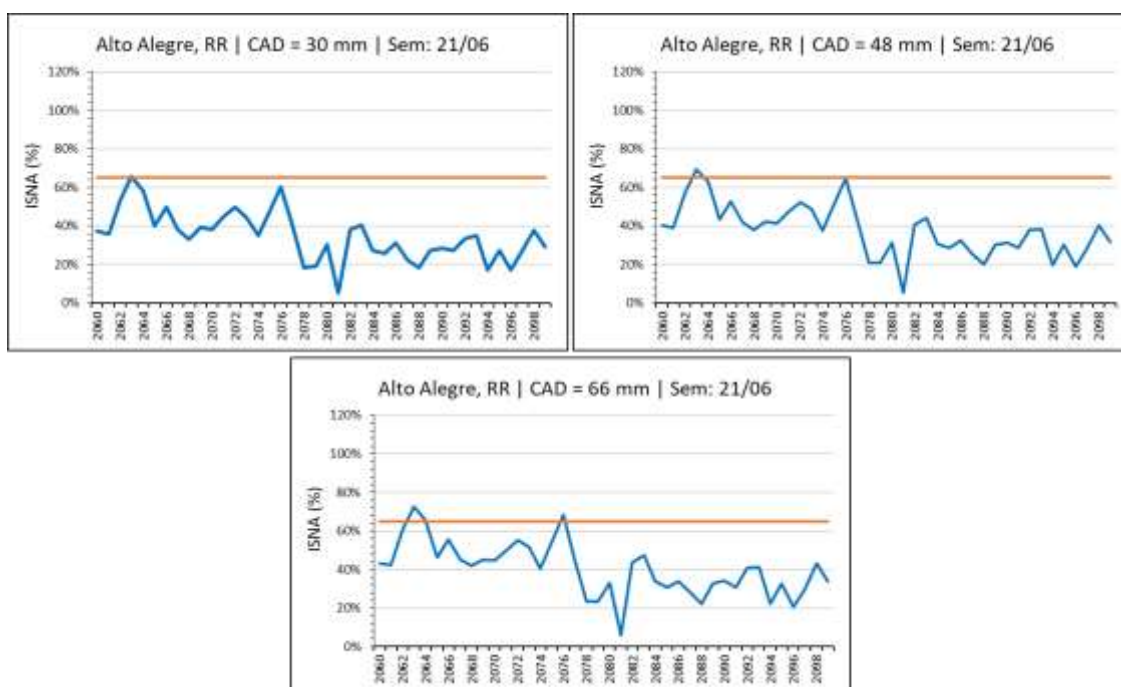


Figura 18 – Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/06 em Alto Alegre, RR, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

4.2.2. *Baixa Grande do Ribeiro, PI*

4.2.2.1. Cenário atual

No cenário atual, a região de Baixa Grande do Ribeiro, PI, apresenta uma maior frequência de ISNA acima de 0,65 na fase crítica da soja na semeadura mais precoce (01/11) e com as CADs mais elevadas (48 mm e 66 mm) (Figura 19). Nas semeaduras mais tardias, entre 01/12 e 01/01 (Figuras 20 e 21), começa a haver um maior número de anos com $ISNA < 0,65$. Nessas épocas, a CAD de 66 mm passa a ser aquela que apresenta o menor risco de $ISNA < 0,65$, como mostram as Figuras 20 e 21. De um modo geral, a região de Baixa Grande do Ribeiro é uma das que apresentam maior variabilidade interanual do ISNA, o que indica que as produtividades, nessa região, também devem variar bastante entre as diferentes safras.

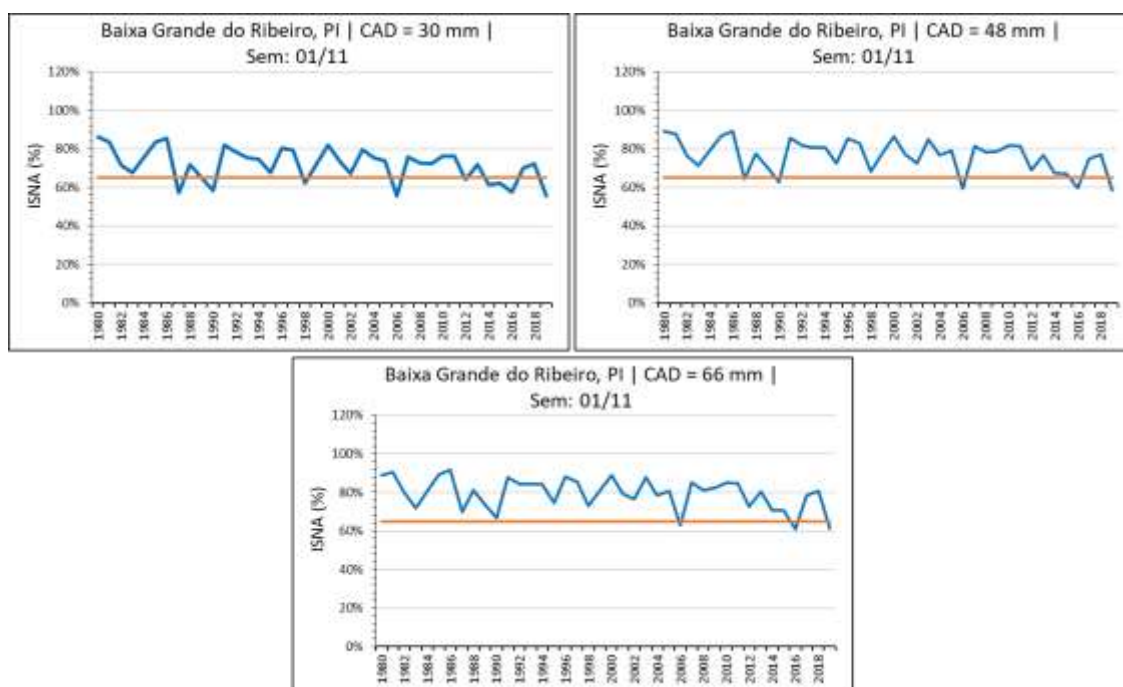


Figura 19 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/11 em Baixa Grande do Ribeiro, PI, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

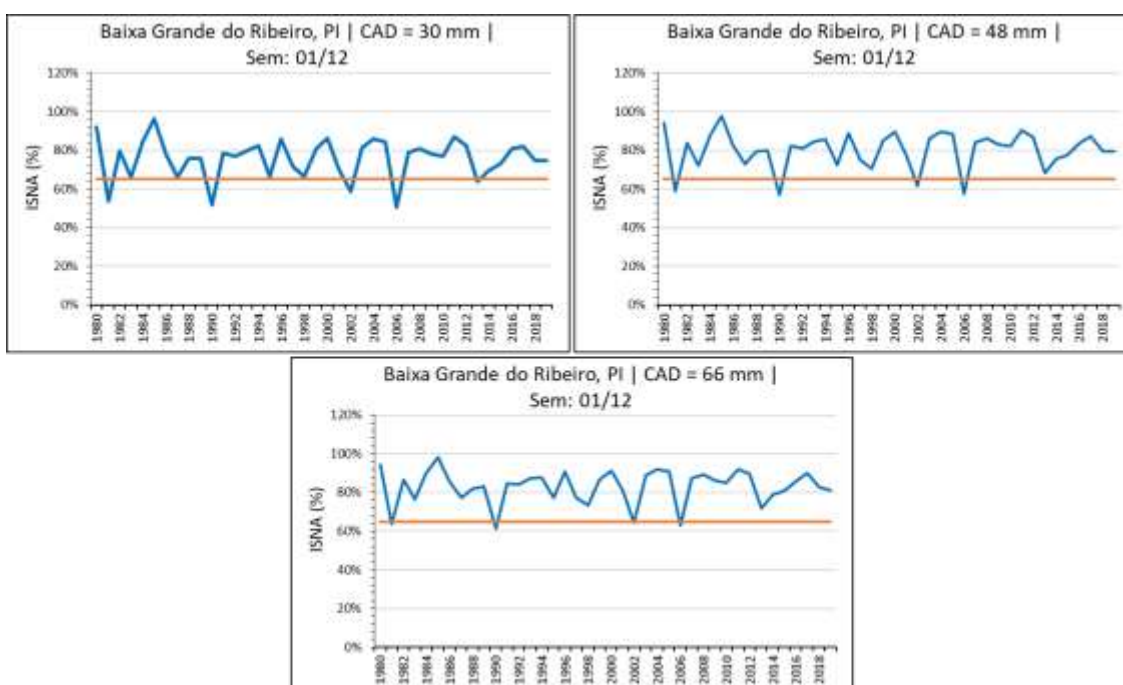


Figura 20 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/12 em Baixa Grande do Ribeiro, PI, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

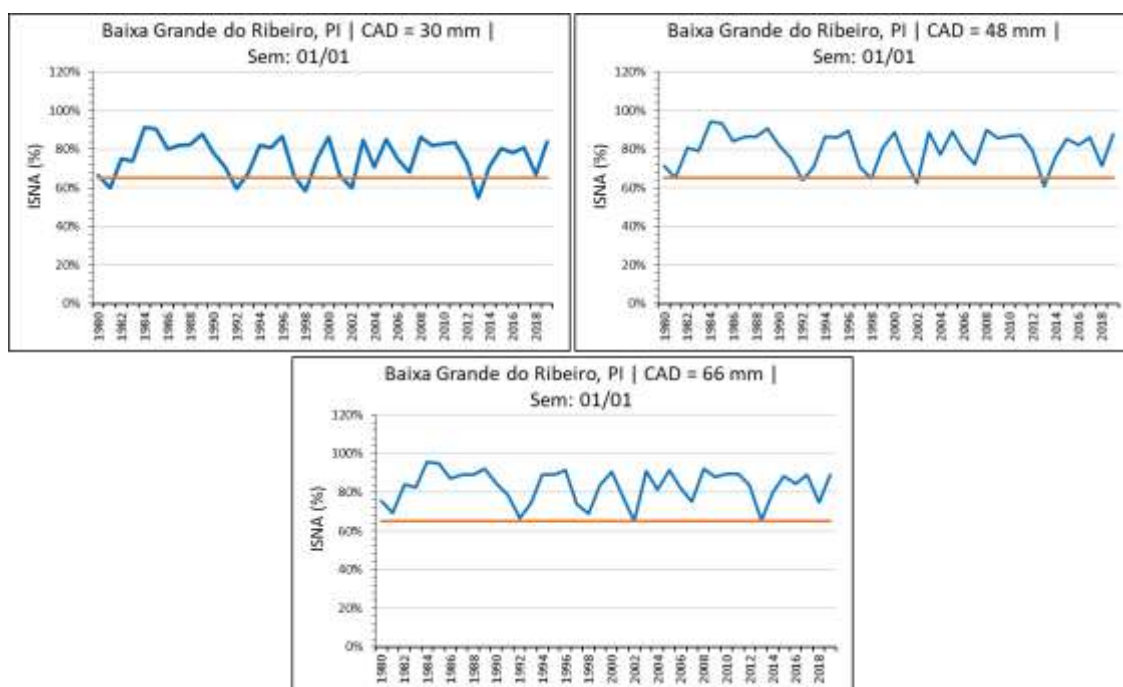


Figura 21 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/01 em Baixa Grande do Ribeiro, PI, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

4.2.2.2. Cenário futuro de curto prazo

No cenário futuro a curto prazo (2020-2059), a condição climática para a cultura da soja na região de Baixa Grande do Ribeiro, PI, deve sofrer um grande impacto em decorrência das mudanças do clima, com aumento das temperaturas da ordem de 2°C a 3°C e redução das chuvas em cerca de 46% (Tabela 8). Isso fará com que praticamente todos os anos, independentemente da época de semeadura e da CAD, fiquem com o ISNA menor do que 0,65, com vários anos apresentando ISNA menor do que 0,5, como mostram as Figuras 22, 23 e 24. Isso deverá reduzir drasticamente as produtividades da cultura da soja na região, o que não possibilitará o cultivo de sequeiro. Assim, caso os produtores queiram manter o cultivo de soja na região, será quase que obrigatório o uso de irrigação complementar, desde que haja disponibilidade hídrica nos mananciais da região.

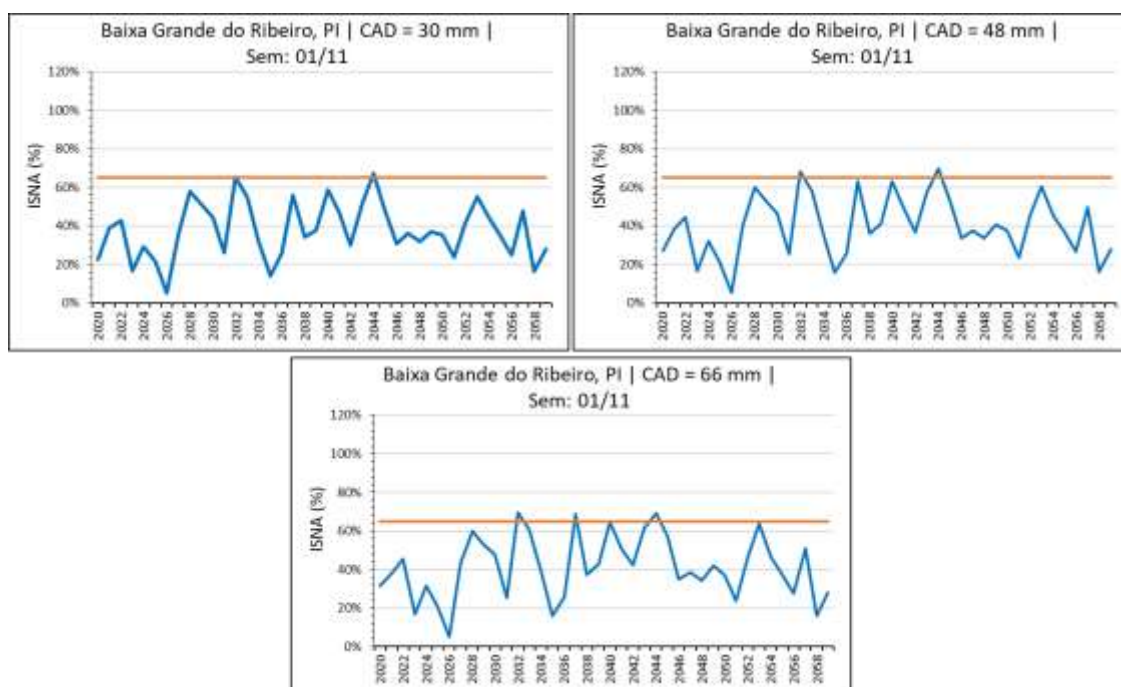


Figura 22 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/11 em Baixá Grande do Ribeiro, PI, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

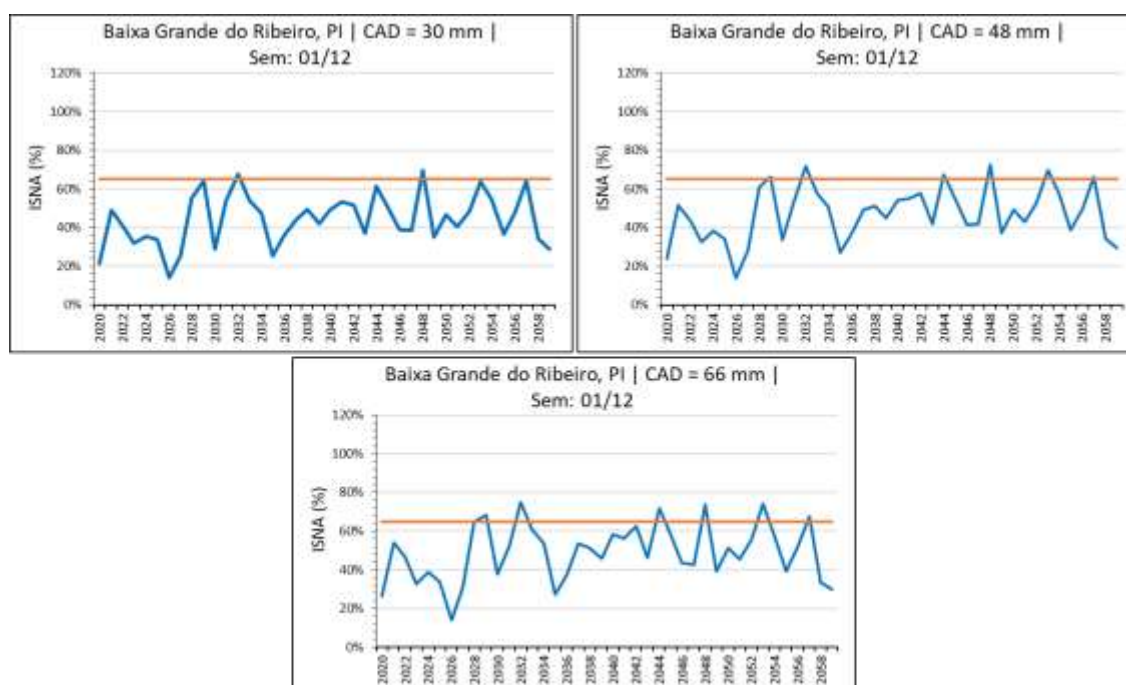


Figura 23 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/12 em Baixá Grande do Ribeiro, PI, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

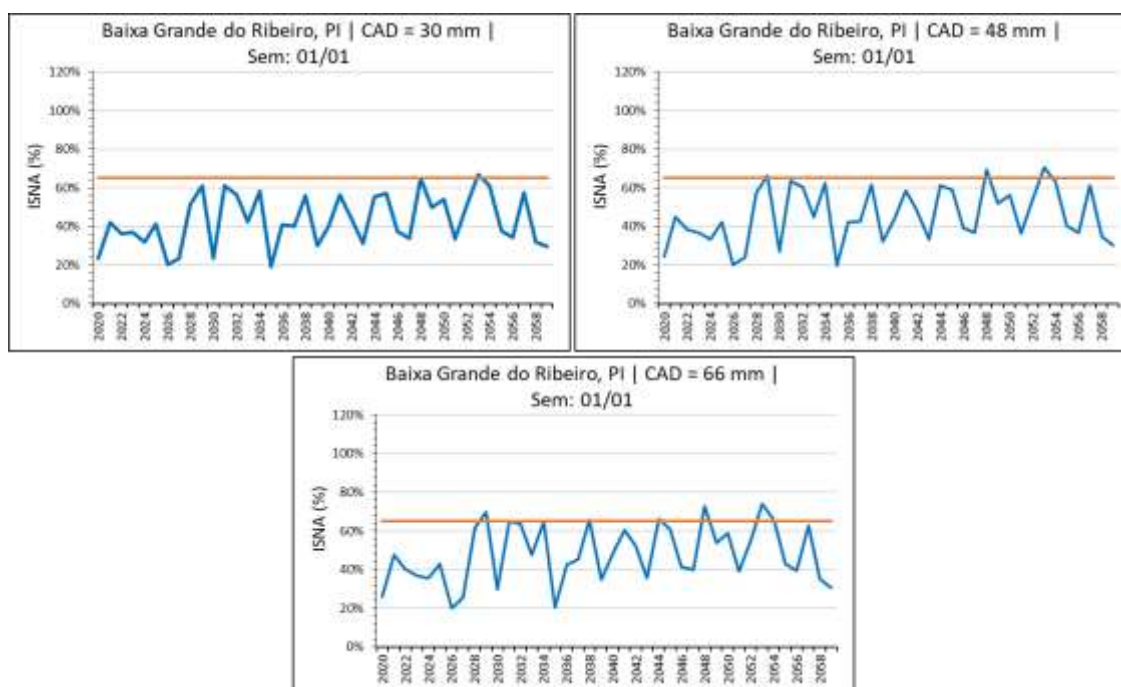


Figura 24 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/01 em Baixa Grande do Ribeiro, PI, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

4.2.2.3. Cenário futuro de longo prazo

Assim como no cenário de curto prazo, os valores de ISNA na região de Baixa Grande do Ribeiro, PI, deverão ficar abaixo de 0,65 em todas as épocas de semeadura e CADs empregadas (Figuras 25, 26, 27). Esse quadro se deve às expressivas elevações da temperatura do ar no cenário a longo prazo, entre 5,0°C e 5,8°C e redução das chuvas da ordem de 58% (Tabela 9), o que também impossibilitará o cultivo de soja na região sob condições de sequeiro e exigindo o uso da irrigação, especialmente na fase reprodutiva da cultura, caso que queira manter o cultivo dessa oleaginosa na região.

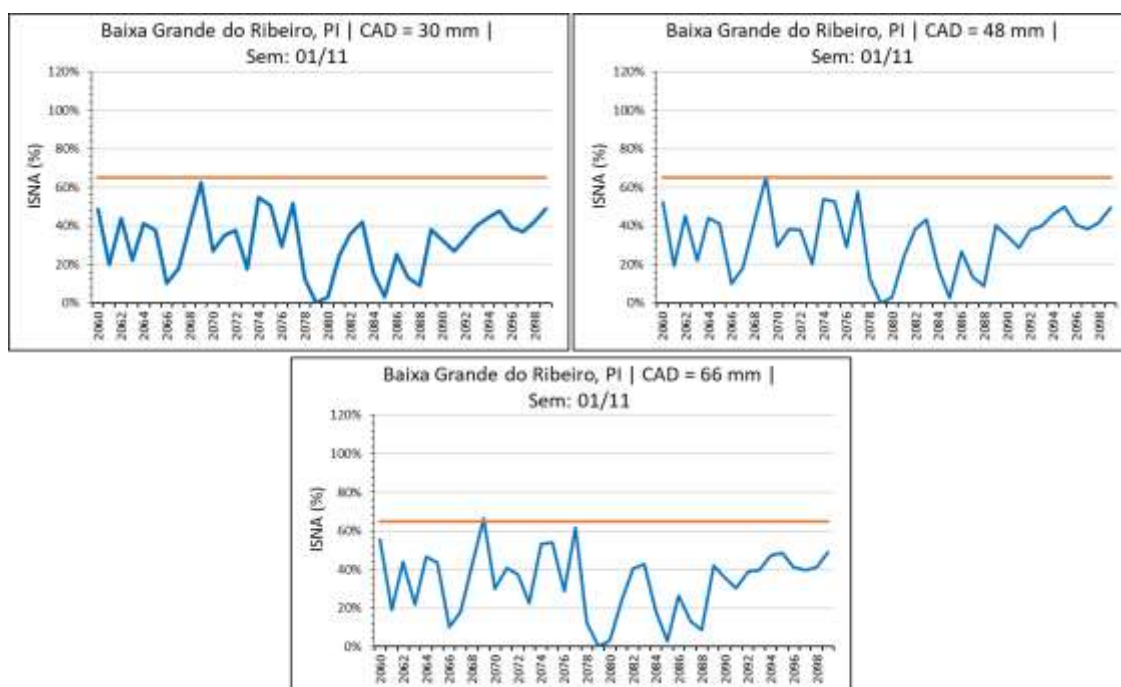


Figura 25 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/11 em Baixa Grande do Ribeiro, PI, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

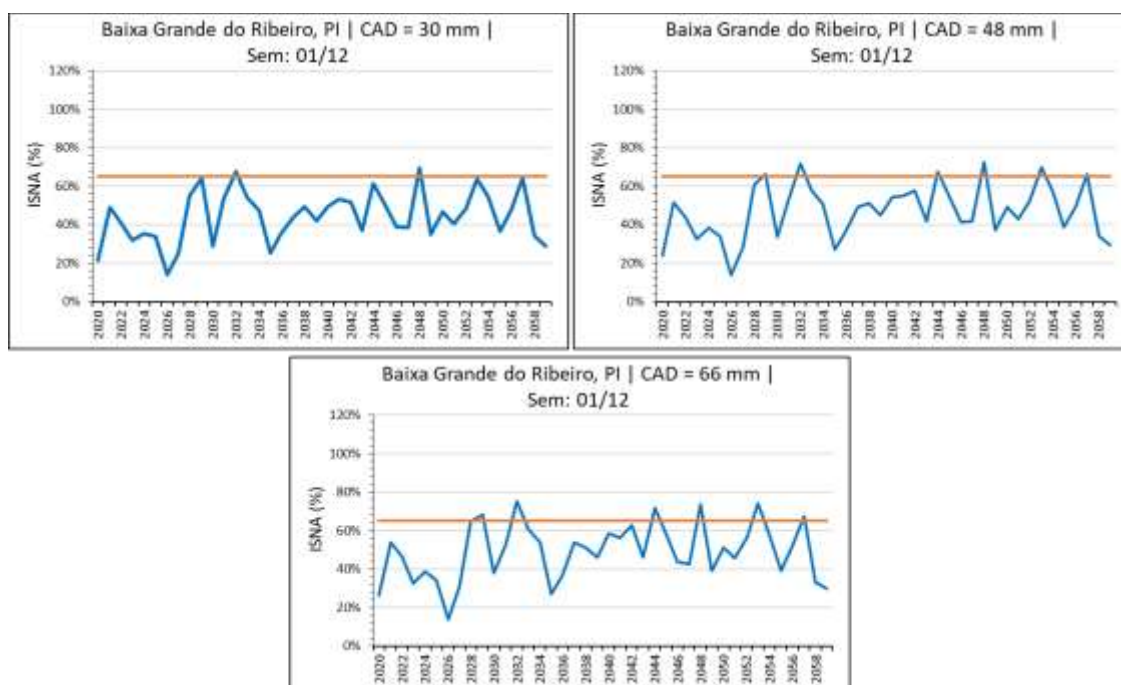


Figura 26 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/12 em Baixa Grande do Ribeiro, PI, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

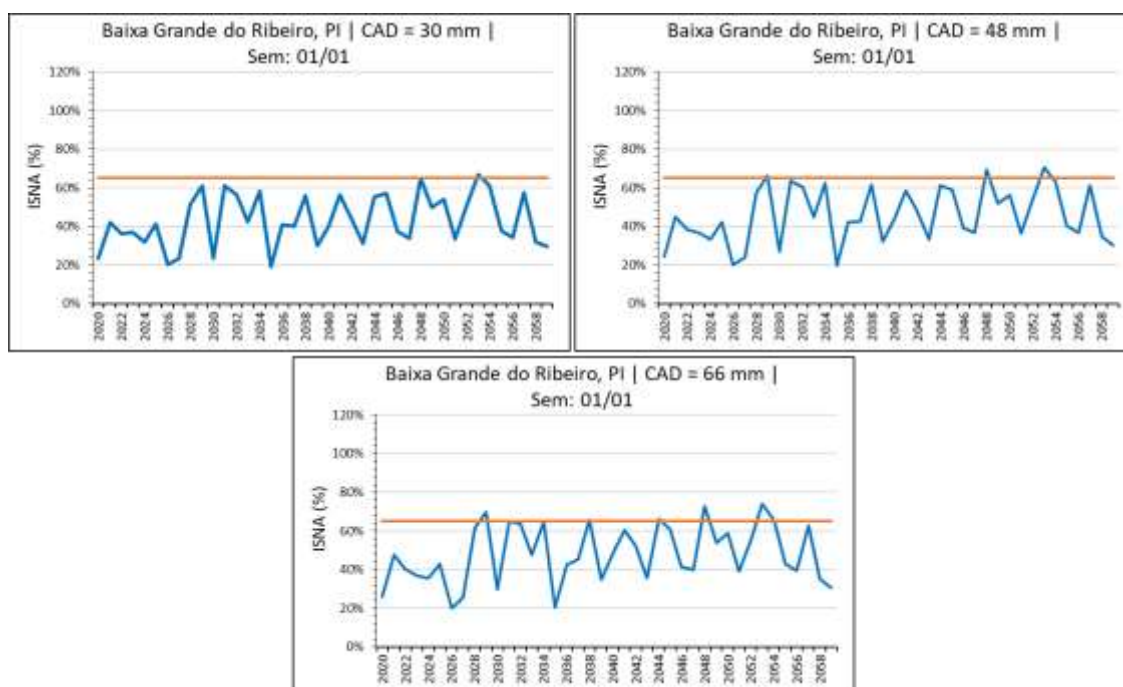


Figura 27 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/01 em Baixa Grande do Ribeiro, PI, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

4.2.3. Balsas, MA

4.2.3.1. Cenário atual

No cenário atual, a região de Balsas, MA, apresenta uma maior frequência de ISNA acima de 0,65 na fase crítica da soja na semeadura mais tardia (21/12), especialmente nas CADs mais elevadas (48 mm e 66 mm) (Figura 30). Na semeadura mais precoce, em 21/10 (Figuras 28), a frequência de $ISNA < 0,65$ é maior, especialmente nos últimos quatro anos da série histórica, o que se deveu a eventos de seca, que atingiram especialmente esses plantios. Assim como para a região de Baixa Grande do Ribeiro, PI, a região de Balsas, MA, também apresentam uma grande variabilidade interanual do ISNA, que mesmo estando acima de 0,65 em grande parte dos anos, faz com que os níveis de produtividade oscilem bastante, como mostram as Figuras 28, 29 e 30.

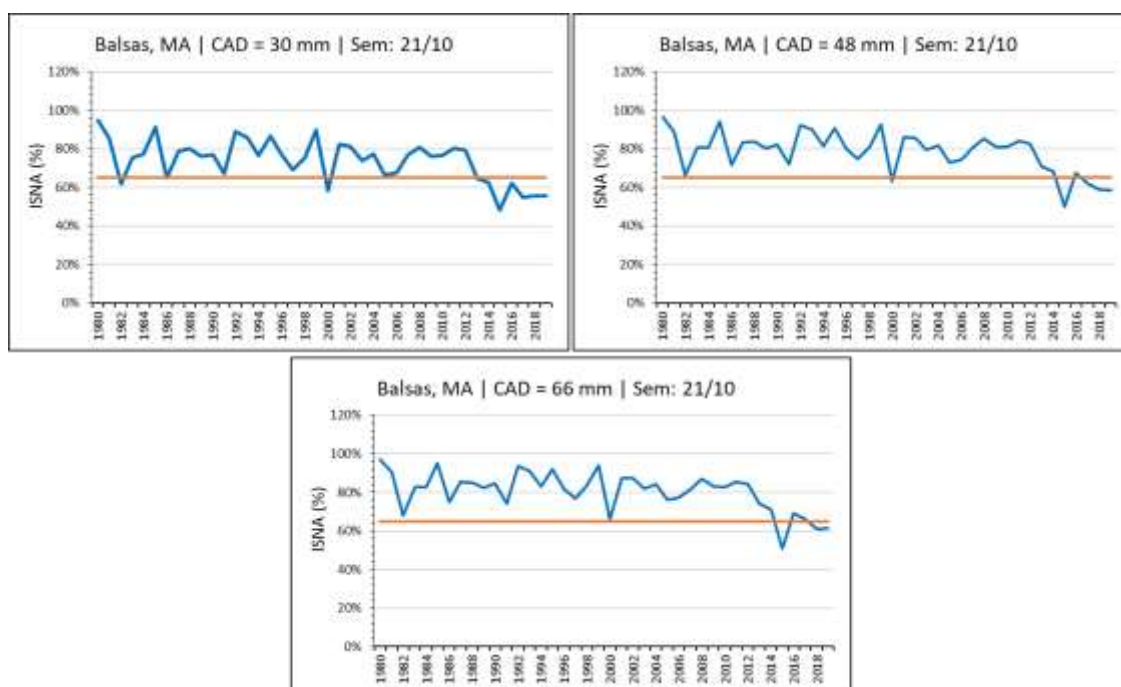


Figura 28 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/10 em Balsas, MA, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

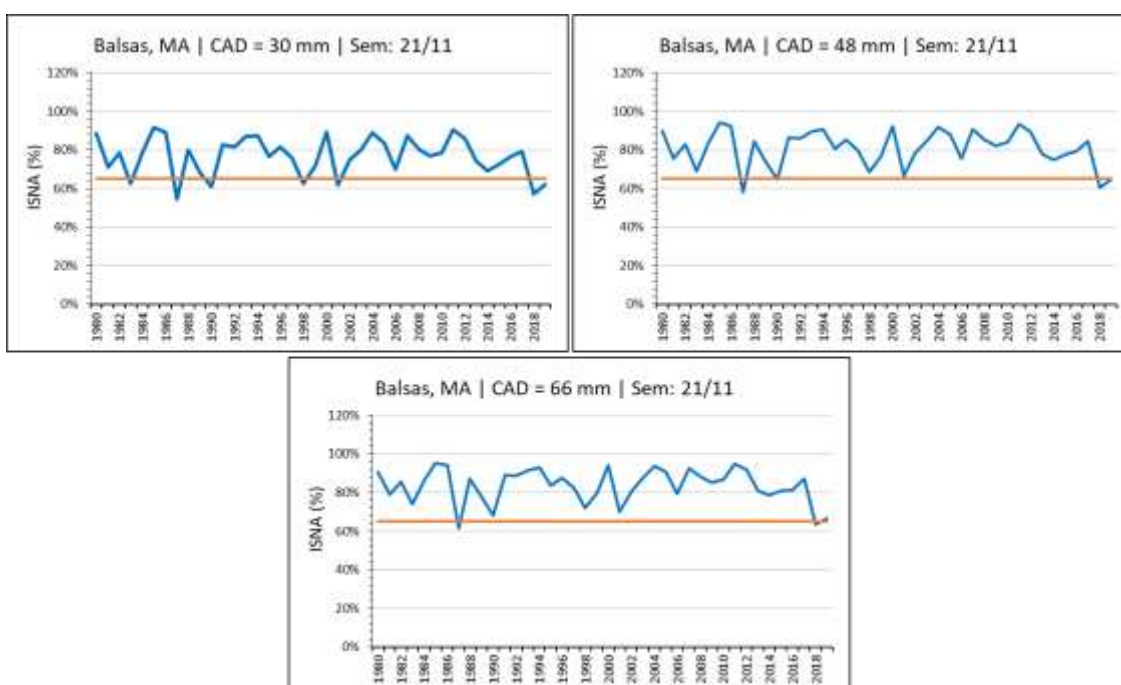


Figura 29 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/11 em Balsas, MA, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

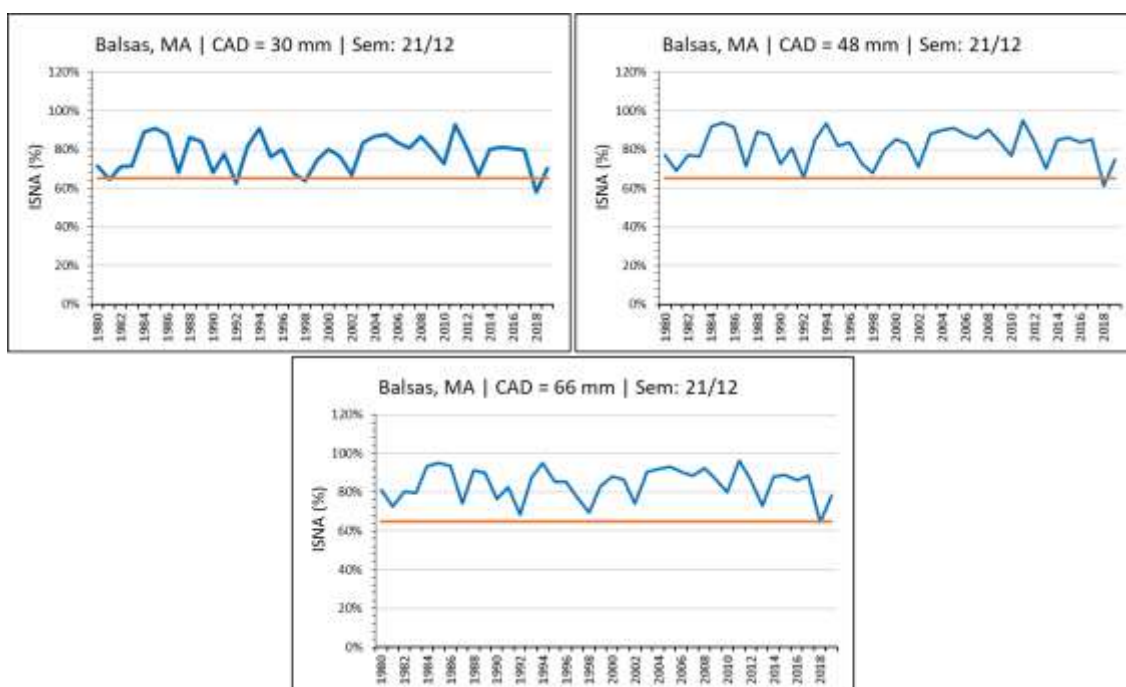


Figura 30 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/12 em Balsas, MA, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

4.2.3.2. Cenário futuro de curto prazo

Assim como observado para a região de Baixa Grande do Ribeiro, MA, a região de Balsas, MA, deverá sofrer um grande impacto das mudanças climáticas a curto prazo, fazendo com que o ISNA seja drasticamente reduzido em todas as épocas de semeadura, CADs e anos (Figuras 31, 32 e 33), em decorrência do aumento das temperaturas e redução das chuvas, respectivamente de 2,5°C a 3°C e -43% (Tabela 8). Da mesma forma que observado para o cenário atual, a semeadura mais precoce, em 21/10, será a que irá sofrer os maiores impactos, uma vez que praticamente todos os anos terão o $ISNA < 0,65$. Já nas semeaduras de 21/11 e 21/12, a possibilidade de anos com $ISNA > 0,65$ será maior, impactando menos a produtividade da soja.

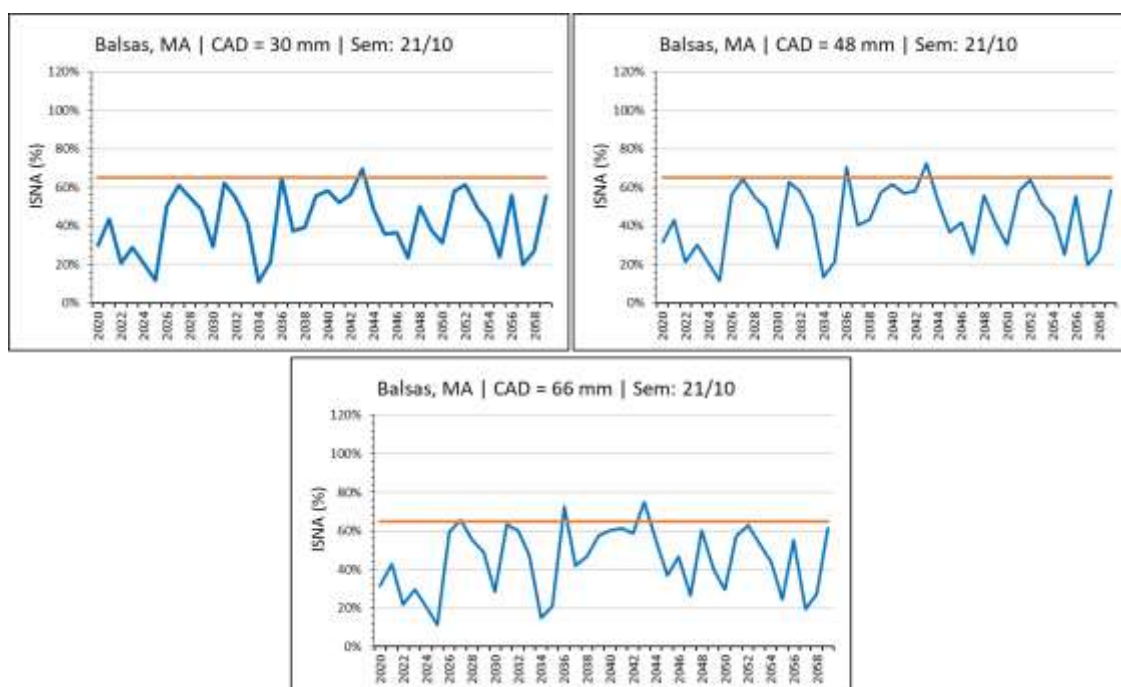


Figura 31 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/10 em Balsas, MA, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

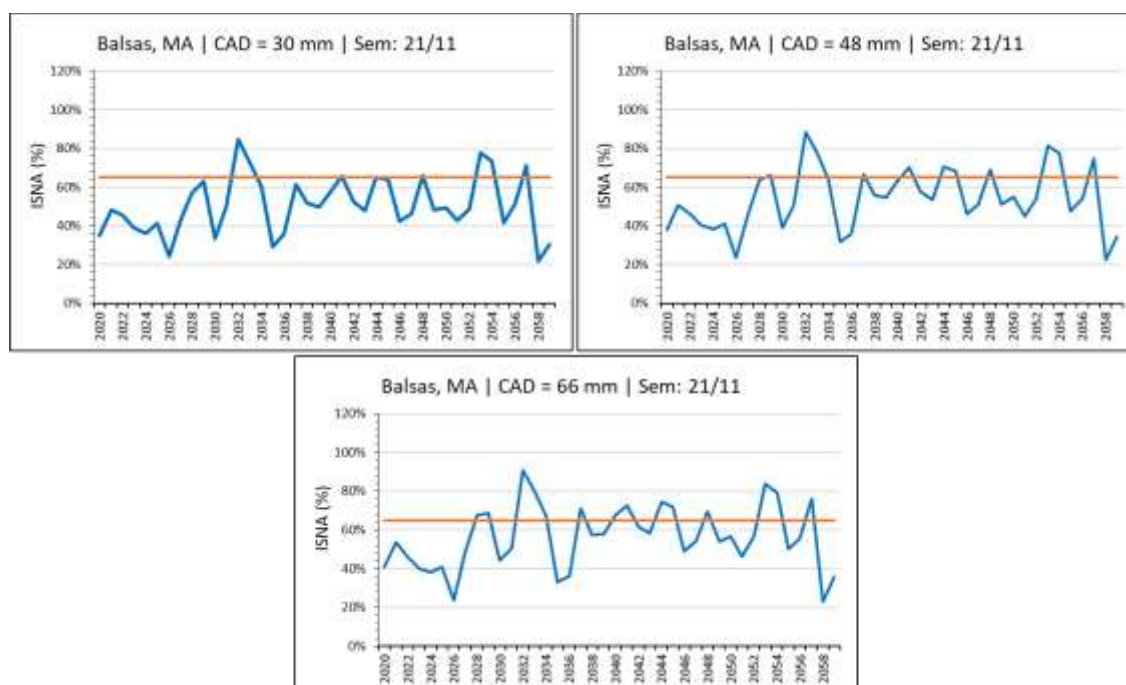


Figura 32 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/11 em Balsas, MA, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

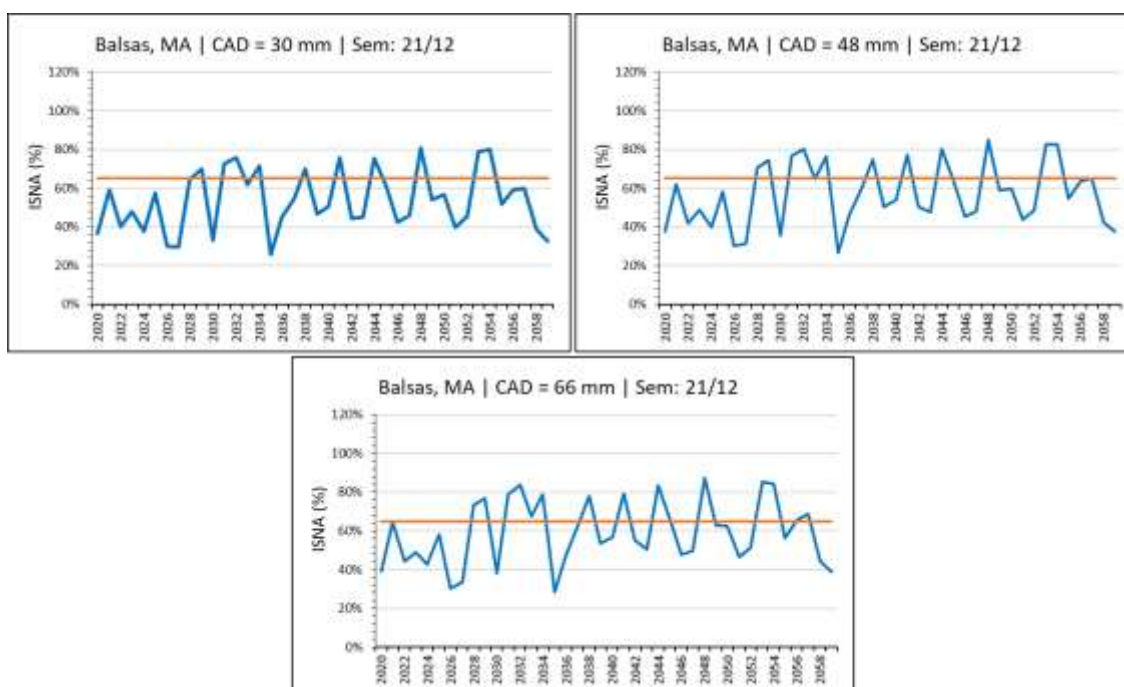


Figura 33 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/12 em Balsas, MA, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

4.2.3.3. Cenário futuro de longo prazo

Para o cenário climático de longo prazo, novamente se observa um maior impacto das alterações das condições térmicas e hídricas no ISNA da época de semeadura precoce, em 21/10, com nenhum dos anos apresentando $ISNA > 0,65$ (Figura 34). Nas demais épocas de semeadura, os impactos das mudanças do clima também serão sentidos, mas ainda havendo anos com $ISNA > 0,65$, especialmente para a condição de CAD de 66 mm (Figuras 35 e 36). Tal situação, assim como nas demais regiões analisadas, se deve a um aumento drástico das temperaturas, entre $4,9^{\circ}\text{C}$ e $6,1^{\circ}\text{C}$, e redução acentuada das chuvas, da ordem de 56% (Tabela 9). Isso implica em um balanço hídrico da cultura mais restritivo, já que a temperatura mais elevada eleva a taxa de evapotranspiração, o que associado à redução das precipitações, resulta a uma redução da evapotranspiração real da cultura e, conseqüentemente, do ISNA (ET_r/ET_c).

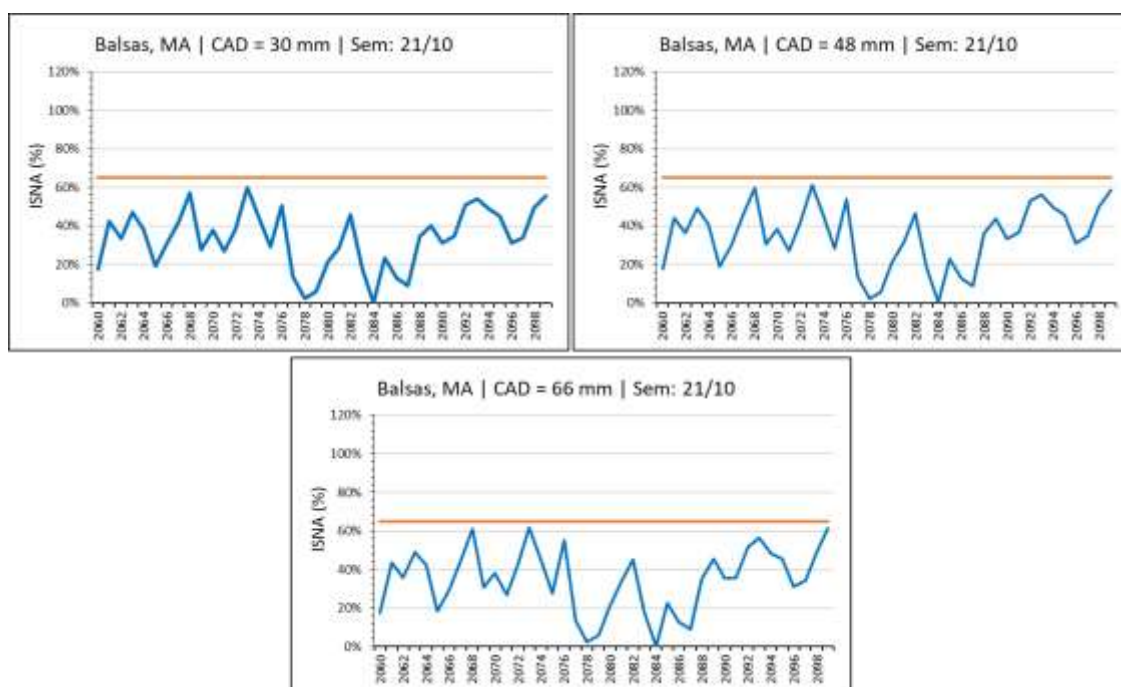


Figura 34 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/10 em Balsas, MA, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

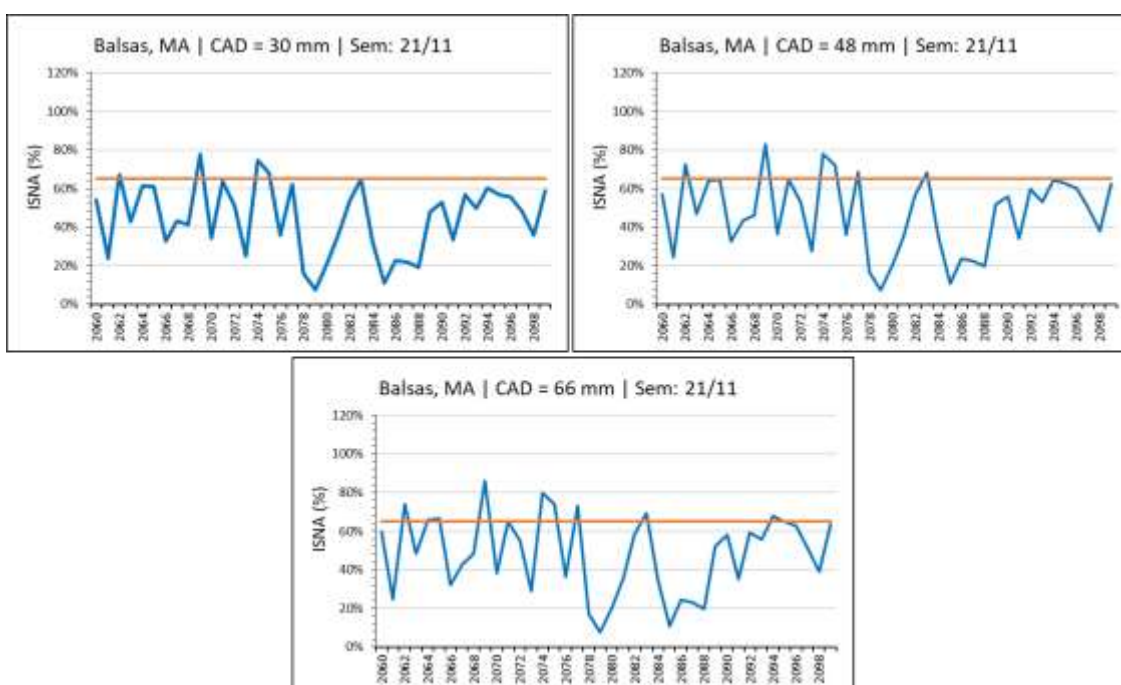


Figura 35 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/11 em Balsas, MA, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

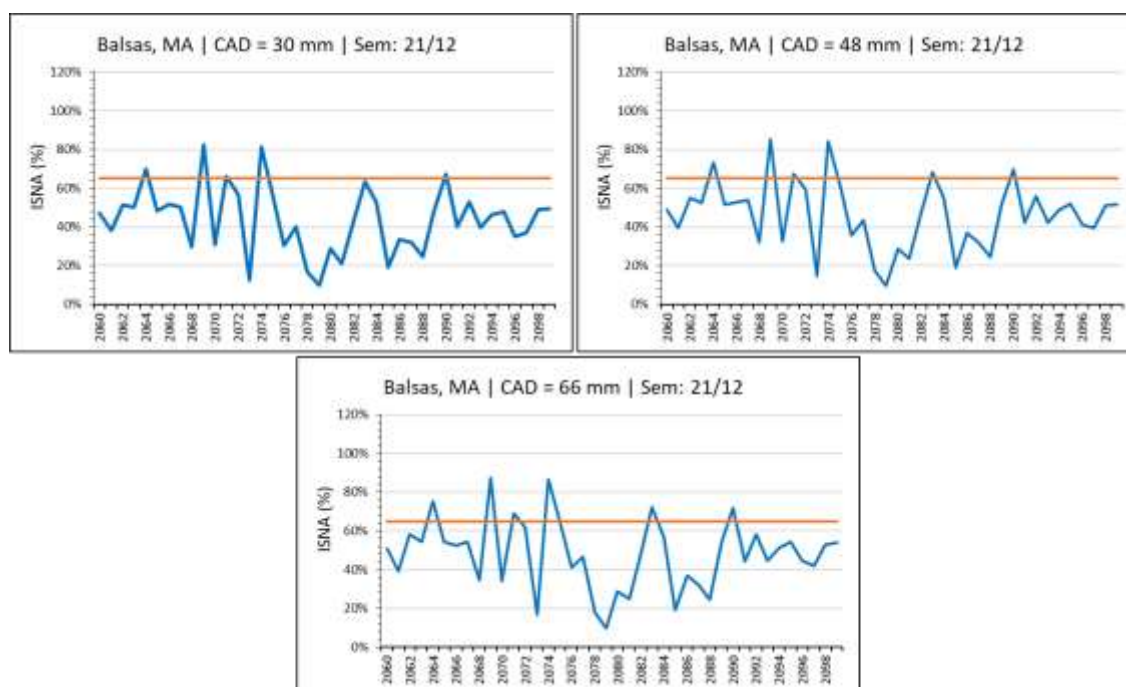


Figura 36 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/12 em Balsas, MA, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

4.2.4. Campos Lindos, TO

4.2.4.1. Cenário atual

A condição de clima atual na região de Campos Lindos, TO, mostra condição muito favorável ao cultivo da soja, com a predominância de $ISNA > 0,65$ em praticamente toda a série histórica analisada para as três épocas de semeadura simuladas e solos considerados (Figuras 37, 38 e 39). De um modo geral, não há diferenças expressivas entre as três épocas de semeadura simuladas, apesar de que a época 3 (21/12) (Figura 39) parece ser a de menor risco, com o ISNA ficando acima de 0,65 em todos os anos, inclusive na última safra simulada, quando as demais épocas de semeadura simuladas ficaram com o ISNA abaixo de 0,65 (Figuras 37 e 38).

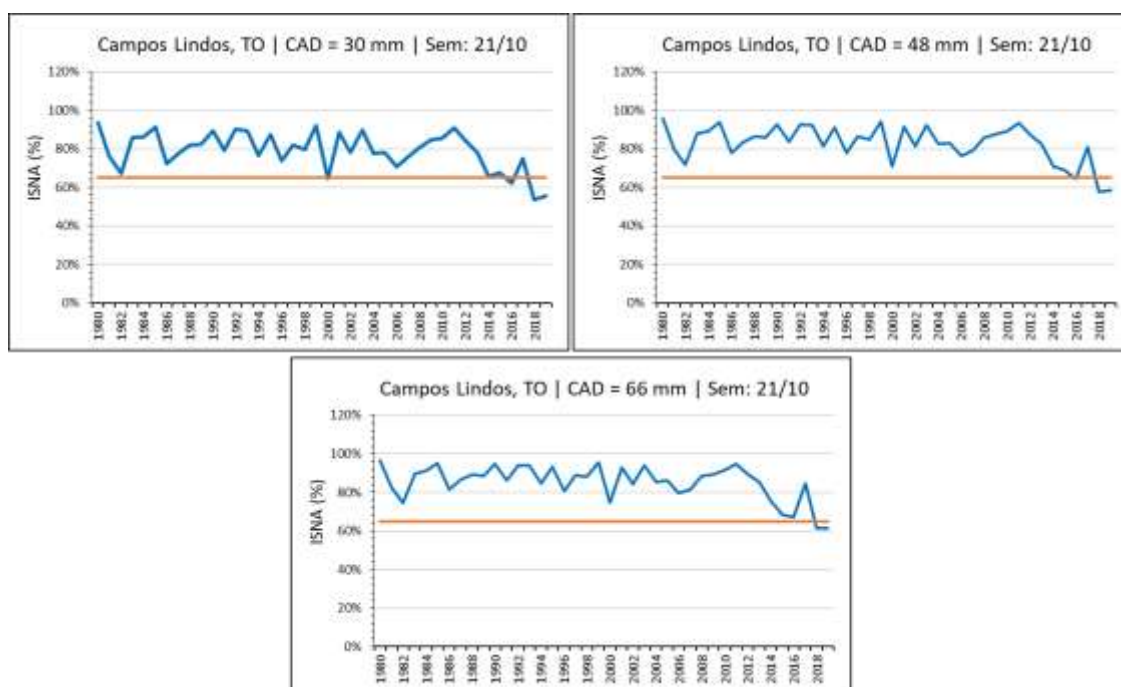


Figura 37 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/10 em Campos Lindos, TO, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

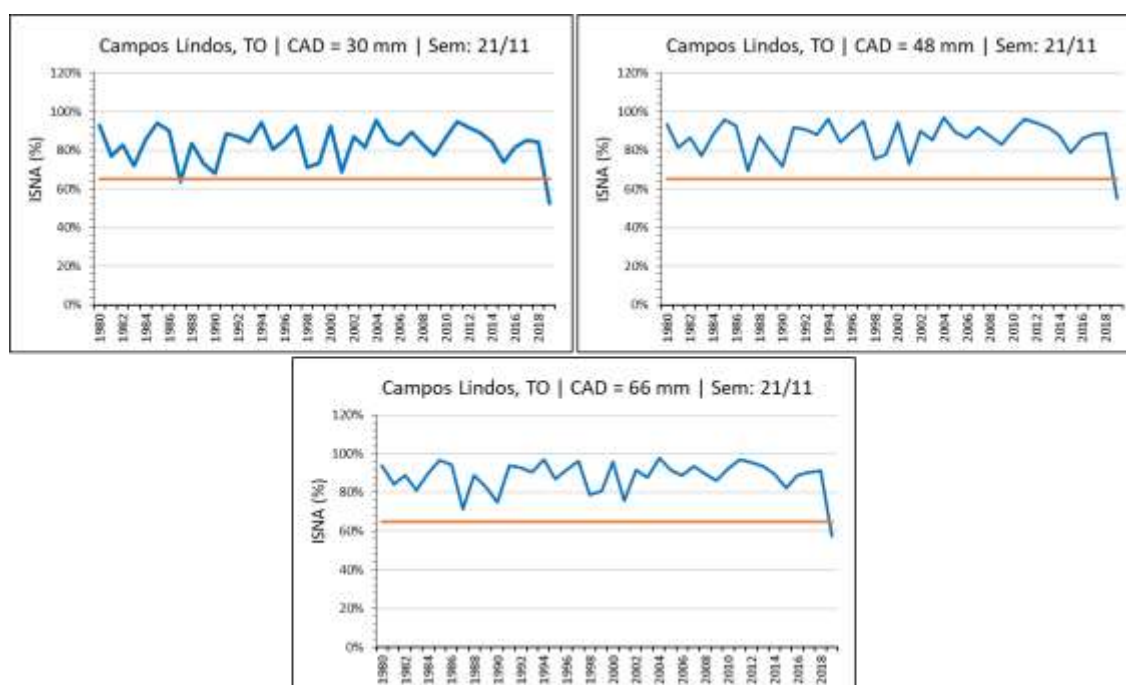


Figura 38 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/11 em Campos Lindos, TO, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

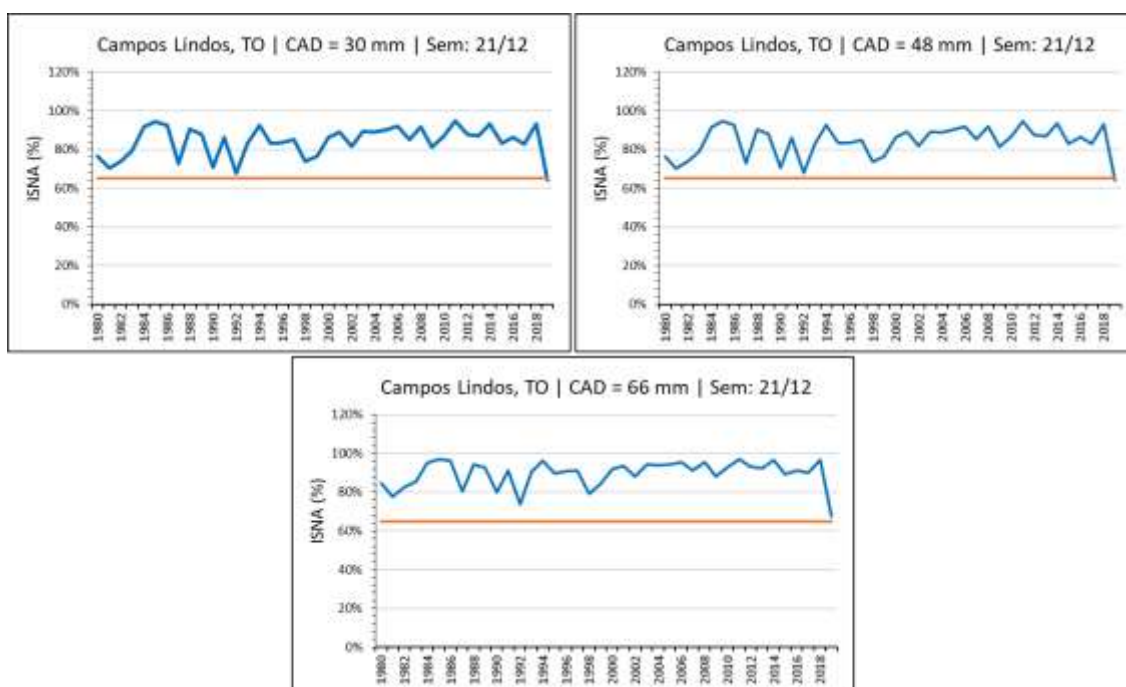


Figura 39 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/12 em Campos Lindos, TO, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

4.2.4.2. Cenário futuro de curto prazo

O cenário de mudanças climáticas de curto prazo (2020 a 2059) indica que haverá redução dos valores de ISNA em todas as safras, épocas de semeadura e condições de CAD (Figuras 40, 41 e 42). Isso se deve à elevação esperada das temperaturas na região para o referido período, que devem ficar por volta de 2,4°C a 3,3°C, aumentando a taxa de evapotranspiração da cultura, o que associado à redução das chuvas em 34% (Tabela 8), irá reduzir a disponibilidade de água do solo para a cultura da soja, levando a uma menor evapotranspiração real, resultando em menor ISNA. Essa situação será mais drástica na semeadura precoce, em 21/10 (Figura 40) do que nas semeaduras mais tardias, em 21/11 (Figura 41) e 21/12 (Figura 42).

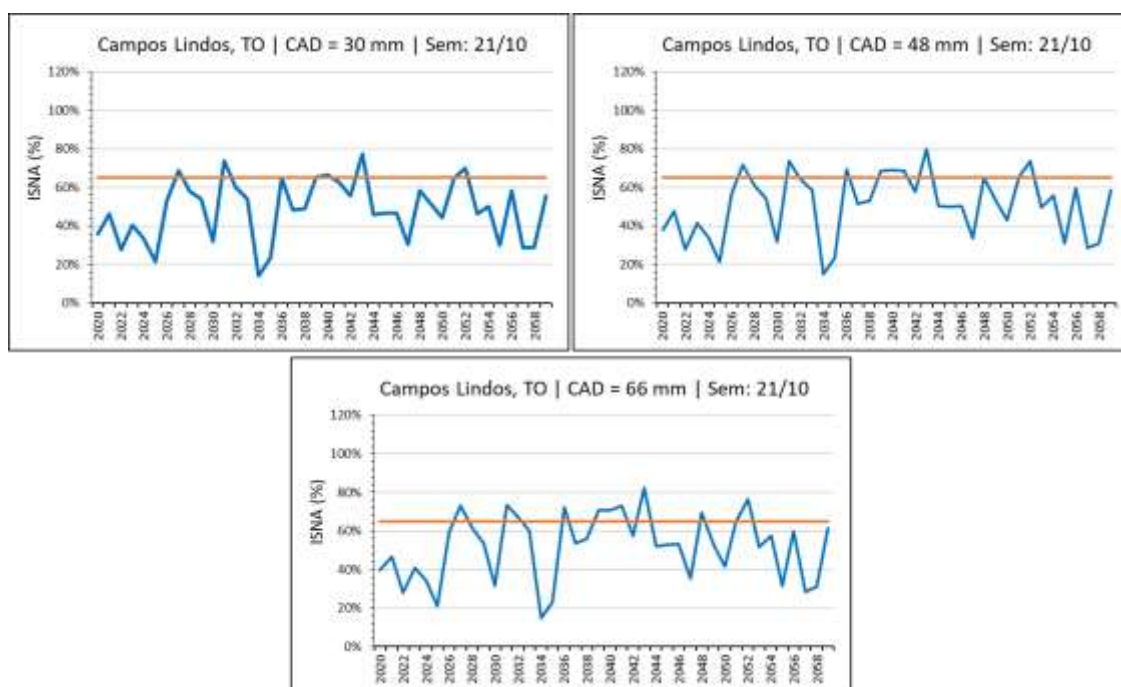


Figura 40 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/10 em Campos Lindos, TO, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

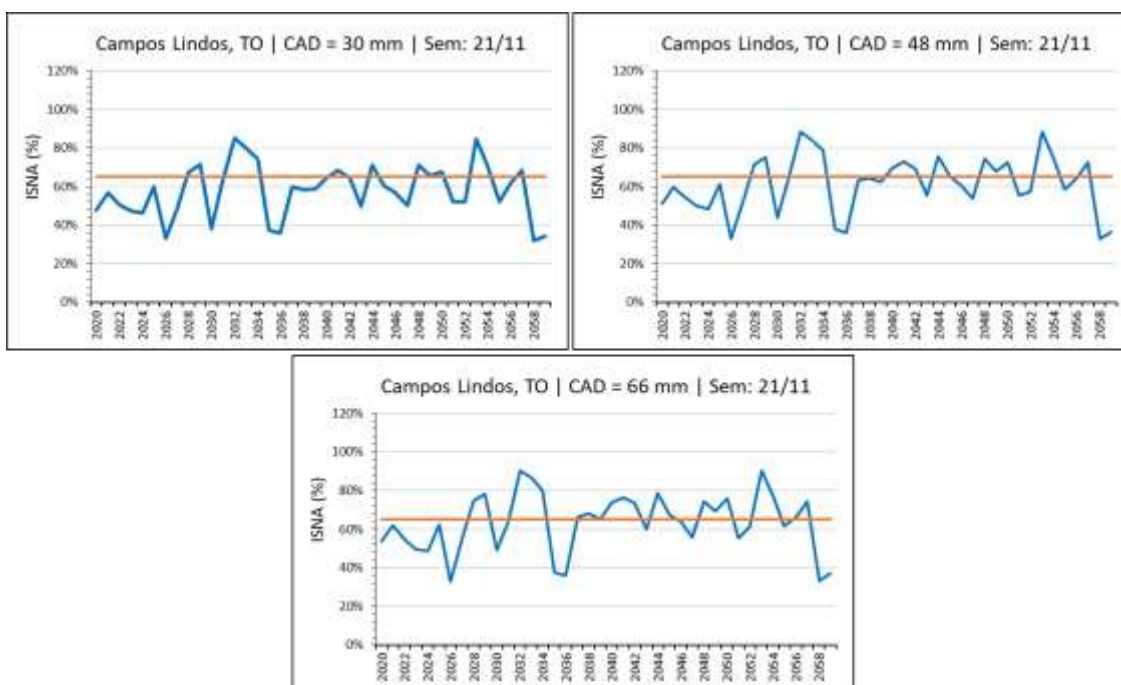


Figura 41 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/11 em Campos Lindos, TO, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

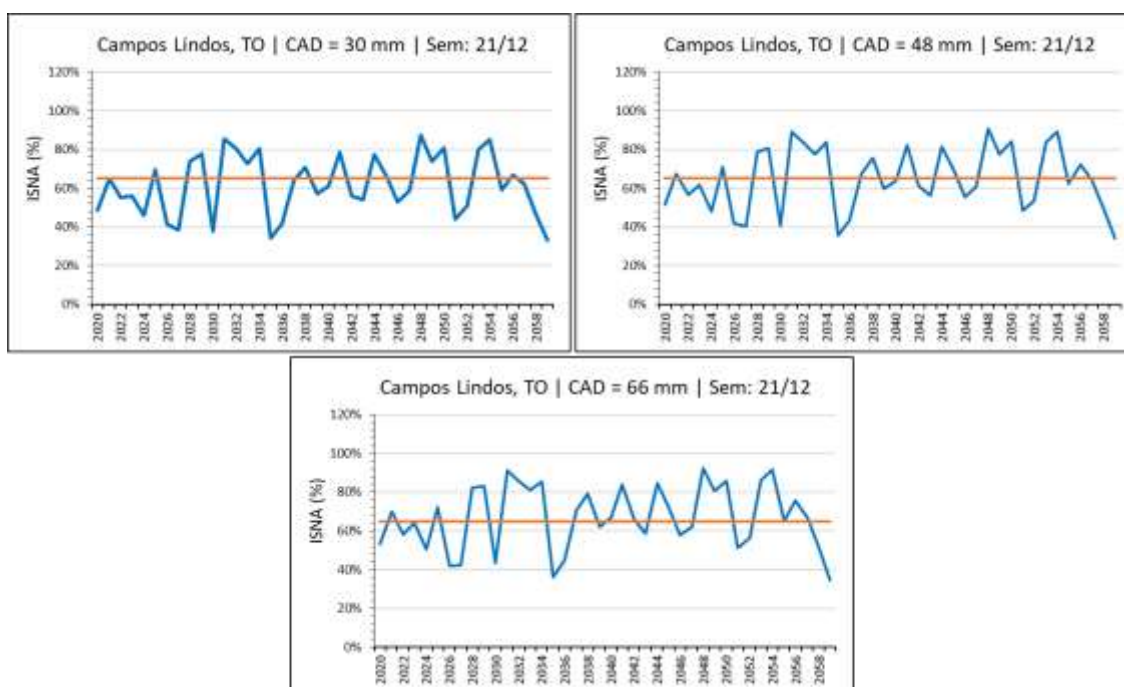


Figura 42 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/12 em Campos Lindos, TO, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

4.2.4.3. Cenário futuro de longo prazo

Assim como para o cenário de curto prazo (2020-2059), o cenário climático de longo prazo (2060 a 2099) também causará impactos expressivos à cultura da soja na região de Campos Lindos, TO, com o ISNA ficando predominantemente abaixo de 0,65, especialmente na semeadura precoce, em 21/10 (Figura 43). Nas demais épocas de semeadura, apesar dos impactos da elevação das temperaturas em cerca de 5,1°C a 6,6°C e redução das chuvas em torno de 51% (Tabela 9), ainda haverá alguns anos com ISNA acima de 0,65, como mostram as Figuras 44 e 45. Assim como nas demais regiões, as alterações do ISNA serão mais expressivas nas CADs menores, especialmente na de 30 mm.

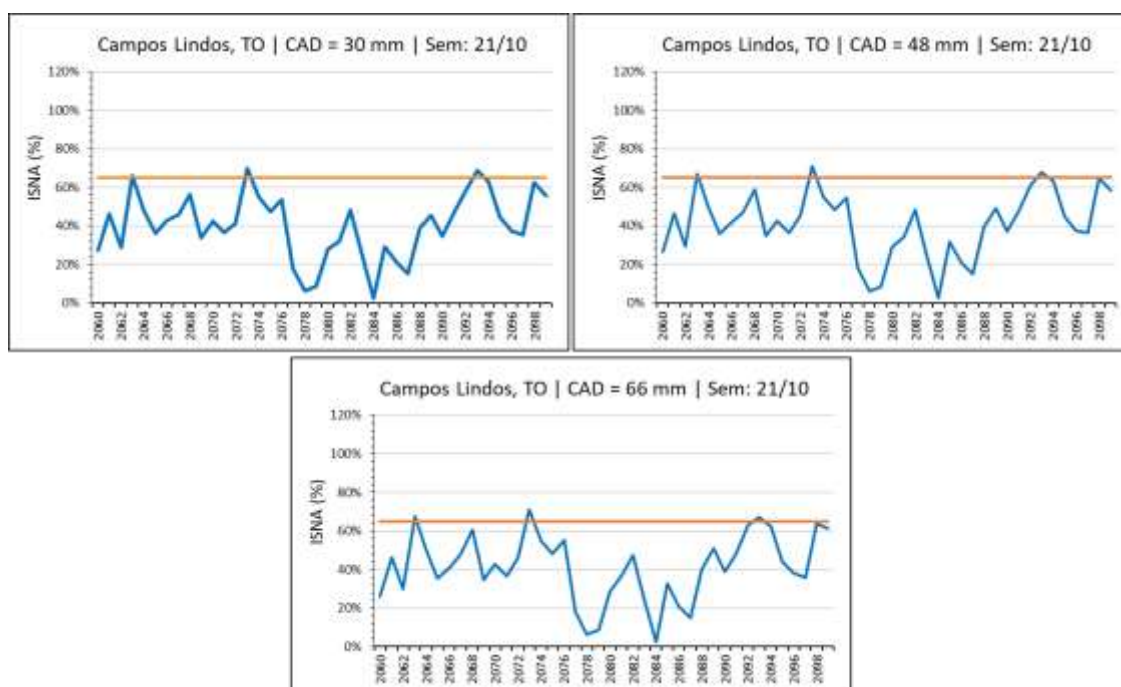


Figura 43 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/10 em Campos Lindos, TO, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

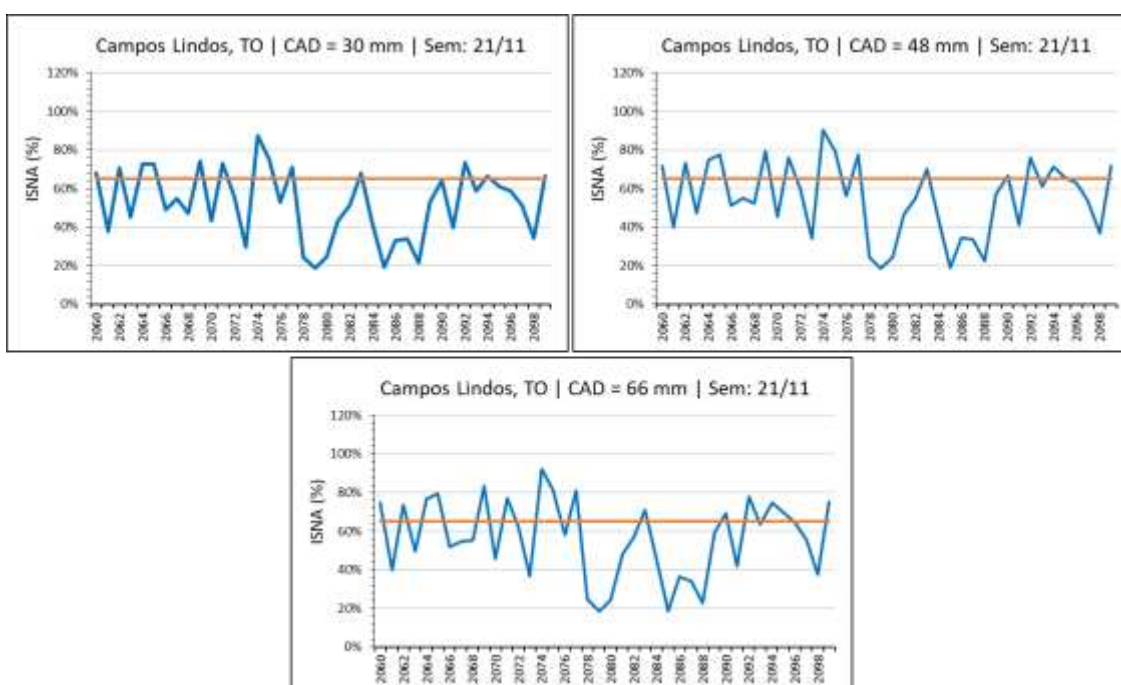


Figura 44 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/11 em Campos Lindos, TO, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

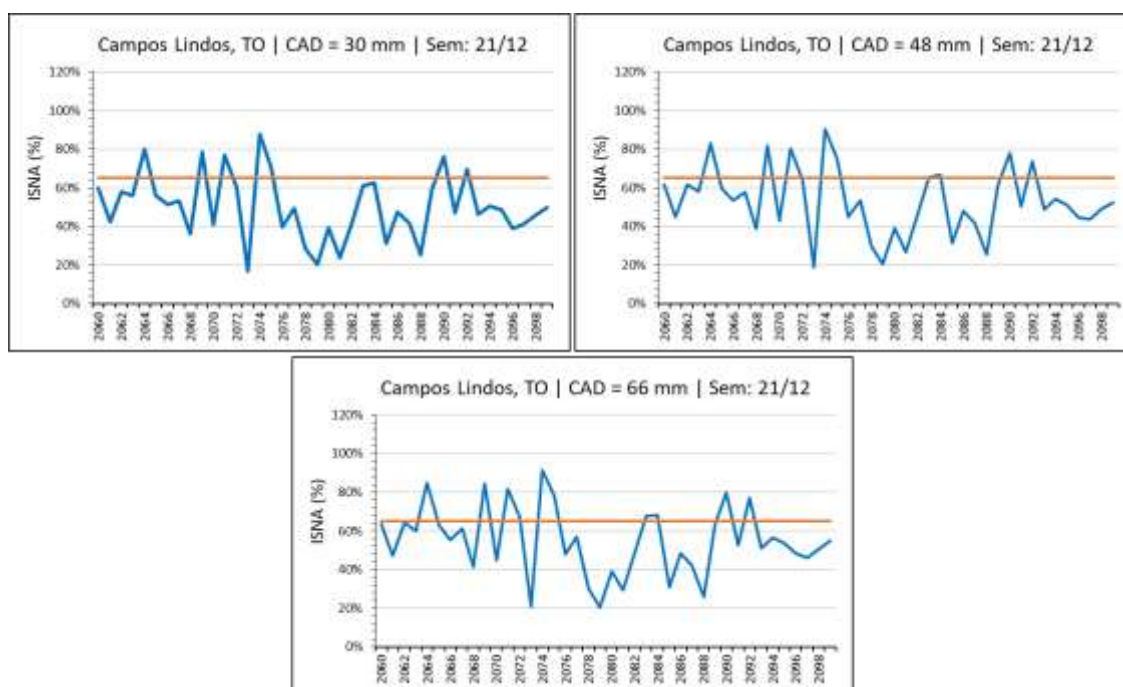


Figura 45 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/12 em Campos Lindos, TO, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

4.2.5. Campos Novos, SC

4.2.5.1. Cenário atual

A região de Campos Novos, SC, apresenta condições de ISNA bem próximas do limiar considerado para a cultura da soja. Nas semeaduras de 21/09 e 21/10 (Figuras 46 e 47), há uma maior frequência de anos com $ISNA < 0,65$, o que dá a entender que nessas épocas de semeadura há um grande risco para a cultura nessa região, especialmente nos solos de menor capacidade de retenção de água. Na semeadura tardia, em 21/11, apesar de uma situação hídrica para a cultura da soja um pouco melhor, ainda há um grande risco do ISNA ser menor do que 0,65, o que implica em redução das produtividades, especialmente nos solos com CAD de 30 mm e 48 mm (Figura 48). Para essa época de semeadura tardia, o solo de maior CAD (66 mm) é o que apresenta o menor risco de ocorrência de $ISNA < 0,65$ ao longo da série de anos analisados, o que indica que nessa região deve-se dar preferência aos solos de textura mais argilosa e com perfil de solo mais profundo.

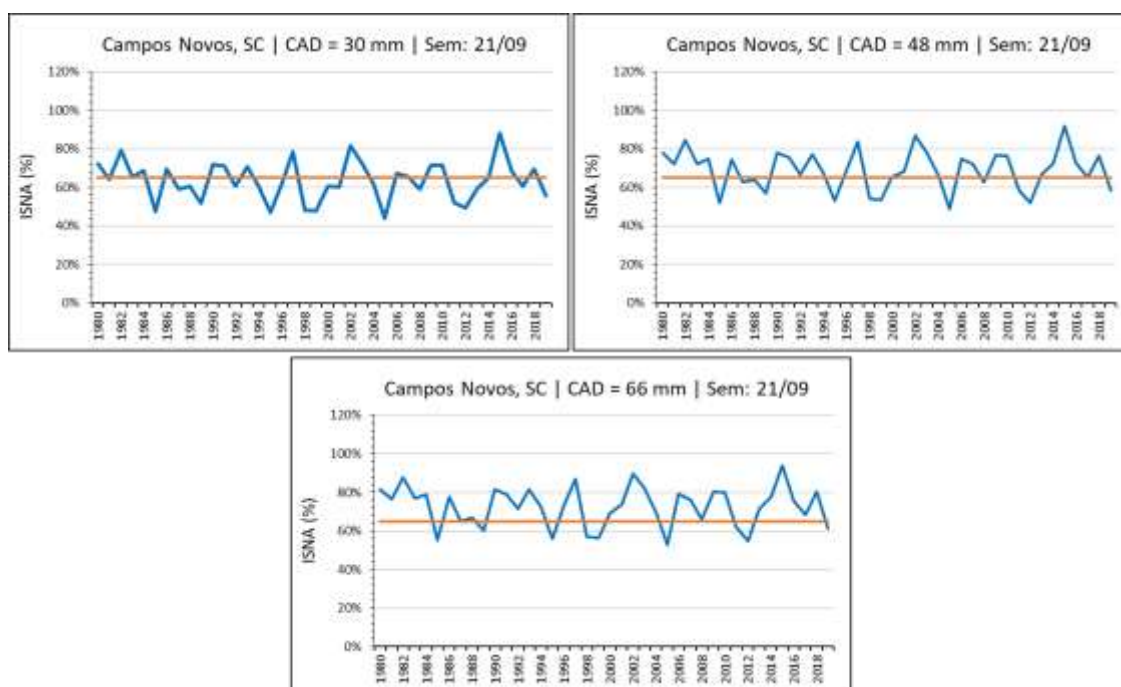


Figura 46 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/09 em Campos Novos, SC, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

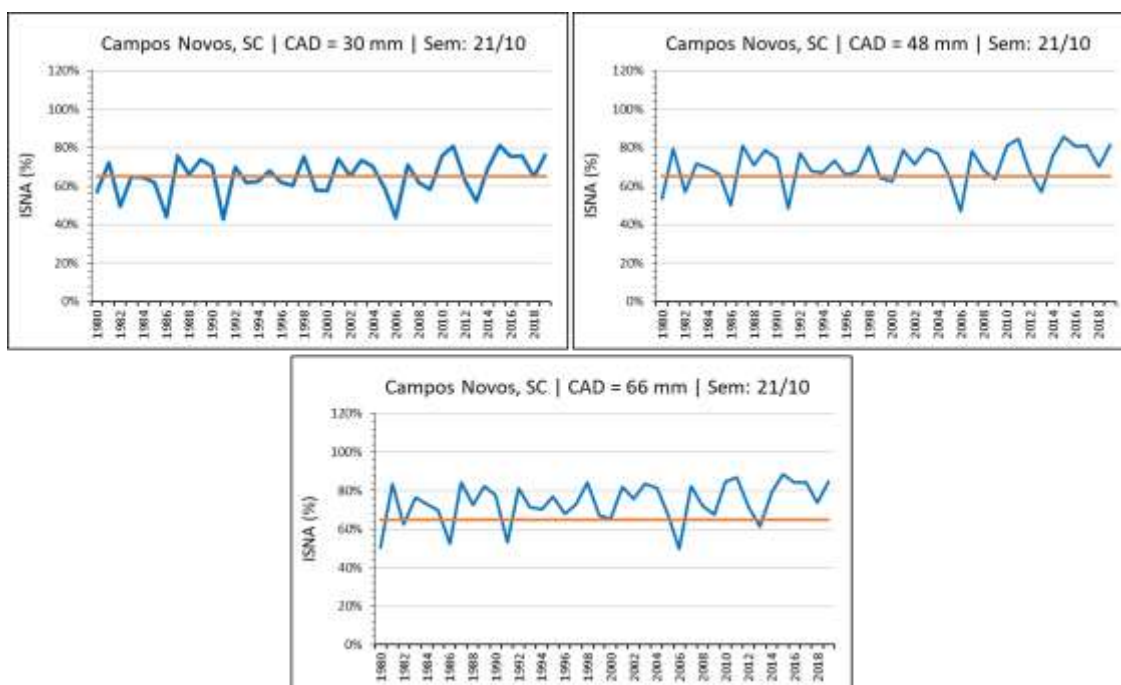


Figura 47 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/10 em Campos Novos, SC, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

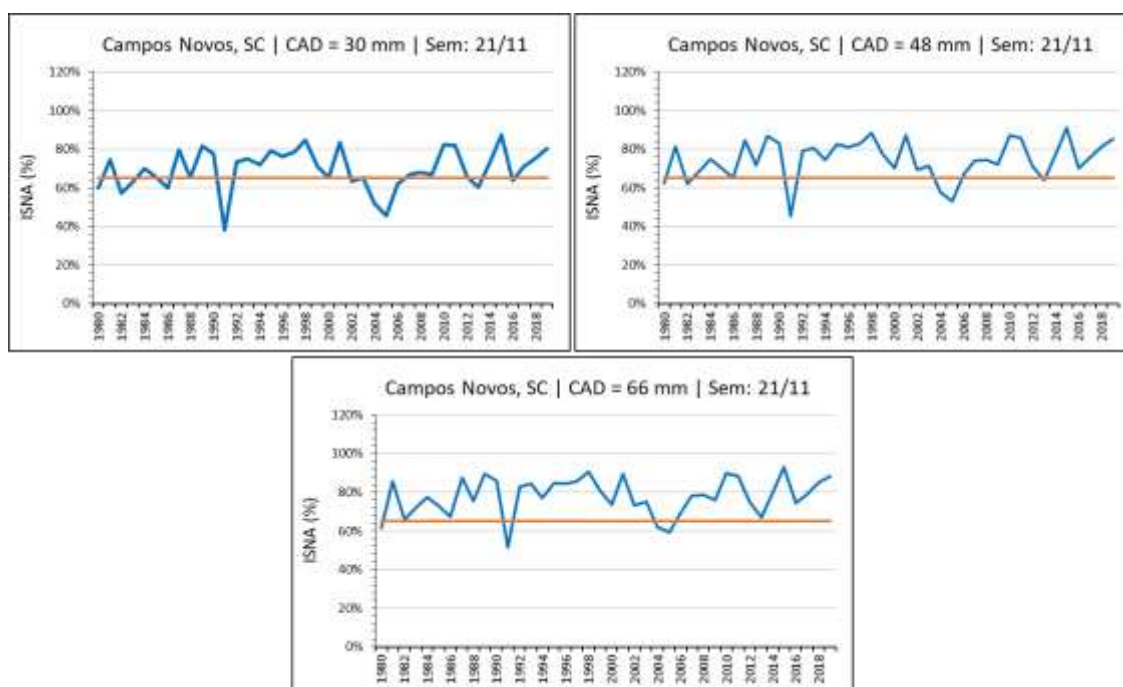


Figura 48 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/11 em Campos Novos, SC, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

4.2.5.2. Cenário futuro de curto prazo

Como era de se esperar, no cenário de mudanças climáticas de curto prazo, houve uma redução dos valores de ISNA na região de Campos Novos, SC. No entanto, essa variação não foi tão expressiva, uma vez que o aumento das temperaturas (entre 2,5°C e 3,3°C) foram contrabalanceadas pelo prognóstico de aumento das chuvas, da ordem de 3% (Tabela 8). Assim, mesmo com o aumento da demanda hídrica da cultura da soja, o aumento das chuvas possibilitou se atenuar o efeito prejudicial do aumento da temperatura na evapotranspiração real da soja. Como pode-se observar nas Figuras 49, 50 e 51, o ISNA tende a ficar abaixo do limite para a cultura da soja, especialmente nas semeaduras mais precoces (Figuras 49 e 50), enquanto que na semeadura tardia (Figura 51) há mais anos com $ISNA > 0,65$.

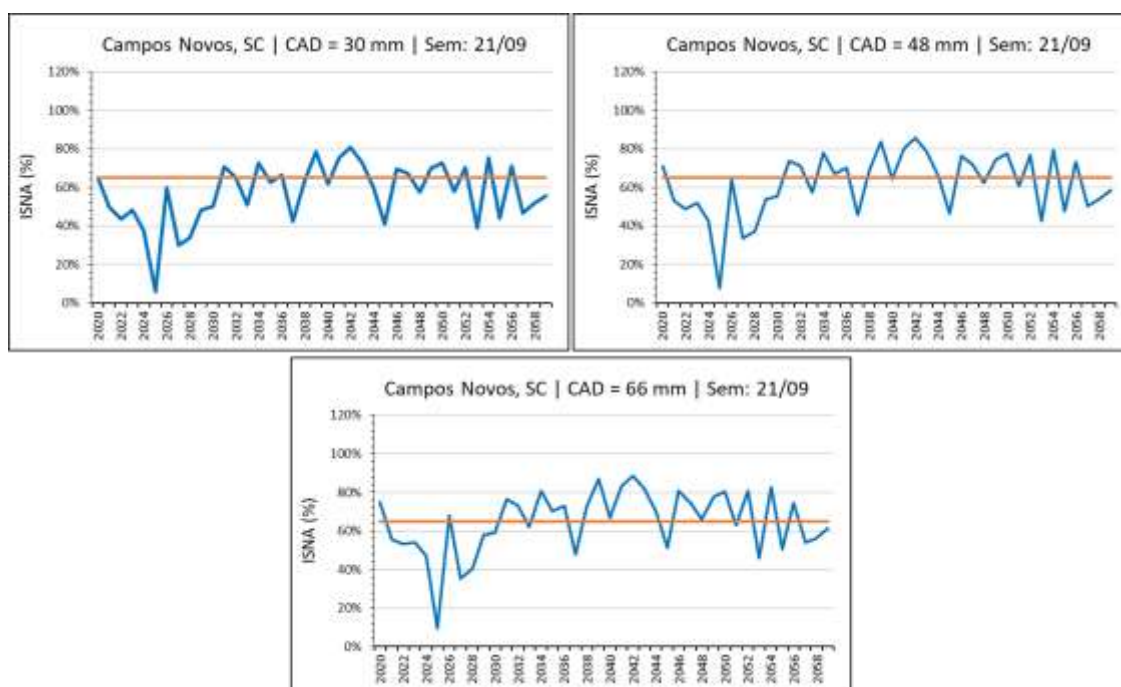


Figura 49 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/09 em Campos Novos, SC, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

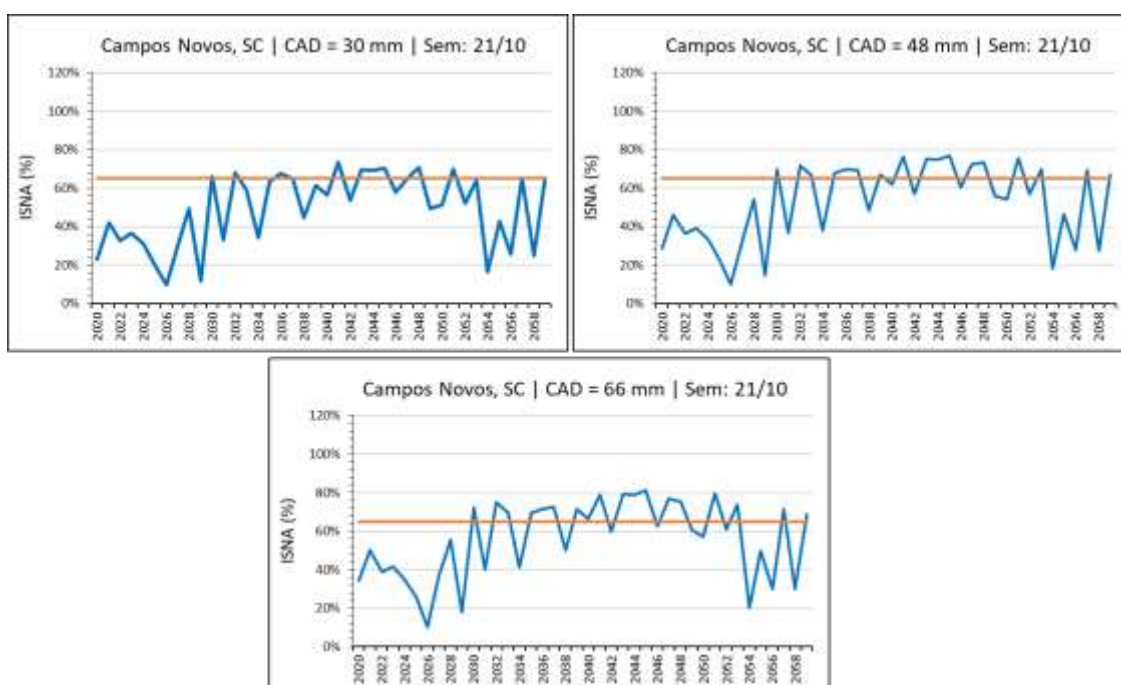


Figura 50 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/10 em Campos Novos, SC, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

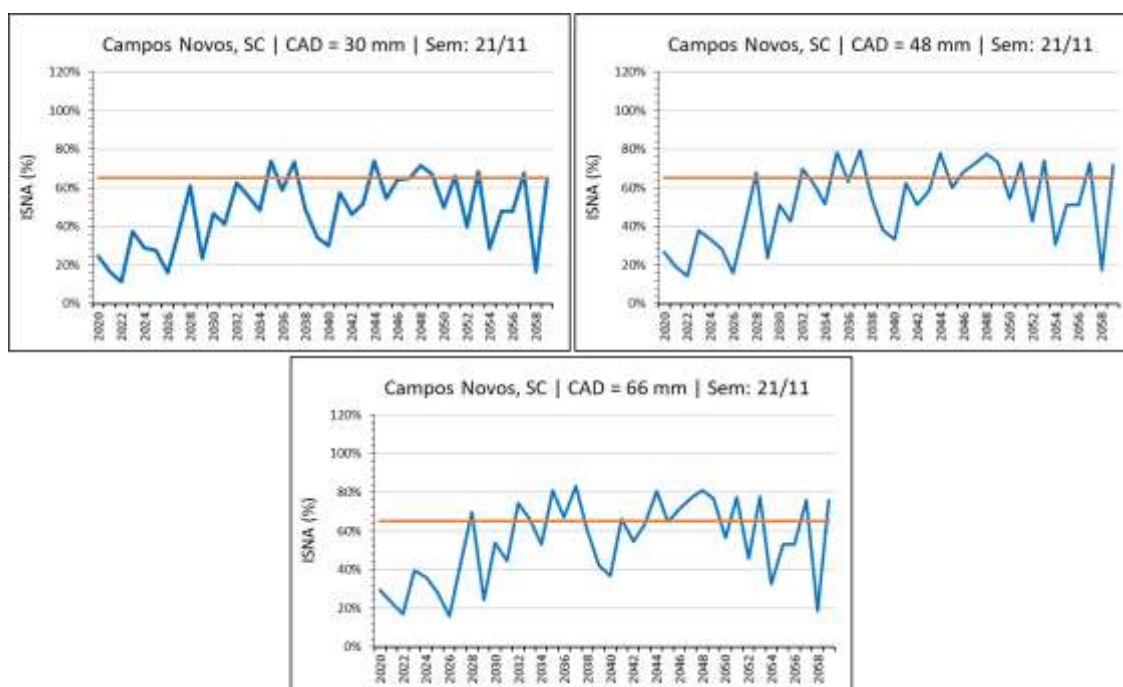


Figura 51 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/11 em Campos Novos, SC, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

4.2.5.3. Cenário futuro de longo prazo

Assim como observado para o cenário de mudanças climáticas a curto prazo, o cenário a longo prazo (2060-2099) também resultará em redução do ISNA, sendo que neste caso isso se dará de forma mais expressiva (Figuras 52, 53 e 54), uma vez que as temperaturas deverão aumentar entre 4,9°C e 5,8°C (Tabela 9), elevando a demanda hídrica da cultura de forma que, mesmo com o aumento de 9% nas chuvas (Tabela 9), o déficit hídrico deverá se elevar, reduzindo o ISNA ainda mais. Esse quadro de maior risco de $ISNA < 0,65$ deverá se estabelecer independentemente da época de semeadura, como mostram as Figuras 52, 53 e 54.

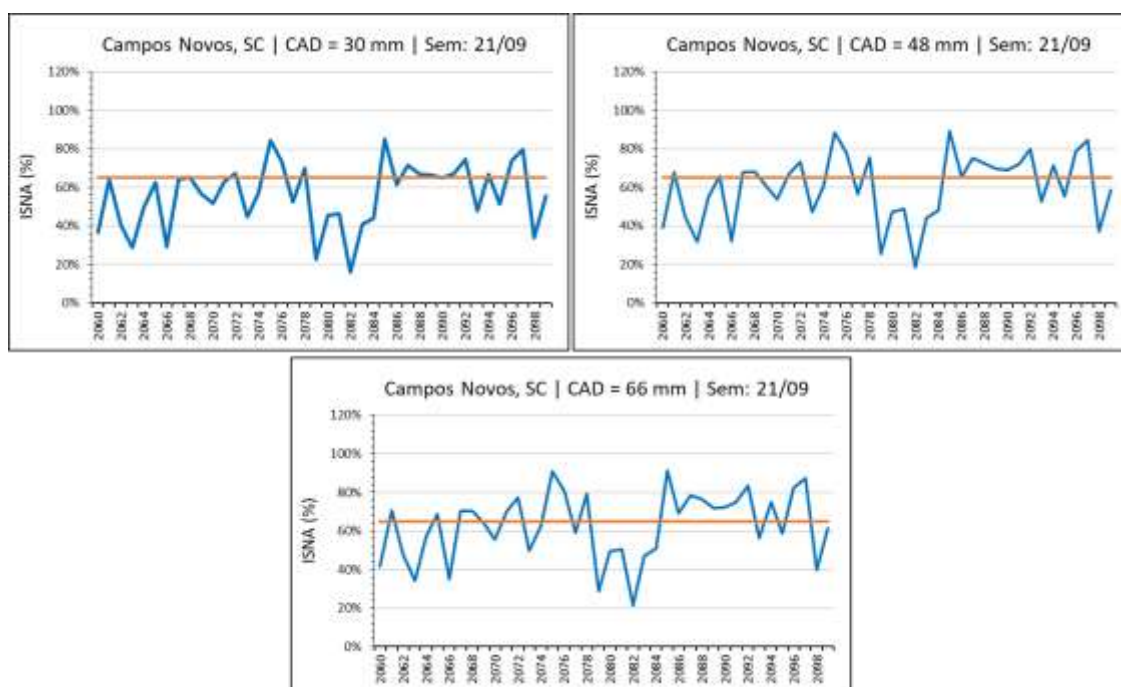


Figura 52 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/09 em Campos Novos, SC, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

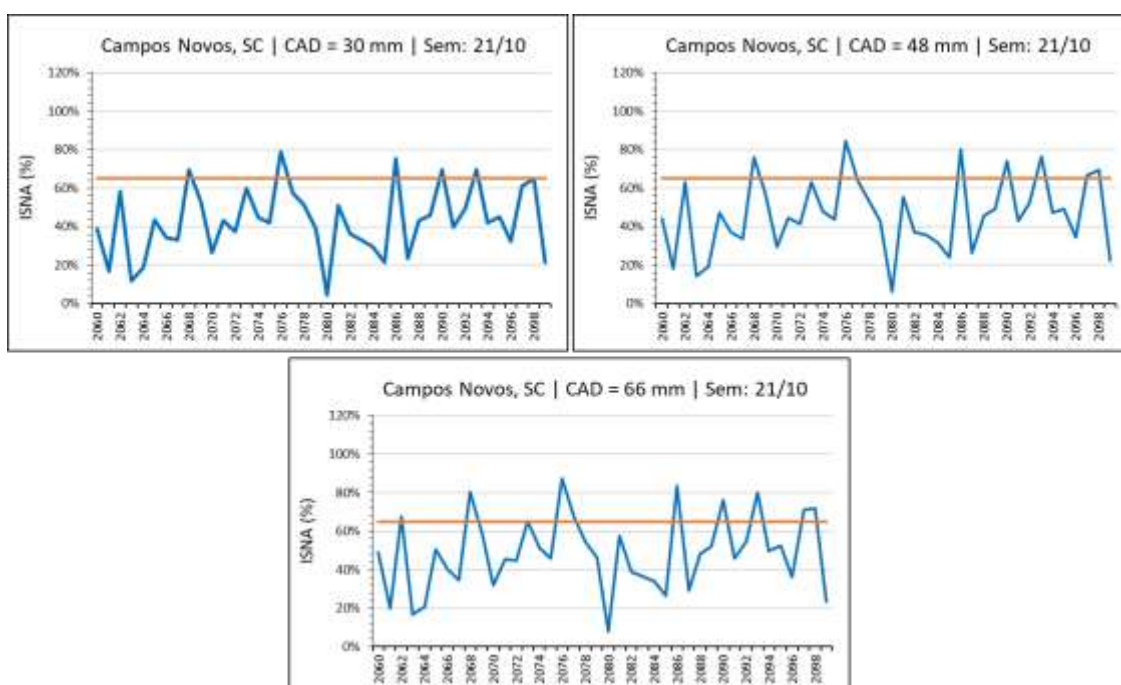


Figura 53 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/10 em Campos Novos, SC, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

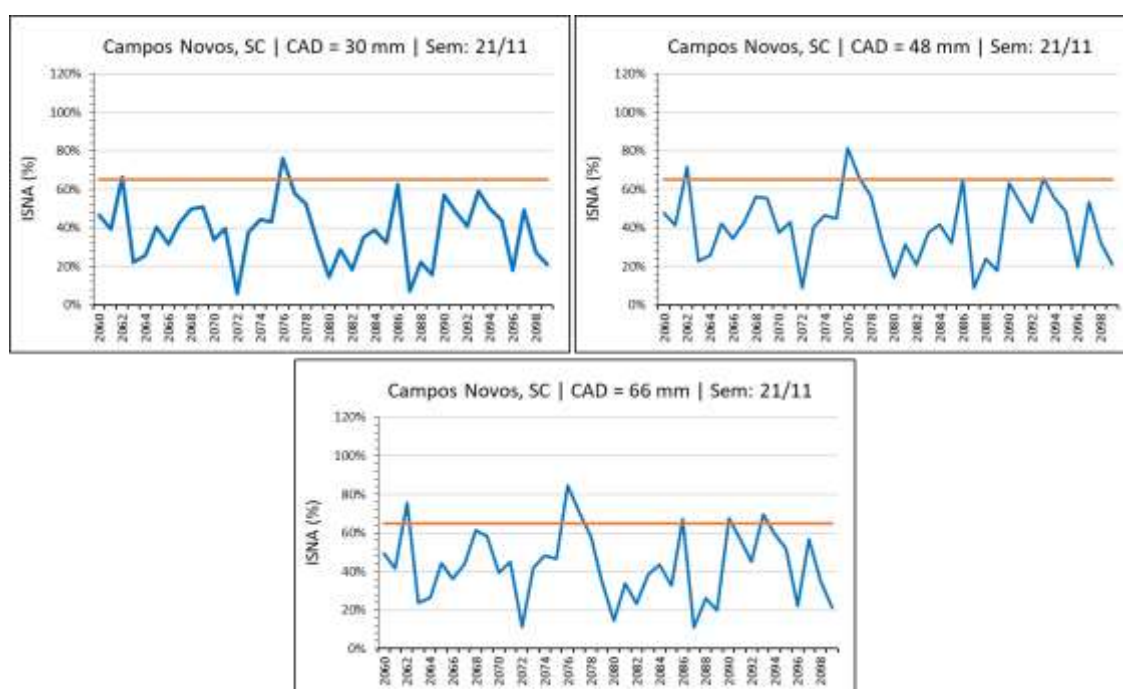


Figura 54 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/11 em Campos Novos, SC, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

4.2.6. Formosa do Rio Preto, BA

4.2.6.1. Cenário atual

Os valores de ISNA obtidos para o cenário atual da região de Formosa do Rio Preto mostram que esta é uma região que se encontra no limite de aptidão para o cultivo da soja, já que há uma grande frequência de anos com ISNA abaixo de 0,65 nas condições de solos de menor capacidade de retenção de água e semeaduras tardias, como mostram as Figuras 55, 56 e 57. Isso mostra que nessa região as semeaduras da cultura da soja devem ser priorizadas em 21/10, devendo-se dar preferência para os solos de textura mais argilosa e com perfil mais profundo.

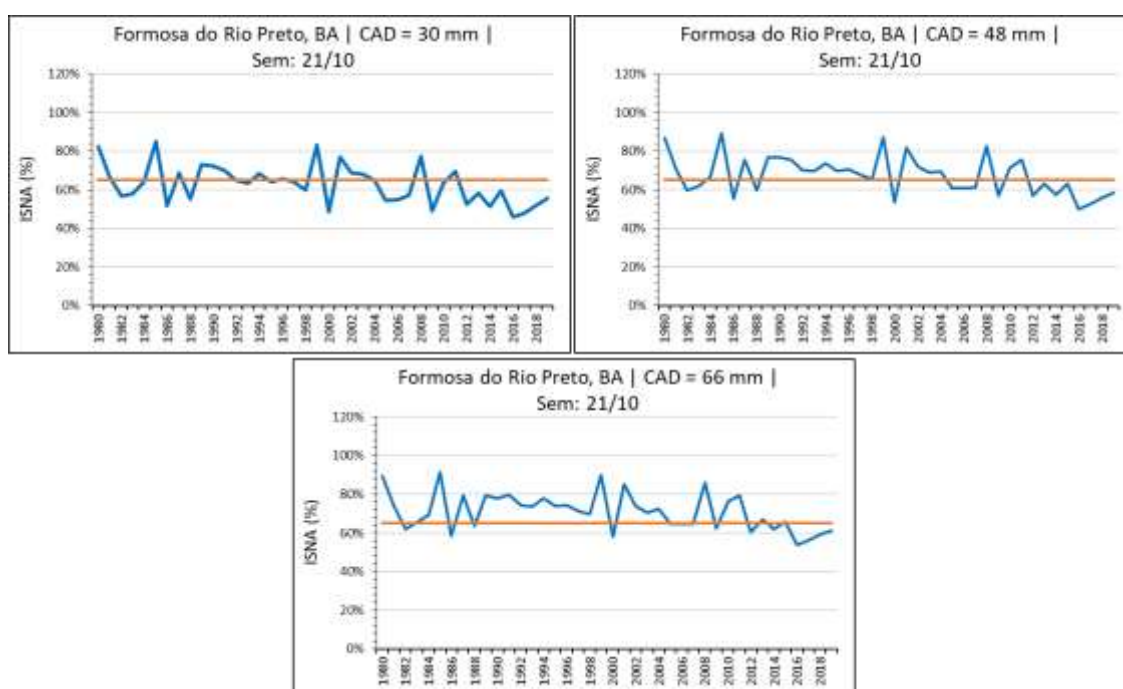


Figura 55 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/10 em Formosa do Rio Preto, BA, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

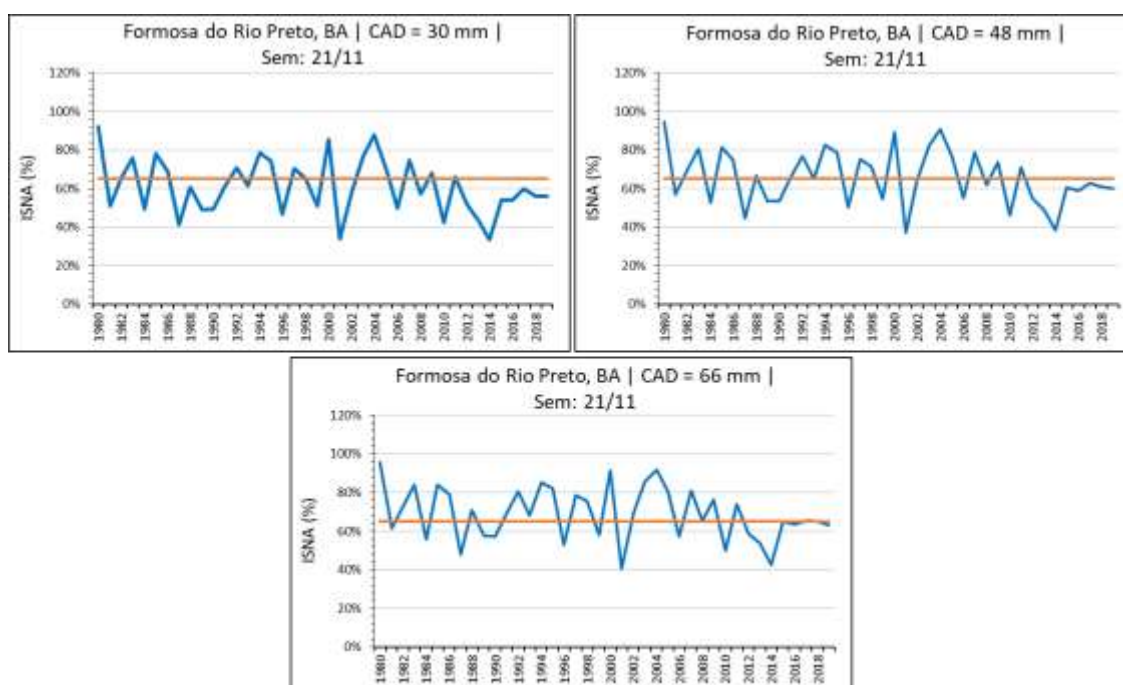


Figura 56 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/11 em Formosa do Rio Preto, BA, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

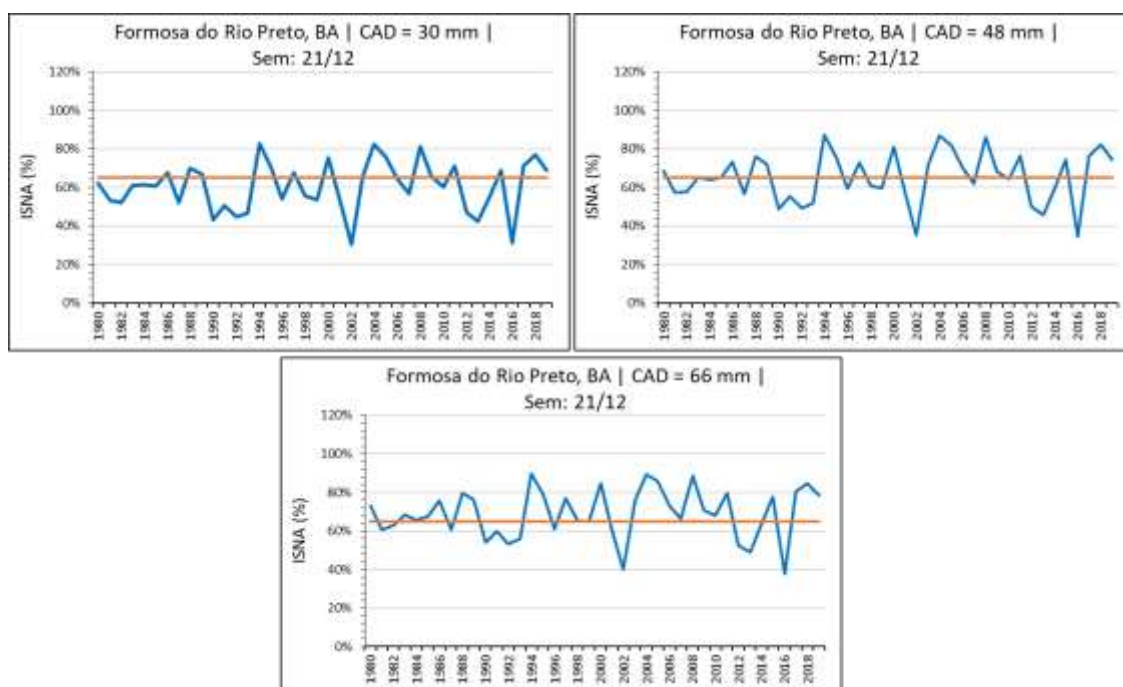


Figura 57 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/12 em Formosa do Rio Preto, BA, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

4.2.6.2. Cenário futuro de curto prazo

As mudanças climáticas deverão afetar a região de Formosa do Rio Preto de forma bastante expressiva, já que nessa região as temperaturas, nesse cenário, deverão aumentar de 2,4°C a 3,3°C e as chuvas diminuirão em 52% (Tabela 8). Visto que a região já apresenta um risco de $ISNA < 0,65$ elevado, como mostram as Figuras 55, 56 e 57, as alterações climáticas deverão fazer com que em todas as épocas de semeadura e CADs, o ISNA fique sempre abaixo do limite crítico para a cultura (Figuras 58, 59 e 60), inviabilizando o cultivo da soja sob condições de sequeiro, nesse cenário. Assim, o cultivo da soja nessa região somente seria possível com irrigação.

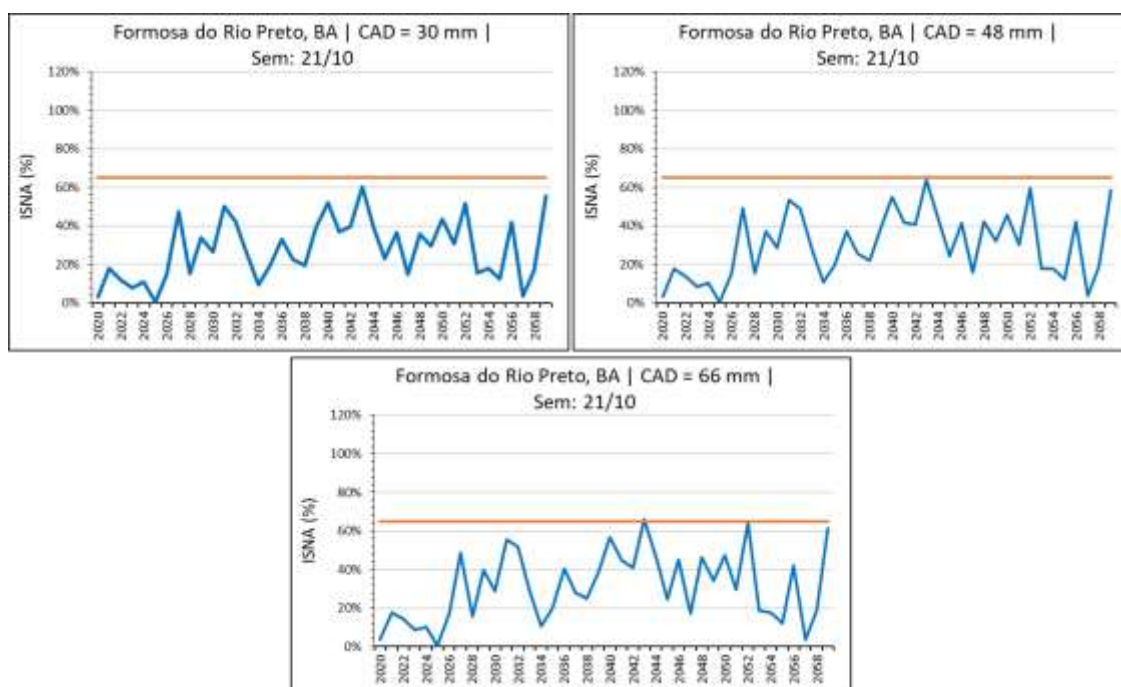


Figura 58 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/10 em Formosa do Rio Preto, BA, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

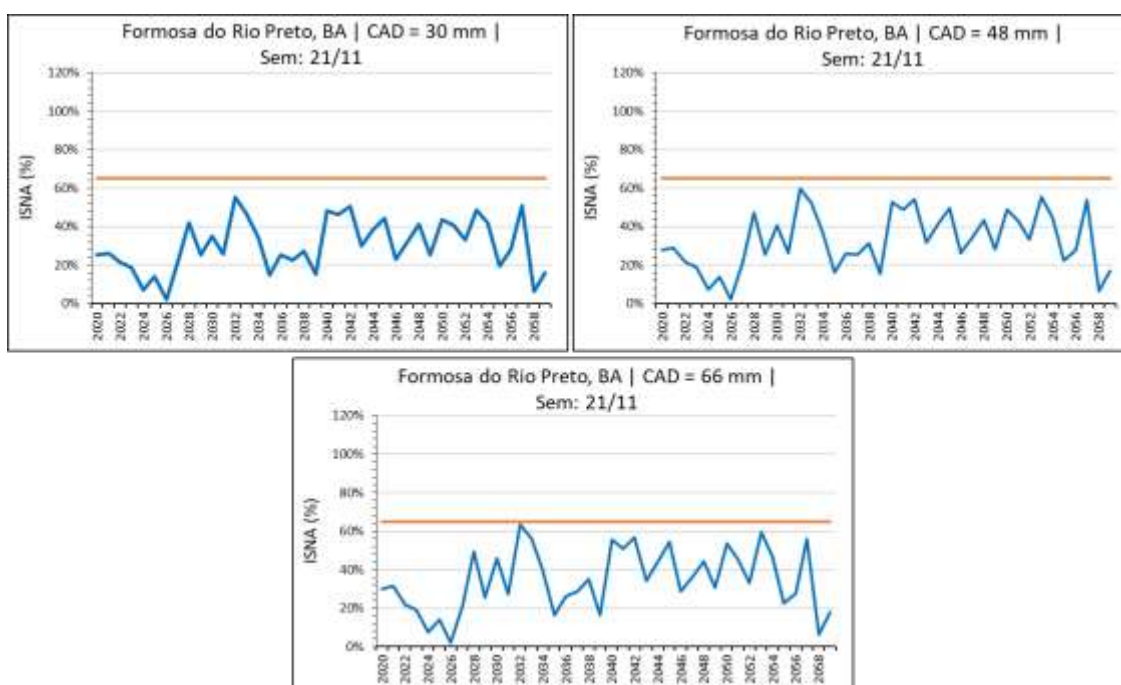


Figura 59 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/11 em Formosa do Rio Preto, BA, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

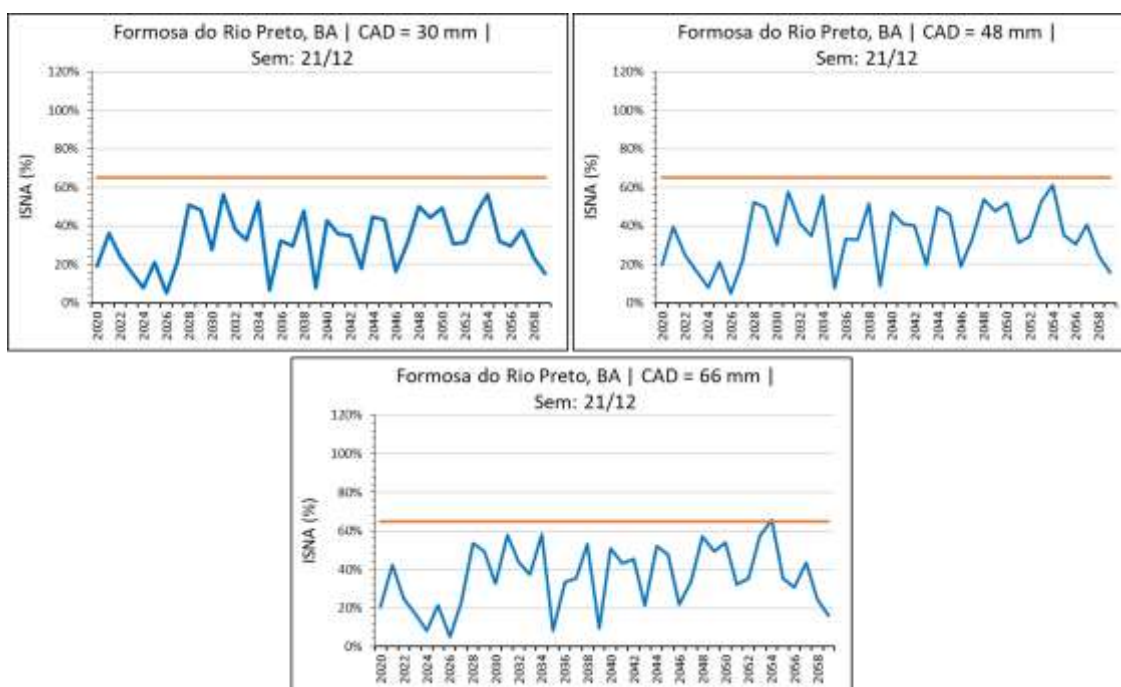


Figura 60 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/12 em Formosa do Rio Preto, BA, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

4.2.6.3. Cenário futuro de longo prazo

Assim como observado para o cenário de mudança climática de curto prazo, a região de Formosa do Rio Preto, BA, sofrerá drásticas alterações do ISNA no cenário futuro de longo prazo, como mostram as Figuras 61, 62 e 63, com os valores anuais de ISAN ficando sempre abaixo do limiar crítico de 0,65, independentemente da época de semeadura, CAD e ano considerados, limitando o cultivo desta cultura na região sob tal condição de clima, em que as temperaturas deverão subir entre 4,7°C e 6,0°C e as chuvas serem reduzidas em 65% (Tabela 9). Numa condição climática como esta, além dos problemas decorrentes do maior déficit hídrico para a cultura, deverá haver também problemas relacionados ao efeito das elevadas temperaturas no pegamento da florada e das vagens, como mencionado por Sentelhas et al. (2018).

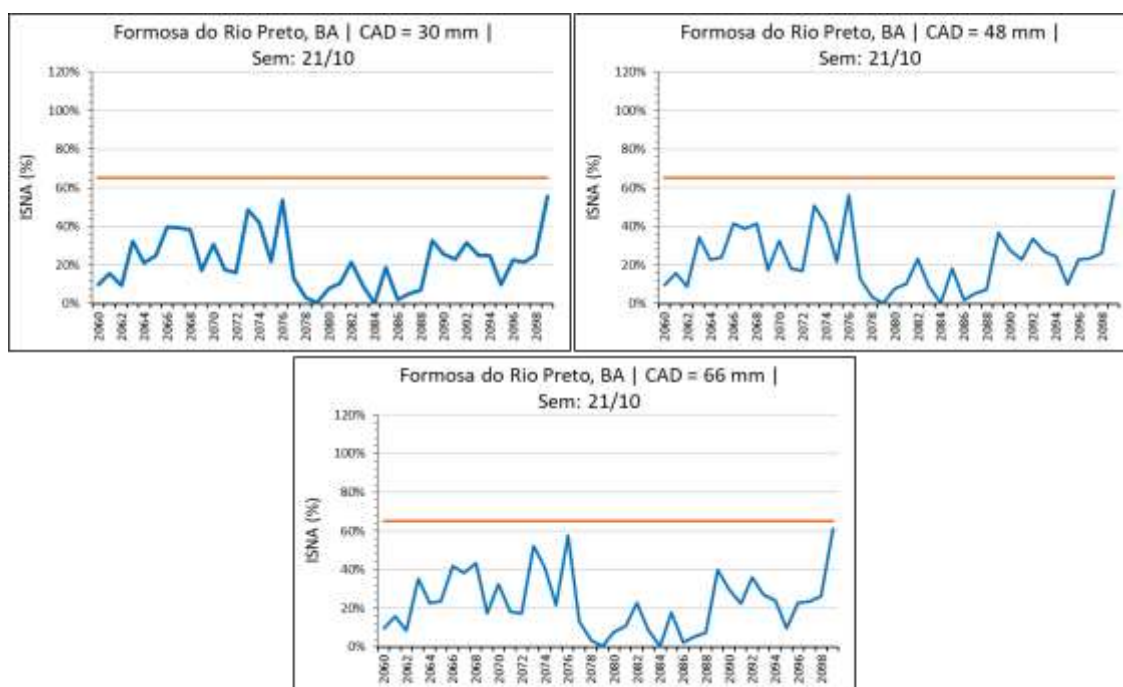


Figura 61 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/10 em Formosa do Rio Preto, BA, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

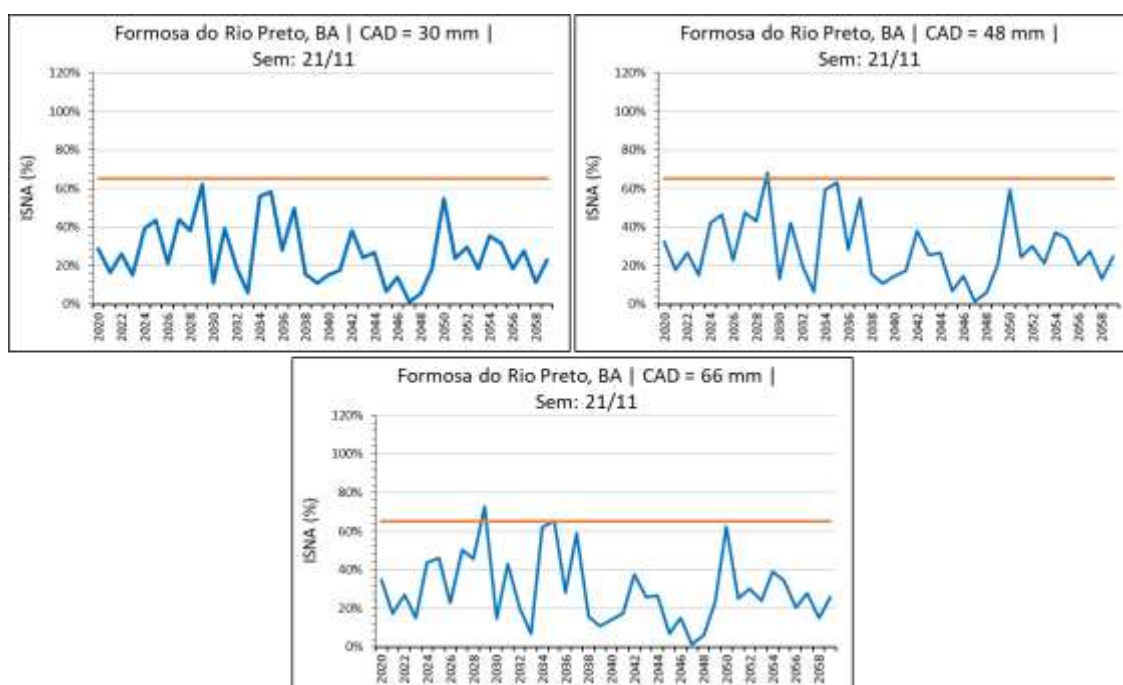


Figura 62 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/11 em Formosa do Rio Preto, BA, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

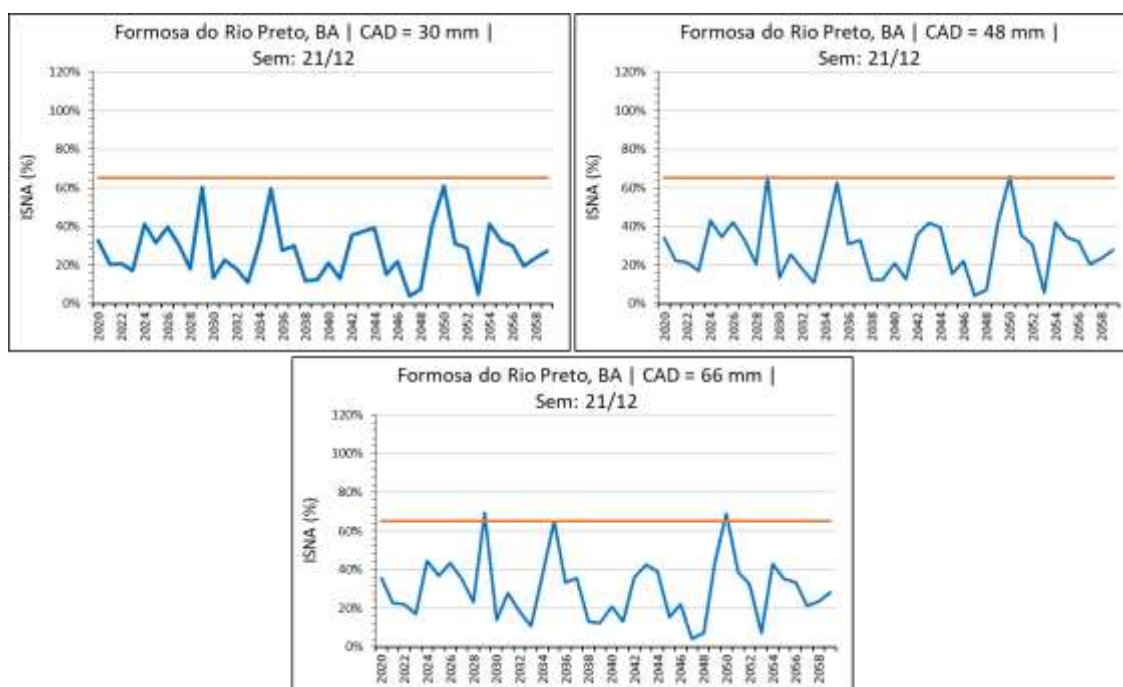


Figura 63 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/12 em Formosa do Rio Preto, BA, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

4.2.7. Itapeva, SP

4.2.7.1. Cenário atual

A condição de clima atual na região de Itapeva, SP, mostra-se favorável ao cultivo da soja, com a predominância de $ISNA > 0,65$ em praticamente toda a série histórica analisada, especialmente nas épocas de semeadura mais tardias e para as maiores CADs (Figuras 65 e 66). Para a semeadura precoce, em 01/10 (Figura 64), as chances de $ISNA < 0,65$ são maiores, especialmente nas CADs de 30 mm e 48 mm, o que se deve ao fato de que nesta época do ano ainda há grande instabilidade no estabelecimento da estação chuvosa. Assim, a semeadura mais tardia eleva as chances de sucesso da cultura, impondo à mesma menores déficits hídricos.

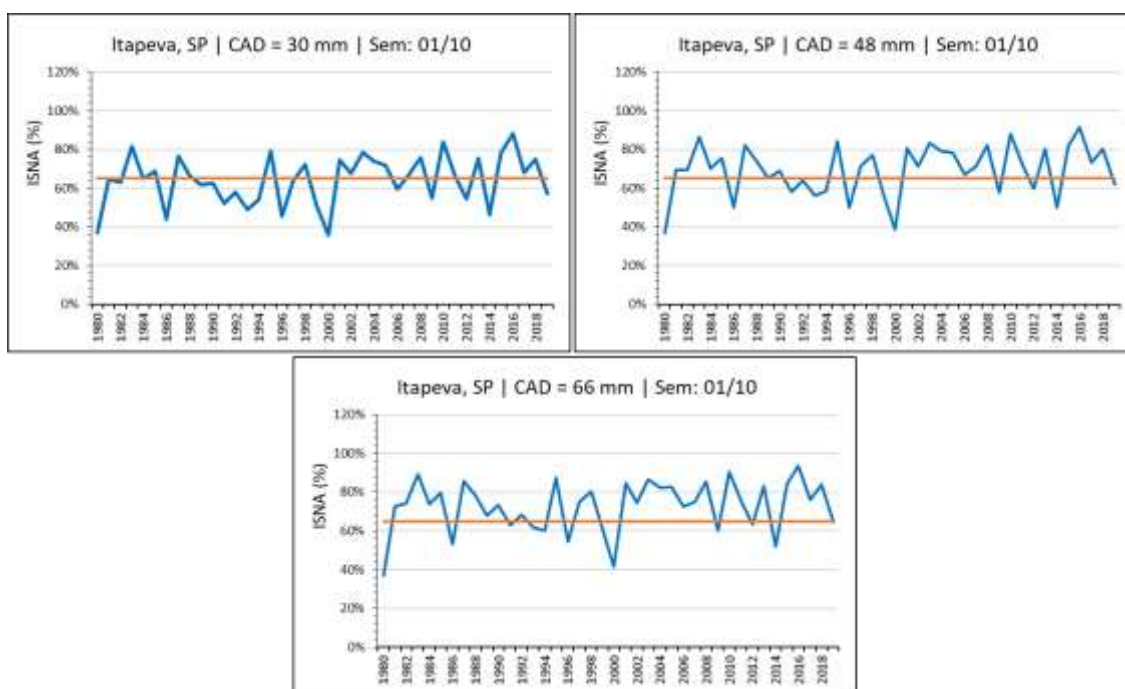


Figura 64 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/10 em Itapeva, SP, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

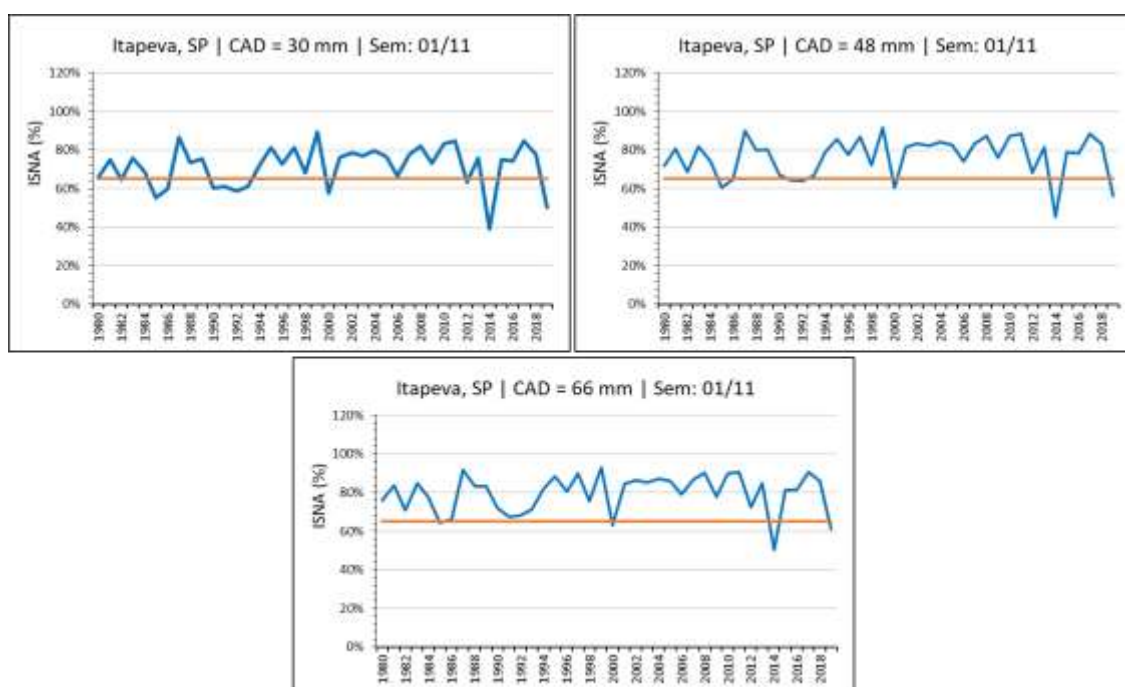


Figura 65 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/11 em Itapeva, SP, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

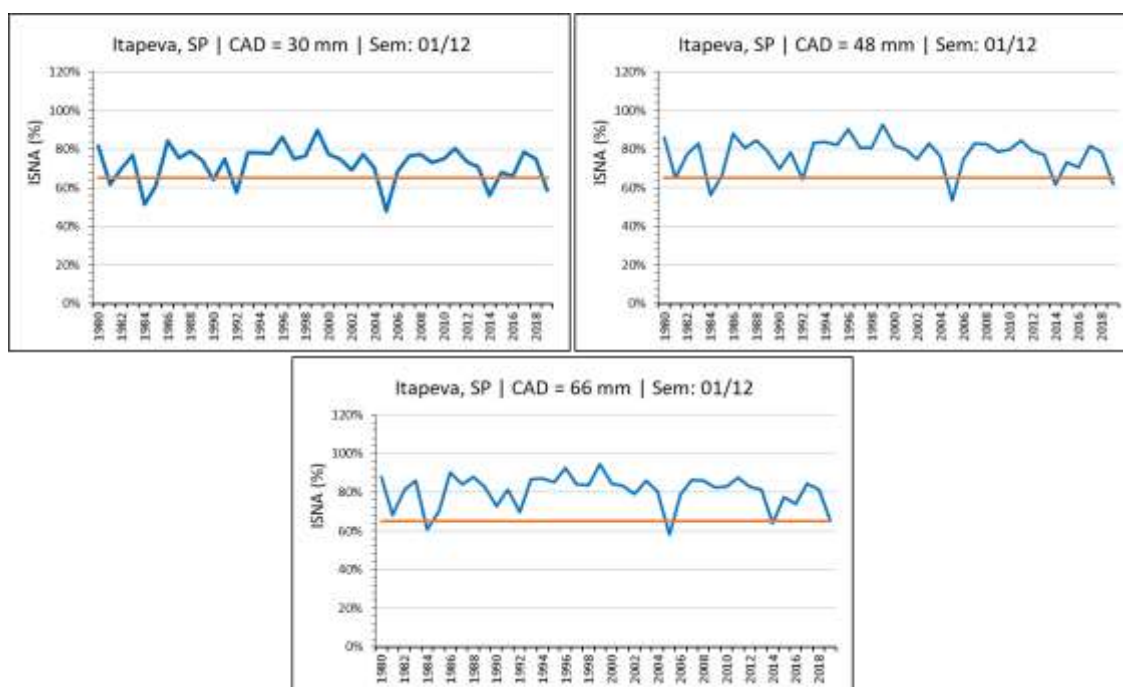


Figura 66 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/12 em Itapeva, SP, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

4.2.7.2. Cenário futuro de curto prazo

As alterações climáticas de curto prazo que estão prognosticadas para a região de Itapeva, SP, com as temperaturas subindo entre 2,3°C e 4,3°C e as chuvas diminuindo em 29% (Tabela 8), irão impactar drasticamente as condições de cultivo da soja, com os valores de ISNA ficando predominantemente abaixo do limiar crítico (0,65) em todas as épocas de semeadura e condições de solo (CAD), como mostram as Figuras 67, 68 e 69. Isso indica que o cultivo da soja na região será inviabilizado como cultura de sequeiro sob tais condições, passando a irrigação a ser fundamental para a obtenção de bons níveis de produtividade.

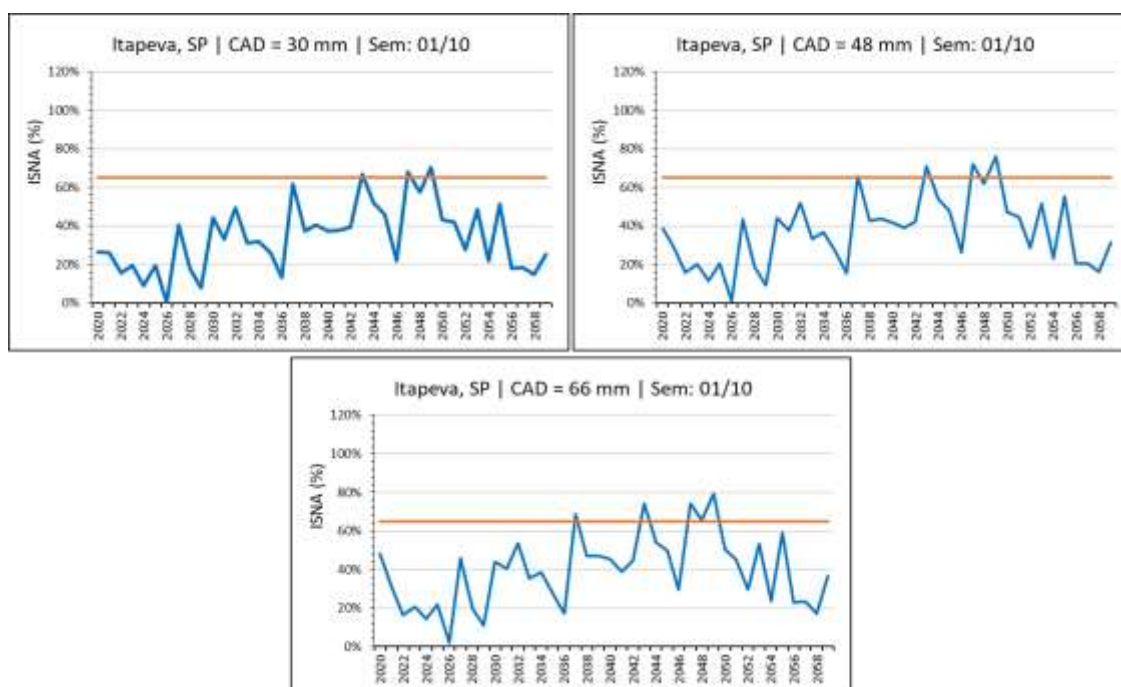


Figura 67 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/10 em Itapeva, SP, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

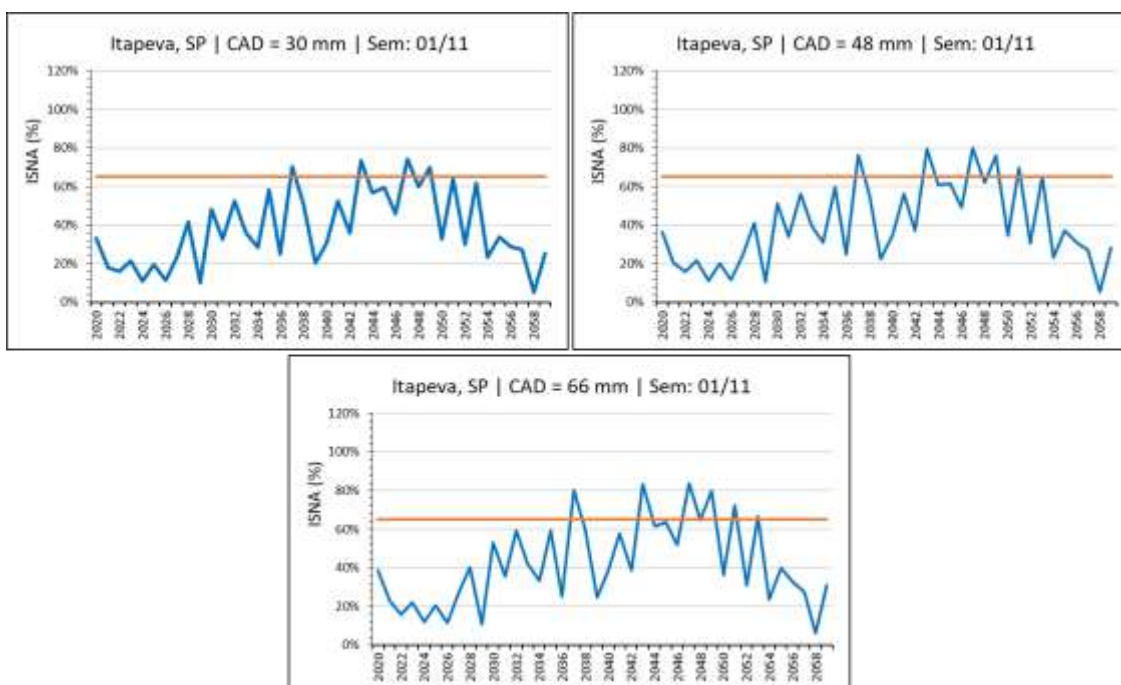


Figura 68 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/11 em Itapeva, SP, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

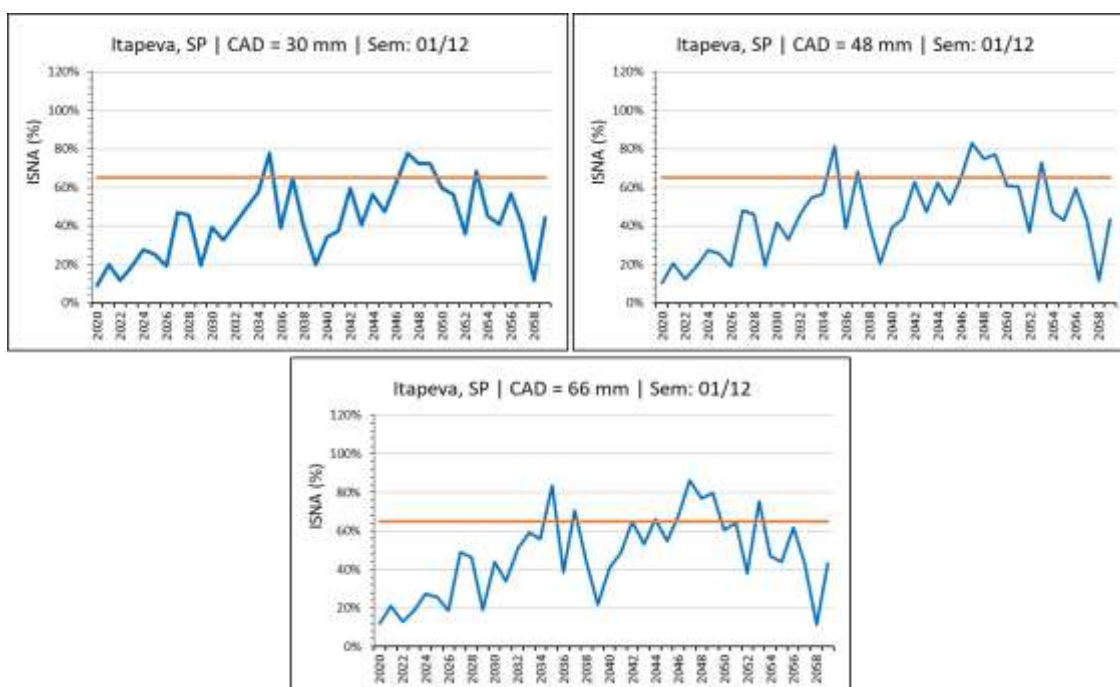


Figura 69 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/12 em Itapeva, SP, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

4.2.7.3. Cenário futuro de longo prazo

Assim como observado para o cenário de mudança climática de curto prazo, a região de Itapeva, SP, irá sofrer com as alterações projetadas de temperatura e chuva na região. Desse modo, drásticas alterações do ISNA são esperadas no cenário futuro de longo prazo, como mostram as Figuras 70, 71 e 72, com os valores anuais de ISNA ficando quase sempre abaixo do limiar crítico de 0,65, independentemente da época de semeadura e CAD considerada, limitando o cultivo desta cultura na região sob tal condição de clima, em que as temperaturas deverão subir entre 4,8°C e 7,3°C e as chuvas serem reduzidas em 36% (Tabela 9). Numa condição climática como esta, além dos problemas decorrentes do maior déficit hídrico para a cultura, reduzindo a produtividade e exigindo o uso da irrigação, deverá haver também distúrbios fisiológicos, intensificando o abortamento de flores e vagens (SENTELHAS et al., 2018).

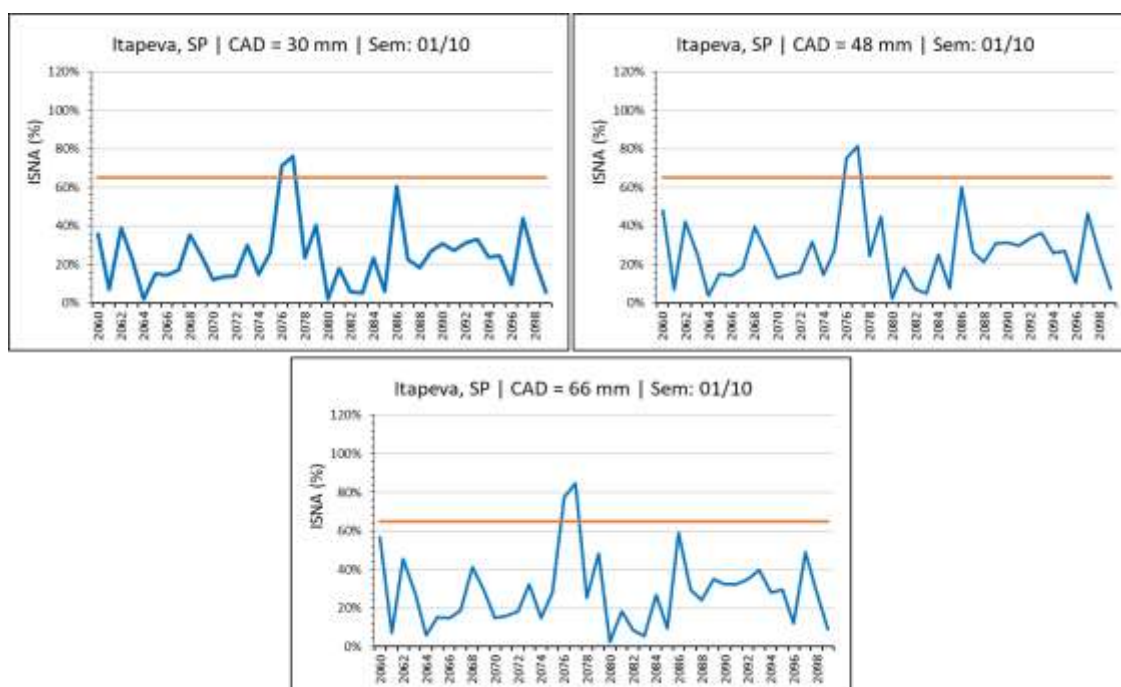


Figura 70 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/10 em Itapeva, SP, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

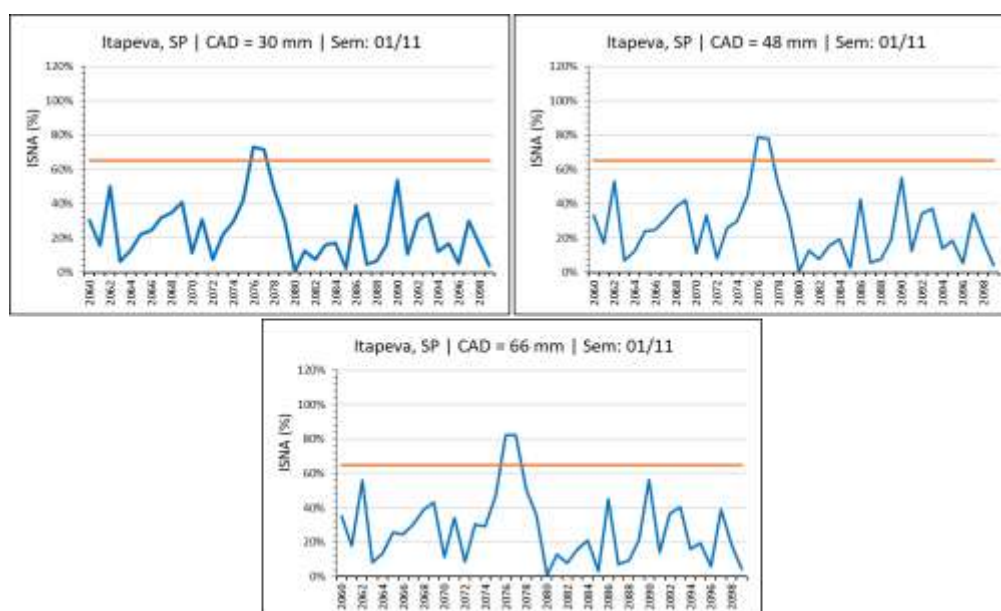


Figura 71 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/11 em Itapeva, SP, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

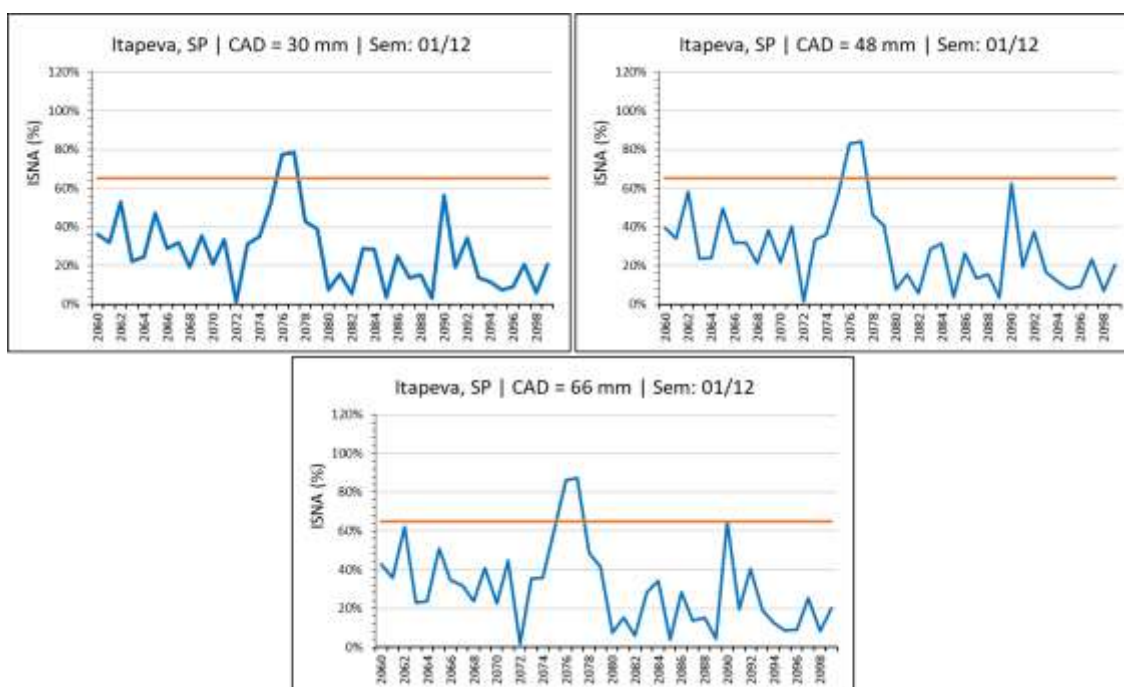


Figura 72 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/12 em Itapeva, SP, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

4.2.8. Macapá, AP

4.2.8.1. Cenário atual

A região de Macapá, AP, apresenta excelentes condições hídricas para o cultivo da soja, especialmente nas épocas de semeadura de 01/04 e 01/05, independentemente do tipo de solo considerado, ou seja, a CAD usada (Figuras 73 e 74), quando os valores de ISNA ao longo da série histórica ficam predominantemente acima de 0,65, sendo que na semeadura de 01/04 o ISNA normalmente fica acima de 0,8 (Figura 73). Por outro lado, na semeadura tardia (01/06), o risco dos valores de ISNA ficarem abaixo de 0,65 aumenta expressivamente, não sendo recomendada a semeadura nesta época.

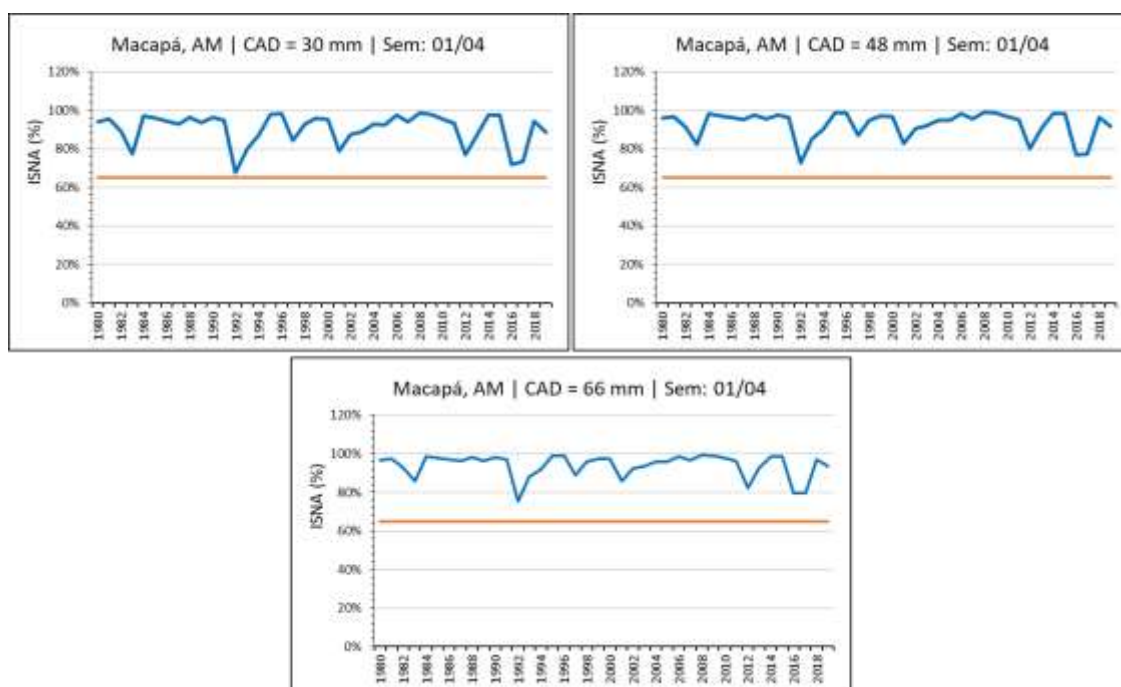


Figura 73 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/04 em Macapá, AP, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

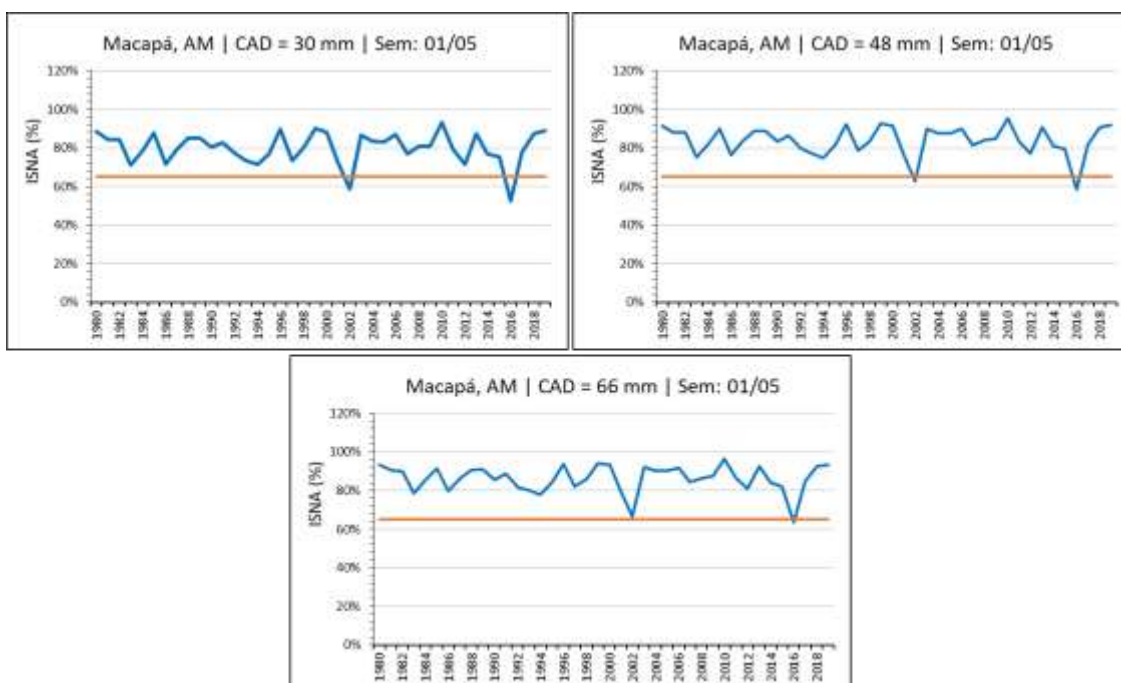


Figura 74 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/05 em Macapá, AP, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

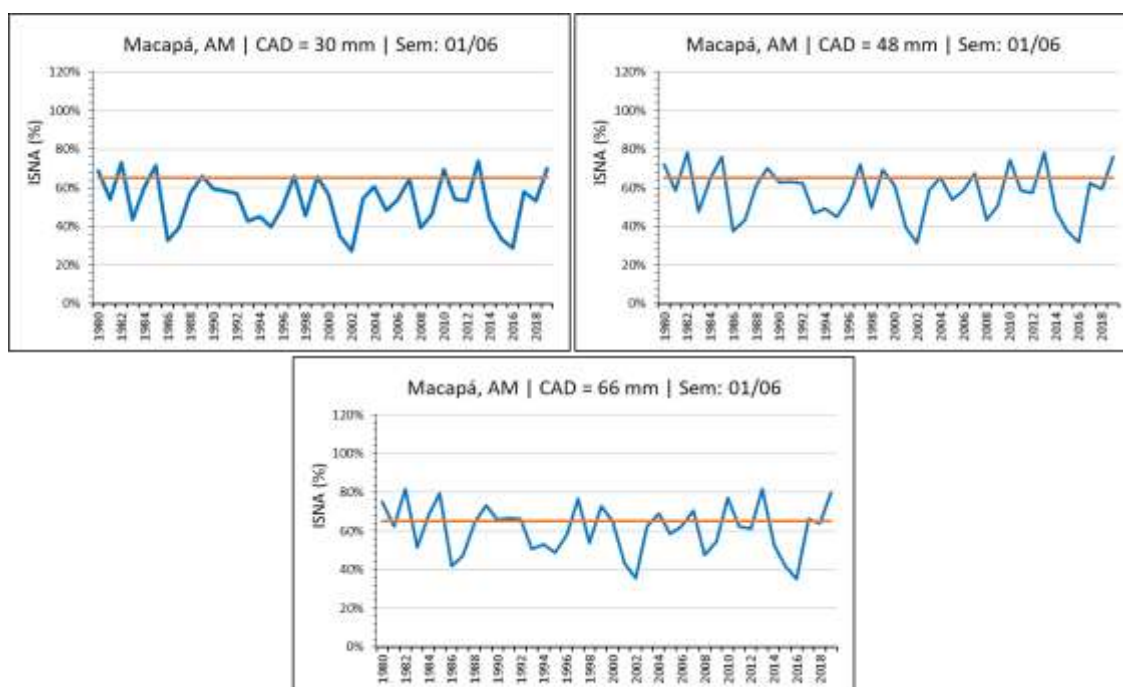


Figura 75 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/06 em Macapá, AP, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

4.2.8.2. Cenário futuro de curto prazo

Assim como observado para outras regiões do Brasil, analisadas anteriormente, as mudanças climáticas projetadas a curto prazo deverão causar grande impacto no cultivo da soja na região de Macapá, AP, fazendo com que o ISNA passe a ficar predominantemente abaixo de 0,65 (Figuras 76, 77 e 78). Isso se deve tanto ao aumento das temperaturas, que deverá ser da ordem de 2,1°C a 2,6°C, como à redução das chuvas, que chegará, de acordo com o modelo climático empregado neste estudo, a cerca de 23% (Tabela 8). Isso irá impor uma condição de maior déficit hídrico para a cultura da soja na região, fazendo com que as produtividades sejam reduzidas. Assim, a cultura da soja apenas será possível caso a irrigação seja viável do ponto de vista econômico e ambiental.

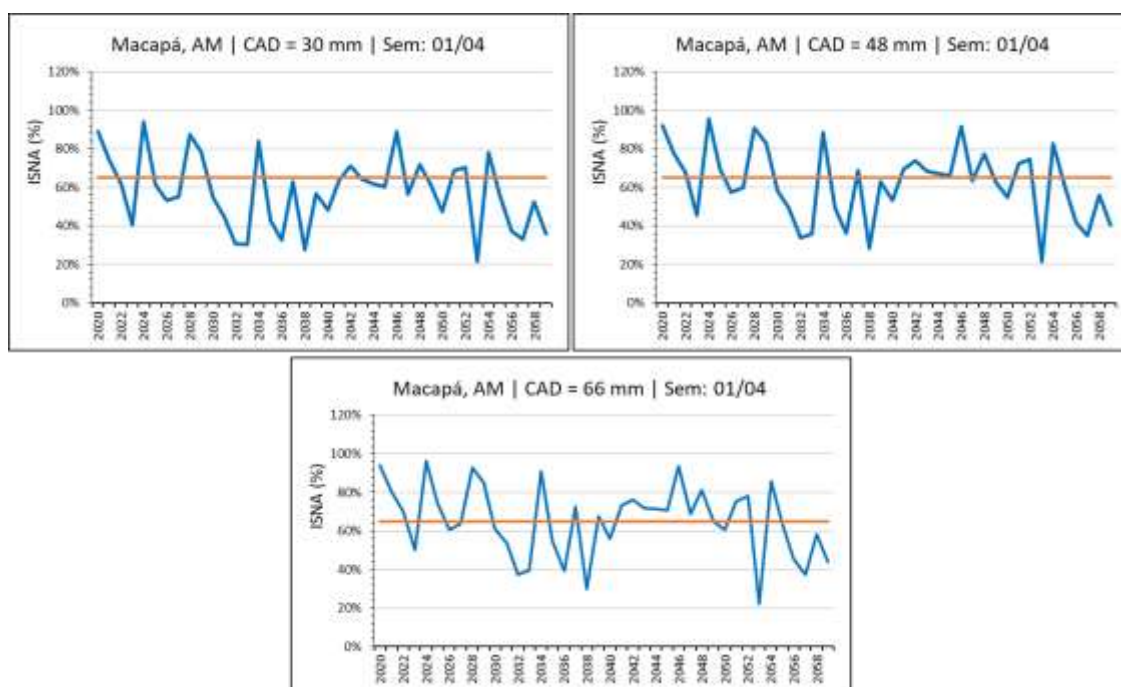


Figura 76 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/04 em Macapá, AP, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

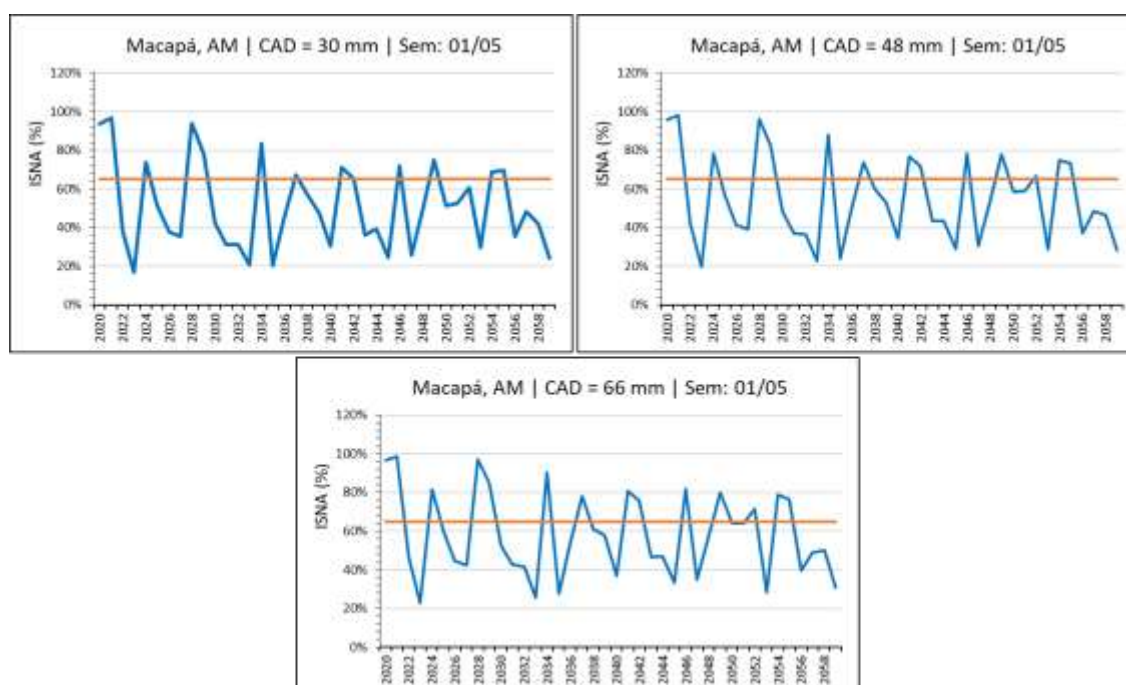


Figura 77 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/05 em Macapá, AP, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

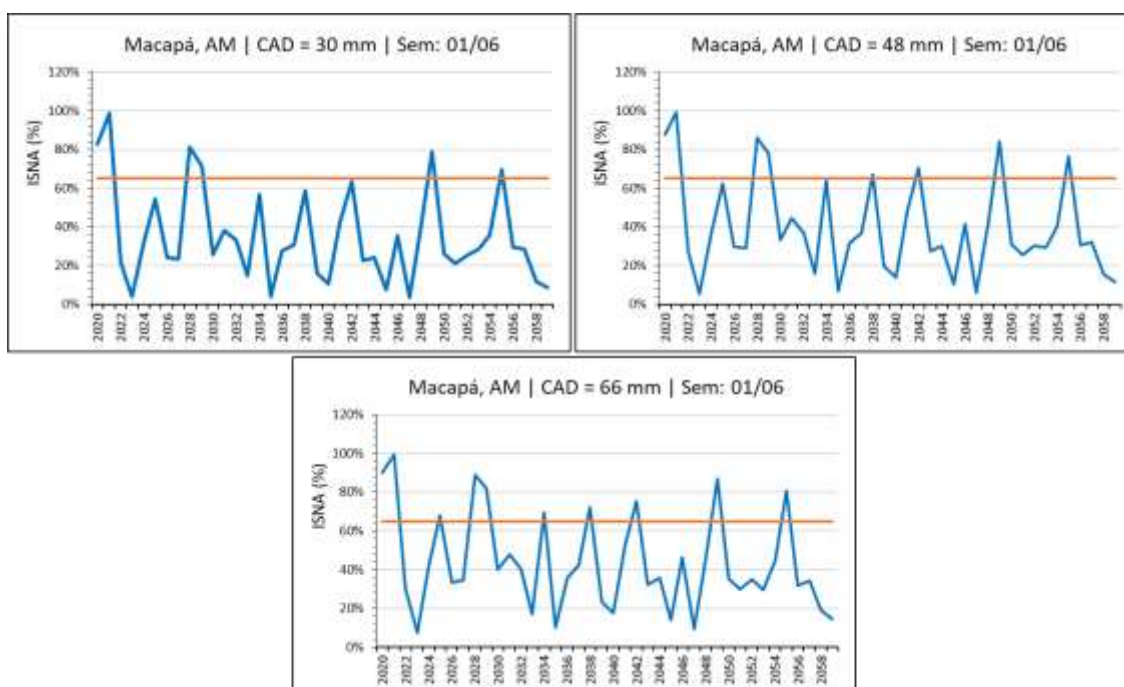


Figura 78 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/06 em Macapá, AP, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

4.2.8.3. Cenário futuro de longo prazo

Similarmente ao observado para o cenário de mudanças climáticas a curto prazo, o cenário a longo prazo (2060-2099) para a região de Macapá, AP, resultará em redução drástica do ISNA, sendo que neste caso isso se dará de forma mais expressiva, com pouquíssimos anos tendo $ISNA > 0,65$ (Figuras 79, 80 e 81), uma vez que as temperaturas deverão aumentar entre $4,6^{\circ}\text{C}$ e $6,4^{\circ}\text{C}$ e as chuvas diminuirão em cerca de 60% (Tabela 9), elevando o déficit hídrico da cultura, independentemente da época de semeadura e CAD considerada. Isso, como já mencionado, irá inviabilizar o cultivo da soja na região, a não ser que seja com cultivo irrigado. Apesar disso, as altas temperaturas dessa região deverão trazer outros problemas ao cultivo, como os distúrbios fisiológicos associados à queda de flores e vagens (SENTELHAS et al., 2018).

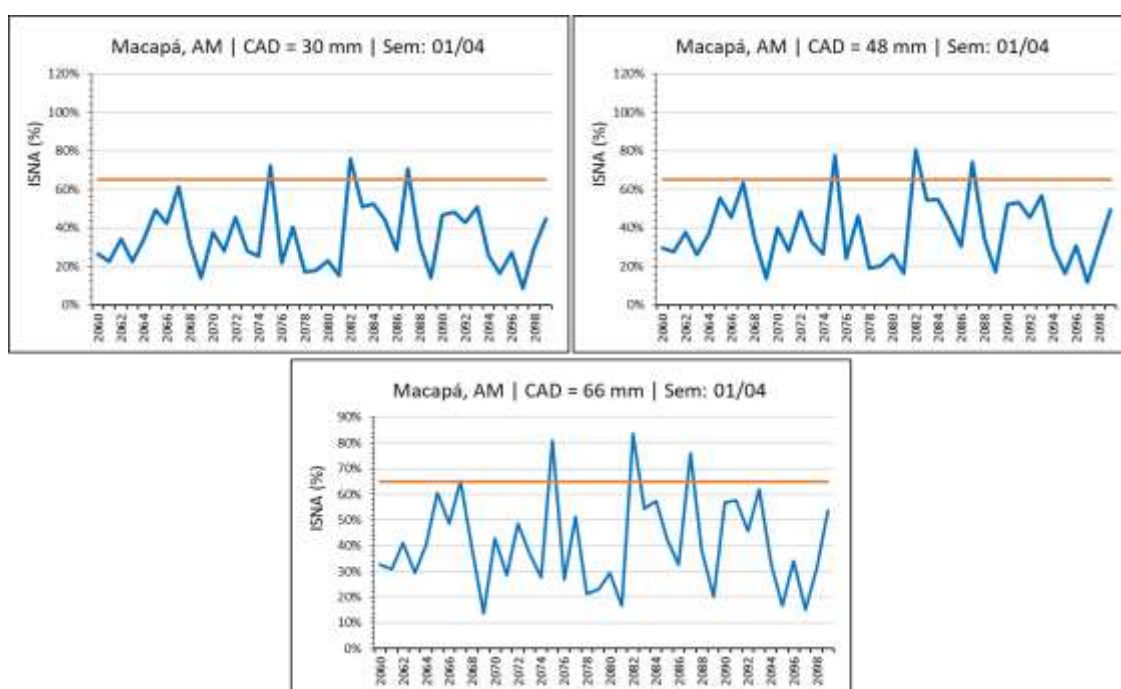


Figura 79 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/04 em Macapá, AP, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

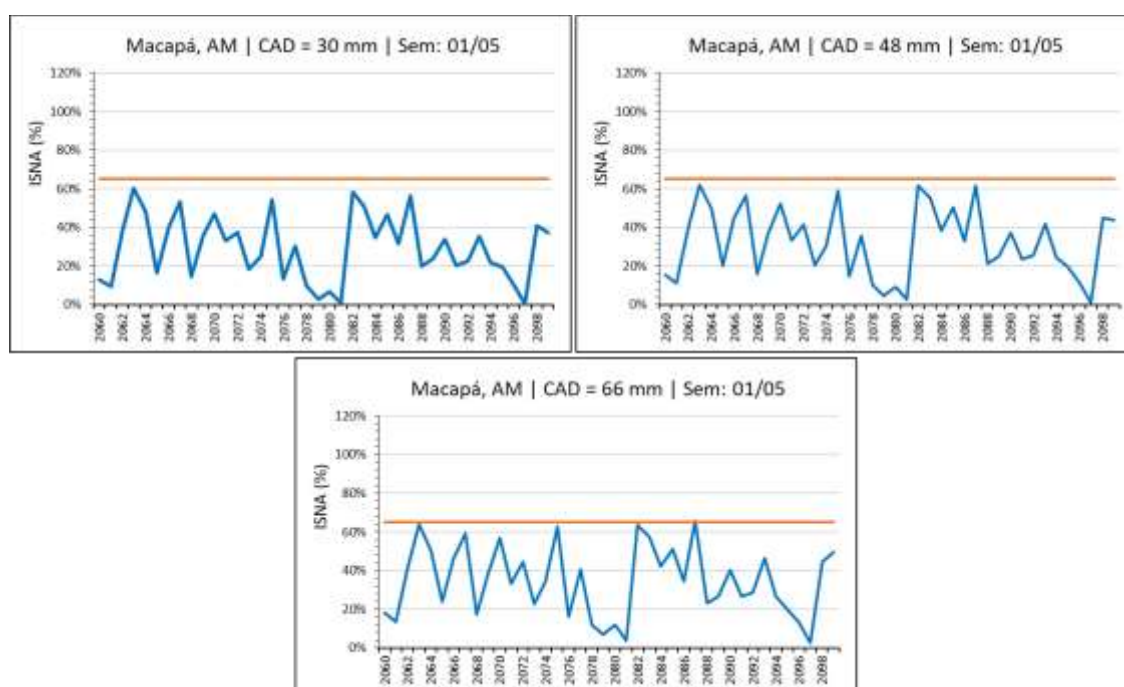


Figura 80 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/05 em Macapá, AP, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

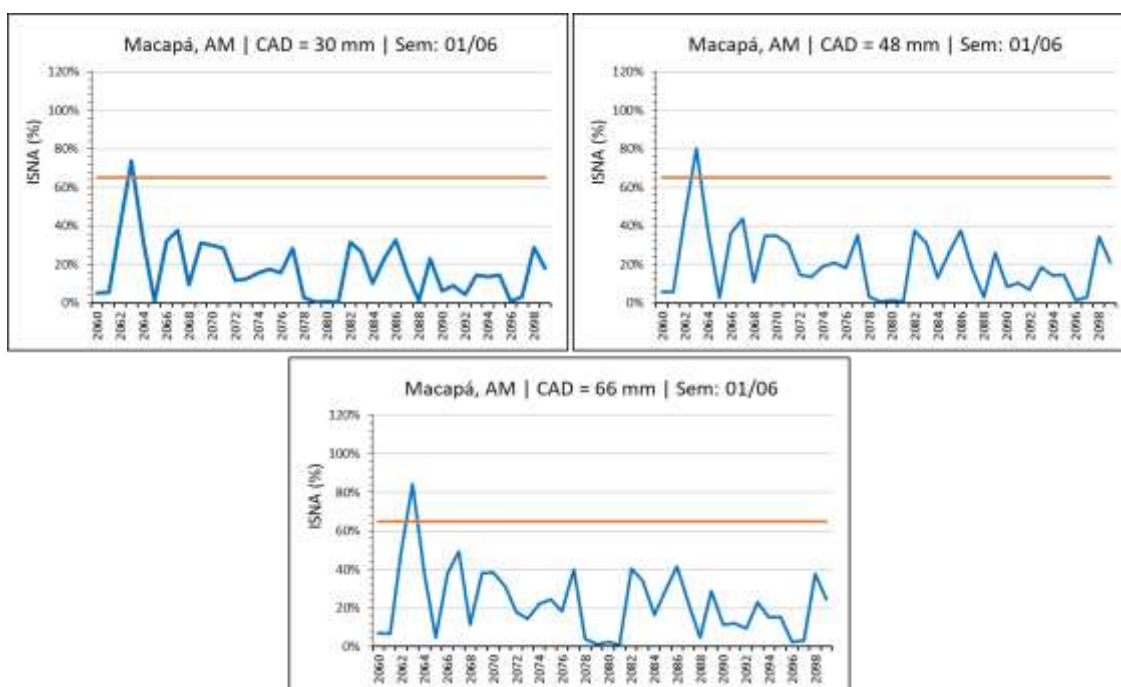


Figura 81 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/06 em Macapá, AP, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

4.2.9. Maracaju, MS

4.2.9.1. Cenário atual

A condição de clima atual na região de Maracaju, MS, mostra-se favorável ao cultivo da soja, com a predominância de $ISNA > 0,65$ em praticamente toda a série histórica analisada, especialmente nas condições de solos de maiores CADs (Figuras 82, 83 e 84). Para a semeadura precoce, em 01/10 (Figura 82), as chances de $ISNA < 0,65$ são maiores, especialmente nas CADs de 30 mm e 48 mm, o que se deve ao fato de que nesta época do ano ainda há grande instabilidade no estabelecimento da estação chuvosa. Assim, a semeadura mais tardia eleva as chances de sucesso da cultura, impondo à mesma menores déficits hídricos, como mostram as Figuras 83 e 84.

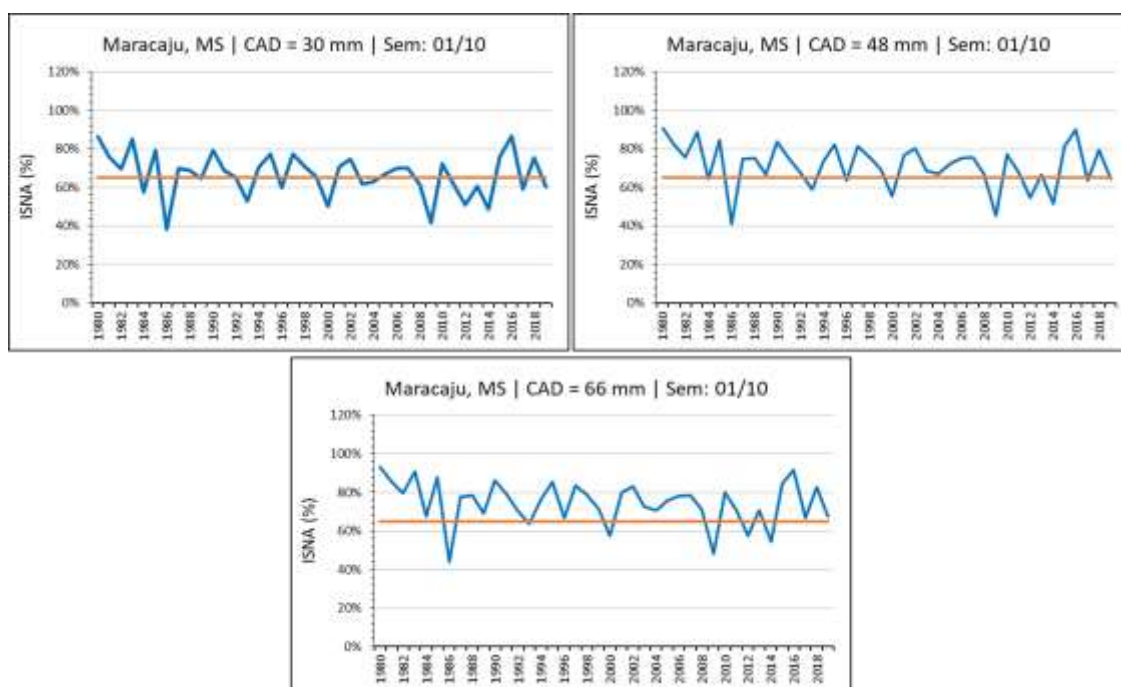


Figura 82 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/10 em Maracaju, MS, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

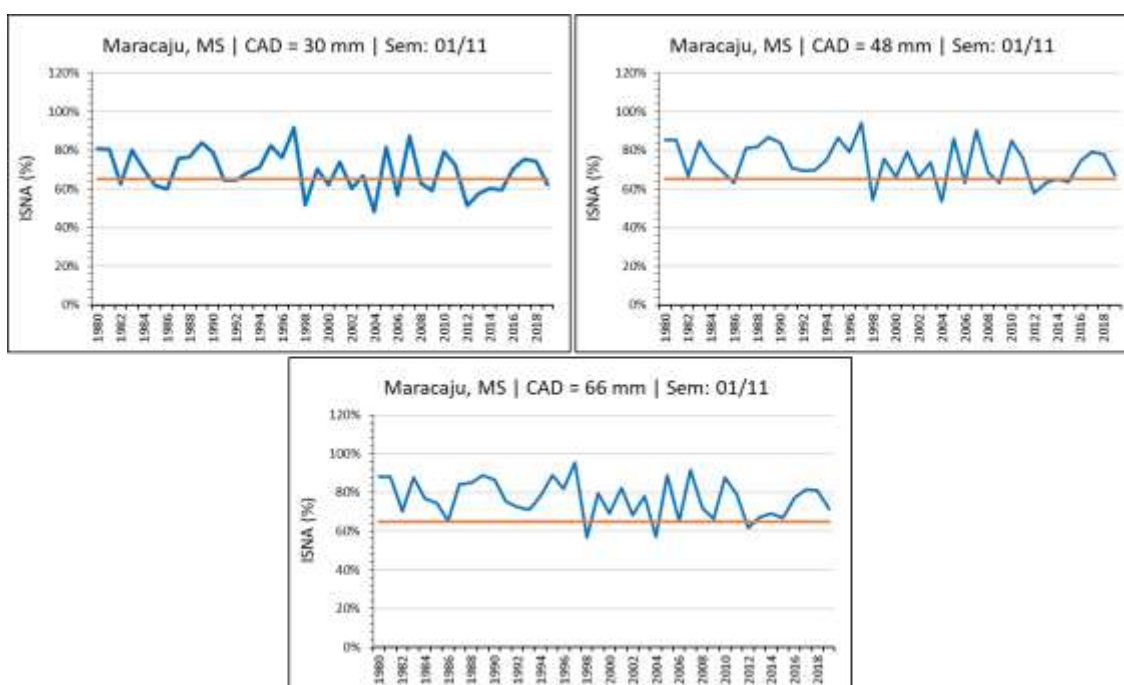


Figura 83 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/11 em Maracaju, MS, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

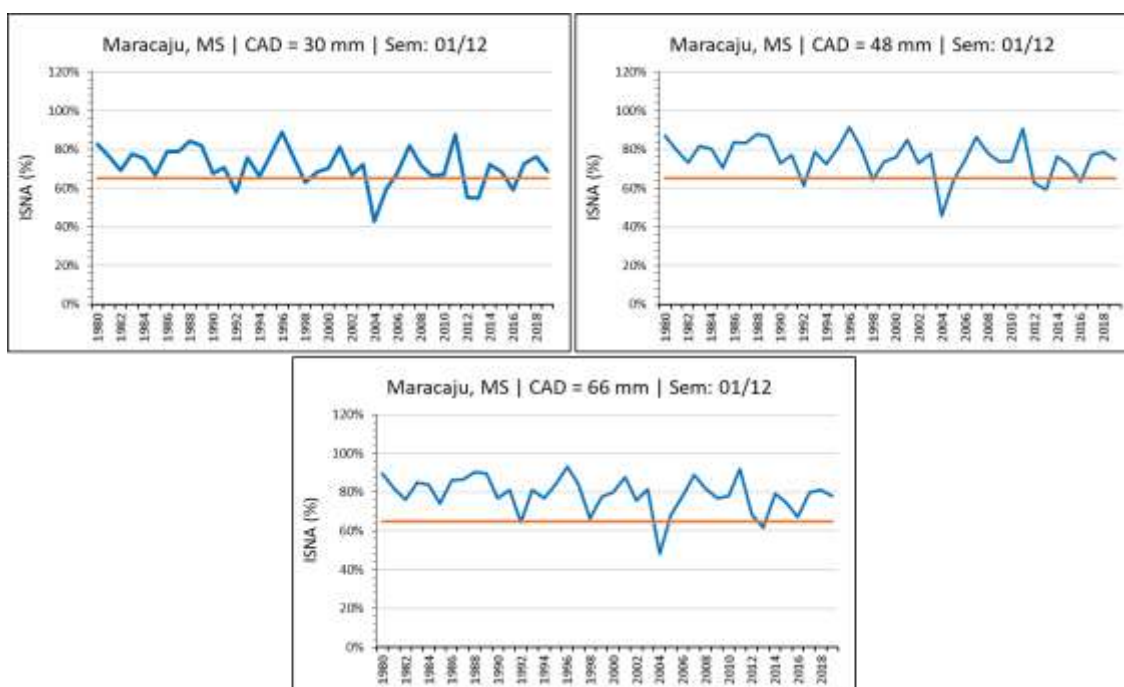


Figura 84 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/12 em Maracaju, MS, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

4.2.9.2. Cenário futuro de curto prazo

Do mesmo modo que observado para outras regiões próximas a Maracaju, MS, como em Itapeva, SP, o cenário de mudanças climáticas a curto prazo resultará em redução drástica do ISNA, com pouquíssimos anos tendo $ISNA > 0,65$ (Figuras 85, 86 e 87), independentemente da época de semeadura e do solo considerado. Isso se dará em função da elevação das temperaturas, da ordem de $3,5^{\circ}\text{C}$ a $4,4^{\circ}\text{C}$ e da redução das chuvas, de aproximadamente 26% (Tabela 8). Isso, como já mencionado, irá inviabilizar o cultivo da soja na região, a não ser que ela seja irrigada. Apesar disso, as altas temperaturas dessa região deverão trazer outros problemas ao cultivo, como os distúrbios fisiológicos associados à queda de flores e vagens (SENTELHAS et al., 2018).

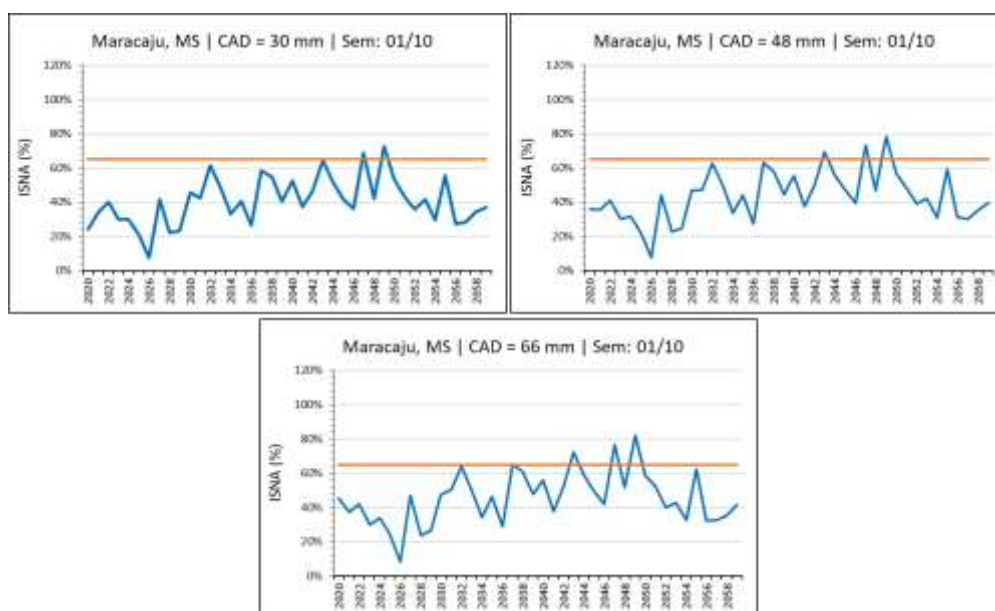


Figura 85 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/10 em Maracaju, MS, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

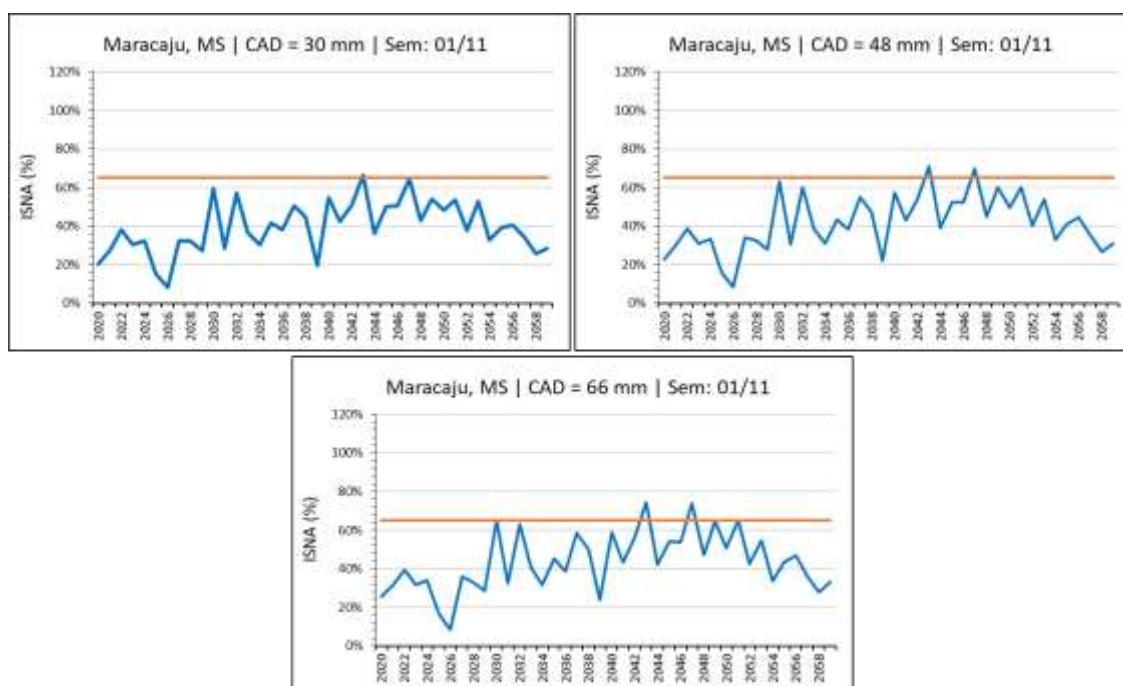


Figura 86 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/11 em Maracaju, MS, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

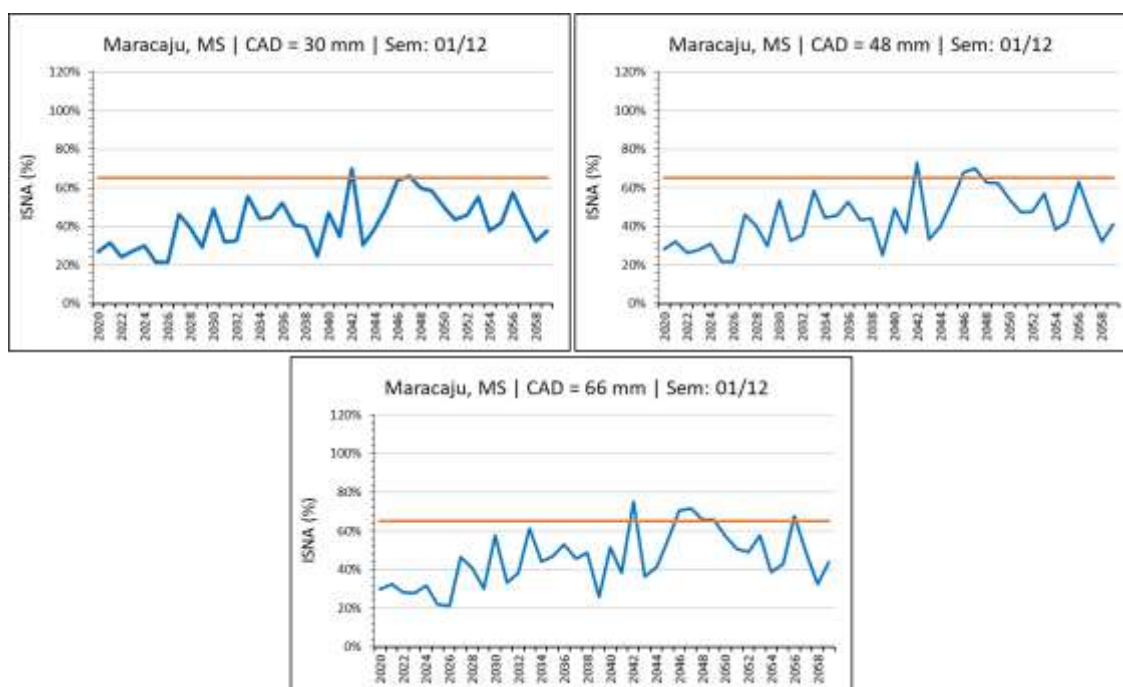


Figura 87 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/12 em Maracaju, MS, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

4.2.9.3. Cenário futuro de longo prazo

Da mesma forma que observado para as mudanças climáticas de curto prazo, as alterações esperadas a longo prazo (2060-2099) deverão provocar drástica redução dos valores de ISNA da cultura da soja, impondo um grande risco ao cultivo dessa oleaginosa na região de Maracaju, MS, como mostram as Figuras 88, 89 e 90. De acordo com essas figuras, o ISNA nessa condição climática irá ter no máximo três anos com valores acima de 0,65, o que implica em grande impacto à produtividade da soja. Caso, se queira manter o cultivo nessa região, a irrigação plena passará a ser obrigatória, desde que se tenha acesso aos recursos hídricos necessários para isso.

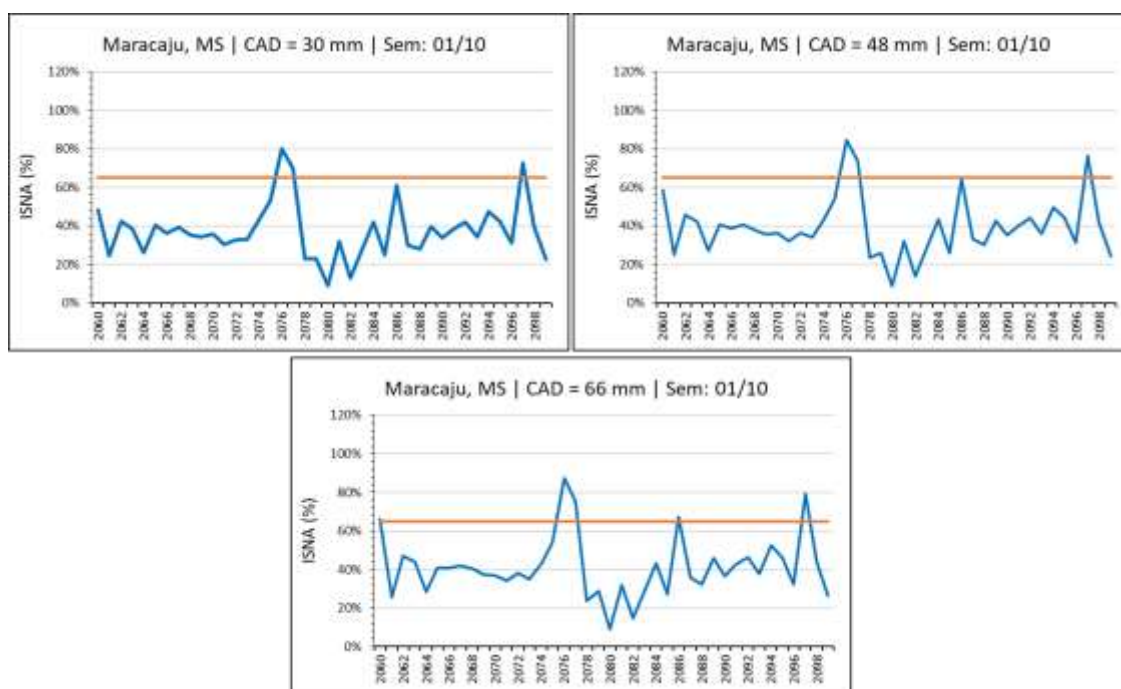


Figura 88 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/10 em Maracaju, MS, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

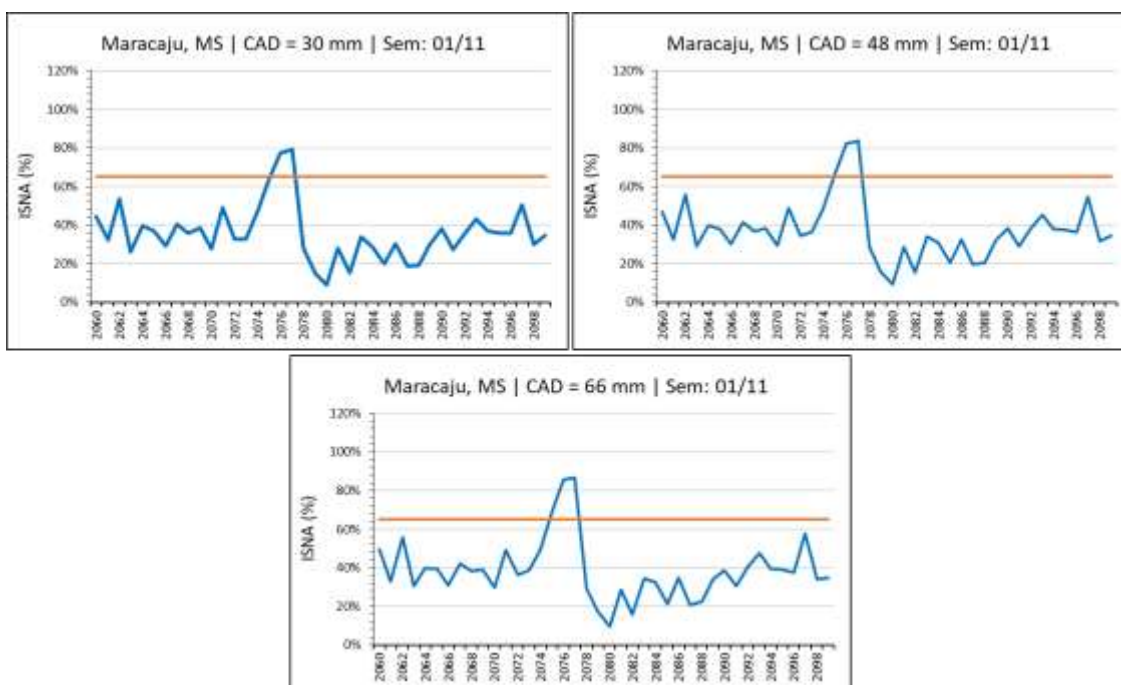


Figura 89 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/11 em Maracaju, MS, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

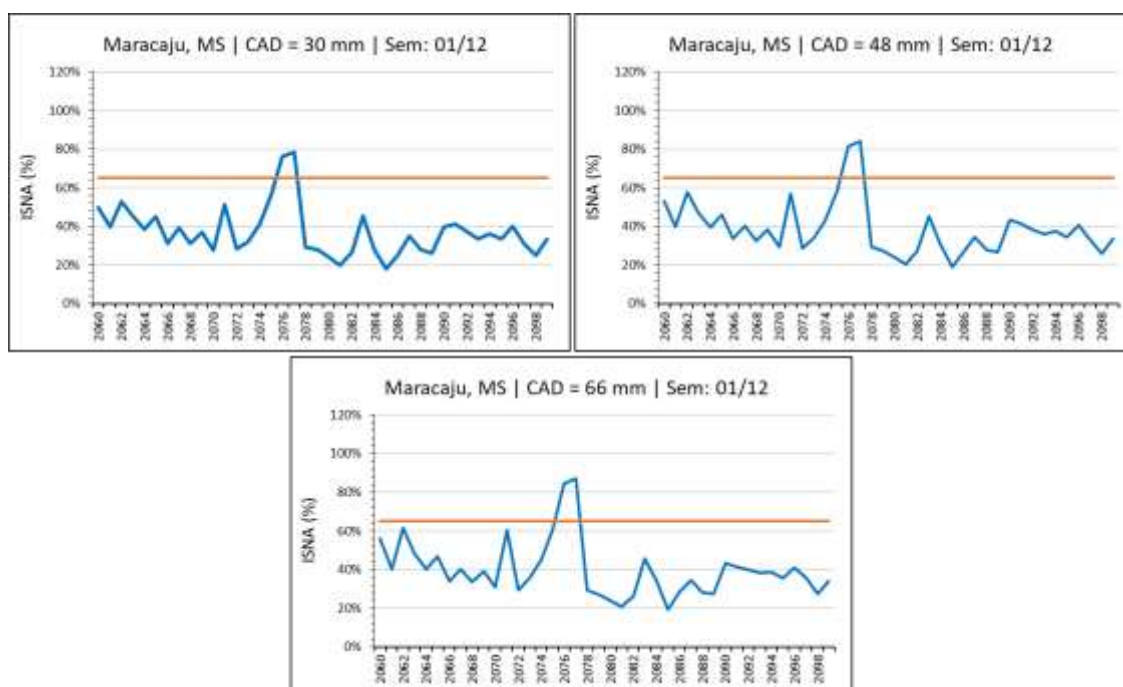


Figura 90 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/12 em Maracaju, MS, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

4.2.10. Paragominas, PA

4.2.10.1. Cenário atual

A região de Paragominas, PA, apresenta valores de ISNA muito elevados em toda a série histórica, independentemente da época de semeadura e da CAD considerada (Figuras 91, 92 e 93). Apesar disso, observa-se que a semeadura mais tardia, em 01/02, é a que apresenta os valores de ISNA mais elevados, especialmente na CAD de 66 mm onde o ISNA raramente fica abaixo de 0,8. Esse quadro se dá pela pouca variabilidade climática existente na região, ou seja, com um regime hídrico mais constante durante o ciclo da soja. Nessa região, em função das chuvas mais abundantes, a maior preocupação deve ser com o excesso hídrico, tanto ao logo do ciclo da soja como na fase de colheita, o que pode prejudicar a produção (produtividade e qualidade dos grãos). Isso exige atenção dos produtores, sendo o uso de drenos uma operação que pode minimizar os prejuízos causados pelo encharcamento do solo.

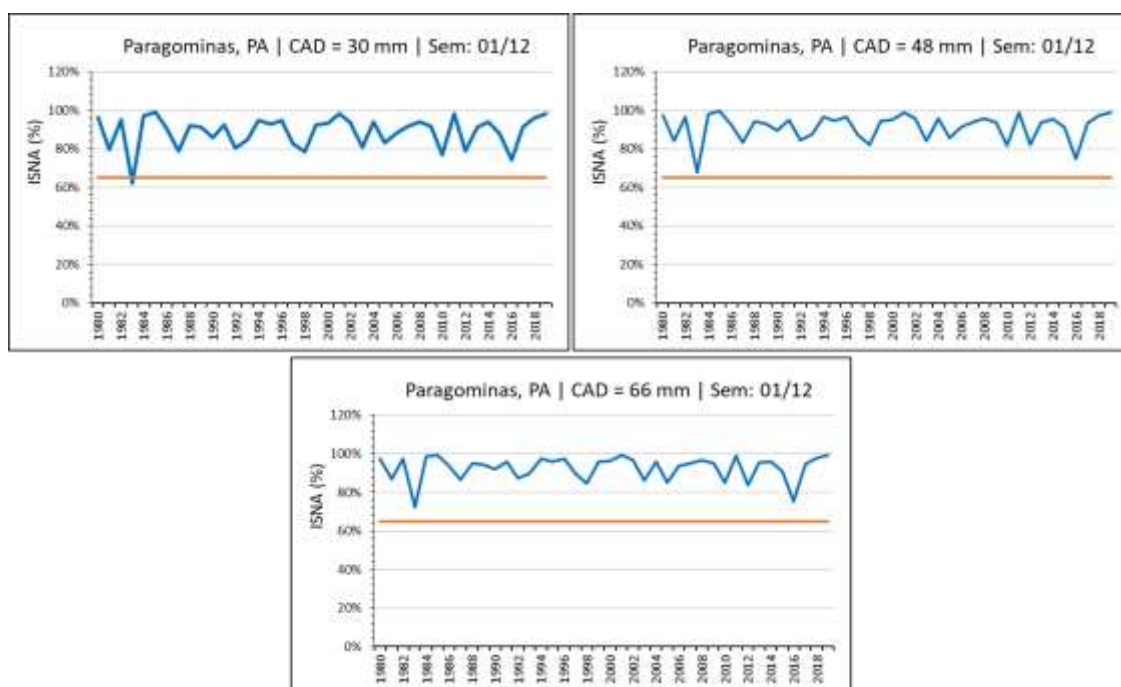


Figura 91 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/12 em Paragominas, PA, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

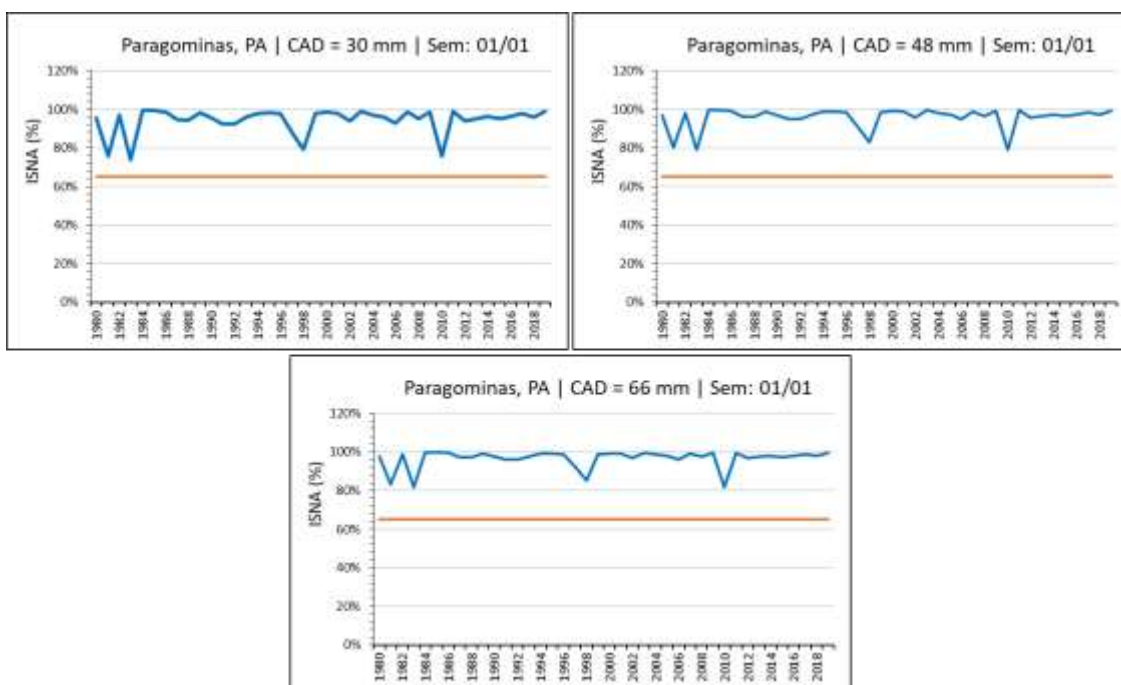


Figura 92 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/01 em Paragominas, PA, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

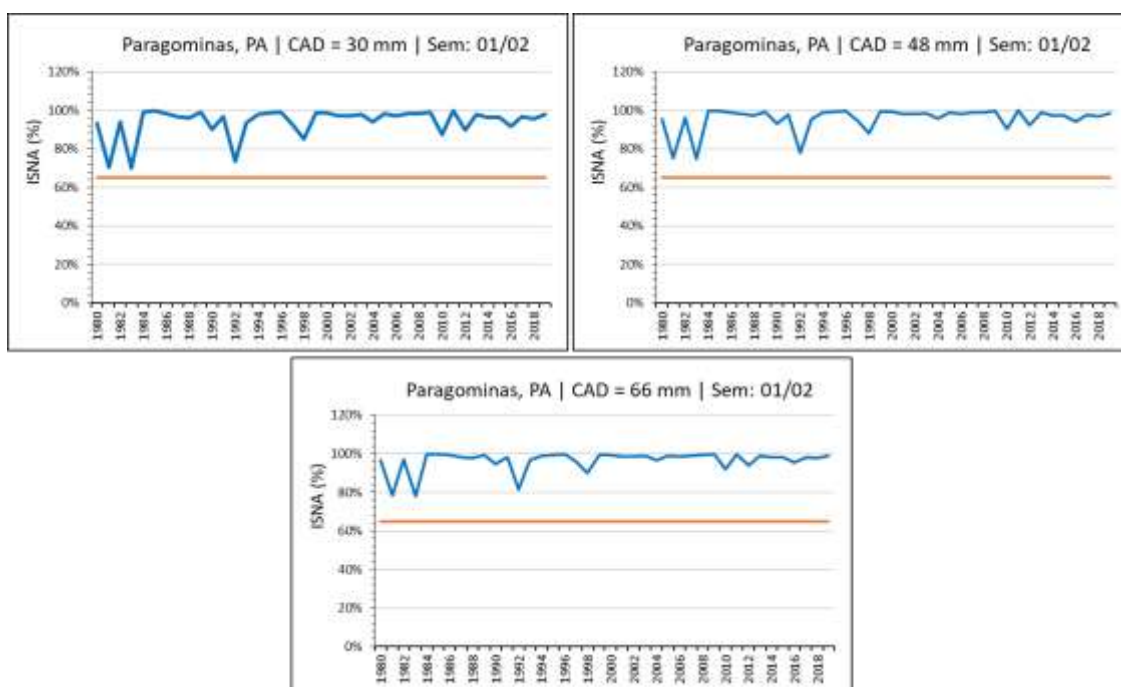


Figura 93 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/02 em Paragominas, PA, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

4.2.10.2. Cenário futuro de curto prazo

A curto prazo, o cenário de mudanças climáticas traz um aumento da frequência de valores de ISNA abaixo de 0,65 na semeadura precoce, em 01/12, como mostra a Figura 94. Nas demais épocas de semeadura, mesmo com o aumento das temperaturas entre 1,9°C e 2,7°C e redução das chuvas em 20% (Tabela 8) não há evidências de grandes alterações nos valores de ISNA, que permanecem acima do limite crítico (0,65) em grande parte dos anos da série histórica analisada, tanto para a semeadura de 01/01 (Figura 95) como na de 01/02 (Figura 96). Isso mostra que essa região pode ser uma das menos impactadas pelas mudanças do clima a curto prazo, as quais podem até ser benéficas ajudando a diminuir os excessos hídricos que normalmente ocorrem na região no cenário atual.

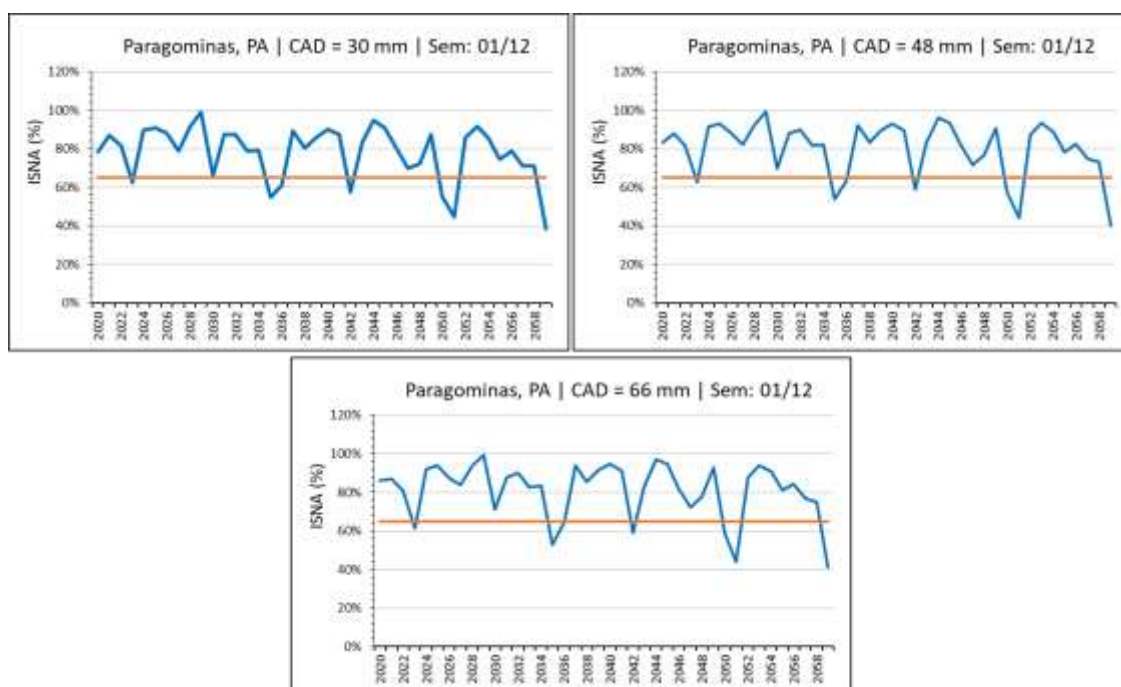


Figura 94 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/12 em Paragominas, PA, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

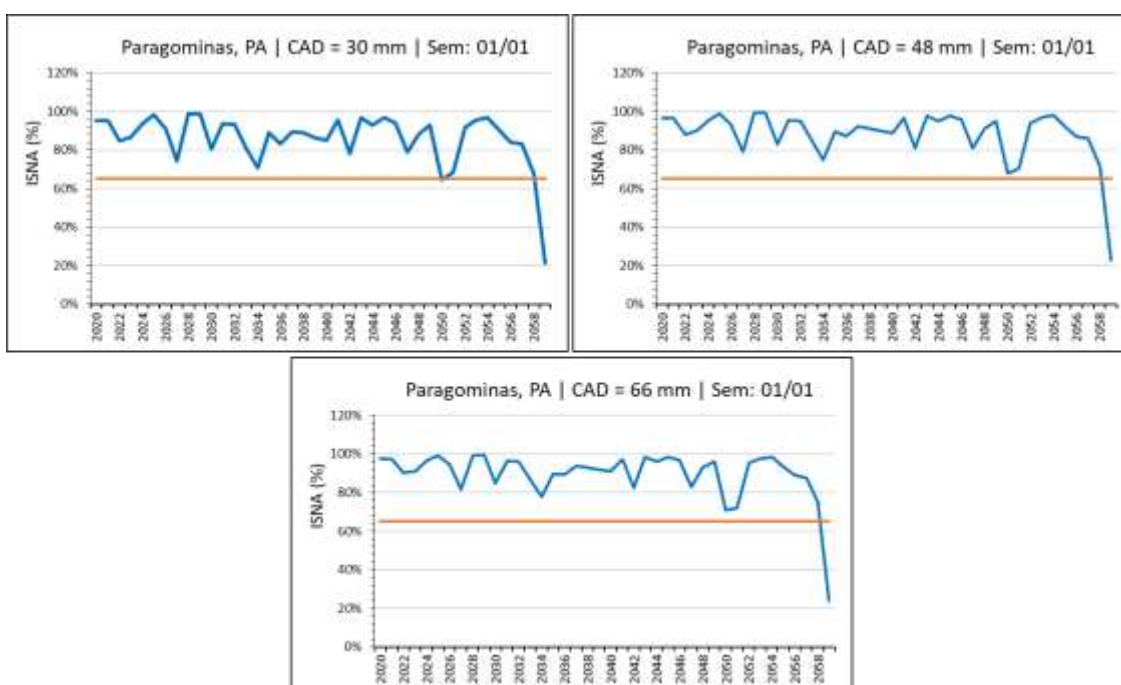


Figura 95 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/01 em Paragominas, PA, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

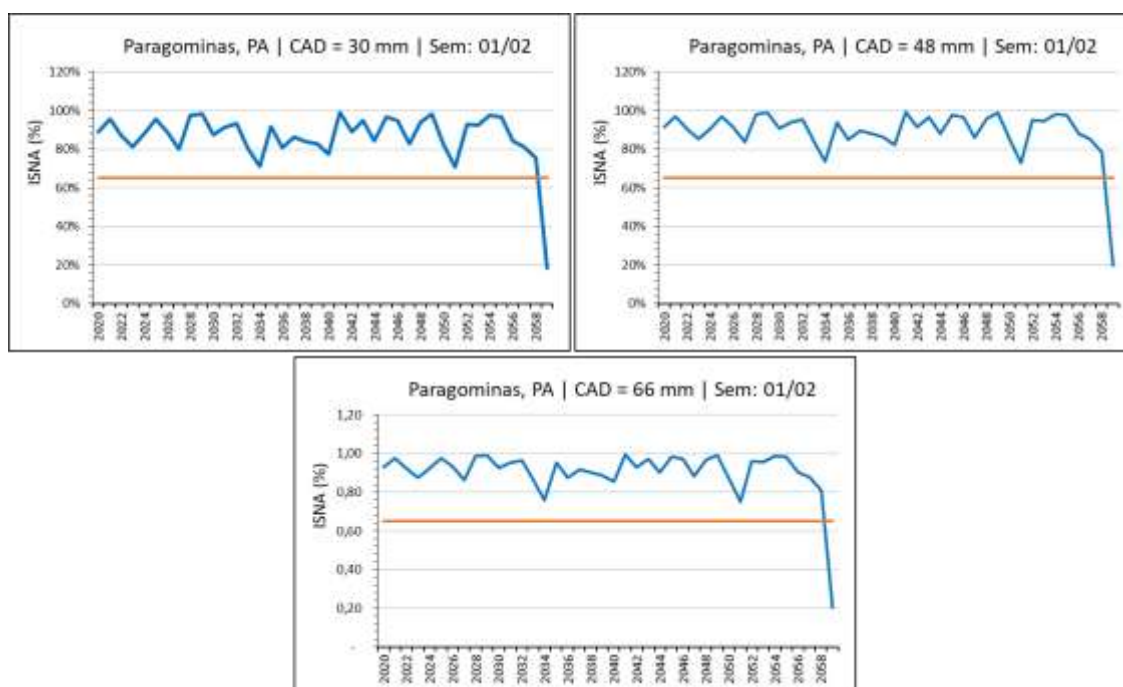


Figura 96 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/02 em Paragominas, PA, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

4.2.10.3. Cenário futuro de longo prazo

Ao contrário do observado no cenário de curto prazo para a região de Paragominas (Figuras, 94, 95 e 96), para o cenário de longo prazo (2060-2099) as mudanças climáticas deverão aumentar a frequência de anos com que o ISNA, na fase crítica da cultura da soja, fique abaixo de 0,65, comprometendo o cultivo desta oleaginosa, independentemente da época de semeadura e da CAD considerada. Isso severa se dar em função do aumento mais expressivo das temperaturas na região, entre 4,2°C e 6,7°C, e redução nas chuvas da ordem de 39% (Tabela 9). Além dos efeitos do déficit hídrico que passarão a ocorrer na região, as altas temperaturas também deverão ser um empecilho para o cultivo da soja nessa região sob esse cenário.

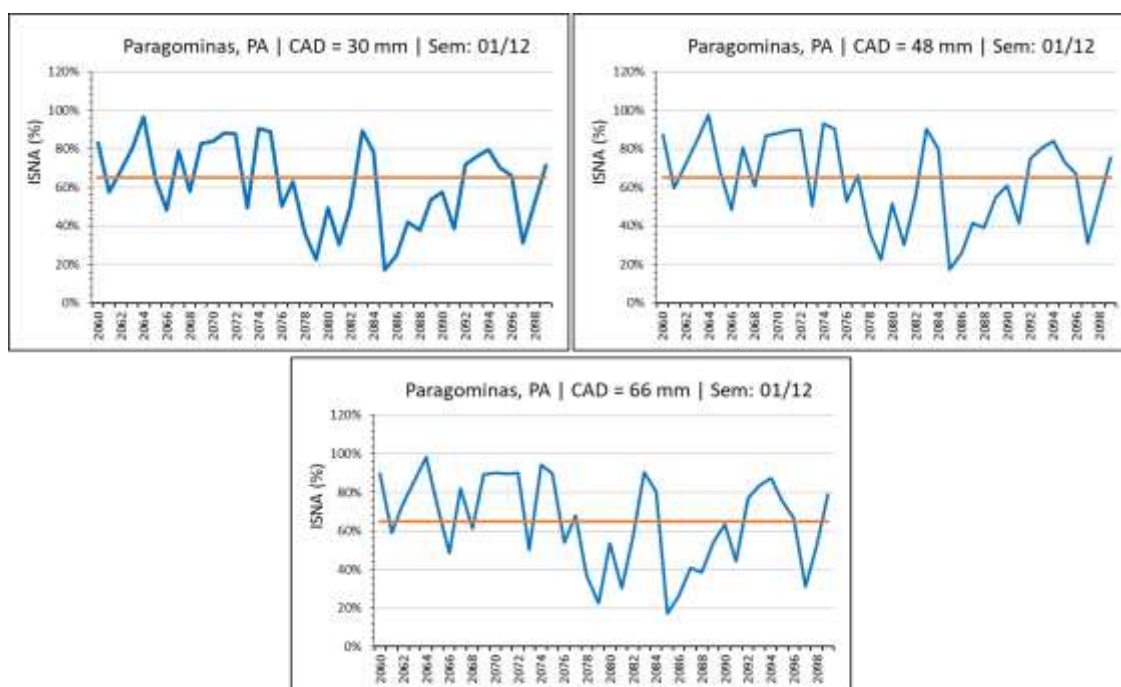


Figura 97 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/12 em Paragominas, PA, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

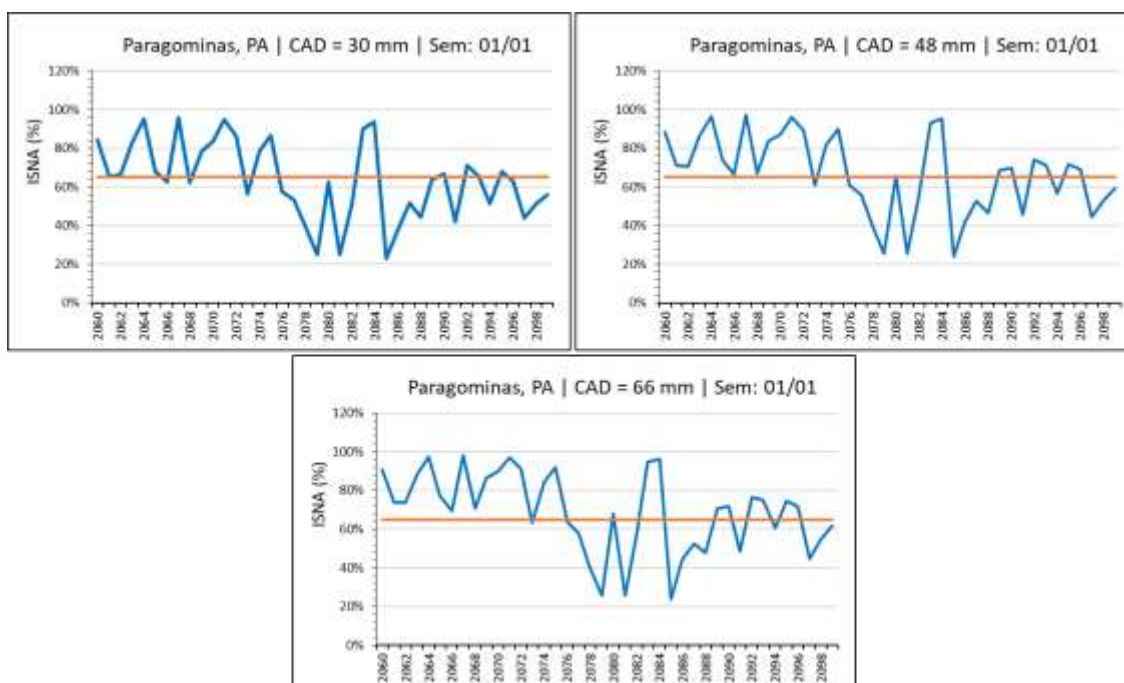


Figura 98 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/01 em Paragominas, PA, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

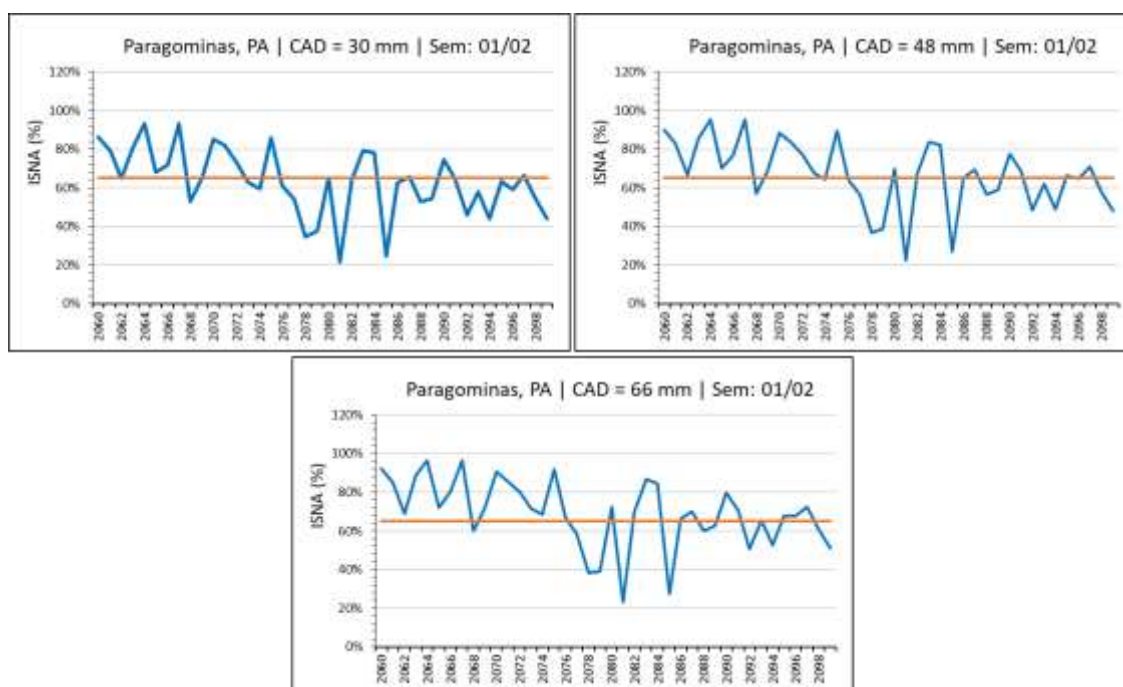


Figura 99 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 01/02 em Paragominas, PA, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

4.2.11. Rio Verde, GO

4.2.11.1. Cenário atual

A região de Rio Verde, no sudoeste do estado de Goiás, se caracteriza como uma região amplamente favorável ao cultivo da soja, combinando boas condições térmicas e regime hídrico bastante satisfatório, o que leva a uma baixíssima frequência de anos com $ISNA < 0,65$. Para as semeaduras em 11/10 (Figura 100) e 11/12 (Figura 102), não são observados anos em que o ISNA é menor do que o limite crítico para a cultura. Somente na semeadura de 11/11 (Figura 101) observa-se um ano em que isso foi observado, mais precisamente na colheita de 2014. Por outro lado, nos demais anos da série histórica observa-se que a grande maioria deles tem o ISNA oscilando entre 0,8 e 1,0, indicando uma grande favorabilidade do clima para o cultivo dessa oleaginosa nas épocas de semeadura consideradas pelo ZARC.

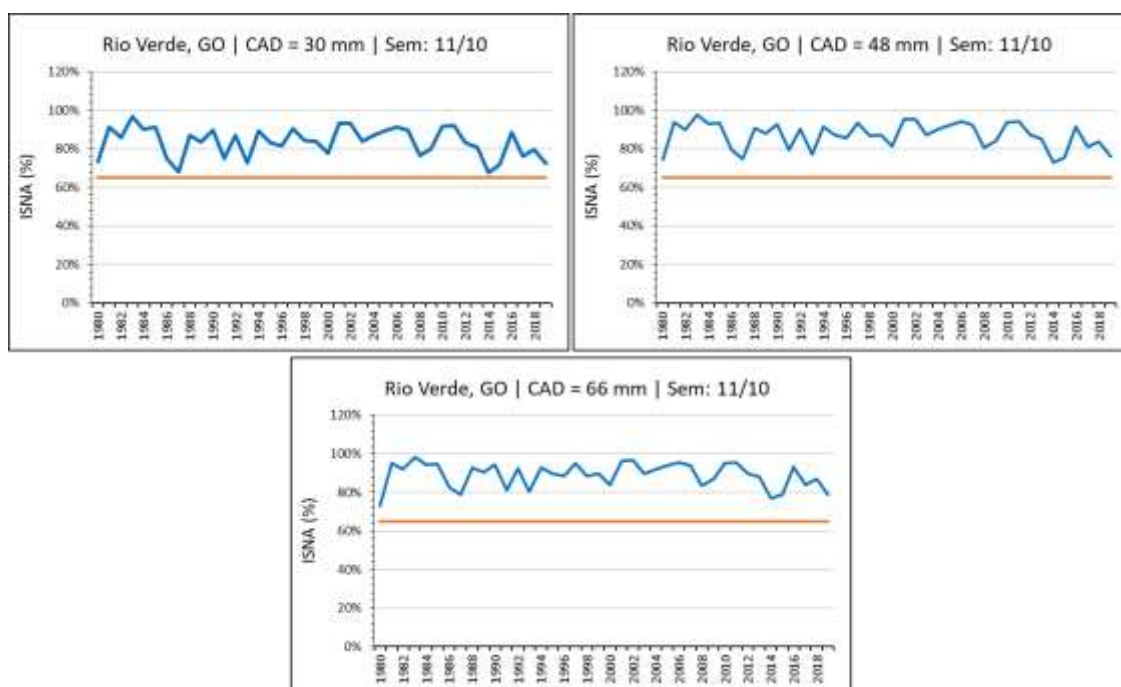


Figura 100 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/10 em Rio Verde, GO, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

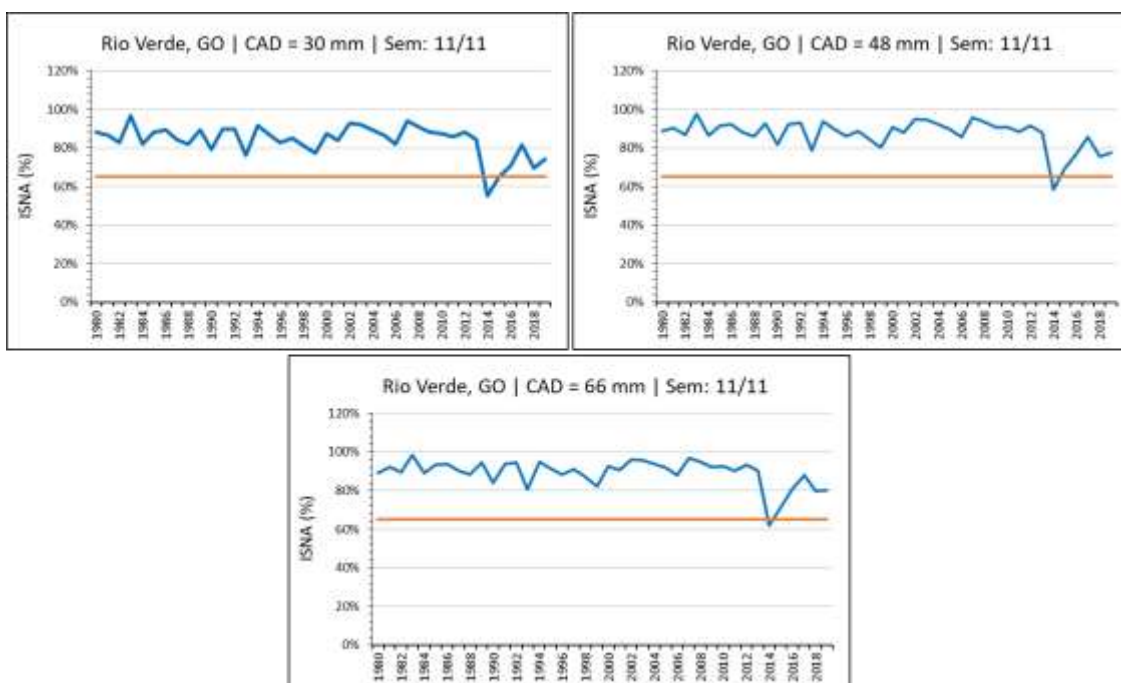


Figura 101 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/11 em Rio Verde, GO, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

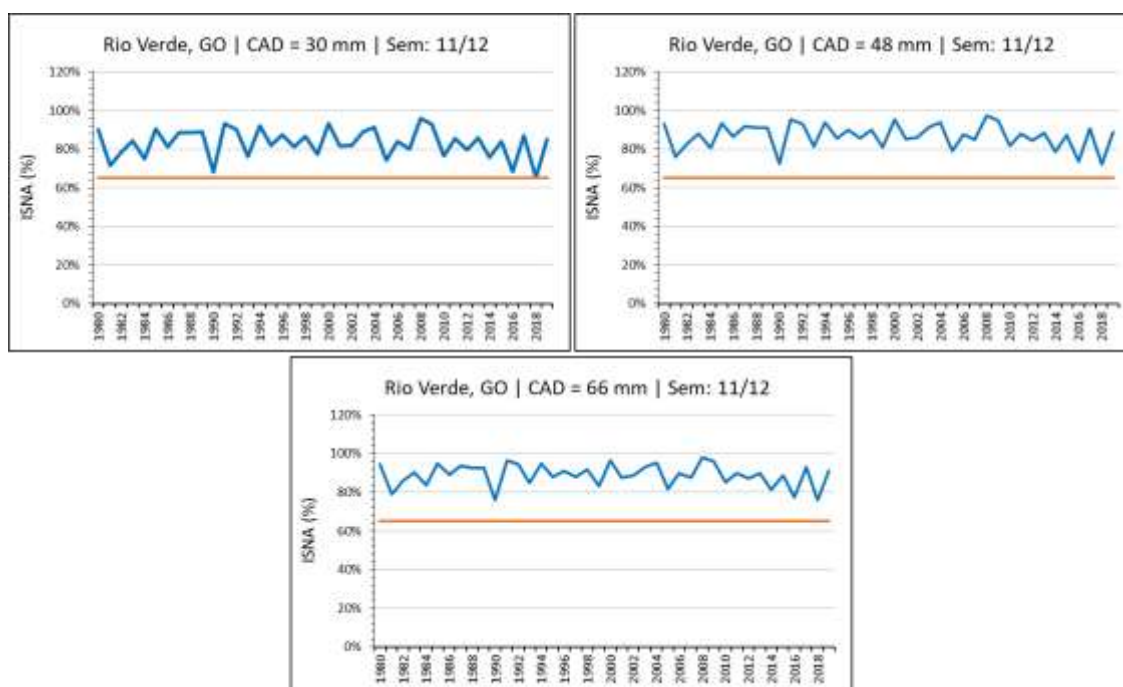


Figura 102 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/12 em Rio Verde, GO, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

4.2.11.2. Cenário futuro de curto prazo

O cenário de mudanças climáticas a curto prazo (2020-2059) indica uma alteração bastante expressiva nos valores de ISNA da fase crítica da cultura da soja durante a série histórica em Rio Verde, GO. Essas alterações deverão ocorrer principalmente na semeadura mais precoce (11/10), quando apenas oito dos 30 anos deverão ter $ISNA > 0,65$ (Figura 103). Nas demais épocas de semeadura (11/11 e 11/12), cerca de 50% dos anos deverão ter o ISNA próximo do limiar de 0,65, como mostram as Figuras 104 e 105. Tais mudanças para a cultura da soja se devem aos prognósticos de aumento da temperatura de 3,3°C a 4,8°C e redução das chuvas da ordem de 21% (Tabela 8), o que deve intensificar o déficit hídrico das lavouras.

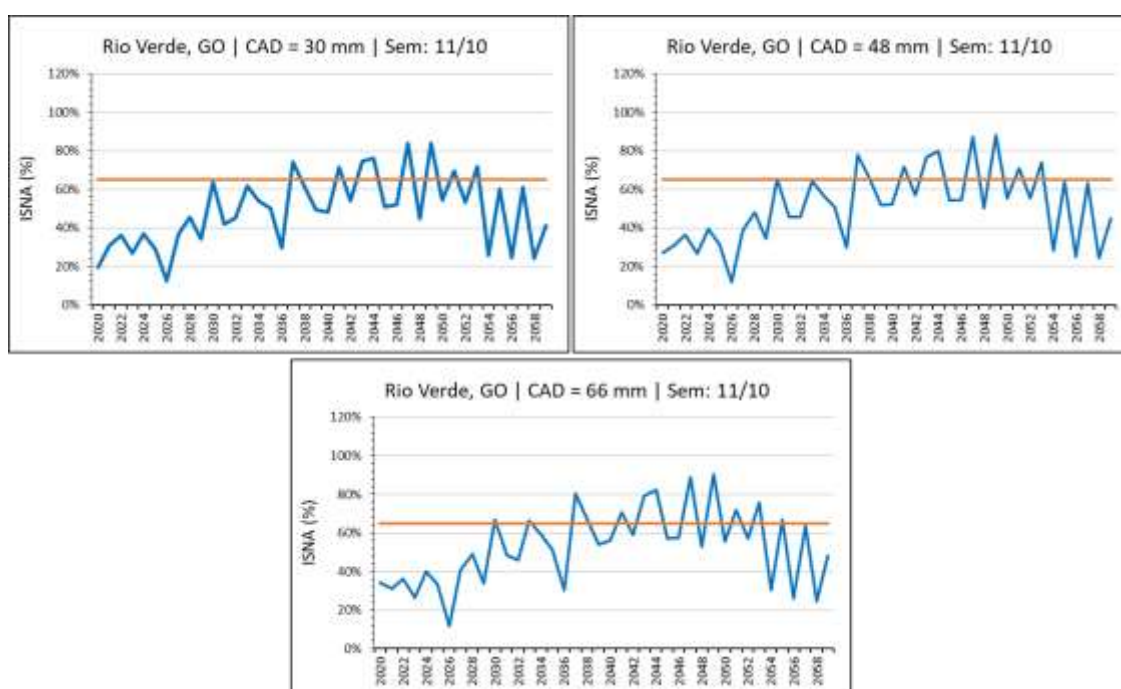


Figura 103 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/10 em Rio Verde, GO, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

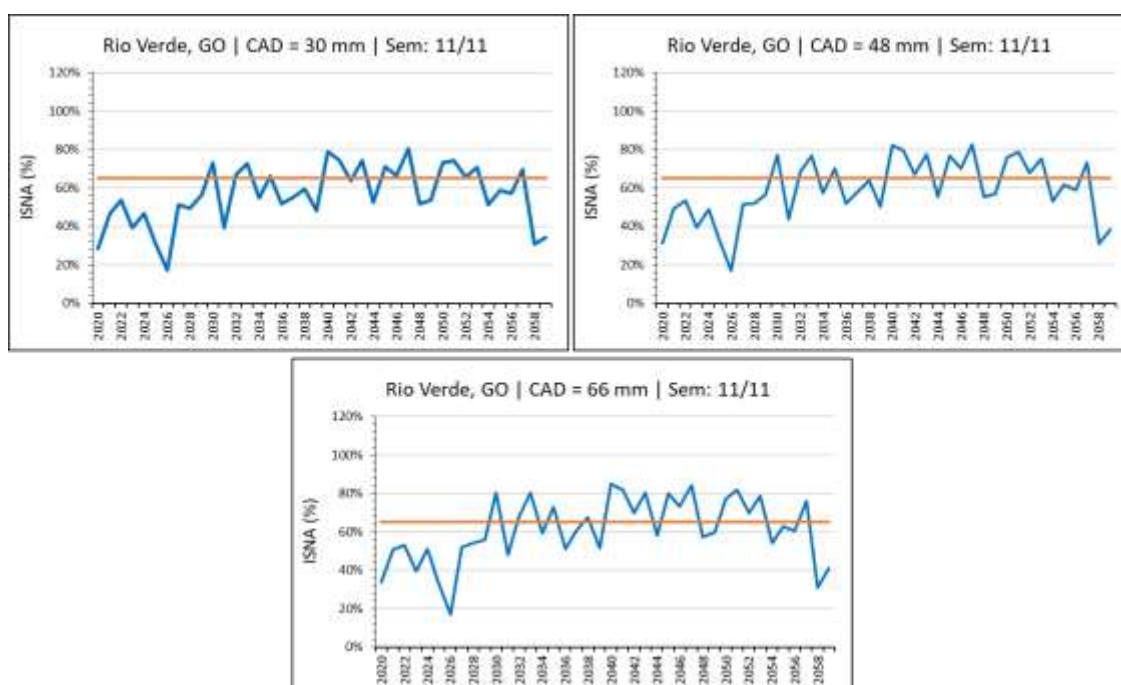


Figura 104 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/11 em Rio Verde, GO, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

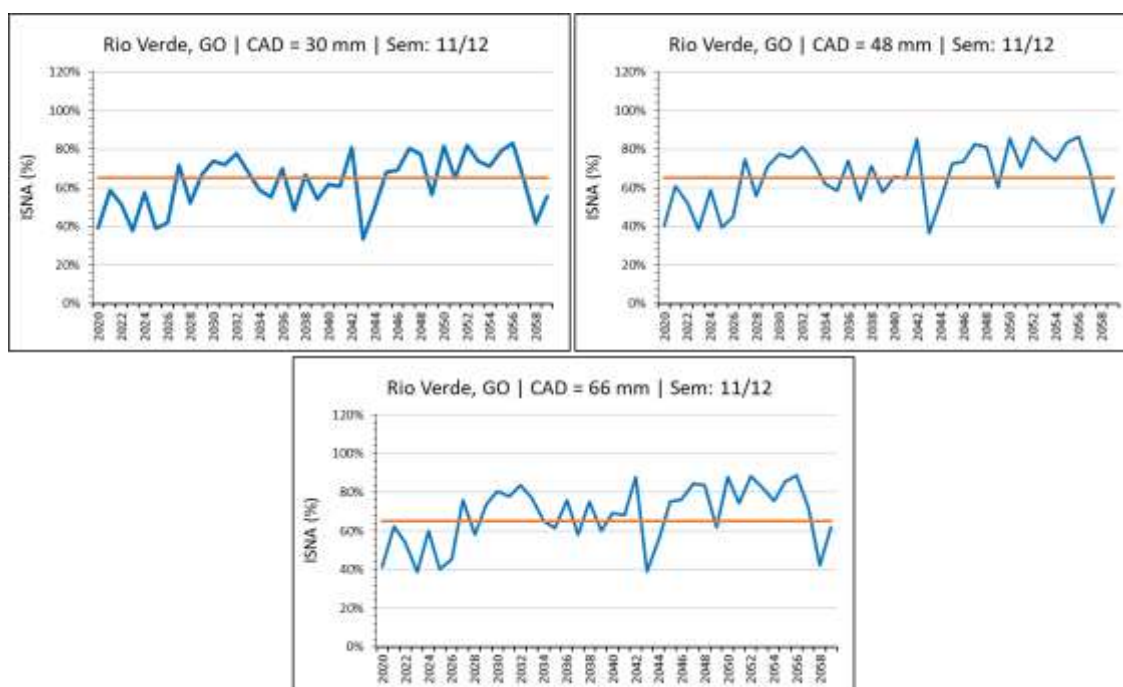


Figura 105 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/12 em Rio Verde, GO, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

4.2.11.3. Cenário futuro de longo prazo

Assim como para o cenário de mudanças climáticas de curto prazo, o cenário de longo prazo também irá promover a redução nos valores de ISNA para a fase crítica da cultura da soja, independentemente da época de semeadura e da CAD considerada (Figuras 106, 107 e 108). Apesar disso, observa-se um quadro um pouco menos desfavorável para a semeaduras mais tardia, em 11/12 (Figura 108), porém ainda com uma baixa frequência de $ISNA > 0,65$. Esse quadro mais crítico observado neste cenário climático se deve à elevação brusca das temperaturas na região, entre $6,4^{\circ}\text{C}$ e $8,1^{\circ}\text{C}$, e reduções da chuva de 22% (Tabela 9), o que irá promover muito mais eventos de veranico para a cultura, mesmo quando semeada nas épocas mais propícias.

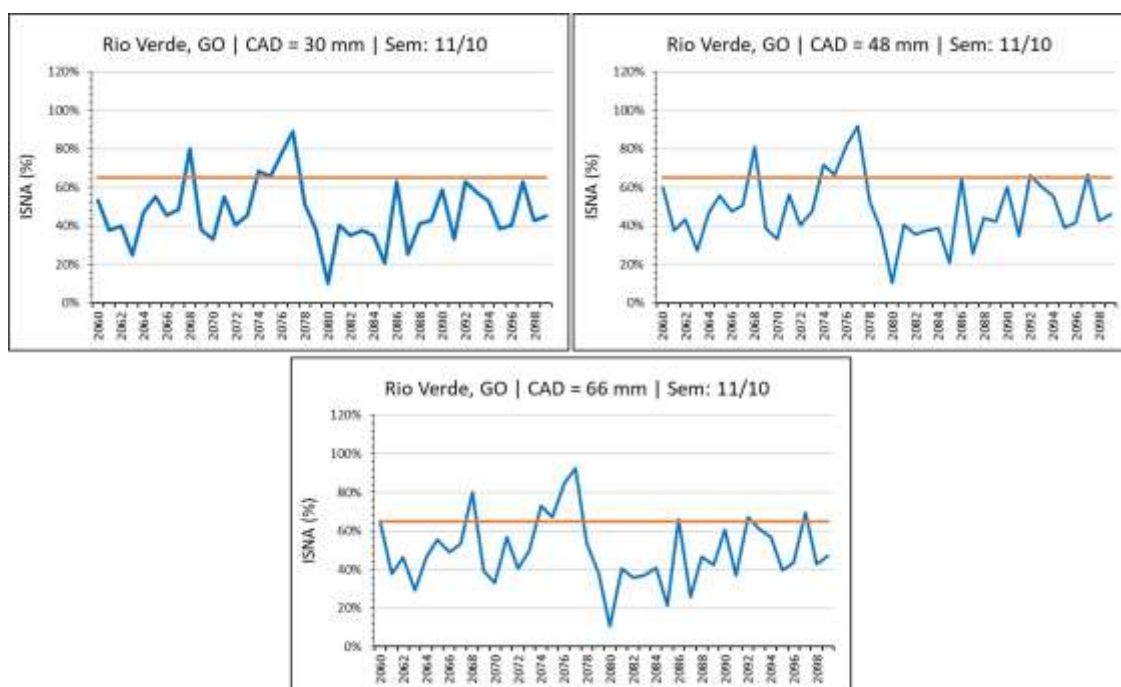


Figura 106 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/10 em Rio Verde, GO, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

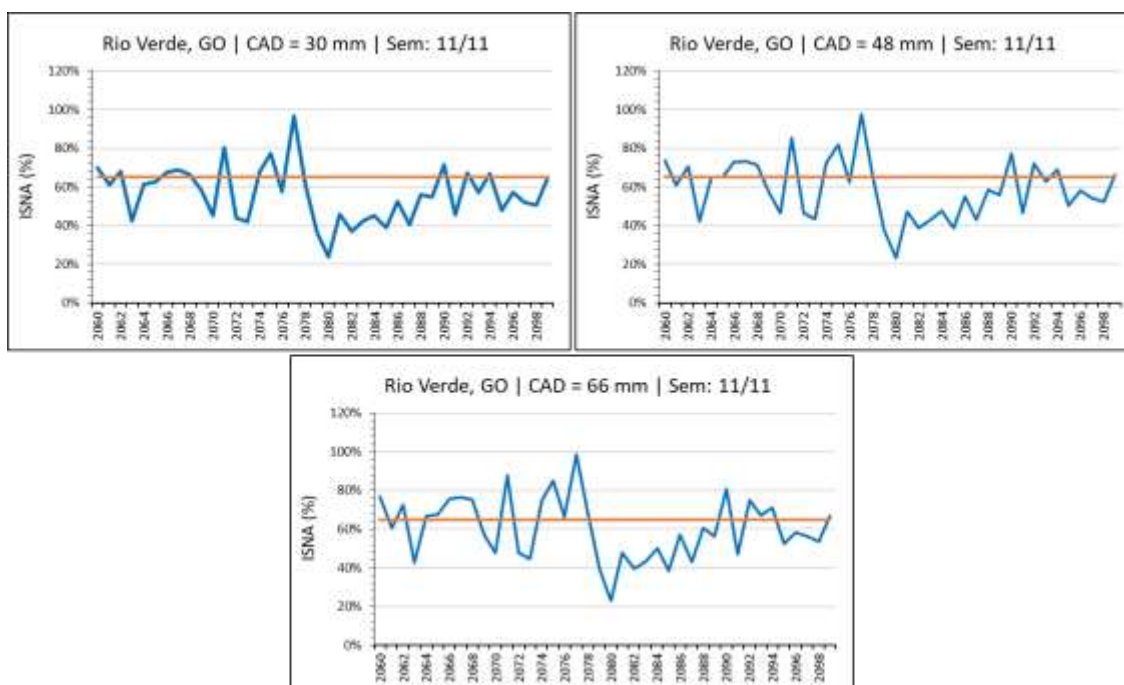


Figura 107 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/11 em Rio Verde, GO, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

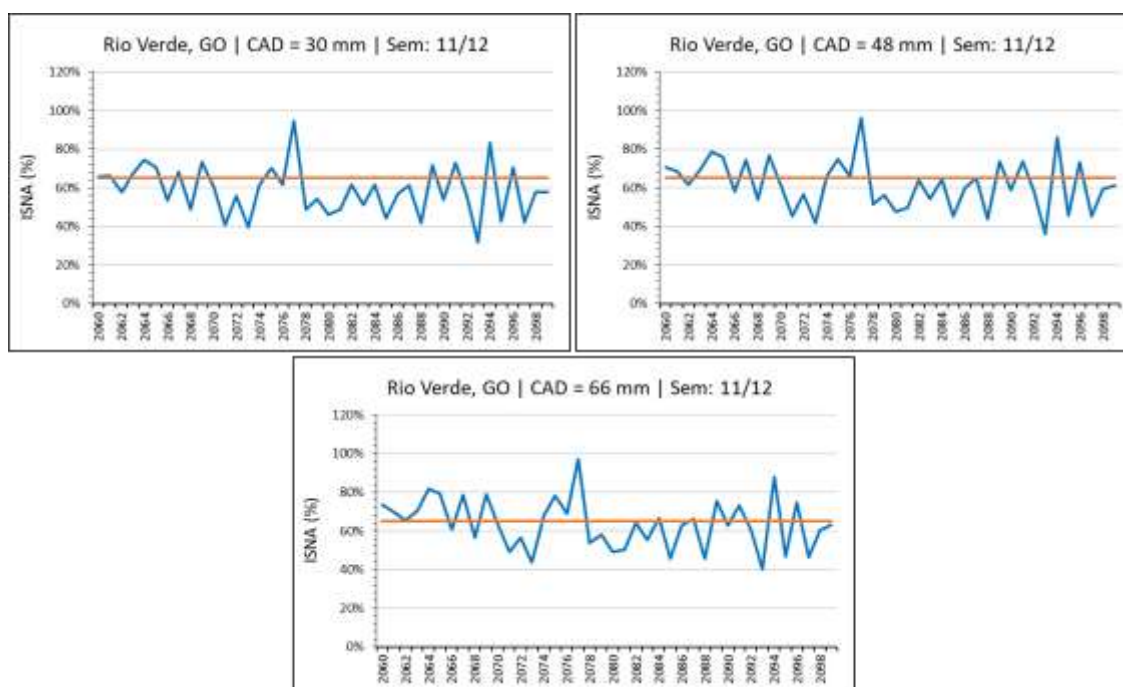


Figura 108 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/12 em Rio Verde, GO, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

4.2.12. Sorriso, MT

4.2.12.1. Cenário atual

Como observado para algumas outras regiões do Brasil, a localidade de Sorriso, MT, apresenta baixíssimo risco climático para a cultura da soja, com todos os anos da série histórica analisada apresentando valores de ISNA na fase reprodutiva da cultura bem acima do limite crítico, independentemente da época de semeadura e da CAD considerada (Figuras 109, 110 e 111). Apesar disso, observa-se uma maior variabilidade interanual do ISNA na semeadura tardia (11/12) (Figura 111), porém sempre com o ISNA acima de 0,7 nas CADs de 30 mm e 48 mm e acima de 0,8 na CAD de 66 mm. Esse padrão é esperado na região, dada a influência mais marcante da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) nessa região, fazendo com que a probabilidade de ocorrência de veranico seja mínima.

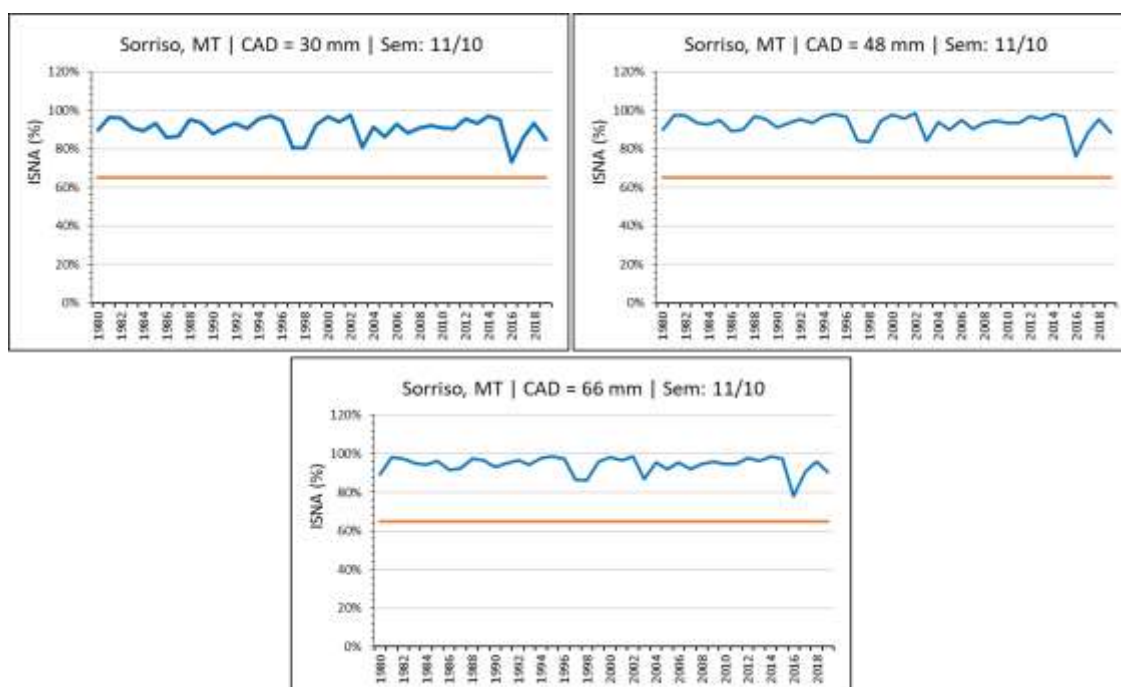


Figura 109 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/10 em Sorriso, MT, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

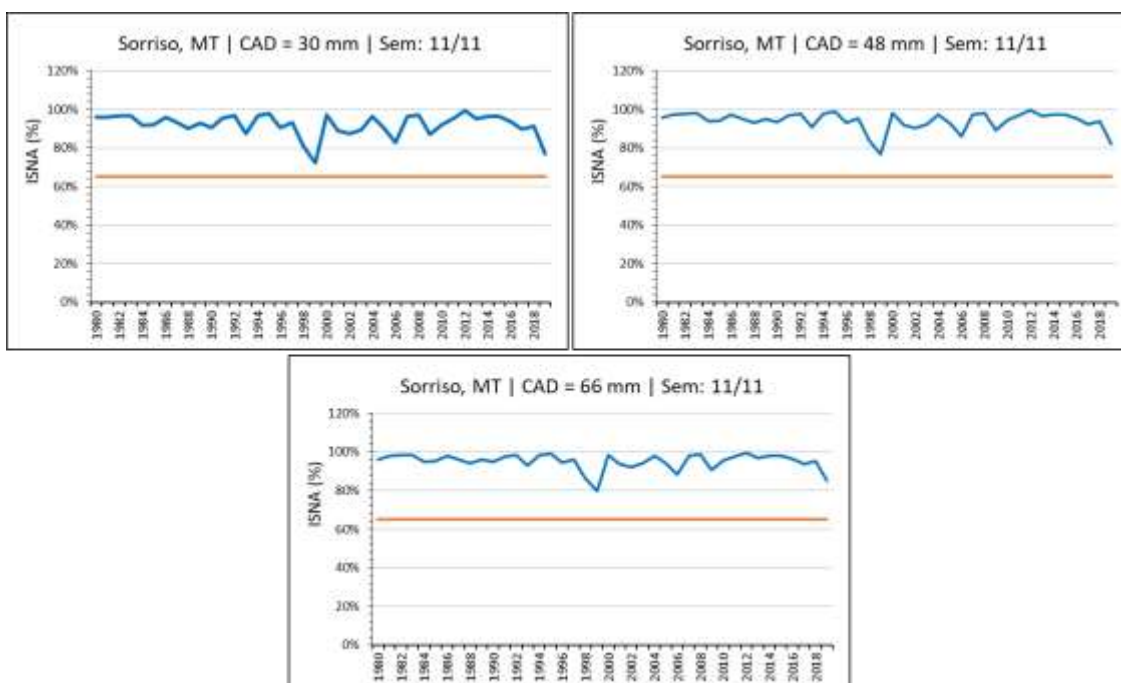


Figura 110 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/11 em Sorriso, MT, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

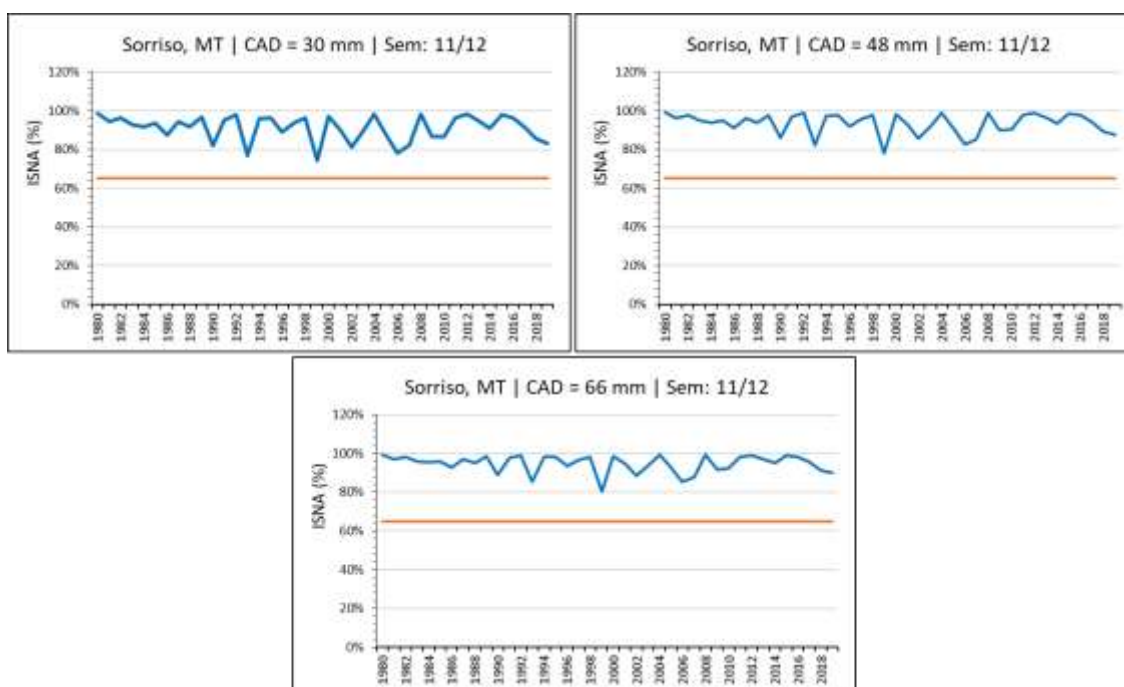


Figura 111 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/12 em Sorriso, MT, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

4.2.12.2. Cenário futuro de curto prazo

As mudanças climáticas de curto prazo na região de Sorriso, MT, irão provocar redução generalizada dos valores de ISNA em todas as épocas de semeadura simuladas, como mostram as Figuras (112, 113 e 114). Esse efeito será mais acentuado na semeadura precoce, em 11/10 (Figura 112), do que nas demais, para as quais ainda boa parte dos anos permanecerá com ISNA acima de 0,65 (Figuras 113 e 114). Essas alterações no ISNA serão decorrentes das mudanças nas condições térmicas, com aumento de 2,7°C a 4,3°C, e hídricas, com redução das chuvas em 26%, da região (Tabela 8). Em função disso, os produtores de Sorriso, MT, poderão contornar os impactos das mudanças do clima a curto prazo, retardando a época de semeadura e trabalhando o perfil do solo para que haja esse tenha uma maior capacidade de retenção de água, já que é notável que na CAD de 66 mm os impactos são em geral menores.

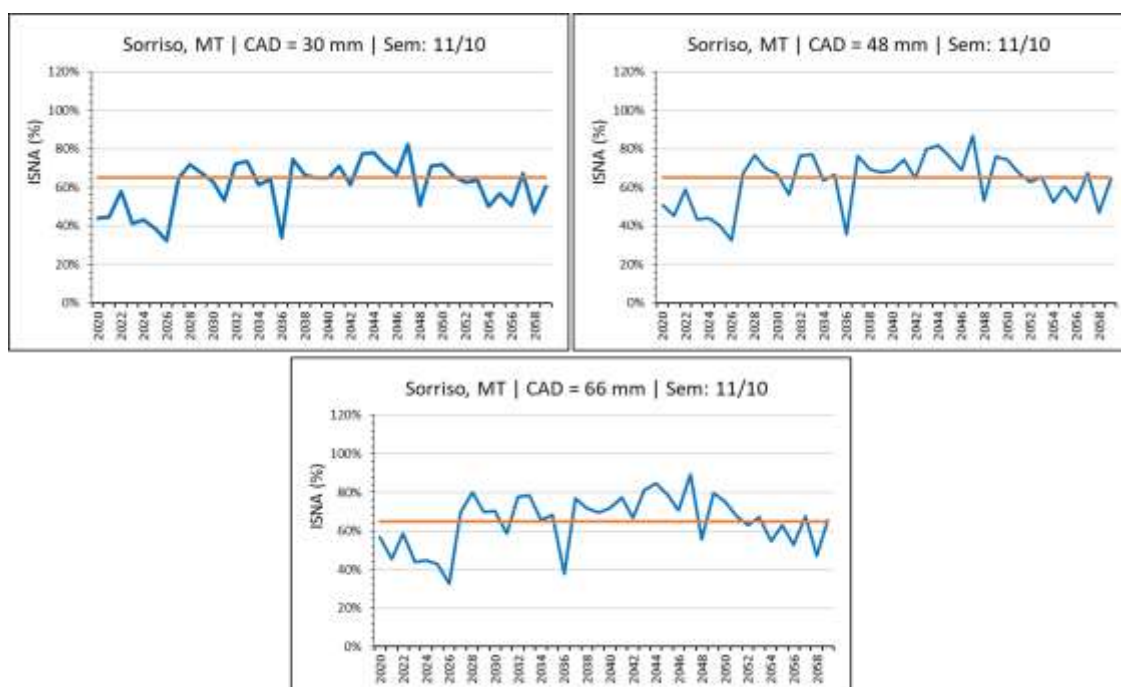


Figura 112 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/10 em Sorriso, MT, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

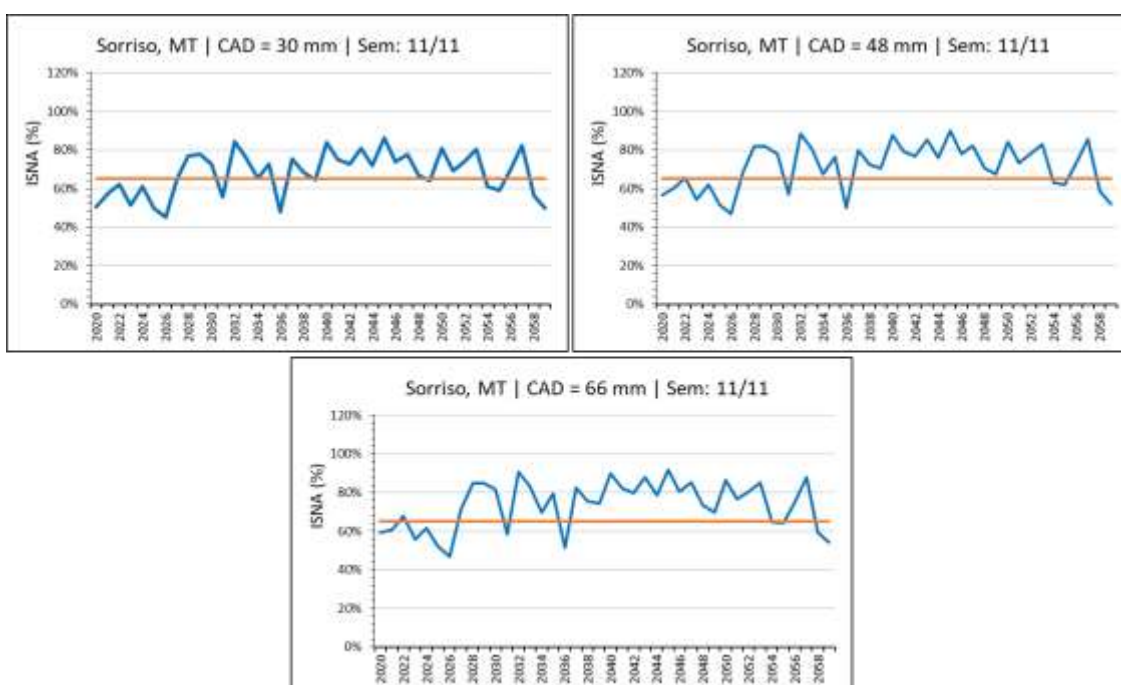


Figura 113 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/11 em Sorriso, MT, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

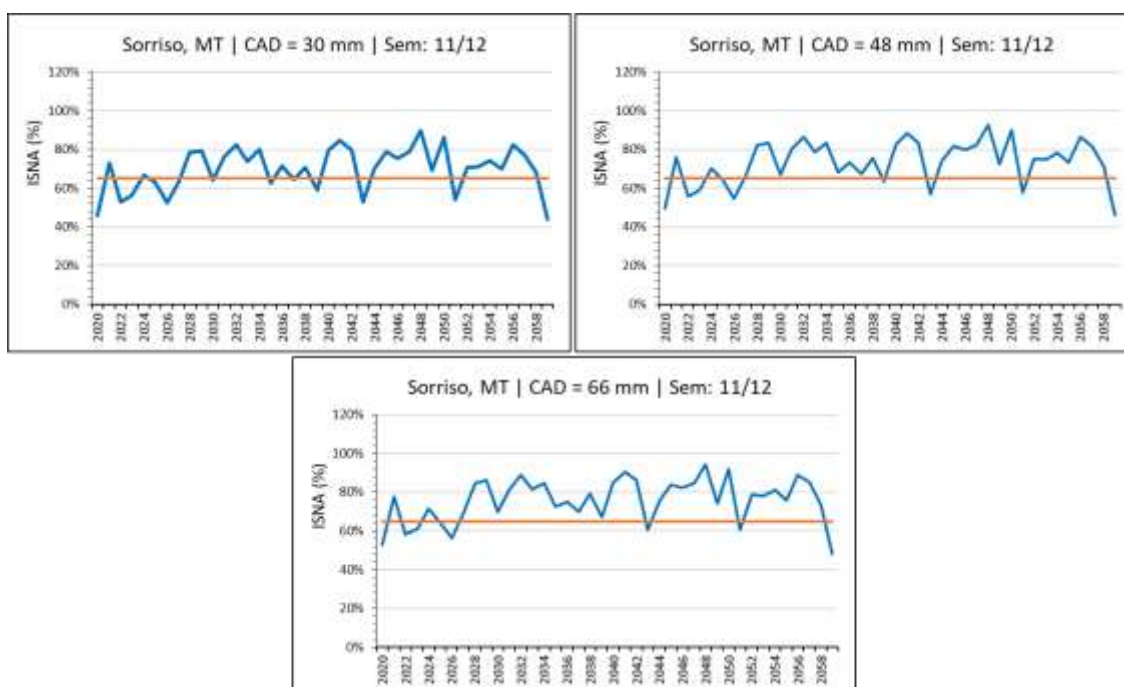


Figura 114 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/12 em Sorriso, MT, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

4.2.12.3. Cenário futuro de longo prazo

Para o cenário climático de longo prazo, a localidade de Sorriso, MT, passa a sofrer mais com as mudanças do clima, fazendo com que o ISNA sofra forte redução, havendo predominância de valores abaixo de 0,65, além de uma grande variabilidade interanual desse índice, como mostram as Figuras 115, 116 e 117. Novamente, a semeadura precoce é a que mais deve sofrer nesse cenário climático, independentemente da CAD avaliada (Figura 115). Nas demais épocas de semeadura, 11/11 e 11/12, ainda existirão diversos anos com ISNA acima de 0,65, possibilitando o cultivo da soja sob o ponto de vista hídrico. No que tange às condições térmicas, essas devem subir de 5,7°C a 8,2°C (Tabela 9), o que deverá trazer sérios problemas fisiológicos para a cultura da soja, em decorrência da abscisão de flores e vagens, especialmente quando as temperaturas máximas passarem os 35°C por vários dias consecutivos (SENTELHAS et al, 2018).

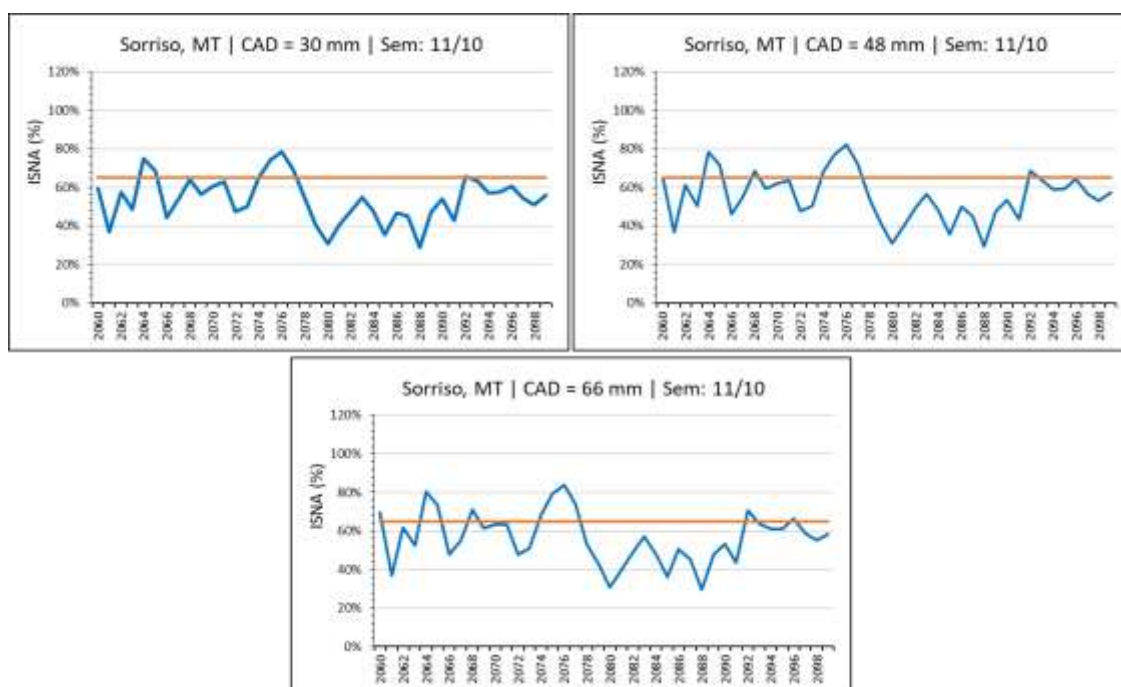


Figura 115 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/10 em Sorriso, MT, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

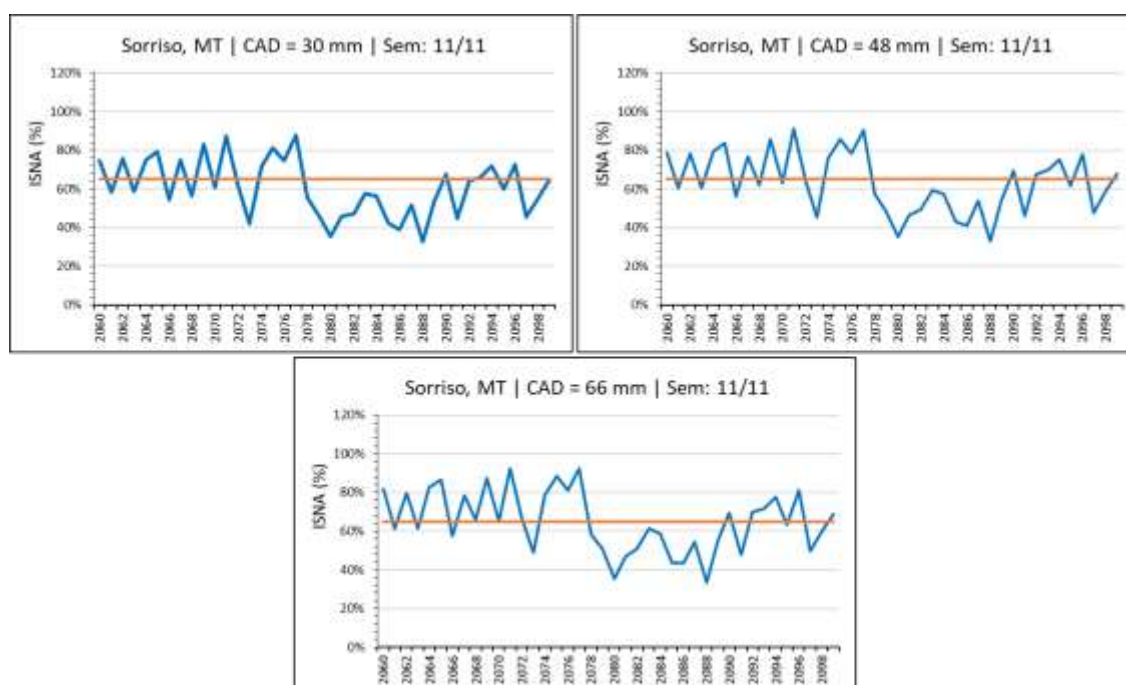


Figura 116 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/11 em Sorriso, MT, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

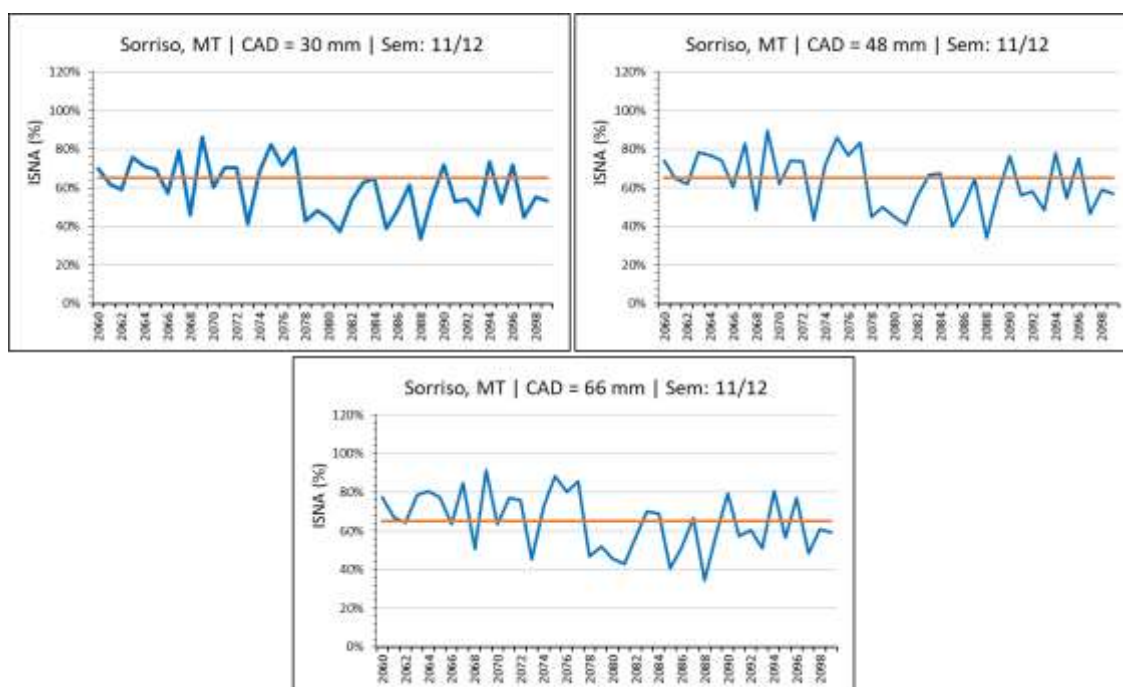


Figura 117 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/12 em Sorriso, MT, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

4.2.13. Tibagi, PR

4.2.13.1. Cenário atual

A região de Tibagi, PR, já é considerada uma região de risco leve a moderado para a cultura da soja em razão da grande variabilidade interanual das chuvas na região, resultando em valores de ISNA para a fase crítica da soja bastante variáveis, como pode-se observar nas Figuras 118, 119 e 120. O quadro mais crítico em termos da frequência de ISNA < 0,65 se dá para as semeaduras de 11/09 e 11/10 e para as menores CADs (Figuras 118 e 119). Para a semeadura tardia, em 11/11 (Figura 120), a situação é diferente, havendo predominância de ISNAs maiores do que 0,65 em grande parte dos anos, especialmente nas CADs de 48 mm e 66 mm. Isso mostra claramente a importância do perfil de solo bem construído na redução do risco climático para a cultura, assim como a importância da escolha da melhor época de semeadura para cada região.

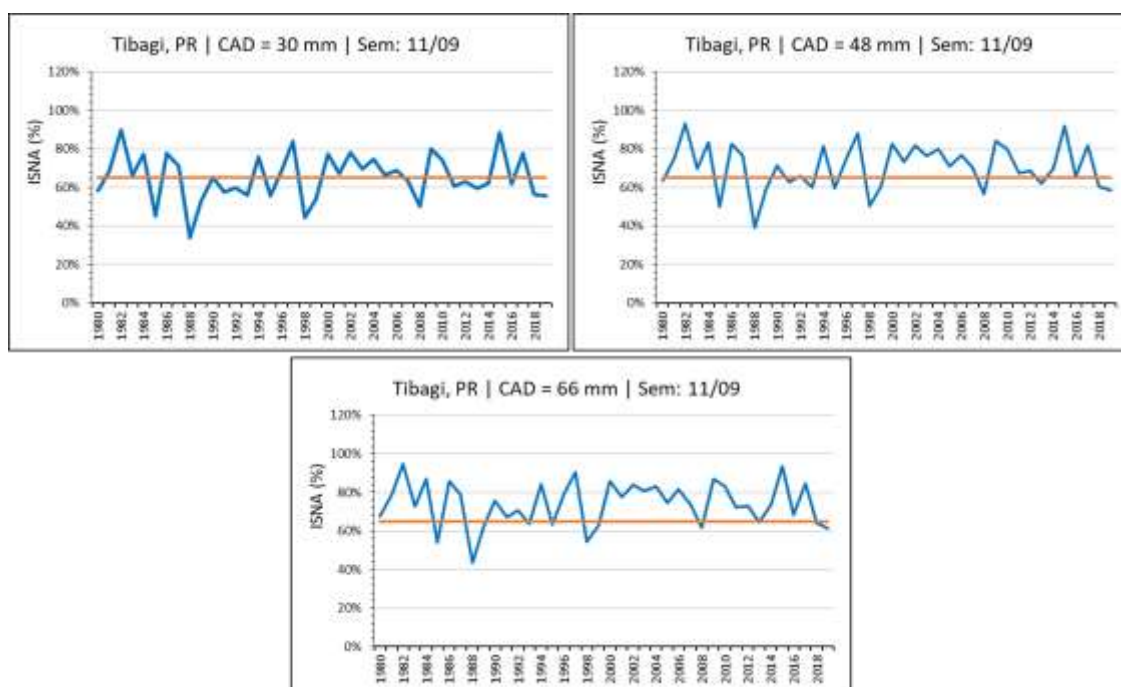


Figura 118 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/09 em Tibagi, PR, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

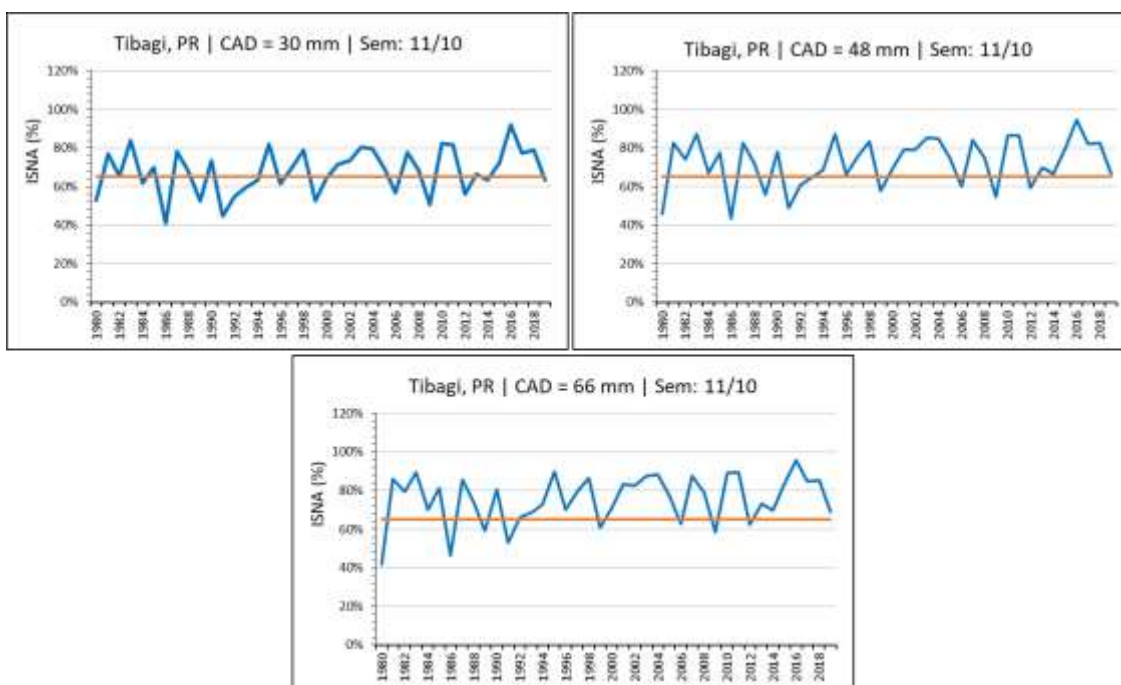


Figura 119 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/10 em Tibagi, PR, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

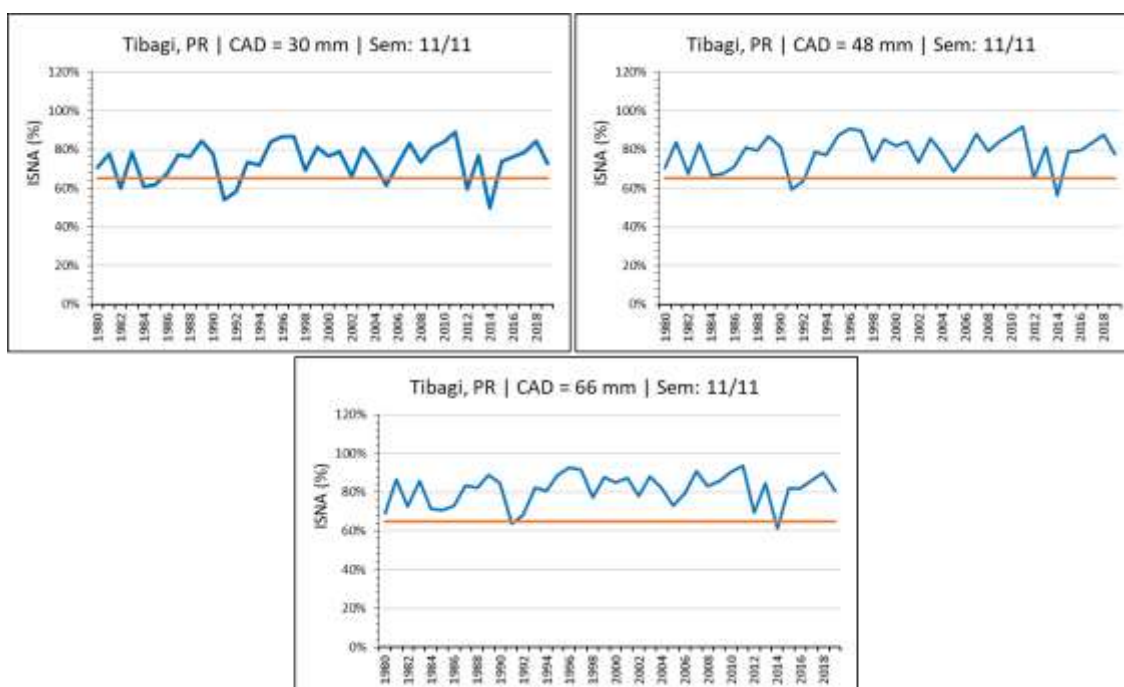


Figura 120 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/11 em Tibagi, PR, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

4.2.13.2. Cenário futuro de curto prazo

As mudanças climáticas a curto prazo na região de Tibagi, PR, irão provocar uma drástica redução dos valores do ISNA, independentemente da época de semeadura e da CAD analisada (Figuras 121, 122 e 123). Isso se dará em função dos prognósticos de elevação das temperaturas, entre 2,6°C e 4,3°C, e da redução das chuvas em 25% (Tabela 8). Esse quadro é bastante preocupante para essa região, já que o cultivo da soja será inviabilizado sob condições de sequeiro. Como mostram as Figuras 121, 122 e 123, apenas na época de semeadura 11/11 e para a CAD de 66 mm haverá 8 anos em que o ISNA irá superar o limiar de 0,65, o qual indica favorabilidade para o cultivo da soja. Assim, o uso da irrigação será uma prática necessária para que essa cultura possa se manter em Tibagi, PR, nesse cenário de clima.

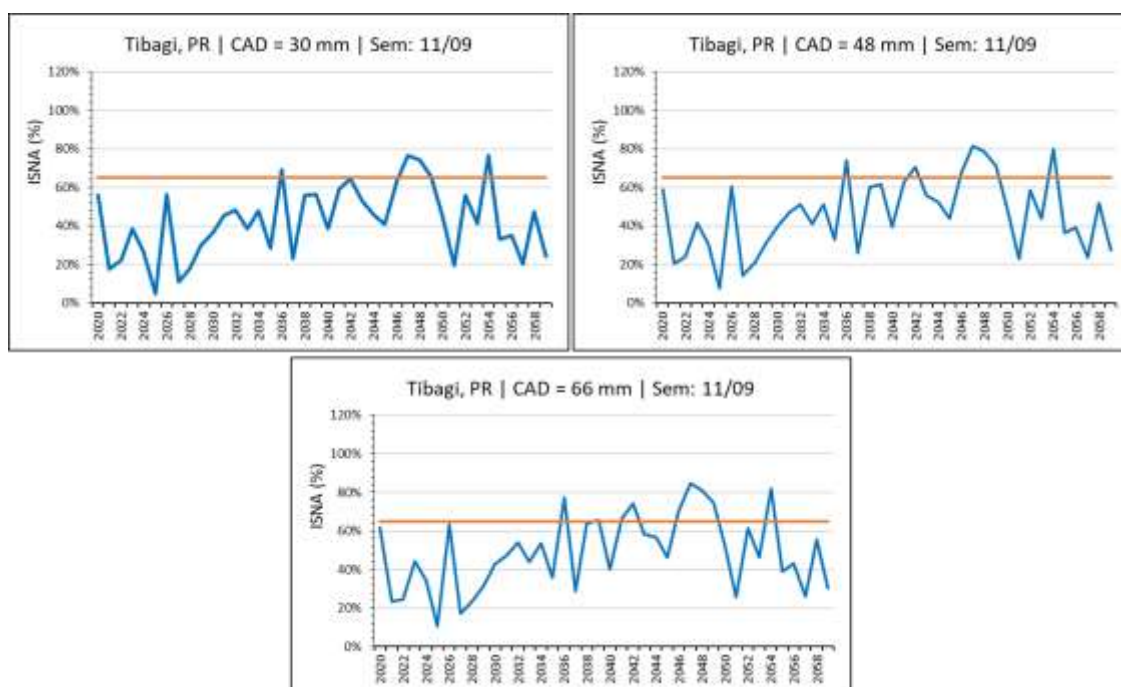


Figura 121 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/09 em Tibagi, PR, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

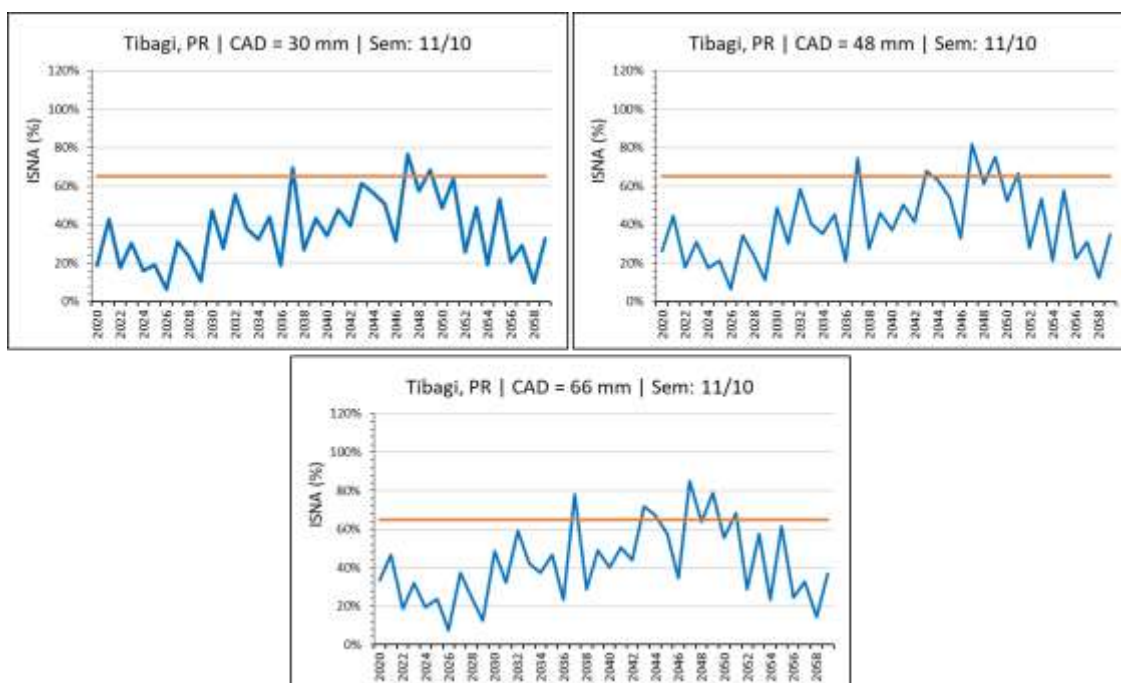


Figura 122 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/10 em Tibagi, PR, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

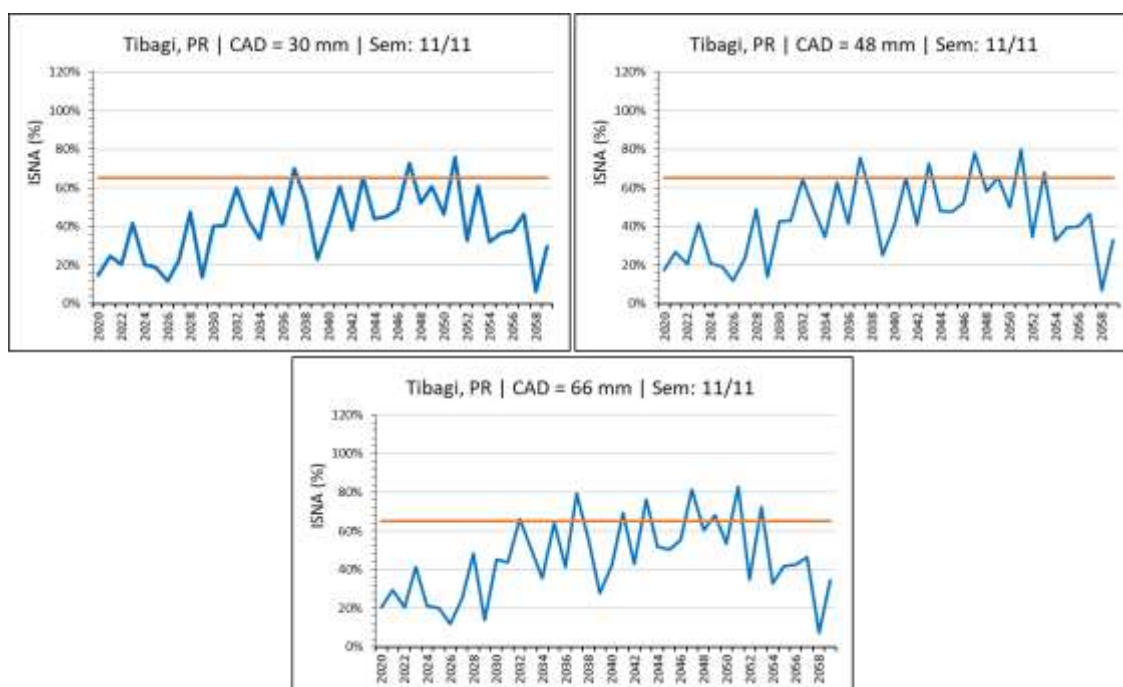


Figura 123 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/11 em Tibagi, PR, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

4.2.13.3. Cenário futuro de longo prazo

Para o cenário de mudanças climáticas de longo prazo para a região de Tibagi, PR, haverá uma drástica redução dos valores de ISNA, independente da época de semeadura e CAD considerada. Os valores de ISNA ficarão na maioria dos anos abaixo do limite crítico para a cultura da soja, assim como já observado em outras localidades. Essa alteração do ISNA pode ser observada nas Figuras 124, 125 e 126, as quais mostra que apenas em quatro anos esse índice ficará acima de 0,65, sendo essa condição na semeadura de 11/09 e na CAD de 66 mm. Essas mudanças se devem basicamente aos aumentos de temperatura, entre 5,1°C e 7,3°C, e redução das chuvas de aproximadamente 26% (Tabela 9). Nessas condições, o cultivo da soja somente seria possível sob irrigação, porém, mesmo assim as condições térmicas deverão prejudicar a produção, pois estariam muito além do tolerado pela cultura.

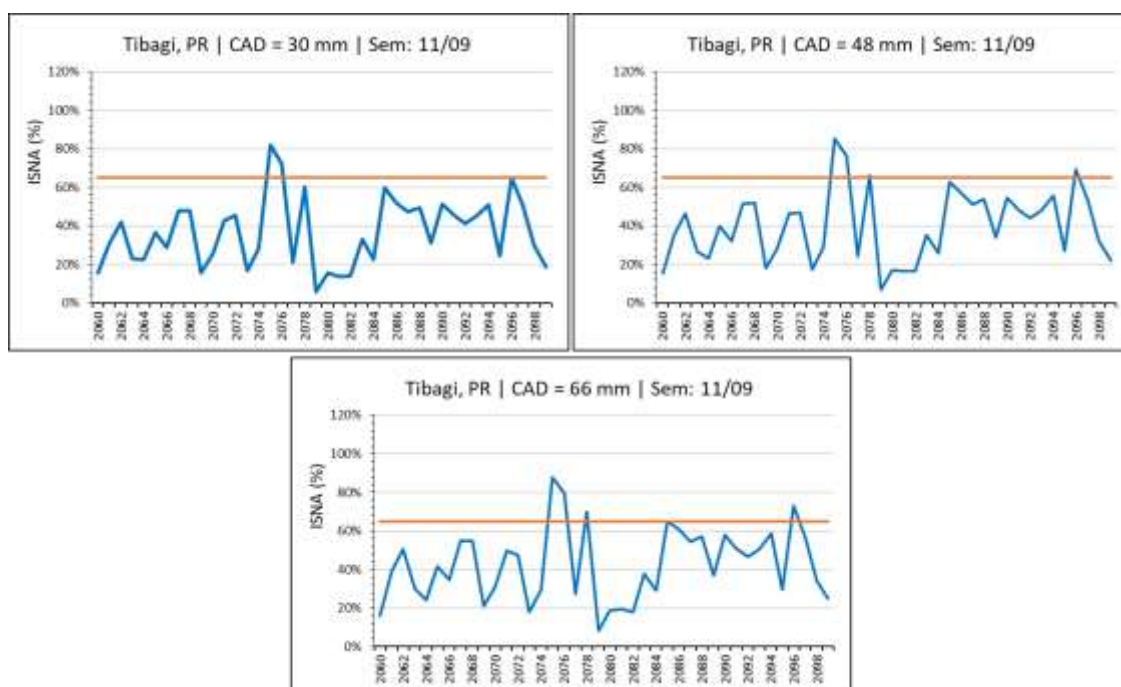


Figura 124 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/09 em Tibagi, PR, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

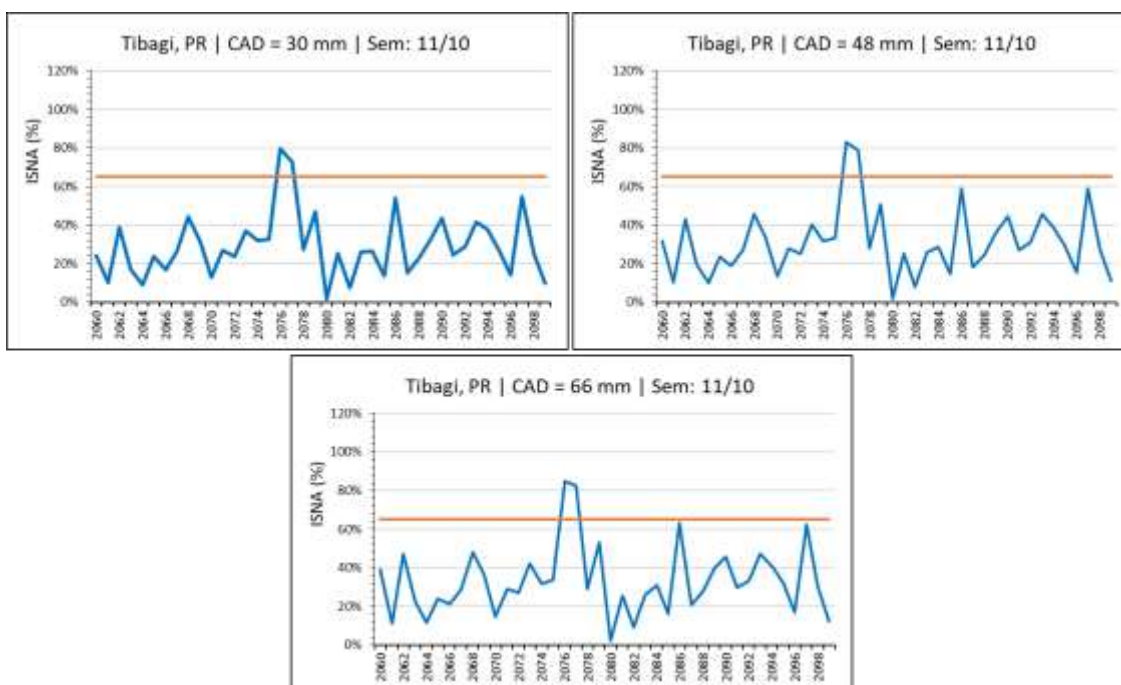


Figura 125 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/10 em Tibagi, PR, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

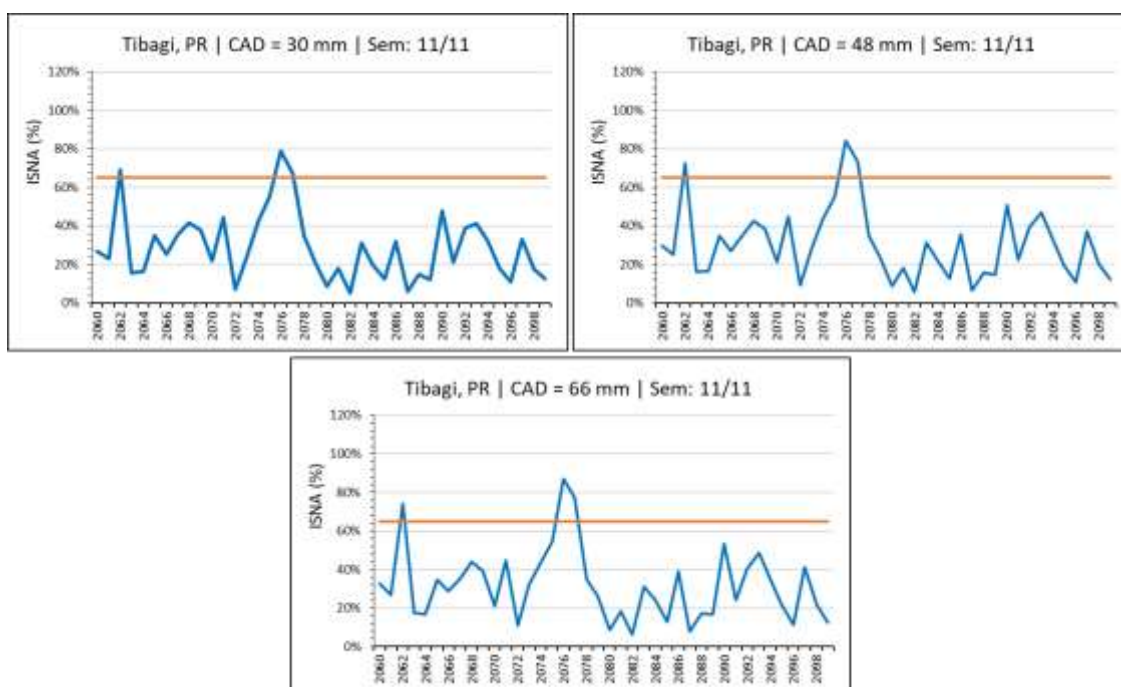


Figura 126 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/11 em Tibagi, PR, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

4.2.14. Tupanciretã, RS

4.2.14.1. Cenário atual

A região de Tupanciretã, RS, é uma região que atualmente apresenta uma grande frequência de anos com $ISNA < 0,65$, independentemente da época de semeadura e CAD considerada. Como pode-se observar nas Figuras 127, 128 e 129, as melhores condições para a cultura da soja ocorrem nas semeaduras tardias (11/11 e 11/12) e em solos de maior capacidade de retenção de água (Figura 129). Nas demais datas de semeadura (Figuras 127 e 128), a frequência de $ISNA < 0,65$ é muito grande, o que também se observa na semeadura de 11/12 para a CAD de 30 mm. Nessa região, é evidente que a irrigação já é uma prática recomendável para a cultura da soja, assim como o uso de estratégias para aumentar o perfil do solo. De um modo geral, a situação que se observa em Tupanciretã se deve aos sistemas climáticos que atuam na região, gerando grande variabilidade climática, como o evento El Niño Oscilação Sul (ENOS), o qual em sua fase quente (El Niño) aumenta as chuvas na região, e na fase fria (La Niña) as reduz (SENTELHAS et al., 2018).

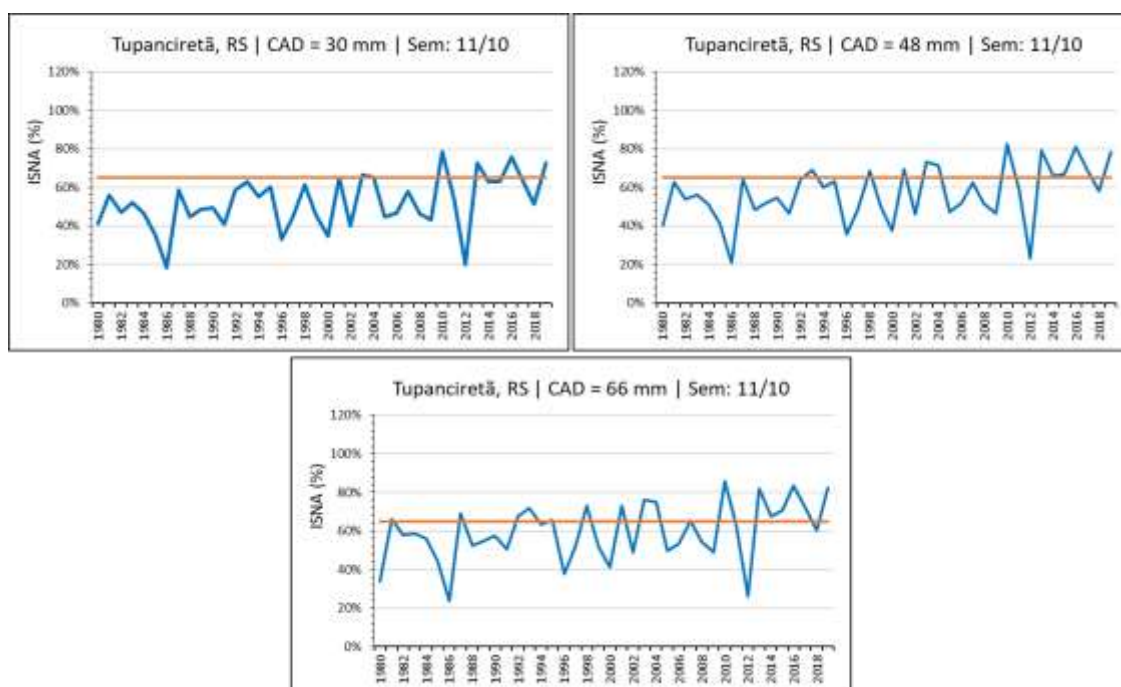


Figura 127 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/10 em Tupanciretã, RS, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

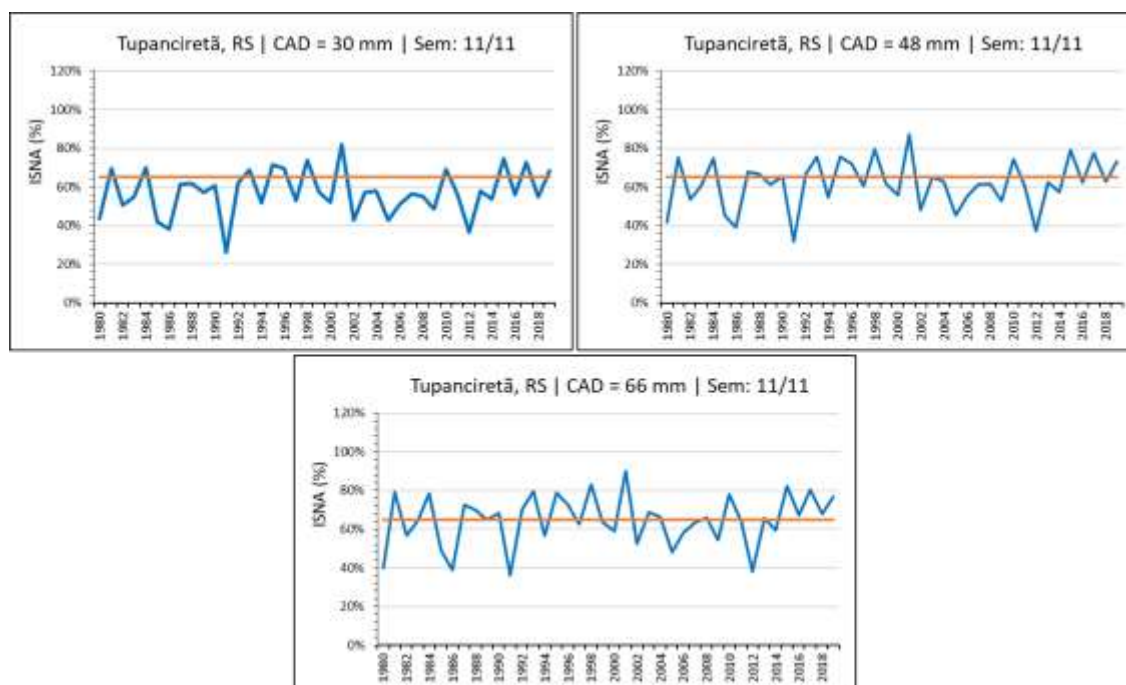


Figura 128 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/11 em Tupanciretã, RS, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

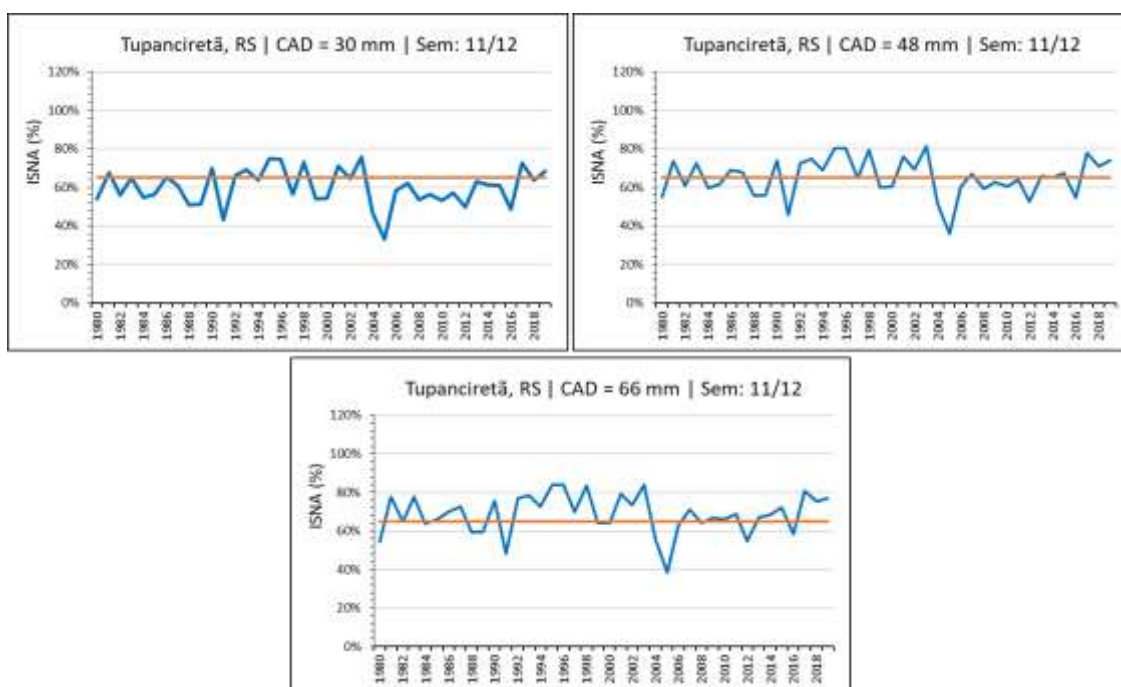


Figura 129 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/12 em Tupanciretã, RS, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

4.2.14.2. Cenário futuro de curto prazo

Considerando-se que as condições para a cultura da soja já são bastante restritivas no cenário atual (Figuras 127, 128 e 129), tais condições tendem a piorar bastante no cenário de mudanças do clima, com o aumento das temperaturas entre 2,6°C e 3,0°C e uma leve redução das chuvas, da ordem de 6% (Tabela 8). Assim, haverá, nesse cenário, condições insatisfatórias para o cultivo da soja na grande maioria dos anos, independentemente da época de semeadura e da CAD considerada (Figuras 130, 131 e 132). Num cenário como este, o cultivo da soja apenas seria possível mediante o uso de irrigação, especialmente nas fases críticas da cultura, como o florescimento e o enchimento de grãos.

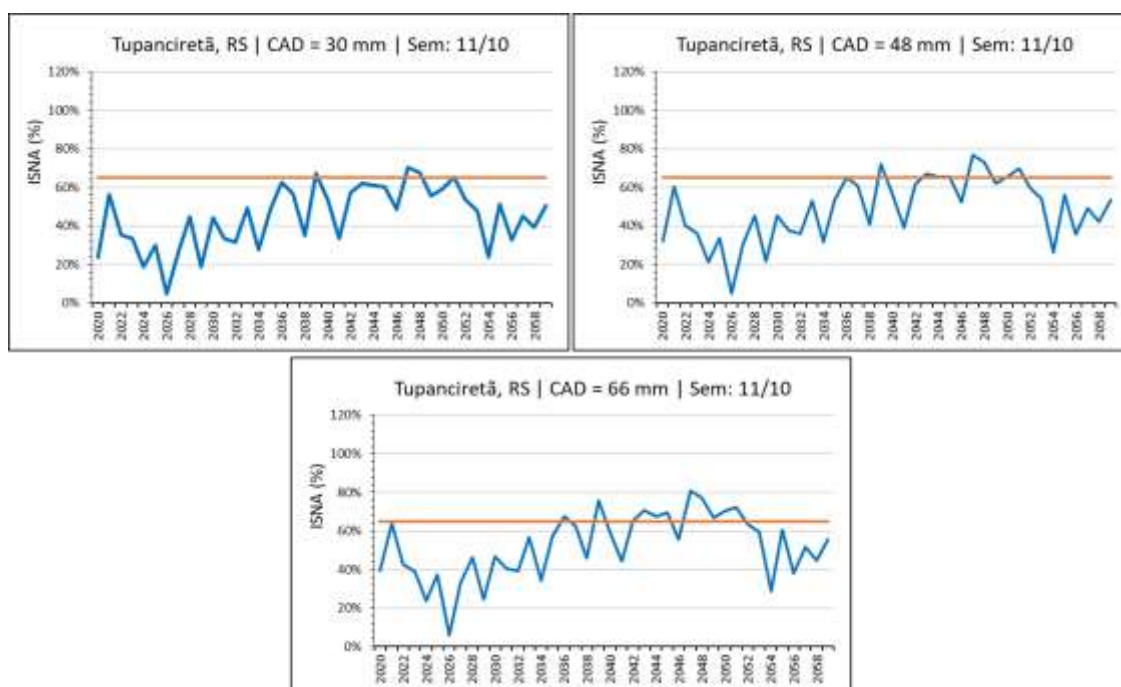


Figura 130 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/10 em Tupanciretã, RS, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

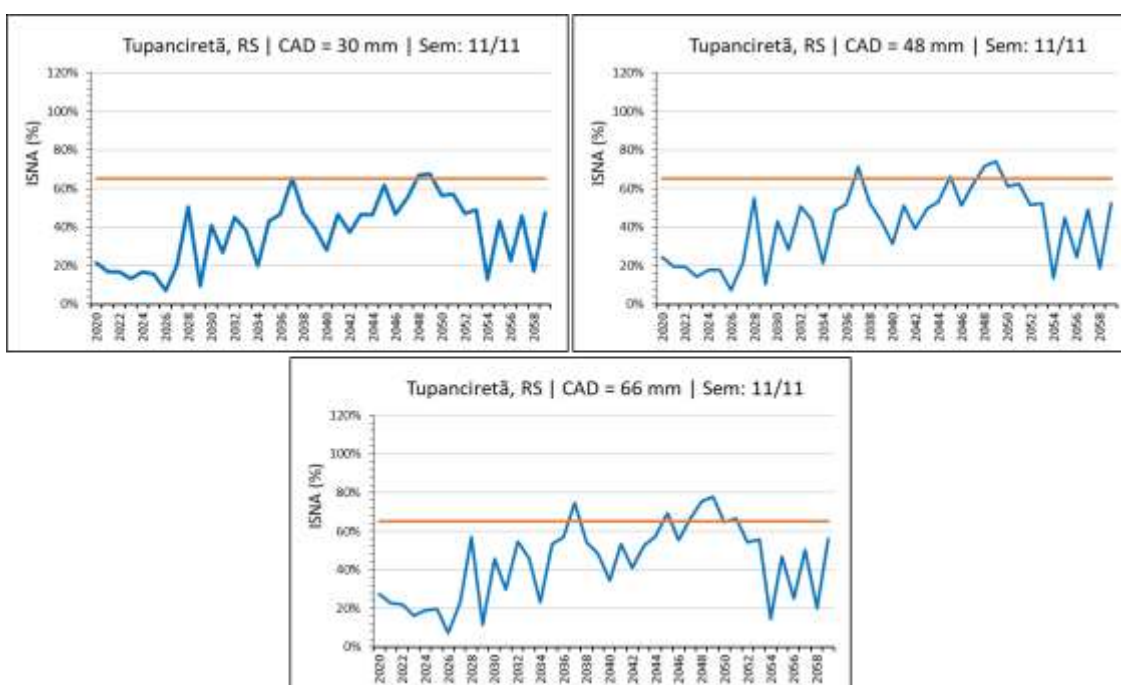


Figura 131 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/11 em Tupanciretã, RS, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

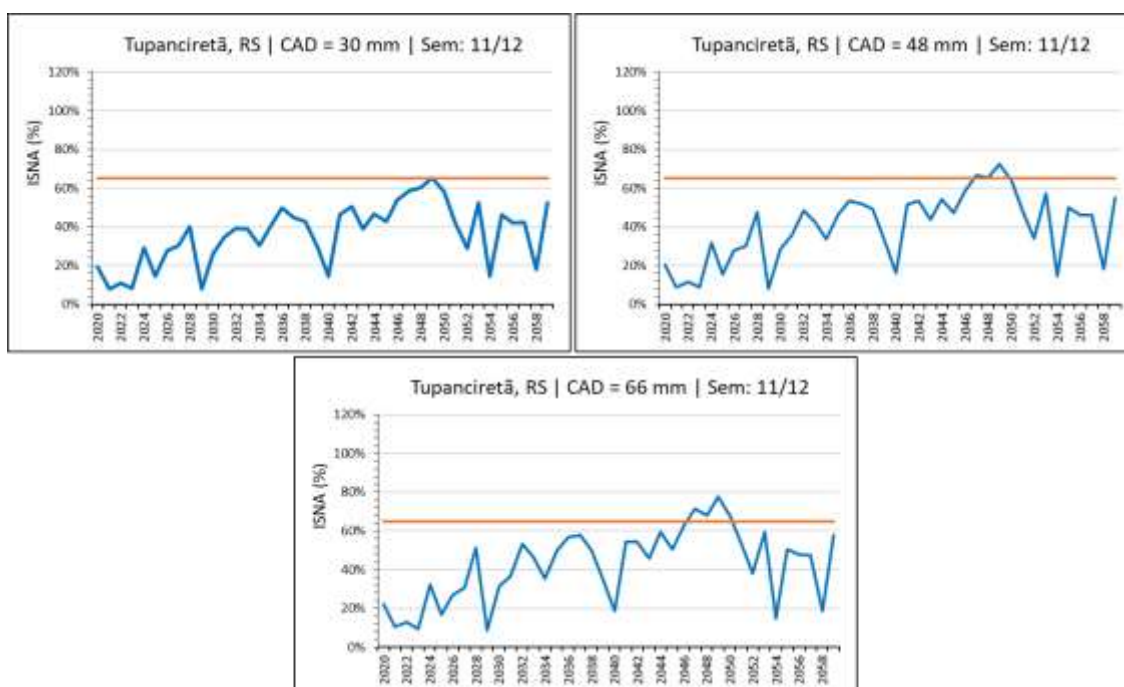


Figura 132 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/12 em Tupanciretã, RS, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

4.2.14.3. Cenário futuro de longo prazo

Para o cenário futuro de mudanças climáticas, as condições da variabilidade interanual do ISNA serão muito semelhantes àsquelas observadas para o cenário de curto prazo, apesar de haver no primeiro, aumento da temperatura da ordem de $5,0^{\circ}\text{C}$. Isso deverá ocorrer em função do aumento projetado para a chuva, da ordem de 5%, havendo assim uma compensação entre o aumento da demanda hídrica causada pelas altas temperatura e o aumento da chuva. As Figuras 133, 134 e 135, mostram a variabilidade interanual do ISNA, onde observa-se que na grande maioria dos anos, independentemente da época de semeadura e da CAD, valores de ISNA menores do que 0,65. Assim como nas demais condições analisadas para este local, a irrigação passará a ser obrigatória caso se deseje manter o cultivo da soja na região e este cenário venha realmente a se estabelecer.

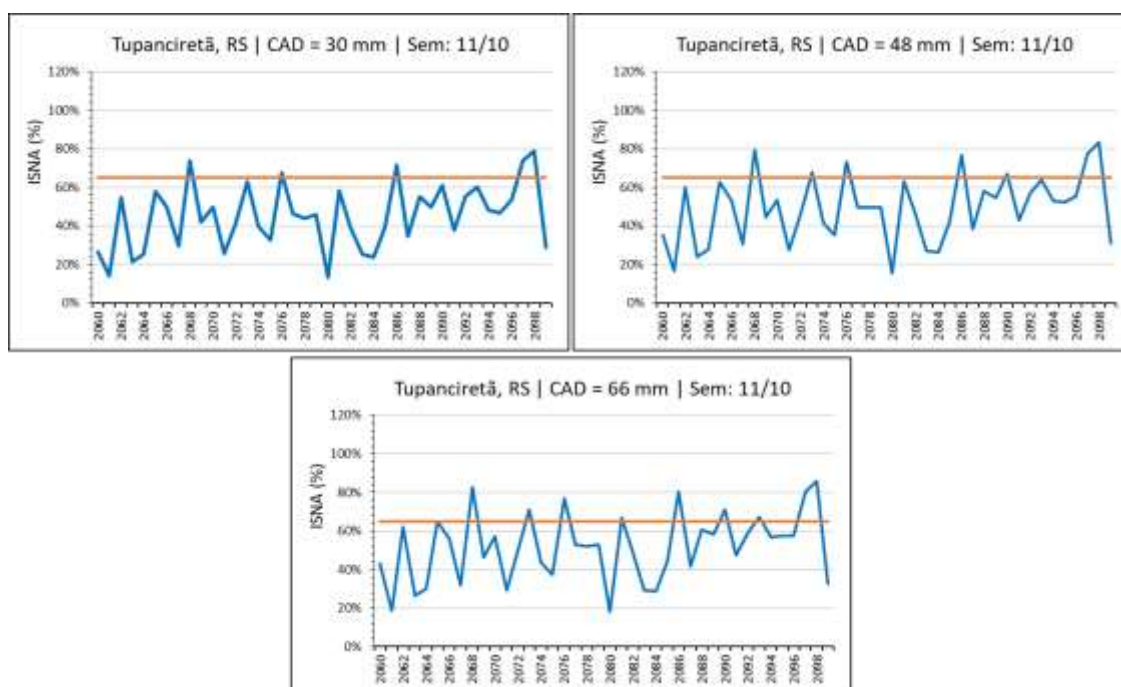


Figura 133 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/10 em Tupanciretã, RS, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

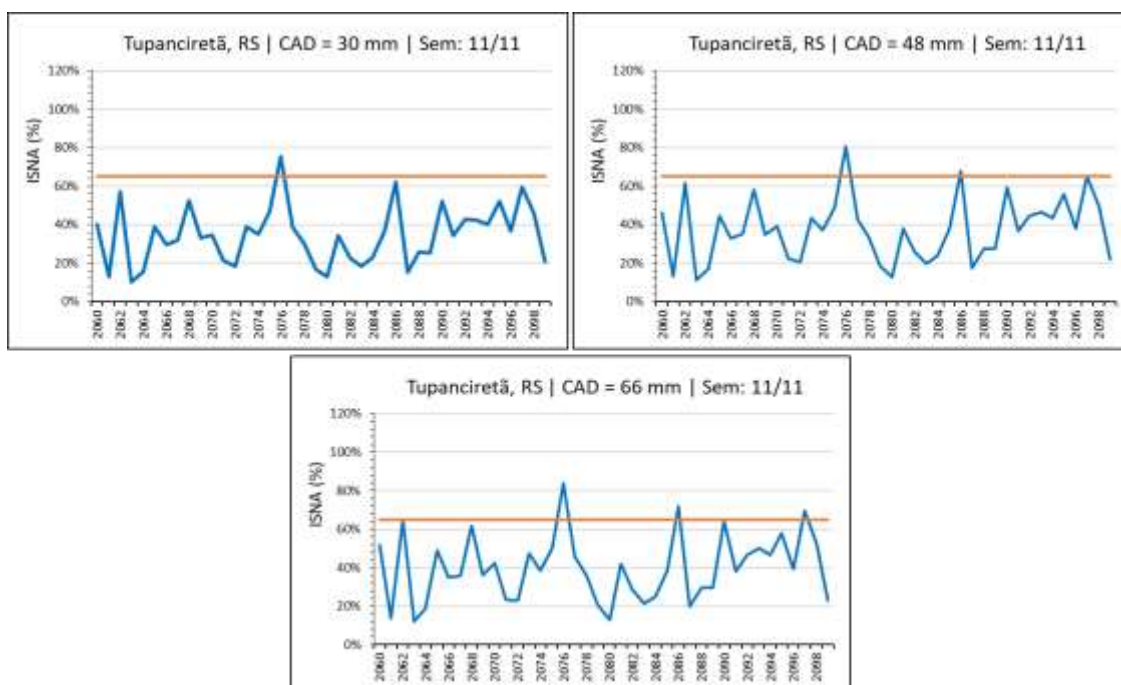


Figura 134 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/11 em Tupanciretã, RS, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

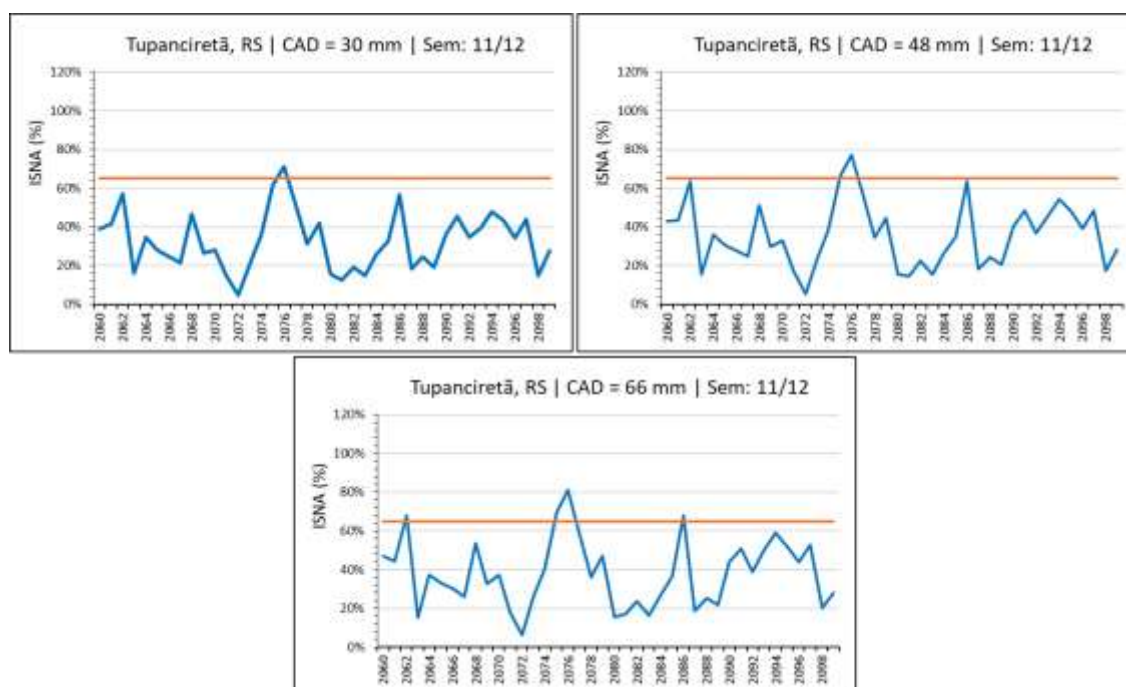


Figura 135 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 11/12 em Tupanciretã, RS, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

4.2.15. Unaí, MG

4.2.15.1. Cenário atual

A localidade de Unaí, MG, se caracteriza como uma região favorável ao cultivo da soja, especialmente na semeadura precoce (21/10) quando os valores de ISNA permanecem em praticamente todos os anos acima do limiar crítico (0,65), independentemente da CAD considerada (Figura 136). Ao se atrasar a semeadura para 21/11 (Figura 137) e 21/12 (Figura 138), a frequência de valores de ISNA < 0,65 aumenta gradativamente, sendo a pior situação na semeadura de 21/12 para a CAD de 30 mm. Esse quadro mostra que a região de Unaí, MG, é de risco moderado para o cultivo da soja, sendo a irrigação uma prática benéfica nas semeaduras tardias.

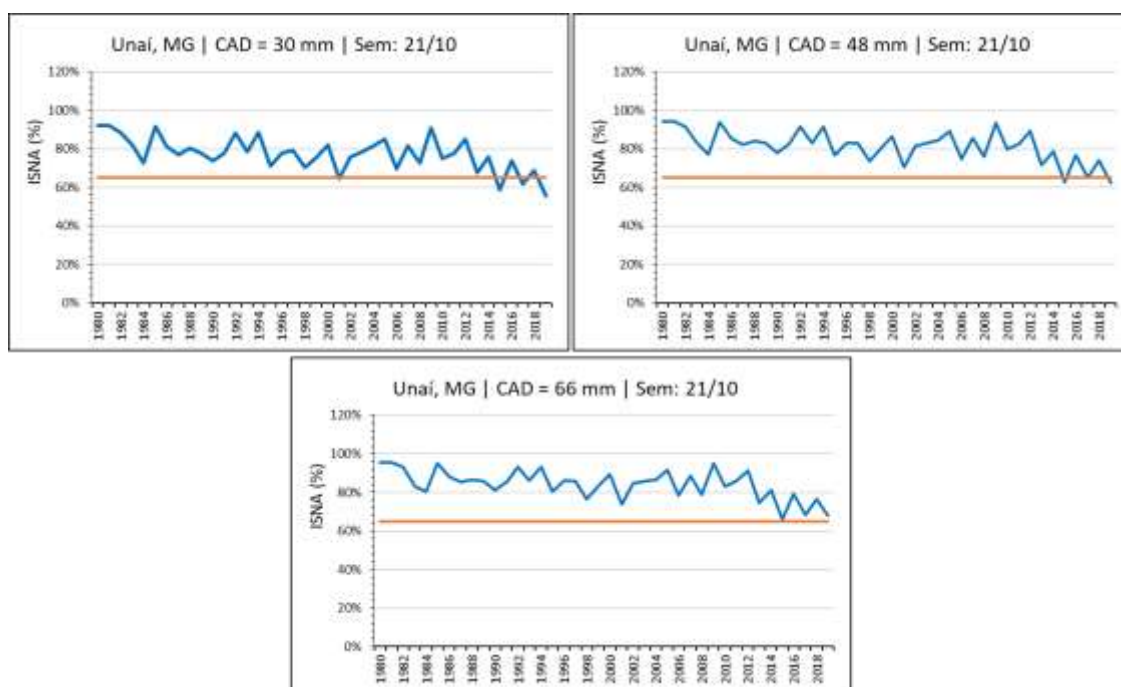


Figura 136 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/10 em Unai, MG, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

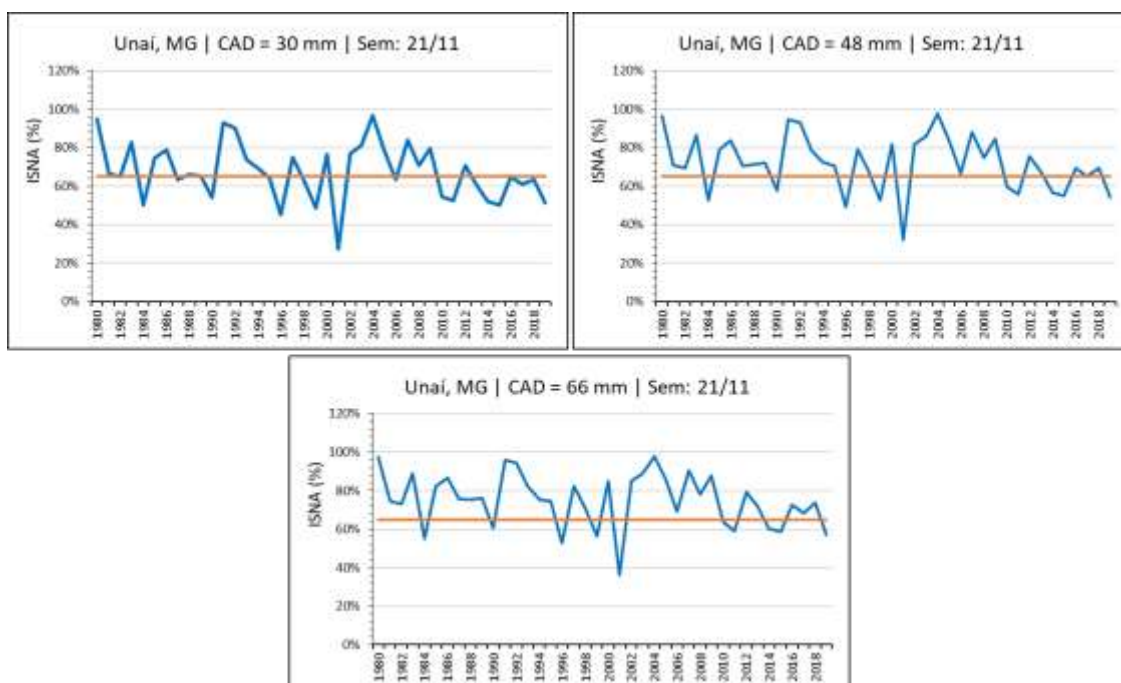


Figura 137 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/11 em Unai, MG, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

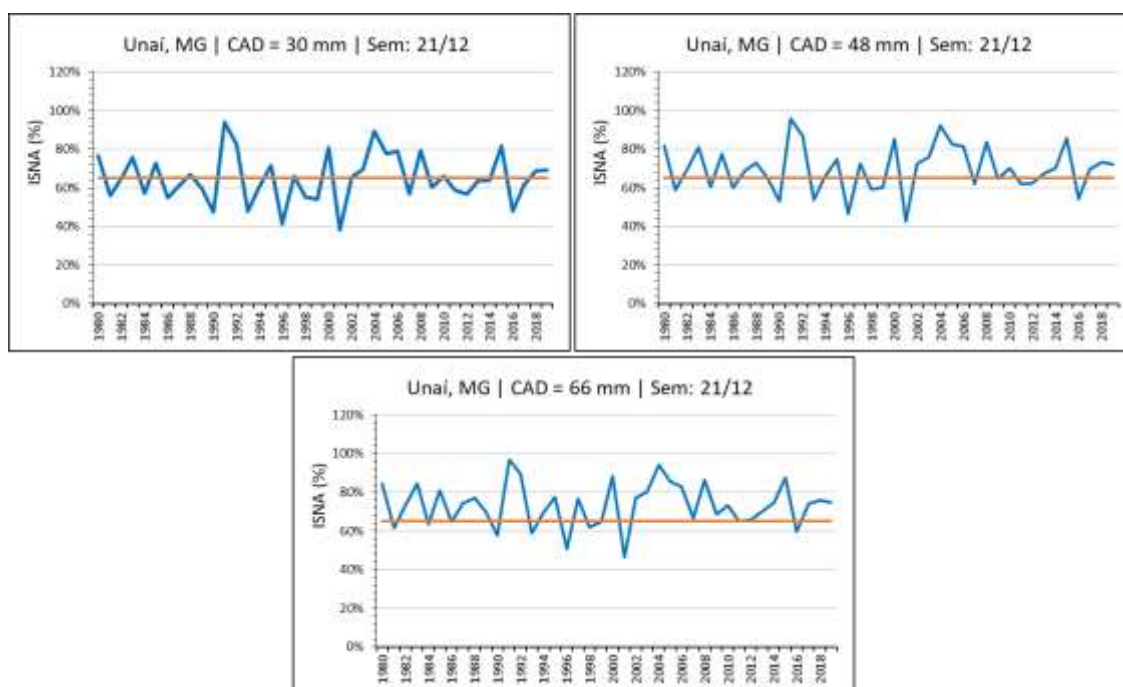


Figura 138 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/12 em Unai, MG, no cenário atual, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

4.2.15.2. Cenário futuro de curto prazo

Em decorrência da maior suscetibilidade da região de Unai, MG, ao déficit hídrico para a cultura da soja no cenário atual (Figuras 136, 137 e 138), nas condições de mudanças climáticas de curto prazo essa situação tende a se agravar, como ser observado nas Figuras 139, 140 e 141, em que para todas as épocas de semeadura e CADs simuladas os valores de ISNA estão predominantemente abaixo do limite de 0,65. Isso se deve basicamente ao aumento das temperaturas (entre 2,4°C e 4,0°C) e redução das chuvas na expressiva marca de 47% (Tabela 8), o que levou a uma aumento expressivo do déficit hídrico para a cultura, ou seja, resultando em ISNAs muito baixos, sendo que na melhor combinação de época de plantio e CAD houve apenas cinco anos com $ISNA > 0,65$. Como já mencionado anteriormente, nessas condições, a solução mais viável para a manutenção do cultivo de soja na região é a irrigação, apesar de que a cultura também deverá sofrer com as altas temperaturas limitando processos fisiológicos da cultura, o que provavelmente levará à redução da produtividade mesmo com o uso da irrigação.

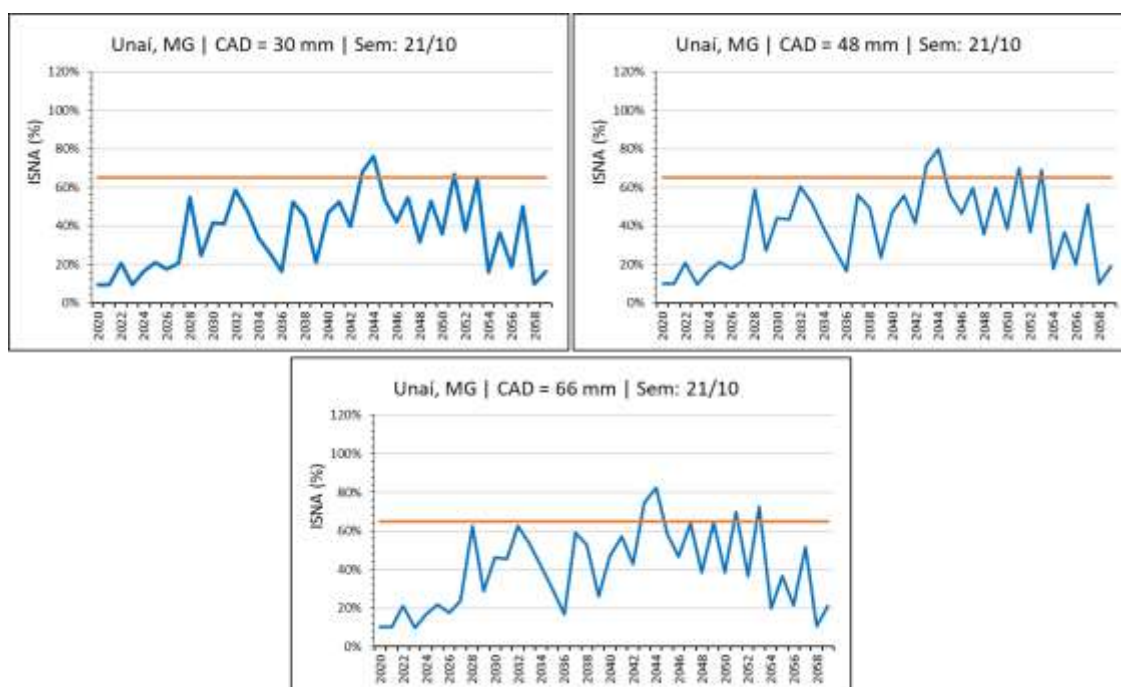


Figura 139 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/10 em Unai, MG, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

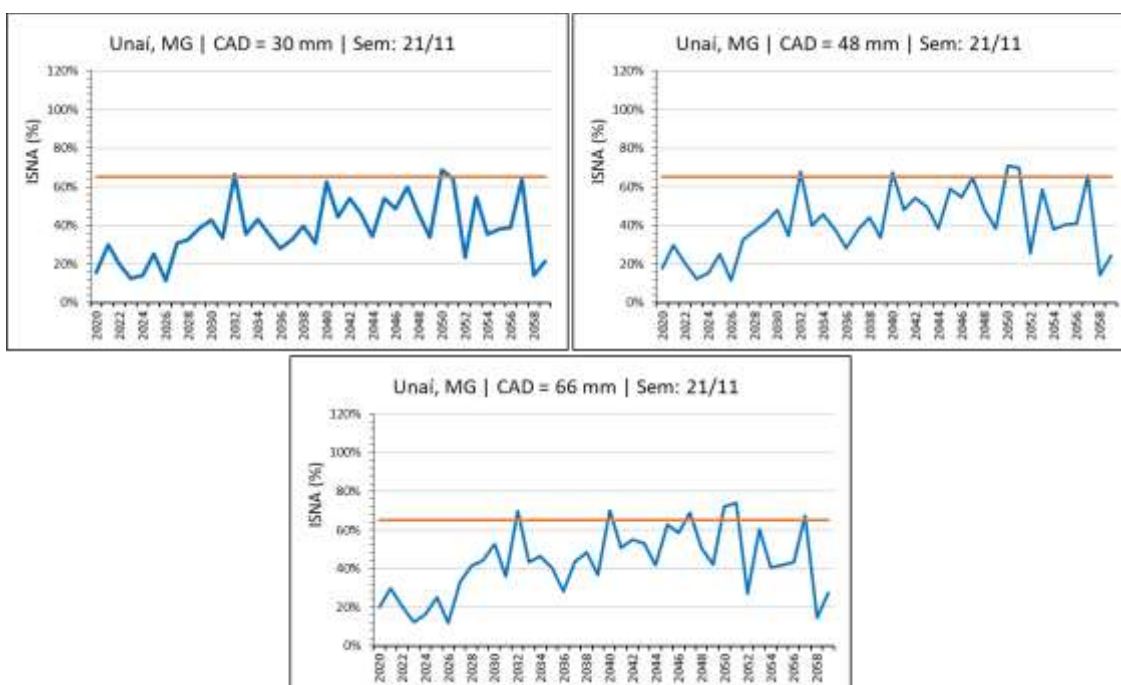


Figura 140 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/11 em Unai, MG, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

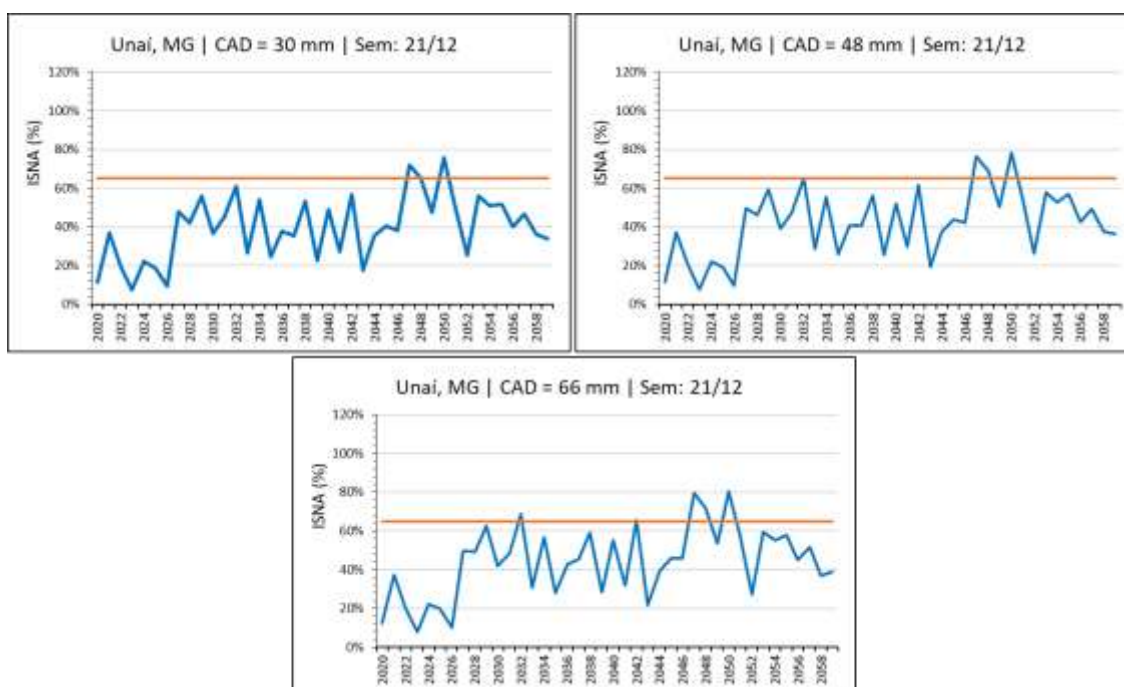


Figura 141 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/12 em Unai, MG, no cenário futuro de curto prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

4.2.15.3. Cenário futuro de longo prazo

Se para o cenário a de médio prazo as condições para o cultivo da soja na região de Unai, MG, já eram inviáveis, sob a condição de longo prazo as mudanças climáticas irão impactar ainda mais o cultivo da soja, já que a elevação das temperaturas entre 5,0°C e 7,2°C e a redução das chuvas em cerca de 57% (Tabela 9) irão impor restrições térmicas e hídricas às lavouras, com o ISNA sendo predominantemente abaixo de 0,65 (Figuras 142, 143 e 144) se qual for a combinação entre época de semeadura e CAD. Além disso, a temperatura ambiente irá superar o limite térmico da cultura, que é da ordem de 32°C a 35°C. Esse quadro inviabilizará até mesmo o cultivo da soja sob condições irrigadas, já que distúrbios fisiológicos deverão limitar o crescimento das plantas, levando a baixas produtividades.

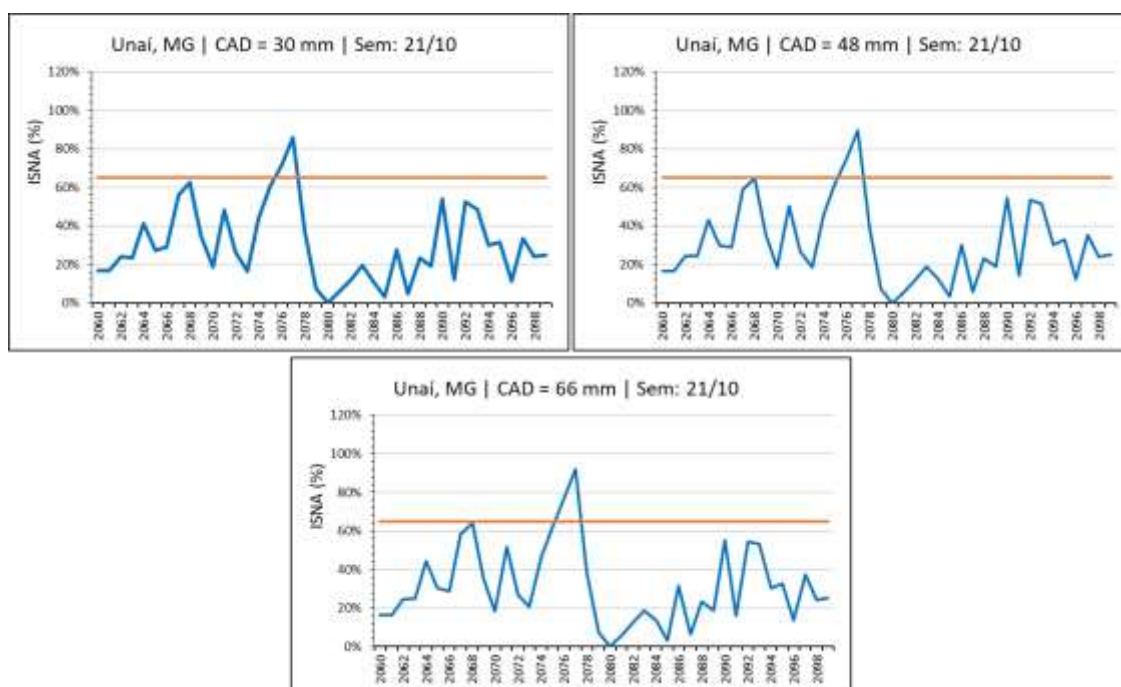


Figura 142 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/10 em Unai, MG, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

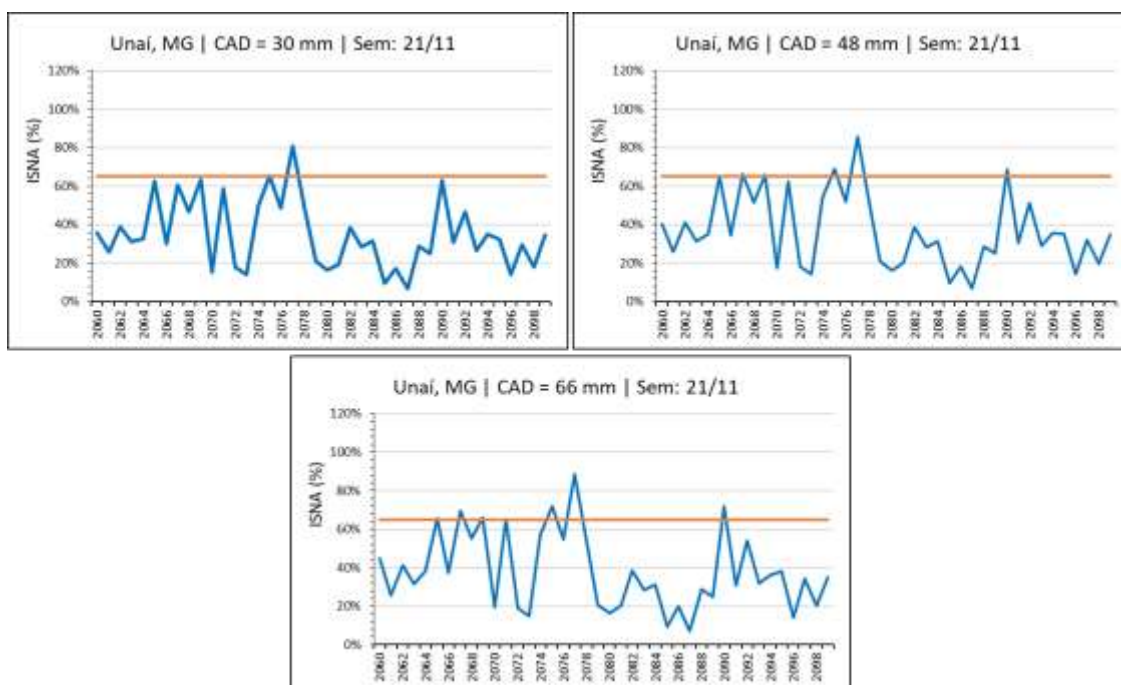


Figura 143 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/11 em Unai, MG, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

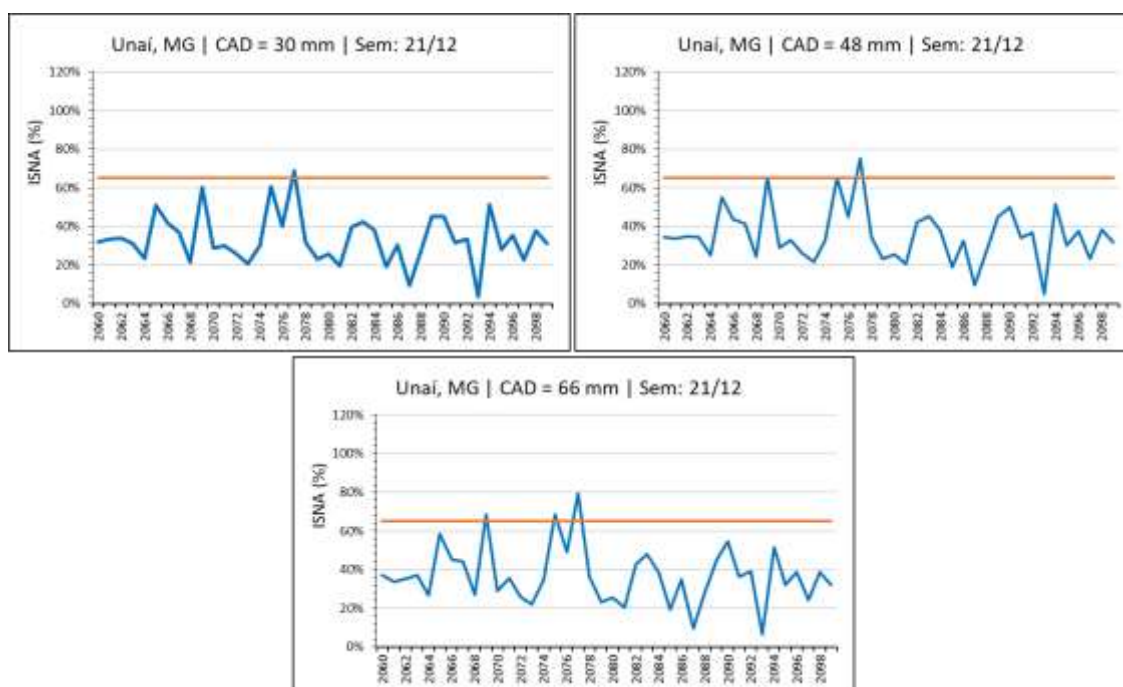


Figura 144 - Variabilidade interanual do índice de satisfação na necessidade de água (ISNA) para a época de semeadura de 21/12 em Unai, MG, no cenário futuro de longo prazo, para as capacidades de água disponível do solo de 30, 48 e 66 mm.

4.3. Risco climático para a cultura da soja

4.3.1. Cenário atual

De acordo com os valores de ISNA para o cenário atual, apresentados no item anterior, determinou o risco climático para a cultura da soja, os quais são apresentados para cada uma das datas de semeadura nas Tabelas 10, 11 e 12.

Para as regiões de Alto Alegre, RR, Campos Lindos, TO, Paragominas, PA, Rio Verde, GO e Sorriso, MT, o risco climático para a soja no cenário atual é baixo para qualquer condição de CAD e época de semeadura simulada. Em Macapá, AP, o risco é baixo nas semeaduras 1 e 2 em qualquer condição de CAD, enquanto que em Baixa Grande do Ribeiro, PI, e Balsas, MA, apenas na primeira semeadura para a CAD de 30 mm o risco é médio, sendo todas as demais condições de risco baixo. Em Unai, MG, ao contrário, apenas na primeira época de semeadura o risco é baixo em todas as CADs, sendo que nas demais épocas e CADs, os riscos climáticos para a cultura da soja oscilam entre médio e alto. Nas regiões de Itapeva, SP, e Maracaju,

MS, o risco climático para o cultivo da soja é baixo apenas na segunda semeadura nas CAD mais elevadas e na terceira semeadura em qualquer CAD. Situação semelhante ao que ocorre em Tibagi, PR, e Campos Novos, SC, onde na segunda semeadura somente a CAD de 66 mm apresenta baixo risco. Já na terceira semeadura o risco baixo ocorre em todas as condições de CAD para Tibagi e nas CADs de 48 mm e 66 mm em Campos Novos. Em todas as demais épocas ou CADs, o risco climático para a cultura nessas regiões oscila entre médio e alto. Finalmente nas regiões de Formosa do Rio Preto, BA, e Tupanciretã, RS, o risco climático para a cultura da soja é alto em todas as épocas de semeadura e para todos as CADs, o que chama a atenção já que essas regiões são produtoras de soja e em alguns anos obtém produtividades razoáveis. Nessas áreas, a única forma de fazer com que a soja em cultivo de sequeiro se mantenha na região é por meio do um perfil de solo profundo e com boa cobertura morta, de modo a reduzir as taxas de evapotranspiração e melhorar as condições de disponibilidade hídrica para as culturas.

Tabela 10 - Risco climático para a cultura da soja em diferentes localidades brasileiras, considerando-se a primeira época de semeadura em cada uma delas, três diferentes capacidades de água disponível (CAD) e o cenário atual.

Localidade	1ª Semeadura	CAD (mm)					
		30		48		66	
		% Anos ISNA < 65%	Risco	% Anos ISNA < 65%	Risco	% Anos ISNA < 65%	Risco
Alto Alegre, RR	21/abr	0%	Baixo	0%	Baixo	0%	Baixo
Baixa Grande do Ribeiro, PI	01/nov	23%	Médio	13%	Baixo	8%	Baixo
Balsas, MA	21/out	23%	Médio	10%	Baixo	5%	Baixo
Campos Lindos, TO	21/out	8%	Baixo	5%	Baixo	3%	Baixo
Campos Novos, SC	21/set	51%	Alto	28%	Médio	21%	Médio
Formosa do Rio Preto, BA	21/out	60%	Alto	40%	Alto	33%	Alto
Itapeva, SP	01/out	48%	Alto	33%	Alto	30%	Médio
Macapá, AP	01/abr	0%	Baixo	0%	Baixo	0%	Baixo
Maracaju, MS	01/out	40%	Alto	25%	Médio	15%	Baixo
Paragominas, PA	01/dez	3%	Baixo	0%	Baixo	0%	Baixo
Rio Verde, GO	11/out	0%	Baixo	0%	Baixo	0%	Baixo
Sorriso, MT	11/out	0%	Baixo	0%	Baixo	0%	Baixo
Tibagi, PR	11/set	48%	Alto	33%	Alto	28%	Médio
Tupanciretã, RS	11/out	85%	Alto	70%	Alto	58%	Alto
Unaí, MG	21/out	10%	Baixo	5%	Baixo	0%	Baixo

Fonte: Elaborado pela autora

Tabela 11 - Risco climático para a cultura da soja em diferentes localidades brasileiras, considerando-se a segunda época de semeadura em cada uma delas, três diferentes capacidades de água disponível (CAD) e o cenário atual.

Localidade	2ª Semeadura	CAD (mm)					
		30		48		66	
		% Anos ISNA < 65%	Risco	% Anos ISNA < 65%	Risco	% Anos ISNA < 65%	Risco
Alto Alegre, RR	21/mai	0%	Baixo	0%	Baixo	0%	Baixo
Baixa Grande do Ribeiro, PI	01/dez	13%	Baixo	10%	Baixo	10%	Baixo
Balsas, MA	21/nov	18%	Baixo	10%	Baixo	5%	Baixo
Campos Lindos, TO	21/nov	5%	Baixo	3%	Baixo	3%	Baixo
Campos Novos, SC	21/out	50%	Alto	25%	Médio	15%	Baixo
Formosa do Rio Preto, BA	21/nov	58%	Alto	50%	Alto	40%	Alto
Itapeva, SP	01/nov	28%	Médio	18%	Baixo	10%	Baixo
Macapá, AP	01/mai	5%	Baixo	5%	Baixo	3%	Baixo
Maracaju, MS	01/nov	43%	Alto	20%	Baixo	8%	Baixo
Paragominas, PA	01/jan	0%	Baixo	0%	Baixo	0%	Baixo
Rio Verde, GO	11/nov	3%	Baixo	3%	Baixo	3%	Baixo
Sorriso, MT	11/nov	0%	Baixo	0%	Baixo	0%	Baixo
Tibagi, PR	11/out	40%	Alto	25%	Médio	20%	Baixo
Tupanciretã, RS	11/nov	73%	Alto	60%	Alto	48%	Alto
Unaí, MG	21/nov	45%	Alto	28%	Médio	25%	Médio

Fonte: Elaborado pela autora

Tabela 12 - Risco climático para a cultura da soja em diferentes localidades brasileiras, considerando-se a terceira época de semeadura em cada uma delas, três diferentes capacidades de água disponível (CAD) e o cenário atual.

Localidade	3ª Semeadura	CAD (mm)					
		30		48		66	
		% Anos ISNA < 65%	Risco	% Anos ISNA < 65%	Risco	% Anos ISNA < 65%	Risco
Alto Alegre, RR	21/jun	20%	Baixo	10%	Baixo	5%	Baixo
Baixa Grande do Ribeiro, PI	01/jan	13%	Baixo	10%	Baixo	0%	Baixo
Balsas, MA	21/dez	10%	Baixo	3%	Baixo	3%	Baixo
Campos Lindos, TO	21/dez	3%	Baixo	3%	Baixo	0%	Baixo
Campos Novos, SC	21/nov	28%	Médio	15%	Baixo	10%	Baixo
Formosa do Rio Preto, BA	21/dez	58%	Alto	50%	Alto	35%	Alto
Itapeva, SP	01/dez	20%	Baixo	15%	Baixo	8%	Baixo
Macapá, AP	01/jun	78%	Alto	73%	Alto	58%	Alto
Maracaju, MS	01/dez	18%	Baixo	18%	Baixo	8%	Baixo
Paragominas, PA	01/fev	0%	Baixo	0%	Baixo	0%	Baixo
Rio Verde, GO	11/dez	0%	Baixo	0%	Baixo	0%	Baixo
Sorriso, MT	11/dez	0%	Baixo	0%	Baixo	0%	Baixo
Tibagi, PR	11/nov	20%	Baixo	10%	Baixo	5%	Baixo
Tupanciretã, RS	11/dez	68%	Alto	48%	Alto	35%	Alto
Unaí, MG	21/dez	50%	Alto	35%	Alto	28%	Médio

Fonte: Elaborado pela autora

4.3.2. Cenário futuro de curto prazo

Sob o cenário de mudanças climáticas de curto prazo, observa-se nas Tabelas 13, 14 e 15 uma drástica mudança nas condições de risco climático para a cultura da soja na maioria das regiões analisadas já que esse risco passa a ser predominantemente classificado como alto em todas as regiões, com exceção apenas para as localidades de Alto Alegre, RR, e Paragominas, PA, em que o risco continua baixo na primeira semeadura (Tabela 13). Já para a segunda semeadura (Tabela 14) observa-se uma leve alteração, com o risco baixo ocorrendo ainda em Alto Alegre, mas apenas para a CAD de 66 mm. Em Paragominas, o risco segue baixo para todas as CADs, enquanto que em Sorriso, o risco passa a ser médio nas CADs de 48 mm e 66 mm. Finalmente na terceira semeadura, o risco passa a ser alto em Alto Alegre em todas as CADs consideradas, enquanto que o risco permanece baixo em Paragominas e médio em Sorriso nas CADs de 48 mm e 66 mm.

Tabela 13 - Risco climático para a cultura da soja em diferentes localidades brasileiras, considerando-se a primeira época de semeadura em cada uma delas, três diferentes capacidades de água disponível (CAD) e o cenário futuro de curto prazo.

Localidade	1ª Semeadura	CAD (mm)					
		30		48		66	
		% Anos ISNA < 65%	Risco	% Anos ISNA < 65%	Risco	% Anos ISNA < 65%	Risco
Alto Alegre, RR	21/abr	5%	Baixo	3%	Baixo	3%	Baixo
Baixa Grande do Ribeiro, PI	01/nov	95%	Alto	95%	Alto	93%	Alto
Balsas, MA	21/out	93%	Alto	93%	Alto	90%	Alto
Campos Lindos, TO	21/out	83%	Alto	73%	Alto	73%	Alto
Campos Novos, SC	21/set	63%	Alto	53%	Alto	45%	Alto
Formosa do Rio Preto, BA	21/out	98%	Alto	98%	Alto	95%	Alto
Itapeva, SP	01/out	93%	Alto	90%	Alto	88%	Alto
Macapá, AP	01/abr	70%	Alto	53%	Alto	48%	Alto
Maracaju, MS	01/out	95%	Alto	93%	Alto	90%	Alto
Paragominas, PA	01/dez	18%	Baixo	18%	Baixo	18%	Baixo
Rio Verde, GO	11/out	80%	Alto	75%	Alto	70%	Alto
Sorriso, MT	11/out	58%	Alto	45%	Alto	38%	Alto
Tibagi, PR	11/set	88%	Alto	83%	Alto	78%	Alto
Tupanciretã, RS	11/out	90%	Alto	78%	Alto	73%	Alto
Unaí, MG	21/out	90%	Alto	88%	Alto	88%	Alto

Fonte: Elaborado pela autora

Tabela 14 - Risco climático para a cultura da soja em diferentes localidades brasileiras, considerando-se a segunda época de semeadura em cada uma delas, três diferentes capacidades de água disponível (CAD) e o cenário futuro de curto prazo.

Localidade	2ª Semeadura	CAD (mm)					
		30		48		66	
		% Anos ISNA < 65%	Risco	% Anos ISNA < 65%	Risco	% Anos ISNA < 65%	Risco
Alto Alegre, RR	21/mai	38%	Alto	35%	Alto	20%	Baixo
Baixa Grande do Ribeiro, PI	01/dez	95%	Alto	85%	Alto	85%	Alto
Balsas, MA	21/nov	80%	Alto	73%	Alto	65%	Alto
Campos Lindos, TO	21/nov	68%	Alto	60%	Alto	50%	Alto
Campos Novos, SC	21/out	68%	Alto	58%	Alto	55%	Alto
Formosa do Rio Preto, BA	21/nov	100%	Alto	100%	Alto	100%	Alto
Itapeva, SP	01/nov	90%	Alto	88%	Alto	85%	Alto
Macapá, AP	01/mai	68%	Alto	65%	Alto	65%	Alto
Maracaju, MS	01/nov	98%	Alto	95%	Alto	93%	Alto
Paragominas, PA	01/jan	5%	Baixo	3%	Baixo	3%	Baixo
Rio Verde, GO	11/nov	63%	Alto	60%	Alto	58%	Alto
Sorriso, MT	11/nov	40%	Alto	30%	Médio	30%	Médio
Tibagi, PR	11/out	93%	Alto	88%	Alto	85%	Alto
Tupanciretã, RS	11/nov	93%	Alto	90%	Alto	85%	Alto
Unaí, MG	21/nov	95%	Alto	88%	Alto	85%	Alto

Fonte: Elaborado pela autora

Tabela 15 - Risco climático para a cultura da soja em diferentes localidades brasileiras, considerando-se a terceira época de semeadura em cada uma delas, três diferentes capacidades de água disponível (CAD) e o cenário futuro de curto prazo.

Localidade	3ª Semeadura	CAD (mm)					
		30		48		66	
		% Anos ISNA < 65%	Risco	% Anos ISNA < 65%	Risco	% Anos ISNA < 65%	Risco
Alto Alegre, RR	21/jun	85%	Alto	78%	Alto	68%	Alto
Baixa Grande do Ribeiro, PI	01/jan	95%	Alto	93%	Alto	83%	Alto
Balsas, MA	21/dez	75%	Alto	73%	Alto	63%	Alto
Campos Lindos, TO	21/dez	58%	Alto	53%	Alto	43%	Alto
Campos Novos, SC	21/nov	78%	Alto	68%	Alto	60%	Alto
Formosa do Rio Preto, BA	21/dez	100%	Alto	100%	Alto	98%	Alto
Itapeva, SP	01/dez	88%	Alto	85%	Alto	80%	Alto
Macapá, AP	01/jun	85%	Alto	80%	Alto	75%	Alto
Maracaju, MS	01/dez	95%	Alto	93%	Alto	85%	Alto
Paragominas, PA	01/fev	3%	Baixo	3%	Baixo	3%	Baixo
Rio Verde, GO	11/dez	53%	Alto	45%	Alto	40%	Alto
Sorriso, MT	11/dez	33%	Alto	23%	Médio	20%	Médio
Tibagi, PR	11/nov	90%	Alto	83%	Alto	80%	Alto
Tupanciretã, RS	11/dez	98%	Alto	93%	Alto	90%	Alto
Unaí, MG	21/dez	93%	Alto	90%	Alto	88%	Alto

Fonte: Elaborado pela autora

4.3.3. Cenário futuro de longo prazo

Para o cenário futuro de mudanças climáticas, as condições de risco para a cultura da soja passam a ser predominantemente alto, com pouquíssimas exceções, como em Alto Alegre, RR, onde o risco na primeira semeadura é médio para a CAD de 40 mm e baixo na CAD de 66 mm. Na segunda semeadura, o risco passa a ser alto em todas as regiões e para todas as CADs, enquanto que na semeadura tardia o alto risco predomina em todas as condições, com uma única exceção para Sorriso, MT, na CAD de 66 mm em que o risco é médio. No geral, no cenário de mudanças climáticas de longo prazo gerado pelo modelo Eta-HadGEM2-ES para a RCP 8,5, é bastante drástico, mostrando elevações de temperaturas de até 8,2°C (Tabela 9), o que eliminaria a possibilidade do cultivo da soja em grande parte do país, em decorrência das limitações térmicas e hídricas para a cultura.

Tabela 16 - Risco climático para a cultura da soja em diferentes localidades brasileiras, considerando-se a primeira época de semeadura em cada uma delas, três diferentes capacidades de água disponível (CAD) e o cenário futuro de longo prazo.

Localidade	1ª Semeadura	CAD (mm)					
		30		48		66	
		% Anos ISNA < 65%	Risco	% Anos ISNA < 65%	Risco	% Anos ISNA < 65%	Risco
Alto Alegre, RR	21/abr	38%	Alto	25%	Médio	20%	Baixo
Baixa Grande do Ribeiro, PI	01/nov	100%	Alto	98%	Alto	98%	Alto
Balsas, MA	21/out	98%	Alto	98%	Alto	98%	Alto
Campos Lindos, TO	21/out	90%	Alto	90%	Alto	90%	Alto
Campos Novos, SC	21/set	65%	Alto	50%	Alto	50%	Alto
Formosa do Rio Preto, BA	21/out	100%	Alto	100%	Alto	100%	Alto
Itapeva, SP	01/out	95%	Alto	95%	Alto	95%	Alto
Macapá, AP	01/abr	93%	Alto	93%	Alto	90%	Alto
Maracaju, MS	01/out	93%	Alto	93%	Alto	88%	Alto
Paragominas, PA	01/dez	53%	Alto	48%	Alto	48%	Alto
Rio Verde, GO	11/out	88%	Alto	83%	Alto	78%	Alto
Sorriso, MT	11/out	83%	Alto	78%	Alto	75%	Alto
Tibagi, PR	11/set	95%	Alto	90%	Alto	90%	Alto
Tupanciretã, RS	11/out	88%	Alto	83%	Alto	78%	Alto
Unaí, MG	21/out	93%	Alto	93%	Alto	93%	Alto

Fonte: Elaborado pela autora

Tabela 17 - Risco climático para a cultura da soja em diferentes localidades brasileiras, considerando-se a segunda época de semeadura em cada uma delas, três diferentes capacidades de água disponível (CAD) e o cenário futuro de longo prazo.

Localidade	2ª Semeadura	CAD (mm)					
		30		48		66	
		% Anos ISNA < 65%	Risco	% Anos ISNA < 65%	Risco	% Anos ISNA < 65%	Risco
Alto Alegre, RR	21/mai	70%	Alto	65%	Alto	58%	Alto
Baixa Grande do Ribeiro, PI	01/dez	95%	Alto	93%	Alto	93%	Alto
Balsas, MA	21/nov	90%	Alto	85%	Alto	73%	Alto
Campos Lindos, TO	21/nov	68%	Alto	63%	Alto	63%	Alto
Campos Novos, SC	21/out	85%	Alto	83%	Alto	75%	Alto
Formosa do Rio Preto, BA	21/nov	100%	Alto	98%	Alto	95%	Alto
Itapeva, SP	01/nov	95%	Alto	95%	Alto	95%	Alto
Macapá, AP	01/mai	100%	Alto	100%	Alto	98%	Alto
Maracaju, MS	01/nov	95%	Alto	93%	Alto	93%	Alto
Paragominas, PA	01/jan	53%	Alto	40%	Alto	40%	Alto
Rio Verde, GO	11/nov	70%	Alto	60%	Alto	55%	Alto
Sorriso, MT	11/nov	63%	Alto	58%	Alto	50%	Alto
Tibagi, PR	11/out	95%	Alto	95%	Alto	95%	Alto
Tupanciretã, RS	11/nov	98%	Alto	95%	Alto	90%	Alto
Unaí, MG	21/nov	95%	Alto	88%	Alto	83%	Alto

Fonte: Elaborado pela autora

Tabela 18 - Risco climático para a cultura da soja em diferentes localidades brasileiras, considerando-se a terceira época de semeadura em cada uma delas, três diferentes capacidades de água disponível (CAD) e o cenário futuro de longo prazo.

Localidade	3ª Semeadura	CAD (mm)					
		30		48		66	
		% Anos ISNA < 65%	Risco	% Anos ISNA < 65%	Risco	% Anos ISNA < 65%	Risco
Alto Alegre, RR	21/jun	98%	Alto	98%	Alto	93%	Alto
Baixa Grande do Ribeiro, PI	01/jan	95%	Alto	93%	Alto	90%	Alto
Balsas, MA	21/dez	88%	Alto	85%	Alto	83%	Alto
Campos Lindos, TO	21/dez	83%	Alto	78%	Alto	75%	Alto
Campos Novos, SC	21/nov	95%	Alto	88%	Alto	85%	Alto
Formosa do Rio Preto, BA	21/dez	100%	Alto	95%	Alto	95%	Alto
Itapeva, SP	01/dez	95%	Alto	95%	Alto	95%	Alto
Macapá, AP	01/jun	98%	Alto	98%	Alto	98%	Alto
Maracaju, MS	01/dez	95%	Alto	95%	Alto	95%	Alto
Paragominas, PA	01/fev	55%	Alto	40%	Alto	30%	Médio
Rio Verde, GO	11/dez	68%	Alto	60%	Alto	55%	Alto
Sorriso, MT	11/dez	60%	Alto	58%	Alto	53%	Alto
Tibagi, PR	11/nov	93%	Alto	93%	Alto	93%	Alto
Tupanciretã, RS	11/dez	98%	Alto	95%	Alto	90%	Alto
Unaí, MG	21/dez	98%	Alto	93%	Alto	93%	Alto

Fonte: Elaborado pela autora

4.4. Implicações das mudanças climáticas no valor do seguro agrícola

4.4.1. Balsas, MA – Estudo de Caso para a Região Nordeste

A região de Balsas, MA, possui característica favorável para cultivo da soja no cenário atual, com o risco estipulado como baixo, sendo que apenas para a 1ª semeadura e CAD de 30 mm o risco é considerado médio. Para ambos os cenários futuros, curto e longo prazo, a região apresentou uma variação do prêmio, para a maioria dos períodos de semeadura e CADs, em torno de 95%, em razão da piora de seu nível de risco, ou seja, sendo classificada como de alto risco (40%). Apenas para a 1ª época de semeadura e CAD 30mm houve uma menor variação, da ordem de 32%, nível abaixo dos outros cenários observados devido ao risco atual ser superior aos demais, o que resultou numa menor elevação do seguro (Tabelas 19 e 20).

Tabela 19 - Variação do prêmio do seguro agrícola para a cultura da soja entre o cenário atual e cenário de curto prazo para o município de Balsas, MA, considerando as três épocas de semeadura e três diferentes capacidades de água disponível (CAD).

		CENÁRIO ATUAL (1980-2018) x CURTO PRAZO (2020-2059)							
		BALSAS, MA							
		Riqueza (R\$)	Risco Atual	Risco Futuro	Prêmio Atual (R\$)	% Prêmio/Riqueza (Atual)	Prêmio Curto Prazo (R\$)	% Prêmio/Riqueza Curto Prazo	Variação Prêmio
1ª Semeadura	CAD = 30 mm	860,94	30%	40%	112,50	13,07%	148,25	17,22%	32%
	CAD = 48 mm	860,94	20%	40%	75,87	8,81%	148,25	17,22%	95%
	CAD = 66 mm	860,94	20%	40%	75,87	8,81%	148,25	17,22%	95%
2ª Semeadura	CAD = 30 mm	860,94	20%	40%	75,87	8,81%	148,25	17,22%	95%
	CAD = 48 mm	860,94	20%	40%	75,87	8,81%	148,25	17,22%	95%
	CAD = 66 mm	860,94	20%	40%	75,87	8,81%	148,25	17,22%	95%
3ª Semeadura	CAD = 30 mm	860,94	20%	40%	75,87	8,81%	148,25	17,22%	95%
	CAD = 48 mm	860,94	20%	40%	75,87	8,81%	148,25	17,22%	95%
	CAD = 66 mm	860,94	20%	40%	75,87	8,81%	148,25	17,22%	95%

Fonte: Elaborado pela autora

Tabela 20 - Variação do prêmio do seguro agrícola para a cultura da soja entre o cenário atual e cenário de longo prazo para o município de Balsas, MA, considerando as três épocas de semeadura e três diferentes capacidades de água disponível (CAD).

		CENÁRIO ATUAL (1980-2018) x LONGO PRAZO (2060-2099)							
		BALSAS, MA							
		Riqueza (R\$)	Risco Atual	Risco Futuro	Prêmio Atual (R\$)	% Prêmio/Riqueza (Atual)	Prêmio Curto Prazo (R\$)	% Prêmio/Riqueza Curto Prazo	Variação Prêmio
1ª Semeadura	CAD = 30 mm	860,94	30%	40%	112,50	13,07%	148,25	17,22%	32%
	CAD = 48 mm	860,94	20%	40%	75,87	8,81%	148,25	17,22%	95%
	CAD = 66 mm	860,94	20%	40%	75,87	8,81%	148,25	17,22%	95%
2ª Semeadura	CAD = 30 mm	860,94	20%	40%	75,87	8,81%	148,25	17,22%	95%
	CAD = 48 mm	860,94	20%	40%	75,87	8,81%	148,25	17,22%	95%
	CAD = 66 mm	860,94	20%	40%	75,87	8,81%	148,25	17,22%	95%
3ª Semeadura	CAD = 30 mm	860,94	20%	40%	75,87	8,81%	148,25	17,22%	95%
	CAD = 48 mm	860,94	20%	40%	75,87	8,81%	148,25	17,22%	95%
	CAD = 66 mm	860,94	20%	40%	75,87	8,81%	148,25	17,22%	95%

Fonte: Elaborado pela autora

4.4.2. Campos Lindos, TO – Estudo de Caso para a Região Norte

Para a região de Campos Lindos, TO, a grande mudança ocorrida se deveu, principalmente, aos maiores valores de risco estipulados para os cenários futuros, tanto de curto como de longo prazo. O risco para Campos Lindos, TO, elevou-se para alto risco, aumentando em 20% o limiar para a estimativa do prêmio, que para ambos os cenários foi duas vezes maior que o prêmio disposto a ser pago pelo produto atualmente, como mostram as Tabelas 21 e 22.

Tabela 21 - Variação do prêmio do seguro agrícola para a cultura da soja entre o cenário atual e cenário de curto prazo para o município de Campos Lindos, TO, considerando as três épocas de semeadura e três diferentes capacidades de água disponível (CAD).

CENÁRIO ATUAL (1980-2018) x CURTO PRAZO (2020-2059)									
CAMPOS LINDOS, TO									
		Riqueza (R\$)	Risco Atual	Risco Futuro	Prêmio Atual (R\$)	%Prêmio/Riqueza (Atual)	Prêmio Curto Prazo (R\$)	%Prêmio/Riqueza Curto Prazo	Variação Prêmio
1ª Semeadura	CAD = 30 mm	638,62	20%	40%	56,28	8,81%	109,97	17,22%	95%
	CAD = 48 mm	638,62	20%	40%	56,28	8,81%	109,97	17,22%	95%
	CAD = 66 mm	638,62	20%	40%	56,28	8,81%	109,97	17,22%	95%
2ª Semeadura	CAD = 30 mm	638,62	20%	40%	56,28	8,81%	109,97	17,22%	95%
	CAD = 48 mm	638,62	20%	40%	56,28	8,81%	109,97	17,22%	95%
	CAD = 66 mm	638,62	20%	40%	56,28	8,81%	109,97	17,22%	95%
3ª Semeadura	CAD = 30 mm	638,62	20%	40%	56,28	8,81%	109,97	17,22%	95%
	CAD = 48 mm	638,62	20%	40%	56,28	8,81%	109,97	17,22%	95%
	CAD = 66 mm	638,62	20%	40%	56,28	8,81%	109,97	17,22%	95%

Fonte: Elaborado pela autora

Tabela 22 - Variação do prêmio do seguro agrícola para a cultura da soja entre o cenário atual e cenário de longo prazo para o município de Campos Lindos, TO, considerando as três épocas de semeadura e três diferentes capacidades de água disponível (CAD).

		CENÁRIO ATUAL (1980-2018) x LONGO PRAZO (2060-2099)							
		CAMPOS LINDOS, TO							
		Riqueza (R\$)	Risco Atual	Risco Futuro	Prêmio Atual (R\$)	% Prêmio/Riqueza (Atual)	Prêmio Curto Prazo (R\$)	% Prêmio/Riqueza Curto Prazo	Variação Prêmio
1ª Semeadura	CAD = 30 mm	638,62	20%	40%	56,28	8,81%	109,97	17,22%	95%
	CAD = 48 mm	638,62	20%	40%	56,28	8,81%	109,97	17,22%	95%
	CAD = 66 mm	638,62	20%	40%	56,28	8,81%	109,97	17,22%	95%
2ª Semeadura	CAD = 30 mm	638,62	20%	40%	56,28	8,81%	109,97	17,22%	95%
	CAD = 48 mm	638,62	20%	40%	56,28	8,81%	109,97	17,22%	95%
	CAD = 66 mm	638,62	20%	40%	56,28	8,81%	109,97	17,22%	95%
3ª Semeadura	CAD = 30 mm	638,62	20%	40%	56,28	8,81%	109,97	17,22%	95%
	CAD = 48 mm	638,62	20%	40%	56,28	8,81%	109,97	17,22%	95%
	CAD = 66 mm	638,62	20%	40%	56,28	8,81%	109,97	17,22%	95%

Fonte: Elaborado pela autora

4.4.3. Sorriso, MT – Estudo de Caso para a Região Centro-Oeste

Para Sorriso, MT, as condições são melhores em relação aos outros locais analisados. Para as semeaduras mais tardias e CADs mais elevadas (48mm e 60mm), no cenário de curto prazo (Tabela 23), a região ainda se manteve com nível de risco em 30%, ou seja, risco médio. Portanto, o prêmio que produtor estaria disposto a pagar para evitar qualquer perda teve um aumento inferior comparado as variações da 1ª semeadura. Neste caso, o novo prêmio foi equivalente a 17% da riqueza definida para o produtor, comprometendo o dobro do que foi observado no período atual.

Já no cenário de longo prazo (Tabela 24), Sorriso, MT, apresentou um resultado semelhante ao observado para Campos Lindos, TO, em que para todos os cenários, épocas de semeadura e diferentes CADs, foi verificado um prêmio para o seguro duas vezes mais caro do que o valor estimado inicialmente.

Tabela 23 - Variação do prêmio do seguro agrícola para a cultura da soja entre o cenário atual e cenário de curto prazo para o município de Sorriso, MT, considerando as três épocas de semeadura e três diferentes capacidades de água disponível (CAD).

		CENÁRIO ATUAL (1980-2018) x CURTO PRAZO (2020-2059)							
		SORRISO, MT							
		Riqueza (R\$)	Risco Atual	Risco Futuro	Prêmio Atual (R\$)	% Prêmio/Riqueza (Atual)	Prêmio Curto Prazo (R\$)	% Prêmio/Riqueza Curto Prazo	Variação Prêmio
1ª Semeadura	CAD = 30 mm	1.252,99	20%	40%	110,42	8,81%	215,76	17,22%	95%
	CAD = 48 mm	1.252,99	20%	40%	110,42	8,81%	215,76	17,22%	95%
	CAD = 66 mm	1.252,99	20%	40%	110,42	8,81%	215,76	17,22%	95%
2ª Semeadura	CAD = 30 mm	1.252,99	20%	40%	110,42	8,81%	215,76	17,22%	95%
	CAD = 48 mm	1.252,99	20%	30%	110,42	8,81%	163,73	13,07%	48%
	CAD = 66 mm	1.252,99	20%	30%	110,42	8,81%	163,73	13,07%	48%
3ª Semeadura	CAD = 30 mm	1.252,99	20%	40%	110,42	8,81%	215,76	17,22%	95%
	CAD = 48 mm	1.252,99	20%	30%	110,42	8,81%	163,73	13,07%	48%
	CAD = 66 mm	1.252,99	20%	30%	110,42	8,81%	163,73	13,07%	48%

Fonte: Elaborado pela autora

Tabela 24 - Variação do prêmio do seguro agrícola para a cultura da soja entre o cenário atual e cenário de longo prazo para o município de Sorriso, MT, considerando as três épocas de semeadura e três diferentes capacidades de água disponível (CAD).

		CENÁRIO ATUAL (1980-2018) x LONGO PRAZO (2060-2099)							
		SORRISO, MT							
		Riqueza (R\$)	Risco Atual	Risco Futuro	Prêmio Atual (R\$)	% Prêmio/Riqueza (Atual)	Prêmio Curto Prazo (R\$)	% Prêmio/Riqueza Curto Prazo	Variação Prêmio
1ª Semeadura	CAD = 30 mm	1.252,99	20%	40%	110,42	8,81%	215,76	17,22%	95%
	CAD = 48 mm	1.252,99	20%	40%	110,42	8,81%	215,76	17,22%	95%
	CAD = 66 mm	1.252,99	20%	40%	110,42	8,81%	215,76	17,22%	95%
2ª Semeadura	CAD = 30 mm	1.252,99	20%	40%	110,42	8,81%	215,76	17,22%	95%
	CAD = 48 mm	1.252,99	20%	40%	110,42	8,81%	215,76	17,22%	95%
	CAD = 66 mm	1.252,99	20%	40%	110,42	8,81%	215,76	17,22%	95%
3ª Semeadura	CAD = 30 mm	1.252,99	20%	40%	110,42	8,81%	215,76	17,22%	95%
	CAD = 48 mm	1.252,99	20%	40%	110,42	8,81%	215,76	17,22%	95%
	CAD = 66 mm	1.252,99	20%	40%	110,42	8,81%	215,76	17,22%	95%

Fonte: Elaborado pela autora

4.4.4. Tupanciretã, RS – Estudo de Caso para a Região Sul

A região de Tupanciretã, RS, já apresentava um risco climático alto para a cultura da soja em todas as épocas de semeadura e CADs consideradas. Com isso, para os cenários futuros este risco se manteve no patamar elevado, fazendo com que o preço do prêmio não apresentasse variação (Tabelas 25 e 26), já que por apresentar alto risco de perdas, o seguro já possui um percentual de comprometimento da renda elevado, o que se manteve na análise dos cenários futuros.

Note que para esta região não foi possível o levantamento dos dados e para a viabilidade desta análise foram utilizados dados de Cruz Alta, por ser uma região próxima a Tupanciretã e que apresentar condições edafoclimáticas muito semelhantes.

Tabela 25 - Variação do prêmio do seguro agrícola para a cultura da soja entre o cenário atual e cenário de curto prazo para o município de Tupanciretã, RS, considerando as três épocas de semeadura e três diferentes capacidades de água disponível (CAD).

		CENÁRIO ATUAL (1980-2018) x CURTO PRAZO (2020-2059)							
		TUPANCIRETÃ*, RS							
		Riqueza (R\$)	Risco Atual	Risco Futuro	Prêmio Atual (R\$)	%Prêmio/Riqueza (Atual)	Prêmio Curto Prazo (R\$)	%Prêmio/Riqueza Curto Prazo	Variação Prêmio
1ª Semeadura	CAD = 30 mm	288,40	40%	40%	49,66	17,22%	49,66	17,22%	0%
	CAD = 48 mm	288,40	40%	40%	49,66	17,22%	49,66	17,22%	0%
	CAD = 66 mm	288,40	40%	40%	49,66	17,22%	49,66	17,22%	0%
2ª Semeadura	CAD = 30 mm	288,40	40%	40%	49,66	17,22%	49,66	17,22%	0%
	CAD = 48 mm	288,40	40%	40%	49,66	17,22%	49,66	17,22%	0%
	CAD = 66 mm	288,40	40%	40%	49,66	17,22%	49,66	17,22%	0%
3ª Semeadura	CAD = 30 mm	288,40	40%	40%	49,66	17,22%	49,66	17,22%	0%
	CAD = 48 mm	288,40	40%	40%	49,66	17,22%	49,66	17,22%	0%
	CAD = 66 mm	288,40	40%	40%	49,66	17,22%	49,66	17,22%	0%

Fonte: Elaborado pela autora

Tabela 26 - Variação do prêmio do seguro agrícola para a cultura da soja entre o cenário atual e cenário de longo prazo para o município de Tupanciretã, RS, considerando as três épocas de semeadura e três diferentes capacidades de água disponível (CAD).

		CENÁRIO ATUAL (1980-2018) x LONGO PRAZO (2060-2099)							
		TUPANCIRETÃ*, RS							
		Riqueza (R\$)	Risco Atual	Risco Futuro	Prêmio Atual (R\$)	% Prêmio/Riqueza (Atual)	Prêmio Curto Prazo (R\$)	% Prêmio/Riqueza Curto Prazo	Variação Prêmio
1ª Semeadura	CAD = 30 mm	288,40	40%	40%	49,66	17,22%	49,66	17,22%	0%
	CAD = 48 mm	288,40	40%	40%	49,66	17,22%	49,66	17,22%	0%
	CAD = 66 mm	288,40	40%	40%	49,66	17,22%	49,66	17,22%	0%
2ª Semeadura	CAD = 30 mm	288,40	40%	40%	49,66	17,22%	49,66	17,22%	0%
	CAD = 48 mm	288,40	40%	40%	49,66	17,22%	49,66	17,22%	0%
	CAD = 66 mm	288,40	40%	40%	49,66	17,22%	49,66	17,22%	0%
3ª Semeadura	CAD = 30 mm	288,40	40%	40%	49,66	17,22%	49,66	17,22%	0%
	CAD = 48 mm	288,40	40%	40%	49,66	17,22%	49,66	17,22%	0%
	CAD = 66 mm	288,40	40%	40%	49,66	17,22%	49,66	17,22%	0%

Fonte: Elaborado pela autora *Os dados utilizados referentes a região de Cruz Alta, RS

4.4.5. Unaí, MG – Estudo de Caso para a Região Sudeste

Para a região de Unaí, MG, a análise revelou que produtores que optam pelo plantio mais precoce, irão sofrer os maiores impactos em termos de variação de preço do seguro com as mudanças climáticas. O prêmio atual calculado para a 1ª semeadura é da ordem de R\$ 50,81, enquanto que para ambos os cenários futuros (Tabelas 27 e 28), esse valor subiu para R\$ 99,27, representando a 95% de aumento. As demais épocas de semeaduras apresentaram variações inferiores por já possuírem um risco atual elevado.

Tabela 27 - Variação do prêmio do seguro agrícola para a cultura da soja entre o cenário atual e cenário de curto prazo para o município de Unaí, MG, considerando as três épocas de semeadura e três diferentes capacidades de água disponível (CAD).

		CENÁRIO ATUAL (1980-2018) x CURTO PRAZO (2020-2059)							
		UNAÍ, MG							
		Riqueza (R\$)	Risco Atual	Risco Futuro	Prêmio Atual (R\$)	%Prêmio/Riqueza (Atual)	Prêmio Curto Prazo (R\$)	%Prêmio/Riqueza Curto Prazo	Variação Prêmio
1ª Semeadura	CAD = 30 mm	576,51	20%	40%	50,81	8,81%	99,27	17,22%	95%
	CAD = 48 mm	576,51	20%	40%	50,81	8,81%	99,27	17,22%	95%
	CAD = 66 mm	576,51	20%	40%	50,81	8,81%	99,27	17,22%	95%
2ª Semeadura	CAD = 30 mm	576,51	40%	40%	99,27	17,22%	99,27	17,22%	0%
	CAD = 48 mm	576,51	30%	40%	75,33	13,07%	99,27	17,22%	32%
	CAD = 66 mm	576,51	30%	40%	75,33	13,07%	99,27	17,22%	32%
3ª Semeadura	CAD = 30 mm	576,51	40%	40%	99,27	17,22%	99,27	17,22%	0%
	CAD = 48 mm	576,51	40%	40%	99,27	17,22%	99,27	17,22%	0%
	CAD = 66 mm	576,51	30%	40%	75,33	13,07%	99,27	17,22%	32%

Fonte: Elaborado pela autora

Tabela 28 - Variação do prêmio do seguro agrícola para a cultura da soja entre o cenário atual e cenário de longo prazo para o município de Unaí, MG, considerando as três épocas de semeadura e três diferentes capacidades de água disponível (CAD).

CENÁRIO ATUAL (1980-2018) x LONGO PRAZO (2060-2099)									
UNAÍ, MG									
		Riqueza (R\$)	Risco Atual	Risco Futuro	Prêmio Atual (R\$)	% Prêmio/Riqueza (Atual)	Prêmio Curto Prazo (R\$)	% Prêmio/Riqueza Curto Prazo	Variação Prêmio
1ª Semeadura	CAD = 30 mm	576,51	20%	40%	50,81	8,81%	99,27	17,22%	95%
	CAD = 48 mm	576,51	20%	40%	50,81	8,81%	99,27	17,22%	95%
	CAD = 66 mm	576,51	20%	40%	50,81	8,81%	99,27	17,22%	95%
2ª Semeadura	CAD = 30 mm	576,51	40%	40%	99,27	17,22%	99,27	17,22%	0%
	CAD = 48 mm	576,51	30%	40%	75,33	13,07%	99,27	17,22%	32%
	CAD = 66 mm	576,51	30%	40%	75,33	13,07%	99,27	17,22%	32%
3ª Semeadura	CAD = 30 mm	576,51	40%	40%	99,27	17,22%	99,27	17,22%	0%
	CAD = 48 mm	576,51	40%	40%	99,27	17,22%	99,27	17,22%	0%
	CAD = 66 mm	576,51	30%	40%	75,33	13,07%	99,27	17,22%	32%

Fonte: Elaborado pela autora

5 - CONCLUSÃO

Este estudo permitiu concluir que para o cenário atual, o risco climático da soja varia entre regiões, épocas de semeadura e tipos de solo considerados. As regiões de maiores riscos são as de Formosa do Rio Preto, BA, e Tupanciretã, RS, onde mesmo sob esses níveis de insucesso da cultura da soja, esta vem sendo cultivada. Além disso, observou-se que as mudanças climáticas irão impactar substancialmente o risco climático para a cultura da soja em todas as regiões analisadas para os dois cenários simulado pelo modelo climático Eta-HadGEM2-ES, principalmente devido aos maiores níveis de deficiência hídrica, decorrentes do aumento das temperaturas máximas e mínimas e das reduções das chuvas. Isso reforça a necessidade de atualização frequente do ZARC, como já vem sendo feito atualmente, por meio das portarias divulgadas anualmente pelo MAPA, bem como de incentivos às pesquisas para o desenvolvimento de tecnologias que busquem estratégias que permitam a adaptação da cultura da soja aos cenários climáticos projetados, de modo a manter/elevar os níveis de produtividade. Finalmente, concluiu-se com este estudo que os impactos das mudanças climáticas na produtividade da cultura da soja acarretarão aumento no nível dos prêmios pagos pelos produtores para contratar o seguro agrícola. Na maioria dos casos, verificou-se um aumento na ordem de 100% dos valores dos prêmios nos cenários futuros em relação aos praticados atualmente. Em decorrência disso, fica evidente que a implementação de políticas públicas e programas de subsídios por parte do Estado, como o já vem sendo feito pelo Programa de Subvenção ao Prêmio do Seguro Rural, se faz cada vez mais necessário para permitir que os produtores se mantenha cultivando a cultura da soja no caso as mudanças climáticas de curto e longo prazos venham a se confirmar.

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, D.B.; ADAMS, W.W.N. *Photoprotection and other responses of plants to high light stress. Annual Reviews Plant Physiology. Plant Molecular Biology*, v.43, p.599-626, 1992.

AMBRIZZI, T.; ROCHA, R. P. da; MARENGO, J. A.; PISNITCHENCO, I.; NUNES, L. A.; FERNANDEZ, J. P. R. Cenários regionalizados de clima no Brasil e América do Sul para o Século XXI: Projeções de clima futuro usando três modelos regionais. Relatório 3. Ministério do Meio Ambiente - MMA; Secretária de Biodiversidade e Florestas - SBF, Diretoria de Conservação e Biodiversidade - DCBio Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade - Subprojeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI. Brasília, 2007, p. 73.

ASSAD, E. D.; SANO, E. E.; BEZERRA, H. S. Uso de modelos numéricos de terreno na espacialização de épocas de plantio. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. *Sistemas de Informações Geográficas. Aplicações na agricultura*. Brasília: EMBRAPASPI/Embrapa Cerrados, p.311-327, 1998.

ASSAD, E.D.; MARIN, F.R.; PINTO, H.S.; ZULLO JUNIOR, J. Zoneamento agrícola de riscos climáticos do Brasil: base teórica, pesquisa e desenvolvimento. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.29, n.246, p.47-60, set./out. 2008

BONATO, E.R. Estresses em soja. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000, 254p.

BOOTE, K.J.; JONES, J.W.; BATCHELOR, W.D.; NAFZIGER, E.D.; MYERS, O. *Genetic coefficients in the CROPGRO-Soybean model: link to field performance and genomics. Agronomy Journal*, v. 95, p. 32-51, 2003.

BOOTE, K.J.; JONES, J.W.; HOOGENBOOM, G.; PICKERING, N.B. *Simulation of crop growth: CROPGRO model*. In: PEART, R.M.; CURRY, R.B. *Agricultural systems modeling and simulation*. New York: Marcel Dekker, 1998. chap. 18, p. 651-692.

BRASIL. Leis, decretos, etc. Lei nº 10.823 de 19 de dezembro de 2003. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/2003/L10.823.htm>. Acesso em: 19 dez. 2019.

BRISOLARA, C. S., Proposições para o desenvolvimento do seguro de receita agrícola no Brasil: do modelo teórico ao cálculo das taxas de prêmio. Ph.D. thesis, Universidade de São Paulo, 2013.

BRUNINI, O.; LISBÃO, R.S.; BERNARDI, J.B.; FORNASIER, J.B.; PEDRO JÚNIOR, M.J. Temperatura-base para alface cultivar "White Boston", em um sistema de unidades térmicas. *Bragantia*, Campinas, v.35, n.19, p. 213-219, 1976.

BUAINAIN, A. M.; GARCIA, J. R. Evolução recente do agronegócio no Cerrado Nordestino. *Estudos Sociedade e Agricultura*, v. 23, p. 166-195, 2015.

CÂMARA, G. .M. S. Nitrogênio e produtividade da soja. In: Câmara GMS (Eds.) Soja: Tecnologia da Produção II. Piracicaba, ESALQ/USP. p. 295-339, 2000.

CASAROLI, D.; FAGAN, E.B.; SIMON, J.; MEDEIROS, S.P.; MANFRON, P.A.; DOURADO NETO, D.; van LIER, W.D.J.; MULLER, L.; MARTIN, T.N. Radiação solar e aspectos fisiológicos na cultura de soja: uma revisão. *Revista da FZVA*, v. 14, p. 102-120, 2007.

CEPEA – Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. Consulta ao banco de dados do site, São Paulo: CEPEA, 2019. Disponível em: <<https://www.cepea.esalq.usp.br/br/consultas-ao-banco-de-dados-do-site.aspx>>. Acesso em: 28 fev. 2020.

CHOU, S. C.; LYRA, A.; MOURÃO, C.; DEREZYNSKI, C.; PILOTTO, I.; GOMES, J.; BUSTAMANTE, J.; TAVARES, P.; SILVA, A.; RODRIGUES, D.; CAMPOS, D.; CHAGAS, D.; SUEIRO, G.; SIQUEIRA, G.; MARENGO, J. *Assessment of Climate Change over South America under RCP 4.5 and 8.5 Downscaling Scenarios. American Journal of Climate Change*, Modesto, v. 3, p. 512–527, 2014.

COMUNELLO, E. Aprimoramento do zoneamento agrícola de risco climático do sistema de produção da soja em Mato Grosso do Sul. Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), Universidade de São Paulo, 2015.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Perspectivas para a agropecuária, v.6, p. 1-112, Brasília: CONAB, 2018. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/perspectivas-para-a-agropecuaria/item/download/22780_ee707c6e6d44f06fe7b6a86ce6141652>. Acesso em: 24 set. 2019.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Informações Agropecuárias, Custos de Produção, Brasília: CONAB, 2018. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/custos-de-producao>>. Acesso em: 28 fev. 2020.

COSTA NETO, P. R. & ROSSI, L. F. S. Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo de soja usado em fritura. Química Nova, v.23, p. 4, 2000.

CUNHA, G. R. & ASSAD, E. D. Uma visão geral do número especial da RBA sobre zoneamento agrícola no Brasil. Rev. Bras. Agrometeorologia, 9:377-385, 2001.

DEL PONTE E. M.; ESKER, P. D. *Meteorological factors and Asian Soybean Rust epidemics – a systems approach and implications for risk assessment*, Scientia Agricola, Piracicaba, v. 65, p. 88-97, 2008.

EQUIPE DA REDAÇÃO, *Agroanalysis - Seguro Agrícola. AgroANALYSIS*, São Paulo, v. 27, n. 1, p. E1-E16, jan. 2007. ISSN 0100-4298. Disponível em: <<http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/agroanalysis/article/view/35781/34580>>. Acesso em: 05 fev. 2020.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Agritempo – Estudo IPCC (1997). Disponível em: <<https://www.agritempo.gov.br/agritempo/mudancasClimaticas.jsp>>. Acesso em: 31 jan. 2020.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Tecnologias de produção de soja: região central do Brasil 2012 e 2013. Londrina: Empraba Soja, 2011. 261p. (Sistemas de Produção, 15).

FAO – *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. FAOSTAT. Acessado em: 27 jan. 2020. Disponível em: <http://www.fao.org/faosta>.

FARIAS, J.R.B.; NEPOMUCENO, A.L.; NEUMAIER, N. Ecofisiologia da soja. Londrina: Embrapa Soja, 2007. 9p. (Embrapa Soja. Circular técnica, 48).

FARIAS, J.R.B.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A.L. Soja. In: MONTEIRO, J.E.B.A. Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola. Brasília: INMET, 2009, p. 261-278.

FEHR, W.R.; CAVINESS, C.E. *Stages of soybean development*. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1977. 11 p. (*Special Report 80*).

FIETZ, C.R.; RANGEL, M.A.S. Época de semeadura da soja para a região de Dourados – MS, com base na deficiência hídrica e no fotoperíodo. Engenharia Agrícola, v. 28, p. 666-672, 2008.

GILBERT, M.E.; HOLBROOK, N.M.; ZWIENIECKI, M.A.; SADOK, W.; SINCLAIR, T.R. *Field confirmation of genetic variation in soybean transpiration response to vapor pressure deficit and photosynthetic compensation*. *Field Crop Research*, v. 124, p. 85-92, 2011.

GÖEPFERT, H.; ROSSETTI, L.A.; SOUZA, J. Eventos generalizados e seguridade agrícola. Brasília: IPEA, 1993. 65p.

GOODWIN, B. K. *An Empirical analysis of the demand for multiple peril crop insurance*. *American Journal of Agricultural Economics*, v.75, p.425-434, May 1993.

GRAY, S.B.; BRADY, A.M. *Plant developmental responses to climate change*. *Developmental Biology*, v. 419, p. 64-77, 2016.

GUIMARAES, Marcelo Fernandes; NOGUEIRA, Jorge Madeira. A experiência norte-americana com o seguro agrícola: lições ao Brasil?. *Rev. Econ. Sociol. Rural*, Brasília, v. 47, n. 1, p. 27-58, Mar. 2009. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-20032009000100002&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 27 dez. 2019.

HARTMAN, G. L.; SINCLAIR, J. B.; RUPE, J. C. *Compendium of Soybean Disease*. 4 ed. Illinois: APS Press, 1999.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção Agrícola Municipal. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1612>>. Acesso em: 25 set. 2019.

IPCC, 2013. (Intergovernmental Panel on Climate Change). Summary for Policymakers. In: Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P.M. (Eds)., *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, U.K. and New York, NY, USA, 27p.

JALOTA, S. K.; RAY, S. S.; PANIGRAHY, S. *Effects of elevated CO₂ and temperature on productivity of three main cropping systems in Punjab state of India - a simulation analysis*. In: *Workshop Proceedings: Impact of Climate Change on Agriculture*, ISPRS Archives XXXVIII-8/W3, ii, 2009, Ahmedabad. Anais..., Ahmedabad 2009.

JIANG, A.C.D.; GAOB, H.Y.; ZOUB, Q.; JIANGA, G.M.; LIA, L. H. *Leaf orientation, photorespiration and xanthophyll cycle protect young soybean leaves against high irradiance in field*. *Environmental and Experimental Botany*, p.1-10, 2004.

KAO, W-Y.; FORSETH, I.N. *Responses of gas Exchange and phototropic leaf orientation in soybean to soil water availability, leaf water potential, air temperature, and photosynthetic photon flux*. *Environmental and Experimental Botany*, v. 32, p. 153-161, 1992.

LEAKEY, Andrew DB et al. *Elevated CO₂ effects on plant carbon, nitrogen, and water relations: six important lessons from FACE*. *Journal of experimental botany*, v. 60, n. 10, p. 2859-2876, 2009.

MAPA, 2019 – Zoneamento Agrícola de Risco (ZARC). Acessado em: 24 set. 2019. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/riscos-seguro/risco-agropecuario/zoneamento-agricola>>. Disponível em: <<http://indicadores.agricultura.gov.br/zarc/index.htm>>. Acesso em: 24 set. 2019.

MAPA, 2019 – Programa de Subvenção ao Prêmio do Seguro Rural - PSR. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/riscos-seguro/risco-agropecuario/zoneamento-agricola>>. Acesso em: 16 jan. 2020.

MARANHÃO, R. L. A.; VIEIRA FILHO, J. E. R. A dinâmica do crescimento das exportações do agronegócio brasileiro. Brasília: Ipea, 2016. (Texto para Discussão, n. 2249).

MARENGO, J. A. Mudanças Climáticas: Detecção e Cenários Futuros para o Brasil até o Final do Século XXI. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. J. DA; SILVA DIAS, M. A. F. DA (Ed.). *Tempo e Clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. Parte III – Variabilidade Climática, p. 407–424.

MARTINEZ, C.A.; OLIVEIRA, E.A.D.; MELLO, T.R.P.; ALZATE-MARIN, A.L. *Respostas das plantas ao incremento atmosférico de dióxido de carbono e da temperatura*. *Revista Brasileira de Geografia Física*. v. 08, p. 635-650, 2015.

MEIRELLES, M.S.P. et al. *Geomática: modelos e aplicações ambientais*. Brasília: Embrapa, 2007. 593p.

MONTEIRO, J.E.B.A. (Ed.) . (Org.). *Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola*. Brasília: INMET, 2009. 530p.

MONTEITH, J.L. *Light distribution and photosynthesis in field crops*. *Annals of Botany*, v.29, p.17- 37, 1965.

MUNDSTOCK, C.M.; THOMAS, A.L. Soja: Fatores que afetam o crescimento e o rendimento de grãos. EVANGRAF: Porto Alegre, 2005, 31 p.

OZAKI, V. A. Métodos Atuariais aplicados à determinação da taxa de prêmio de seguro agrícola: um estudo de caso. 2005. 347 p. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

OZAKI, V. A. Uma digressão sobre o programa de subvenção ao prêmio do seguro rural e as implicações para o futuro do mercado do seguro rural. Revista de Economia e Sociologia Rural, Brasília, DF, v. 48, n. 4, p. 757-776, 2010

OZAKI, V. A.; CAMPOS, R. C. Reduzindo a Incerteza no Mercado de Seguros: Uma Abordagem via Informações de Sensoriamento Remoto e Atuária. Rev. Bras. Econ., Rio de Janeiro , v. 71, n. 4, p. 489-514, Dec. 2017 . Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-71402017000400489&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 05 mar. 2020.

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

PINDYCK, R. & RUBINFELD, D. *Microeconomics, Pearson, Eight Edition*, 2013, p.159-197.

PBMC.PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 ao Primeiro relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Sumário Executivo GT1. PBMC, Rio de Janeiro, 24p., 2013.

REBOITA, M. S.; da ROCHA, R. P.; DIAS, C. G.; YNOUE, R. Y. *Climate projections for South America: RegCM3 driven by HadCM3 and ECHAM5. Advances in Meteorology*, Boulder, v. 2014, p. 1–17, 2014.

ROCHA, V.M.; CORREIRA, F.W.S; GOMES, W.B. *Avaliação dos impactos da mudança do clima na precipitação da Amazônia utilizando o modelo RCP 8.5 Eta-*

HadGEM2-ES. Revista Brasileira de Geografia Física, Recife, v.12, p. 2051-2065, 2019.

RODRIGUES, O.; TEIXEIRA, M. C.; DIDONET, A. D.; LHAMBY, J. C. B.; SÓRIO, I. *Efeito do fotoperíodo e da temperatura do ar no desenvolvimento da área foliar em soja (Glycine max (L.) Merril)*. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2006. 27 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento Online, 33).

ROTHSCHILD, M.; STIGLITZ, J. *Equilibrium in competitive insurance markets: an essay on the economics of imperfect information. Quarterly Journal of Economics, v.90, n.4, p.629-649, Nov. 1976.*

SÁNCHEZ, E.; SOLMAN, S.; REMEDIO, A. R. C.; BERBERY, H.; SAMUELSSON, P.; DA ROCHA, R. P.; MOURÃO, C.; LI, L.; MARENGO, J.; DE CASTRO, M.; JACOB, D. *Regional climate modelling in CLARIS-LPB: a concerted approach towards twenty first century projections of regional temperature and precipitation over South America. Climate Dynamics, Berlin, v. 45, p. 2193-2212, 2015.*

SEDIYAMA, T. (Org.). *Tecnologias de produção e usos da soja*. Londrina, PR: Mecenas, v. 1. p. 314, 2009.

SENTELHAS, P. C.; BATTISTI, R.; CÂMARA, G.M.S.; FARIAS, J.R.B.; HAMPF, A.; NENDEL, C. *The Soybean Yield Gap in Brazil - Magnitude, Causes and Possible Solutions for a Sustainable Production. Journal of Agricultural Science, Cambridge, v. 153, p. 1394-1411, 2015*

SENTELHAS, P. C.; BATTISTI, R.; SAKO, H.; ZENI, R.; RODRIGUES, L. A. *Clima e produtividade da soja: variabilidade climática como fator controlador da produtividade*. In book: *Boletim de Pesquisa 2017/2018*, p. 27-41, 2018

SENTELHAS, P.C.; MONTEIRO, J.E.B.A. *Agrometeorologia dos Cultivos: Informações para uma agricultura sustentável*. In: MONTEIRO, J.E.B.A. *Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola*. Brasília: INMET, 2009, p. 3-12.

SHIBLES, R.M.; WEBER, C.R. *Leaf area, solar radiation interception, and dry matter production by various soybean planting patterns. Crop Science*, v.6, p.575-577, 1965.

SILVA, D. de F.; ANDRADE, C. de L. T. de; AMARAL, T. A.; CASTRO, L. A. de; ALVES, M. E. B.; RODRIGUES, C. C. F.; FONSECA, D. A. B.; TEIXEIRA, T. C.; PAIXAO, J. S. Calibração e avaliação do modelo CSM-CERES-MAIZE para simulação do manejo da fertilização mineral e com dejetos de suínos em milho, In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 29., 2012, Águas de Lindóia. Diversidade e inovação na era dos transgênicos: resumos expandidos. Campinas: Instituto Agrônômico; Sete Lagoas: ABMS, 2012, p. 3215-3221.

SOCIEDADE NACIONAL DE AGRICULTURA - Os passos para a ampliação do seguro rural. Disponível em: <<https://www.sna.agr.br/os-passos-para-a-ampliacao-do-seguro-rural>>. Acesso em: 02 mar. 2020.

STRECK, N.A. *Climate change and agroecosystems: the effect of elevated atmospheric CO₂ and temperature on crop growth, development, and yield. Ciência Rural*, v.35, n.3, p.730-740, 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v35n3/a41v35n3.pdf>>. Acesso em: 04 mar. 2020.

TAIZ, L. & ZIEGER, E. *Fisiologia vegetal*. Trad. SANTARÉM, E. R. et al., 3° ed., Porto Alegre: Artemed, 2004. 719p.

TORRES, R. R.; MARENGO, J. A. *Uncertainty assessments of climate change projections over South America. Theoretical and Applied Climatology, Wien*, v. 112, p. 253–272, 2013.

VARIAN, Hal R., *Microeconomia: Princípios Básicos*, ed. Campus, 2006, Tradução da 7ª Edição, Capítulo 12, p.229-246

WAHUA, T.A.T. and MILLER, D.A. (1978) *Effects of shading on the N₂-fixation, yield, and plant composition of field-grown soybeans. Agronomy Journal*, 70, p.387-392.