



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA

**IMPACTO DAS PROJEÇÕES DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO BALANÇO
HÍDRICO DO SOLO E DA SOJA (*Glycine max*) NO PAD/DF - DISTRITO FEDERAL**

LUÍZA GONÇALVES SANTOS

Brasília – DF

Julho 2011

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA

**IMPACTO DAS PROJEÇÕES DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO BALANÇO
HÍDRICO DO SOLO E DA SOJA (*Glycine max*) NO PAD/DF - DISTRITO FEDERAL**

LUÍZA GONÇALVES SANTOS

Monografia apresentada à Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária como requisito parcial obrigatório para a conclusão do curso de Engenharia Agrônômica da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília.

Orientadora: Selma Regina Maggiotto

Co-orientador: Balbino Antônio Evangelista

Brasília – DF

Julho 2011

Ficha Catalográfica

Santos, Luíza Gonçalves

Impacto das Projeções das Mudanças Climáticas no Balanço Hídrico do Solo e da Soja (*Glycine max*) no PAD/DF - Distrito Federal / Luíza Gonçalves Santos; orientação de Selma Regina Maggiotto – Brasília, 2011.

37 p.: il.

Monografia de Conclusão de Curso – Universidade de Brasília/Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2011.

1. Balanço Hídrico 2. Mudanças Climáticas. 3. Soja.

Cessão de direitos:

Nome da autora: Luíza Gonçalves Santos

Título da monografia: Impacto das Projeções das Mudanças Climáticas no Balanço Hídrico do Solo e da Soja (*Glycine max*) no PAD/DF - Distrito Federal

Ano: 2011

É concedida à Universidade de Brasília permissão para produzir cópias desta monografia de conclusão de curso e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. A autora reserva-se a outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia pode ser reproduzida sem a autorização por escrito da autora.

Luíza Gonçalves Santos

Termo de Aprovação

Nome do autor: Santos, Luíza Gonçalves

Título: Impacto das Projeções das Mudanças Climáticas no Balanço Hídrico do Solo e da Soja (*Glycine max*) no PAD/DF - Distrito Federal

Monografia de conclusão do Curso de Agronomia da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília.

Aprovado em ___ / ___ / ___

Banca Examinadora:

Prof^a. Dr^a. Selma Regina Maggiotto

Instituição: Universidade de Brasília

Dr. Balbino Antônio Evangelista

Instituição: EMBRAPA Cerrados

Prof^a. Dr^a. Vânia Lúcia Dias Vasconcellos

Instituição: Universidade de Brasília

Dedico este trabalho à minha mãe, Fátima, que me incentivou por toda a minha estrada, me ensinando a dar meu melhor sempre e a enfrentar os obstáculos do dia-a-dia; aos meus irmãos, Victória e Renné, que me atormentam sempre que podem e ao meu pai, Pai Veber Brasil, de Ogum Sòròkè, sempre cuidando de minha cabeça e me guiando pelo caminho espiritual;

À minha madrinha, *In Memmorian*.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus Orixás, em primeiro lugar, que me concederam a dádiva de vir a este mundo para realizar meu trabalho;

À Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, e aos seus funcionários, pelo apoio e suporte durante todos esses anos de curso;

À minha família, e em especial à minha mãe, Aparecida de Fátima, à minha irmã, Victória Gonçalves, e ao meu tio, Paulo Roberto, que sempre me apoiaram durante o curso;

Aos meus amigos, Lucas dos Santos de Souza, Marcos Túlio Amorim, Elaine Caetano e Poliana Schrammel, que sempre estiveram ao meu lado nos momentos de alegrias e tristezas, me ajudando de todas as formas possíveis;

Ao meu namorado, Eduardo Parente, que mesmo em meio a inúmeras funções, sempre tentou me ajudar na execução dos cálculos e análises, além de me incentivar na hora dos estudos;

Ao Doutor Balbino Antônio Evangelista e à Mestre Yumiko Marina Tanaka da Anunciação, pelo apoio e suporte técnico durante as pesquisas e pela amizade demonstrada;

Ao Mestre Gustavo D'Angiolella, pela idealização do projeto;

Ao Diretor da Coordenação-Geral de Desenvolvimento e Pesquisa (CDP) do INMET, Dr. Lauro Fortes, pela oportunidade que me foi oferecida em estagiar no Instituto;

Ao INMET, MAPA, EMBRAPA Cerrados, EMATER – DF, COPLAN/DER e CONAB, que por meio de seus funcionários, que foram tão receptivos à minha causa, me auxiliaram nas pesquisas, fornecendo material, dados e infraestrutura, tão prontamente quanto solicitado;

À minha orientadora, Dr^a Selma Regina Maggiotto, que me auxiliou nas inúmeras dúvidas que surgiram e ajudou a compreender mais um pouco sobre a área em estudo;

E por último, mas não por isso menos importante, à minha querida mentora Dr^a Vânia Lúcia Dias Vasconcellos, que me aceitou de braços abertos para a realização deste projeto e que abriu minha mente para este caminho que iniciei a traçar junto a ela, a Climatologia;

Obrigada a todos pelo carinho, paciência e compreensão.

“Sou, por meu gosto, pesquisador. Experimento toda a sede de conhecer e a ávida inquietude de progredir, do mesmo modo que a satisfação que toda aquisição proporciona.”

Immanuel Kant (1689 – 1755)

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xi
RESUMO	xii
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS E AQUECIMENTO GLOBAL	3
2.1.1. Causas naturais e antrópicas	4
2.1.2 Cenários futuros de mudanças climáticas	7
2.1.3 Consequências das mudanças climáticas	9
2.1.3.1 Consequências para a agricultura brasileira	10
2.2 SOJA (<i>Glycine max</i>)	11
2.2.1 Descrição agronômica	11
2.2.2 Necessidades hídricas e de temperatura	12
3. METODOLOGIA	14
3.1 ÁREA DE ESTUDO	14
3.2. CÁLCULO DO BALANÇO HÍDRICO	15
3.3 CÁLCULO DOS VALORES DO ISNA	16
4 RESULTADO E DISCUSSÃO	19
4.1 ANÁLISE DOS BALANÇOS HÍDRICOS	19
4.1.1 Temperaturas	19
4.1.2 Precipitação	21
4.1.3 Evapotranspiração Potencial	23
4.1.4 Balanço Hídrico	24
4.2 ANÁLISE DOS ISNAs	27
5 CONCLUSÃO	32
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Emissões antropogênicas dos GEE nas últimas décadas. (Fonte: IPCC, 2007a).....	5
Figura 2 Quadro esquemático representativo das ações antrópicas, seus impactos e respostas às alterações climáticas, e suas ligações. (Fonte: IPCC, 2007a)	6
Figura 3 Emissões globais de CO ₂ em Gt equivalente de carbono para os diferentes cenários do IPCC. Áreas sombreadas em cada gráfico indicam a faixa provável de emissão para cada cenário. (Fonte: IPCC, 2000).....	8
Figura 4 Diferenças entre as temperaturas médias mensais das séries de dados estudadas: séries atuais (EMB e FAL) e série normal (NOR).	20
Figura 5 Temperaturas médias mensais das séries em estudo.....	20
Figura 6 Precipitação acumulada das séries estudadas – série anual (CAT) e séries dos cenários futuros (CA2 e CB2): a) totais mensais; b) total anual.	22
Figura 7 Evapotranspiração potencial mensal (ETP) das séries em estudo calculada pelo método de Thornthwaite.....	24
Figura 8 Balanços hídricos médios.....	25
Figura 9 Variação dos valores de ISNA ao longo do período de simulação para a série EMB: (F1) corresponde ao período de germinação e emergência e (F3) ao período de floração e enchimento de grãos. A região sombreada indica a época de plantio com baixo risco de perda de produção.....	28
Figura 10 Variação dos valores de ISNA ao longo do período de simulação para a série CA2: (F1) corresponde ao período de germinação e emergência e (F3) ao período de floração e enchimento de grãos. A região sombreada indica a época de plantio com baixo risco de perda de produção.....	29

Figura 11 Variação dos valores de ISNA ao longo do período de simulação para a série CB2: (F1) corresponde ao período de germinação e emergência e (F3) ao período de floração e enchimento de grãos. A região sombreada indica a época de plantio com baixo risco de perda de produção.....29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Médias projetadas para aumento das temperaturas globais de superfície e incremento nos níveis dos oceanos até o final do século 21.	8
Tabela 2 Coeficientes da cultura (Kc) decendiais para a cultura da soja utilizados na simulação de balanço hídrico com aplicação do SARRA.	16
Tabela 3 Fases fenológicas da soja.	17
Tabela 4 Datas de plantio e de simulação de balanço hídrico da cultura da soja utilizadas no SARRA.	18
Tabela 5 Temperaturas médias mensais das séries em estudo.	21
Tabela 6 Precipitação média mensal das séries em estudo.	23
Tabela 7 Evapotranspiração Potencial média mensal das séries em estudo.	24
Tabela 8 Déficit hídrico mensal para as séries em estudo (média de toda a série de dados). ..	26
Tabela 9 Excedente hídrico mensal para as séries em estudo (média de toda a série de dados).	27
Tabela 10 ISNAs da soja nas fases de floração e enchimento de grãos para todo o período de simulação.	30

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BH – Balanço Hídrico

CAD – Capacidade de Água Disponível

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento

COPLAN/ DER-DF - Coordenação de Planejamento do Departamento de Estradas e Rodagem do Distrito Federal

EMATER-DF – Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Distrito Federal

Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

CPAC – Centro de Pesquisa Agropecuária do Cerrado

ETM – Evapotranspiração Máxima

ETP – Evapotranspiração Potencial

ETR – Evapotranspiração Real

GEE – Gases do Efeito Estufa

CO₂ – Dióxido de Carbono

CH₄ – Metano

N₂O – Óxido Nitroso

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Changes* (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas)

ISNA – Índice de Satisfação da Necessidade de Água

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

ODP – Oscilação Decadal do Pacífico

PAD/DF – Programa de Assentamento Dirigido do Distrito Federal

PNMC – Plano Nacional sobre Mudanças Climáticas

UnB – Universidade de Brasília

FAL – Fazenda Água Limpa

UNFCCC - *United Nations Framework Convention on Climate Change* (Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas)

MUDANÇAS CLIMÁTICAS E O BALANÇO HÍDRICO DA SOJA (*Glycine max*) NO PAD/DF - DISTRITO FEDERAL

RESUMO

As alterações climáticas projetadas pelos modelos apresentados pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC – sigla em inglês) deverão refletir em todas as áreas da sociedade, inclusive na agricultura. No Brasil, existe uma grande necessidade de desenvolver estudos no sentido de se compreender melhor como as modificações previstas na temperatura e na distribuição da precipitação afetarão o balanço hídrico do solo e as culturas. Neste sentido, este trabalho objetivou analisar os efeitos de dois dos seis cenários de mudanças climáticas projetados pelo IPCC no balanço hídrico do solo e da cultura da soja para a região do Programa de Assentamento Dirigido do Distrito Federal – PAD/DF, comparando-os com duas séries de dados atuais e com a normal climatológica. Foi utilizado o método de THORNTHWAITE e MATHER (1955) na realização dos cálculos do balanço hídrico do solo para as cinco séries de dados utilizadas. As análises comparativas entre as séries foram realizadas para evapotranspiração potencial, temperatura média, precipitação, déficit e excedente hídrico. No balanço hídrico da cultura, foi utilizado o programa SARRA (Système d'Analyse Régionale des Risques Agroclimatiques) para analisar a relação entre a evapotranspiração real e a máxima da soja também para as cinco séries estudadas. O índice de satisfação da necessidade de água (ISNA), resultado da relação citada anteriormente, serviu de parâmetro para a análise das épocas de plantio da soja, tendo sido relacionados os INSAs da fase de germinação/emergência e floração/enchimento de grãos para obtenção da data ótima de plantio. Os cenários utilizados, A2 e B2, são considerados, respectivamente, o pior e o melhor cenários futuros, e suas projeções no balanço hídrico do solo resultaram no prolongamento do período de deficiência hídrica e também na redução do excedente hídrico anual. Pelo cálculo dos INSAs, observou-se que uma redução do período apto e de baixo risco para plantio da soja no PAD/DF quando comparado com o cenário atual. Observou-se também um deslocamento do início do período recomendado para plantio no cenário B2. Palavras-chave: Mudanças Climáticas; Balanço Hídrico; Soja; Cenários Futuros.

1 INTRODUÇÃO

O clima muda naturalmente, independentemente da ação do homem. Isso ocorre devido à aproximação e afastamento da Terra em relação ao Sol em determinados ciclos, que influem na incidência de radiação solar, alterando a quantidade de energia que atinge a superfície e provocando resfriamento ou aquecimento do planeta. A temperatura dos oceanos também influi diretamente na variabilidade climática global, como o fenômeno da Oscilação Decadal do Pacífico (ODP), que leva de 20 a 30 anos para fechar um ciclo e resulta na variação da temperatura do oceano, e conseqüentemente, na temperatura do planeta. Os ciclos são alternados entre quentes e frios, sendo que, um ciclo quente determina variações positivas na temperatura de superfície no Pacífico Tropical, e negativas no Pacífico Extratropical, e vice-versa (SPERLING et al., 2009). A ocorrência de um inverno rigoroso, ou verão com temperaturas acima do normal, não caracteriza necessariamente a ocorrência de uma mudança climática, já que a história sempre registrou picos de calor e frio que caracterizam o que é denominado de variabilidade climática.

O aquecimento global, dentro do contexto de discursos e debates internacionais, está relacionado ao aumento da temperatura global e da capacidade atmosférica em reter calor. A discussão atual é acerca das causas e efeitos desse aquecimento anormal. No ano de 2007, o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC – sigla em inglês), publicou seu quarto relatório a respeito dos avanços da ciência referente às mudanças climáticas globais. De acordo com esse trabalho, e com cerca de 90% de certeza científica, as ações antrópicas dos últimos 150 anos ocasionaram um aumento progressivo dos gases de efeito estufa na atmosfera que absorvem a radiação de onda longa emitida pela terra, diminuindo com isso, a quantidade de energia que é perdida para o espaço e, conseqüentemente, aumentando a temperatura global. Os estudos apresentados pelo IPCC revelaram que, desde 1850, a temperatura global teve um aumento médio de 0,76°C, chegando à cerca de 3°C na região do Ártico (IPCC, 2000). No Brasil, algumas alterações climáticas já são evidentes. Estudos mostram um aumento médio de 0,75°C na temperatura média nacional até o final do século XX, levando em consideração a temperatura média anual de 1961 – 1990, que era 24,9°C. A continuidade dessas mudanças pode acarretar em perdas e rearranjos de diversos setores da economia brasileira. Como exemplos: na saúde pública, será necessário aumentar a capacidade de atendimento e efetuar novas pesquisas sobre novas doenças e epidemias que podem surgir; com prováveis mudanças no ciclo hidrológico brasileiro, o setor energético,

terá de realizar novos estudos de captação de energia e os impactos causados por essa atividade (MUDANÇAS CLIMÁTICAS, 2011).

A agropecuária e o meio ambiente são as áreas que estão suscetíveis às maiores alterações. Devido à fragilidade dos ecossistemas e à sua dependência do clima, mesmo pequenas mudanças podem acarretar em perdas de espécimes da flora e da fauna. Outra alteração importante que pode ocorrer é no ciclo hidrológico, o que pode vir a modificar significativamente a forma de se fazer agricultura e pecuária. Alterações nos períodos de chuvas ou nas suas quantidades numa certa região poderão resultar na necessidade do uso de mais (ou menos) irrigação nas diferentes regiões, alteração das culturas utilizadas, assim como em antecipação ou atraso nos períodos de plantio em relação ao que é feito atualmente. Dessa forma, tanto perdas quanto incrementos de produtividade são esperados.

Esse trabalho tem como objetivos:

- analisar a influência das projeções das mudanças climáticas estimadas por dois modelos sobre o balanço hídrico climatológico do solo; e
- analisar se as alterações previstas poderão provocar mudanças no balanço hídrico da cultura da soja na região do Programa de Assentamento Dirigido do Distrito Federal – PAD/DF, alterando seu calendário de plantio.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS E AQUECIMENTO GLOBAL

Ao longo dos últimos anos, a observação de modificações nos níveis médios dos oceanos, em conjunto com elevações nas temperaturas médias da superfície do planeta e decréscimo das coberturas de gelo ao redor do planeta chamaram a atenção de centros de pesquisas espalhados pelo globo, e apontaram para a necessidade de pesquisas mais avançadas sobre as causas e consequências desses eventos (IPCC, 2007b). Da mesma forma, o aparente aumento da frequência de ocorrência de eventos extremos (tornados, furacões, tempestades, etc) levantou o interesse de toda a sociedade acerca do tema, levando vários segmentos sociais a exercer pressão para a tomada de decisões políticas sobre o assunto, o que gerou a necessidade de estudos científicos. Cúpulas, grupos e reuniões sobre mudanças climáticas se formaram nos governos de diversos países, onde cada um apresentou, nas reuniões da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC – sigla em inglês) sua contribuição nessas mudanças e sua responsabilidade nos processos de mitigação.

No Brasil, em 2007, o Congresso Nacional constituiu a Comissão Mista Especial sobre mudanças Climáticas com o objetivo de “acompanhar, monitorar e fiscalizar as ações referentes às mudanças climáticas no Brasil”, concentrando, assim, as atividades do Senado Federal e Câmara dos Deputados. O relatório final, publicado em Junho de 2008, traz resumos das audiências públicas, onde foram ouvidos membros da comunidade científica, diversos representantes governamentais, membros das comunidades locais e representantes de setores diretamente envolvidos no tema, como florestais e agropecuários. Os trabalhos da comissão resultaram na definição de metas para o setor público, em forma de projeto de leis que interferem na forma de utilização das terras, no âmbito dos licenciamentos ambientais, dentre outros. O relatório final cita também, ações governamentais para os diversos setores relacionados ao tema, dentre eles as instituições de pesquisa, atividades de educação ambiental, agricultura, mercado de carbono e energias (COMISSÃO MISTA ESPECIAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS, 2008).

Paralelamente, em novembro de 2007, foi criado o Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima, envolvendo mais de uma dezena de ministérios e com o objetivo de traçar as diretrizes nacionais relativas às mudanças climáticas e o aquecimento global. O relatório final das discussões desse grupo, o Plano Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), traz

considerações sobre políticas de mitigação da emissão dos gases do efeito estufa, suas potencialidades e áreas de aplicação (COMITÊ INTERMINISTERIAL SOBRE MUDANÇA DO CLIMA, 2008).

Como observado, a preocupação governamental acerca do aquecimento global e das mudanças climáticas é crescente, com a intensa participação do país nas reuniões da UNFCCC. Essa mesma preocupação é vista em parte da sociedade, que, inclusive, tende a confundir os conceitos de mudanças climáticas e aquecimento global com o efeito estufa.

O efeito estufa pode ser definido como a capacidade atmosférica em reter calor devido à presença de gases que absorvem parte da radiação de onda longa emitida pela Terra. Os gases do efeito estufa (GEE), como o dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O), existem naturalmente na atmosfera. O aumento da concentração desses GEE na atmosfera faz com que ocorra o aumento da quantidade de energia retida, e consequentemente, o aumento da temperatura, ou, o chamado aquecimento global (MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007; MORAN e MORGAN, 1997).

Já o conceito de mudanças climáticas se refere às variações climáticas além do natural, por períodos prolongados (décadas ou mais), ocasionadas tanto por ações naturais quanto por ações antrópicas (IPCC, 2007a). Outra conceituação é apresentada pela UNFCCC, que diz que as mudanças climáticas se referem ao resultado das ações antrópicas no clima, direta ou indiretamente, alterando a composição atmosférica global. Essas alterações são somadas à variabilidade climática natural e deve persistir por períodos de tempo cabíveis de comparações (IPCC, 2007a).

2.1.1. Causas naturais e antrópicas

Dentre as causas naturais que podem provocar mudanças climáticas estão fenômenos como os ciclos solares, a variação na órbita terrestre, a variação da inclinação do eixo planetário e da sua rotação, as atividades vulcânicas, e até mesmo quedas de meteoritos (NOBRE et al., 2007). Ainda não existe consenso na comunidade científica sobre a influência das causas naturais no aquecimento global, porém o que se pode afirmar com certeza é que tais eventos naturais foram e são responsáveis por alterações no clima da Terra.

Diversas atividades humanas como a industrialização, a queima de combustíveis fósseis, o desmatamento e as mudanças no uso da terra, têm contribuído para a alteração da composição da atmosfera, afetando diretamente o clima global. Tais atividades contribuem

para o aumento das concentrações dos GEE na atmosfera, influenciando o balanço de energia do planeta (IPCC, 2007a).

Existem dados de concentração atmosférica desses gases durante toda a história mundial, e observa-se que a partir da segunda metade do século XIX, com o início da Revolução Industrial, a concentração de CO₂, por exemplo, passou de 280 ppm para 379 ppm em 2005. Seguindo alguns modelos matemáticos e estatísticos, essa concentração pode alcançar valores entre 550 e 850 ppm em 2100. Sabe-se que se a concentração de CO₂ ultrapassar 400 ppm, ocorrerá um incremento de 2°C na temperatura global em relação ao período pré-industrial, provocando, conseqüentemente, uma interferência drástica no clima mundial (IPCC, 2000). Acredita-se que níveis tão altos de CO₂ não ocorrem na atmosfera há 20 milhões de anos (PEARSON e PALMER, 2000). A Figura 1 a mostra a evolução das emissões, não somente do CO₂, como para os outros GEEs entre os anos de 1970 e 2004. As Figuras 1b e 1c apresentam a participação dos GEE e das atividades econômicas, respectivamente, nas emissões globais totais. De acordo com o IPCC (2007b) o aumento da concentração do dióxido de carbono na atmosfera se deve à intensificação da utilização dos combustíveis fósseis, com as mudanças do uso da terra em seguida.

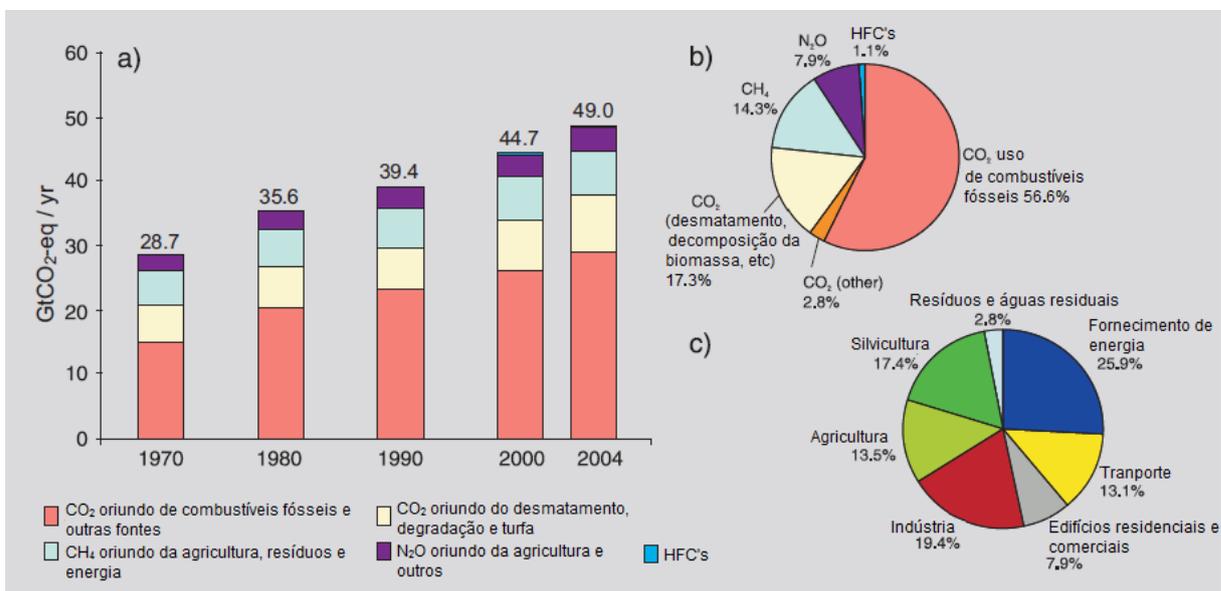


Figura 1 Emissões antropogênicas dos GEE nas últimas décadas. (Fonte: IPCC, 2007a)

Diversas ações podem ser tomadas para minimizar o aumento das concentrações dos GEE. Como exemplo, existe o Programa ABC – Agricultura de Baixa emissão de Carbono, do Governo Federal, cujo objetivo é reduzir as emissões nacionais do GEE na agropecuária,

através do uso de técnicas alternativas, como o aumento das áreas de plantio direto, o uso de inoculantes para a fixação biológica de nitrogênio, entre outras. São destinados dois bilhões de reais, em financiamento a baixos juros, para os produtores investirem nestas alternativas (CORDEIRO, 2011). Tal Programa é parte de um grupo maior de ações que começam a acontecer no sentido de buscar formas de adaptação e mitigação das mudanças climáticas, como apresentado na Figura 2.



Figura 2 Quadro esquemático representativo das ações antrópicas, seus impactos e respostas às alterações climáticas, e suas ligações. (Fonte: IPCC, 2007a)

No Brasil, as maiores contribuições para as mudanças climáticas são decorrentes à mudança de uso da terra, desmatamentos e queimadas, colocando o país em quarto lugar no ranking das emissões mundiais (COMISSÃO MISTA ESPECIAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS, 2008). Cabe à comunidade político-científica brasileira encontrar métodos de mitigação acessíveis à população, além de se trabalhar eficientemente na conscientização da população.

2.1.2 Cenários futuros de mudanças climáticas

Nos estudos de mudanças climáticas globais, além das observações de alterações já ocorridas ou em andamento, como as alterações nas concentrações do GEE, são feitos estudos de projeções futuras. Nesses estudos utilizam-se modelos aos quais são incorporadas diferentes informações de entrada, gerando portanto diversos cenários futuros. De acordo com o IPCC (2007b), os cenários de mudanças climáticas foram classificados em quatro grandes famílias: A1, A2, B1 e B2.

A família A1 é caracterizada por levar em consideração um mundo mais integralizado, onde a população mundial atinge o pico em 2050 e começa a diminuir a partir daí. Outra característica é a integralização do planeta, que se apresenta com rede de comunicação e disseminação de tecnologia de forma rápida e eficiente. Nela encontramos os cenários A1FI, que apresenta ênfase nos combustíveis fósseis, A1B, que enfatiza a utilização equilibrada de todas as fontes de energia, e o cenário A1T, que não considera a utilização de fontes de energia fósseis.

A família A2, por sua vez, é considerada a pior de todos os cenários, pois basicamente mantém projeções de um mundo dividido, com países independentes, autossuficientes, com objetivos estritamente direcionados para o crescimento econômico, onde as tecnologias são lentamente difundidas além de serem utilizadas para aumentar a renda per capita da população, que não apresenta indicativos de diminuição do crescimento.

A família B1 considera projeções para um planeta mais integralizado e ecologicamente consciente. É caracterizada por um crescimento econômico tão rápido quanto no cenário A1, porém com rápidas mudanças em relação à economia de serviços e informação, o crescimento populacional se comporta, novamente, tal como no cenário A1. Por outro lado, este cenário considera reduções na utilização e compra de bens de consumo, assim como a introdução de tecnologias limpas e de utilização de recursos naturais.

A família B2, considerada a melhor das quatro famílias de cenários, considera uma divisão global, porém, mais ecologicamente correta. Considera um crescimento populacional constante, porém em razão menor que no cenário A2; soluções locais, ao invés de globais, para atingir a estabilidade econômica, social e ambiental; desenvolvimento econômico em níveis intermediários; mudanças tecnológicas mais lentas e espaçadas do que nos cenários A1 e B1.

Para cada um dos cenários futuros foram feitas projeções do aumento das concentrações de CO₂ (Figura 3) e também do aumento da temperatura e dos níveis dos oceanos (Tabela 1).

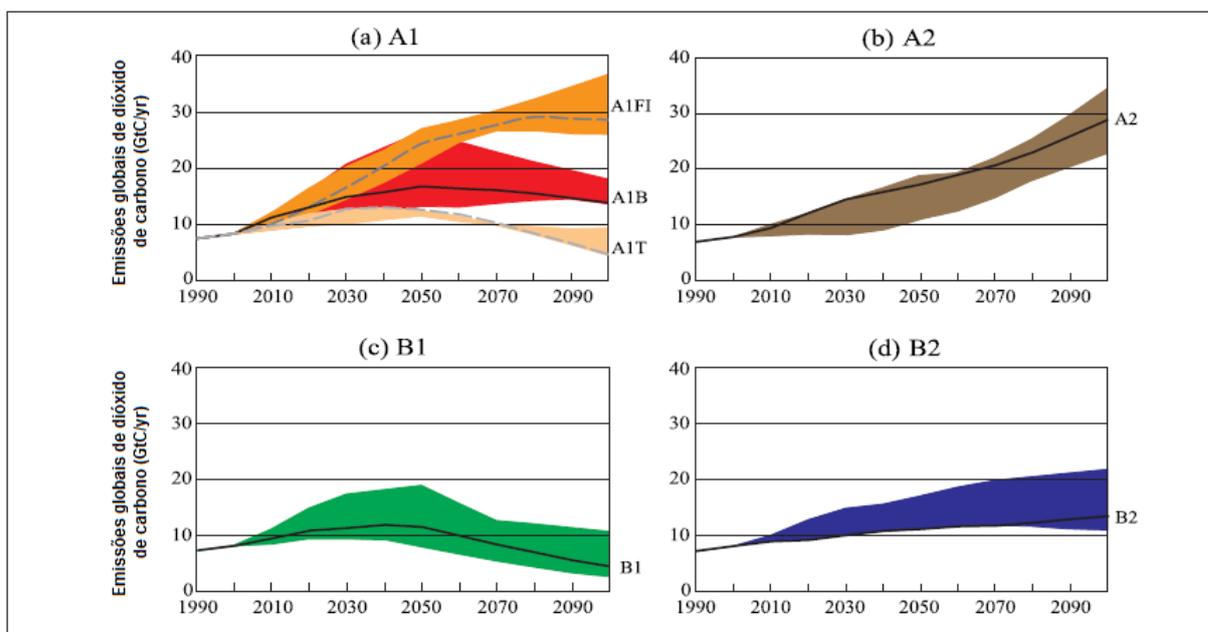


Figura 3 Emissões globais de CO₂ em Gt equivalente de carbono para os diferentes cenários do IPCC. Áreas sombreadas em cada gráfico indicam a faixa provável de emissão para cada cenário. (Fonte: IPCC, 2000)

Tabela 1 Médias projetadas para aumento das temperaturas globais de superfície e incremento nos níveis dos oceanos até o final do século 21.

Cenários	Aumento da temperatura ¹ (°C)	Incremento no nível dos oceanos ¹ (m)
B1	1,8	0,18 a 0,38
A1T	2,4	0,2 a 0,45
B2	2,4	0,2 a 0,43
A1B	2,8	0,21 a 0,48
A2	3,4	0,23 a 0,51
A1FI	4,0	0,26 a 0,59

¹ Temperatura de 2090 a 2099, em comparação ao período de 1980 a 1999.

Fonte: IPCC, 2007b

2.1.3 Consequências das mudanças climáticas

Grupos de cientistas divergem suas opiniões nas discussões acerca das mudanças climáticas globais. Como exemplo, temos os relatórios do IPCC, que são mundialmente citados, mas também criticados, como pelo escritor Kurt Bluchel, que em seu livro ‘A Fraude do Efeito Estufa - Aquecimento Global, Mudança Climática: Os Fatos (PHL, 2008)’ se contrapõe a todas as denúncias vinculadas à mídia e ao próprio IPCC, negando que tal ameaça, apontada diariamente, é de fato real.

Porém, diversos dados têm sido apresentados a respeito dos efeitos das mudanças climáticas, superando o ceticismo existente, e alertando a sociedade dos riscos iminentes. Além disso, pode-se citar o Relatório Stern (STERN, 2006), estudo encomendado pelo governo britânico e realizado pelo economista Nicholas Stern, que aponta diversas consequências das mudanças climáticas, levando em consideração os seis cenários publicados pelo IPCC em 2001. Da extensa lista apresentada, pode-se citar: o aumento no volume das enchentes ocasionado pelo derretimento das geleiras gerando em seguida a intensificação da escassez de água em regiões como China, Índia e América do Sul, a alteração de fenômenos climáticos cíclicos, como o El Niño ou as chuvas de monção do sul da Ásia, e a acidificação dos oceanos, potencializada pelo aumento da concentração de CO₂ na atmosfera, com consequente redução da população de peixes.

Em relação à saúde humana, o Relatório Stern indica que as taxas de mortes por hipotermia em altas latitudes deverão diminuir, porém as mortes por desnutrição e estresse por excesso de calor deverão aumentar. Além disso, deve ocorrer o aumento das taxas das doenças tropicais e subtropicais. O incremento de temperatura na agricultura poderá afetar negativamente a oferta de alimentos principalmente na África. Em altas latitudes, um aumento de 2 a 3°C pode incrementar a produtividade, mas acima de 4°C, todo o planeta poderá perder capacidade produtiva. O estudo mostra, ainda, que com um incremento de 2 a 3°C a Amazônia pode vir a se tornar área de savana (STERN, 2006).

Outro aspecto esperado nessas mudanças é quanto ao microclima. As mudanças nos regimes climáticos das diversas regiões deverão afetar diretamente as cidades, uma vez que um aumento de temperatura pode acarretar numa maior concentração dos gases poluentes relacionados à queima de combustíveis fósseis, principalmente nas grandes metrópoles. Apesar das incertezas, alterações nos ciclos das chuvas também pode ser um fator de risco. Alguns trabalhos indicam a possibilidade de ocorrer uma modificação extrema do volume de precipitação, causando enchentes e secas severas por todo o país (p. ex. MARENGO, 2008).

Neste cenário, o Brasil se mostra vulnerável às mudanças climáticas sob diversos aspectos, como: aumento da frequência e intensidade de eventos climáticos extremos (enchentes e secas), com perdas na agricultura e ameaça à biodiversidade; mudanças do regime hidrológico, com impactos sobre a capacidade de geração hidrelétrica; e expansão de vetores de doenças endêmicas. Além disso, a elevação do nível do mar poderá afetar regiões litorâneas, onde se concentra grande parte da população brasileira (MARENGO, 2006).

2.1.3.1 Consequências para a agricultura brasileira

De acordo com PELLEGRINO et al. (2007), as consequências das mudanças climáticas serão sentidas com certa severidade no Brasil, devido à vulnerabilidade que o país apresenta frente a desastres naturais, como enchentes e secas. Em se tratando de agricultura, o país se torna mais vulnerável ainda, uma vez que a base da economia são as atividades agrícolas, extremamente dependentes de condições climáticas.

ASSAD et al. (2008) discutem sobre as diversas culturas que deverão sofrer redução na área de produção, levando em consideração cenários com aumento de temperatura de 1, 3 e 5,8°C. Para a soja, com o acréscimo de 1°C, pode haver uma diminuição de 4 mil km² na área total de produção do Brasil, reduzindo principalmente a área apta a plantio com baixo risco de perda de produção nas regiões Sul e Nordeste. Com o aumento de 3°C, os autores observaram uma redução de cerca de 1,4 milhões de km², sem a possibilidade de plantio nos estados do Rio Grande do Sul, Tocantins e Piauí, assim como na região do triângulo mineiro, leste de Goiás, sul do Maranhão e em metade do estado de São Paulo. A projeção de 5,8°C de acréscimo nas temperaturas médias indica uma redução de 2,2 milhões de km² na área de plantio com baixo risco (cerca de 70% da área total atual).

Na cultura do arroz, essa diminuição seria de até 2,3 milhões de km² (41% da área atual). O milho, por sua vez, teria sua área reduzida em 700 mil km² (15% da área atual). O café, sendo uma cultura extremamente suscetível às mudanças de temperatura, apresentaria uma redução de até 92% da sua área atual de produção, conferindo um prejuízo econômico de até 500 milhões de dólares (ASSAD et al., 2008).

Para a pecuária, são esperadas perdas de até 25%, com um aumento de até 3°C na temperatura, além de um incremento de 25 a 40% nos custos de produção, acarretando num aumento no preço desses artigos. Em contrapartida, a área de produção de cana-de-açúcar poderá aumentar em até 171% de sua área atual (MARCOVITCH, 2010).

VIEIRA (2010) e PEIXOTO (2010) realizaram estudos similares, analisando os possíveis impactos das mudanças climáticas nas culturas do milho e feijão, respectivamente. Nos estudos foram utilizadas séries de dados atuais e futuros, modeladas segundo os cenários A2 e B2 do IPCC, para calcular o balanço hídrico climatológico do solo e de cada cultura, por meio da planilha eletrônica GD 4.0 – 2004 (D'ANGIOLELLA e VASCONCELLOS, 2004) e do programa SARRA. Dessa forma, as análises foram feitas para temperatura, precipitação, déficit e excedente hídrico e ISNA. VIEIRA (2010) citou que o valor de ISNA utilizado como parâmetro de análise para a cultura do milho foi 0,55, definindo que a janela de plantio com baixo risco de perda de produção ficou compreendida entre 21 de setembro e 31 de janeiro, para o cenário atual. Já para as projeções dos cenários futuros, o autor observou a redução de 50 dias no final da janela para o cenário A2, e a alteração de 10 dias no início e no final da época de plantio para o cenário B2.

PEIXOTO (2010), por sua vez, também encontrou alterações na época de plantio para o feijão para os dois cenários. A janela de plantio com baixo risco de perda de produção é definida pelo MAPA entre 1º de outubro e 28 de fevereiro. Entretanto, seus resultados indicam que tanto para o cenário atual quanto para os dois cenários futuros (A2 e B2) não haveria a satisfação da necessidade de água para a cultura nos vinte primeiros dias da recomendação.

2.2 SOJA (*Glycine max*)

2.2.1 Descrição agronômica

A soja se caracteriza por ser uma planta anual, herbácea, de diferentes variedades e cultivares, proporcionando uma extensa diversificação genética e morfológica. Seu desenvolvimento é rápido, transcorrendo de 75 dias (para variedades mais precoces) até 200 dias (para as variedades mais tardias). Sua estatura pode variar de 60 a 110 cm, dependendo da cultivar e da região, assim como seu tipo de crescimento, que pode ser determinado, semideterminado ou indeterminado (WILLIAMS, 1950).

As variações de produção de um campo de soja podem ser decorrentes de uma série de fatores ambientais, tais como: preparo inadequado do solo, deficiência hídrica, presença de organismos patogênicos, pragas no solo, injúria química, e, talvez o mais agravante, a utilização de sementes de baixa qualidade (DELOUCHE, 1969). Sabe-se que o teor de

umidade atmosférica para um máximo desenvolvimento de matéria seca se dá em torno de 50% (ANDREWS, 1966), e que qualquer variação extrema nesse valor resulta em perdas significativas para a planta.

A produção mundial da soja é de cerca de 200 milhões de toneladas. A área ocupada por esta cultura é de aproximadamente 87,8 milhões de hectares. Os 5 maiores produtores são responsáveis por 90% da produção mundial: EUA, Brasil, Argentina, China e Índia. O Brasil é o segundo maior produtor, respondendo por quase 25% do total mundial. O complexo agroindustrial da soja movimenta aproximadamente US\$ 6 bilhões (10% das receitas cambiais). Ocupa uma área de 24,160 milhões de hectares, área equivalente à do estado de São Paulo (CONAB, 2011).

Apesar da área agrícola do DF, localizada principalmente no PAD/DF, ser pequena em relação aos outros estados produtores, em aproximadamente 55.402 hectares de soja, colheu, na safra 2010/2011, cerca de 117 mil toneladas. A produtividade das lavouras de grãos no DF atinge as maiores médias nacionais. Na cultura da soja, o DF é o segundo colocado, com 3,2 ton/ha, ficando atrás apenas do Mato Grosso (EMATER, 2011).

2.2.2 Necessidades hídricas e de temperatura

De acordo com DOORENBOS e KASSAM (1979), a soja necessita de 450 a 700 mm de água em todo o seu ciclo, para o seu desenvolvimento. Durante a fase de germinação, a disponibilidade mínima de água deve estar entre 50 e 85% da sua necessidade hídrica para que não haja perdas de produção, assim como para a fase de enchimento de grãos, onde essa disponibilidade não pode ser menor do que 50% da necessidade da planta. EVANGELISTA et al. (2009) apresentaram valores mínimos para disponibilidade hídrica de 65% para a fase de enchimento de grãos, valor utilizado no zoneamento agrícola de risco.

Segundo BERLATO (1978), as regiões no mundo mais aptas à cultura da soja são aquelas onde a temperatura média do mês mais quente é superior a 20°C, situação compreendida por todo o território nacional. A soja se adapta melhor a temperaturas do ar entre 20°C e 30°C, sendo que a temperatura ideal para o seu desenvolvimento se encontra em torno de 30°C. O crescimento vegetativo da soja é mínimo, chegando a nulo, em temperaturas menores ou iguais a 10°C. As baixas temperaturas provocam danos por fungos e pragas nas sementes, além do estabelecimento lento e desigual da cultura (prejudicando a capacidade de competição com plantas invasoras). Temperaturas acima de 40°C têm efeito adverso na taxa

de crescimento, provocam distúrbios na floração e diminuem a capacidade de retenção das vagens, além de reduzir as taxas de nodulação da soja, e de diminuir, também, a velocidade de emergência e as taxas de fixação de nitrogênio pelo rizóbio. Sabe-se que a floração da soja somente é induzida a temperaturas acima de 13°C, e que atinge níveis ótimos quando a temperatura nas folhas se situa entre 21°C e 27°C à noite, e que acima dos 27°C poucos primórdios florais são formados (SCHNEIDER et al., 1988 e EMBRAPA, 2001).

3. METODOLOGIA

O trabalho foi feito em duas etapas: primeiramente foram calculados os balanços hídricos climatológicos para a região do PAD/DF, comparando a condição atual e dois cenários futuros; a segunda etapa foi o cálculo do Índice de Satisfação da Necessidade de Água (ISNA) utilizando o programa SARRA, que simula o balanço hídrico da cultura nos diferentes cenários, atual e futuros. Cada uma das etapas é descrita detalhadamente a seguir.

3.1 ÁREA DE ESTUDO

O Distrito Federal possui uma área de aproximadamente 500 mil hectares e compreende parte do platô distribuído entre os estados de Goiás e Minas Gerais. O clima local predominante é tropical úmido (Aw na classificação climática de Köppen-Geiger: clima tropical com verão quente e chuvoso e inverno seco e frio (REATTO et al., 2000)). A temperatura média anual é de cerca de 19,8°C, podendo chegar aos 30,0°C de média das máximas em setembro, e aos 10,5°C de média das mínimas nas madrugadas de inverno em julho. A temperatura, porém, varia de forma significativa nas áreas menos urbanizadas, onde a média das mínimas de inverno cai para cerca de 10°C a 5°C. A umidade relativa média do ar é de aproximadamente 80%, podendo atingir valores menores que 45% no inverno.

A área de estudo se localiza na região do Programa de Assentamento Dirigido do Distrito Federal (PAD/DF), programa do Governo do Distrito Federal implantado por intermédio da Secretaria de Agricultura e Produção e executado pela Fundação Zoobotânica do Distrito Federal, em 1977.

O PAD/DF se caracteriza por ser uma das principais áreas agrícolas do Distrito Federal, com intensa produção de grãos e cereais, hortifrutigranjeiros, bovinocultura e avicultura, principalmente. Com extensão total de 61.000 hectares, os solos predominantes são classificados como Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Amarelo. A capacidade de água disponível para os solos do PAD/DF determinada em SOUSA (2003) indica valores que variaram de 70 mm/m, para Latossolos Vermelho-Escuro, e 80 mm/m, para Latossolos Amarelos.

3.2. CÁLCULO DO BALANÇO HÍDRICO

A primeira etapa do trabalho foi o estudo das variáveis climáticas, atuais e em cenários futuros, e sua influência no balanço hídrico climatológico. No estudo dos cenários atuais foram utilizados dados das estações meteorológicas da Embrapa Cerrados (CPAC – série EMB), localizada em Planaltina, DF (Lat. 15° 35' S, Long. 47 °42' W, Alt. 1007 m), entre os anos de 1988 e 2008, e da Fazenda Água Limpa - FAL, da Universidade de Brasília (série FAL), localizada no Núcleo Rural da Vargem Bonita (Lat. 15° 56' S, Long. 47° 56' W, Alt. 1080 m), de 2000 a 2010. Os dados da normal climatológica do DF (1961 a 1990) (série NOR) foram obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). As séries de dados futuros, simulando os impactos previstos pelos cenários A2 e B2 do IPCC (séries CA2 e CB2) sobre as temperaturas e precipitações do DF para os anos de 2070 a 2099, foram obtidas pelo uso do modelo HadCM3 (MITCHELL et al., 1998). O modelo HadCM3 é um modelo numérico de circulação global desenvolvido no Hadley Centre (Reino Unido), onde a componente atmosférica é resolvida numa malha com resolução horizontal de 2,5° x 3,75° lat/long e discretização vertical em 19 níveis. Os processos físicos que ocorrem em uma escala menor do que o espaço entre os pontos da grade são parametrizados em termos das variáveis resolvidas pela grade (MENDES et al., 2009).

O cálculo do balanço hídrico climatológico normal foi feito utilizando a metodologia de THORNTHWAITE e MATHER (1955), onde são calculados o excedente hídrico, o déficit hídrico, a evapotranspiração potencial (ETP), o armazenamento, a alteração e o negativo acumulado para cada mês do ano, utilizando valores de temperatura média e precipitação total mensal. O valor utilizado para a capacidade de água disponível no solo foi de 75 mm/m, a média aritmética dos valores determinados por SOUSA (2003) para os solos da região do DF.

A análise das séries de dados de temperatura e precipitação e dos resultados dos cálculos dos balanços hídricos foi realizada através da comparação entre as séries atuais e dos cenários futuros, de forma a avaliar a influência das projeções das mudanças climáticas. Para a análise das séries de precipitação, foi calculada a média simples das séries atuais e a normal climatológica, originando uma série considerada como cenário atual (série CAT). Isso foi realizado com o objetivo de se obter uma série que represente o volume precipitado no DF como um todo, e assim então poder ser comparado com os cenários futuros, uma vez que as séries futuras foram modeladas numa grade espacial que engloba todo o território do DF.

3.3 CÁLCULO DOS VALORES DO ISNA

O Índice de Satisfação da Necessidade de Água, ISNA, é um índice que relaciona a oferta hídrica real com a demanda máxima da cultura. Calculado pela razão entre a evapotranspiração real da cultura (ETR) e a evapotranspiração máxima da cultura (ETM), representa o percentual da evapotranspiração máxima que a cultura obteve nas condições climáticas específicas. É um valor utilizado como um indicativo de estresse hídrico.

Para o cálculo do ISNA da soja foi utilizado o programa SARRA (Système d'Analyse Régionale des Risques Agroclimatiques – Sistema de Análises Regionais dos Riscos Agroclimáticos) (BARON e CLOPES, 1996), que é utilizado na análise da influência dos dados meteorológicos nas culturas a partir de parâmetros pré-estabelecidos, descritos a seguir. Os parâmetros da planta, para entrada no programa, foram baseados em publicações do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), boletins técnicos e outras publicações técnico-científicas.

- duração do ciclo: o MAPA divide as variedades da soja em três grupos de acordo com a duração de seu ciclo. A duração de ciclo utilizada foi de 115 dias, que corresponde a uma cultivar de ciclo médio (Grupo II).
- coeficiente de cultura (Kc): no SARRA, este parâmetro deve ser inserido para períodos decendiais. Os valores utilizados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 Coeficientes da cultura (Kc) decendiais para a cultura da soja utilizados na simulação de balanço hídrico com aplicação do SARRA.

Decêndios	Kc	Decêndios	Kc
1	0,56	7	1,42
2	0,75	8	1,50
3	0,93	9	1,30
4	1,12	10	1,10
5	1,25	11	0,9
6	1,33		

Fonte: adaptado de BERLATO et al. (1986) e DOORENBOS e KASSAM (1979).

- evapotranspiração potencial: calculada pelo método de THORNTHWAITE (1948), para os três cenários em estudo.
- capacidade de água disponível (CAD): foi utilizada a média dos valores encontrados por SOUZA (2003), quando da classificação dos solos do PAD-DF, ou seja, 75 mm/m.

- fases fenológicas: a duração de cada fase fenológica foi baseada nas informações do zoneamento agroclimático do MAPA para a região do DF (Tabela 3).

Tabela 3 Fases fenológicas da soja.

Fases Fenológicas	Germinação / Emergência	Vegetativa	Florescimento / Enchimento	Maturação
Duração (dias)	15	30	40	30

Fonte: Adaptado de FARIAS et al. (2001).

- datas de simulação: foram feitas simulações decendiais para o plantio da soja na região em estudo, como mostra a Tabela 4. No DF, o MAPA considera como época de semeadura da soja o período compreendido entre início de outubro e final de dezembro, ou seja, entre os decêndios 28 e 36 do ano (Portaria 225/2010). Neste estudo, as datas de plantio simuladas se estenderam do dia 5 de agosto (decêndio 22 do ano) até o dia 25 de fevereiro (decêndio 6 do ano), de forma a se avaliar se ocorrem mudanças na época de plantio para a cultura nos diferentes cenários. As simulações do balanço hídrico foram iniciadas um mês antes da data estipulada para plantio, e estendidas até um mês após a data de colheita, para fins de equalização da disponibilidade hídrica do solo.
- chuva limite e escoamento superficial: foram definidos os valores de 30 mm para chuva limite, e 20% para escoamento superficial. Esses valores indicam que 20% da precipitação que ultrapassar 30 mm, será perdida por escoamento superficial (SILVA, 2004).
- séries de precipitação diária: foram utilizados os dados de precipitação das séries EMB (série atual), CA2 e CB2 (cenários futuros modelados conforme descrito no item 3.2) nas simulações dos ISNAs.

O parâmetro de saída do SARRA escolhido foi a relação entre a evapotranspiração de real (ETR) e a evapotranspiração máxima da cultura (ETM), que corresponde à quantidade de água utilizada efetivamente pela planta em relação à quantidade necessária para sua produtividade máxima. Este valor é o ISNA.

O índice é calculado a contar de cada data de início de plantio simulada, ou seja, cada decêndio gera um valor de ISNA diferente, uma vez que este relaciona o estágio de desenvolvimento fenológico da planta com a total de precipitação do decêndio. O programa efetua a análise frequencial dos dados obtidos, de forma a mostrar o valor mínimo com probabilidade de ocorrência maior que 80%. O período simulado é considerado apto a plantio

quando o valor encontrado na análise frequencial é maior que 0,5 para o período de germinação e emergência e maior que 0,65 para o período de floração e enchimento de grãos, valores esses utilizados também por EVANGELISTA et al. (2009).

Tabela 4 Datas de plantio e de simulação de balanço hídrico da cultura da soja utilizadas no SARRA.

Decêndio	Datas de plantio	
	<i>Plantio</i>	<i>Colheita</i>
22	5/8	28/11
23	15/8	8/12
24	25/8	18/12
25	5/9	29/12
26	15/9	9/1
27	25/9	19/1
28	5/10	8/2
29	15/10	18/2
30	25/10	28/2
31	5/11	10/3
32	15/11	20/3
33	25/11	30/3
34	5/12	9/4
35	15/12	19/4
36	25/12	29/4
1	5/1	9/5
2	15/1	19/5
3	25/1	30/5
4	5/2	10/6
5	15/2	20/6
6	25/2	30/6

As datas marcadas em vermelho representam o calendário de plantio adotado pelo MAPA.

4 RESULTADO E DISCUSSÃO

Utilizando os dados atuais (EMB, FAL e NOR) e das projeções do IPCC para o período de 2070 a 2099 (CA2 e CB2), foi possível calcular o balanço hídrico do solo e avaliar o impacto dos cenários futuros no balanço hídrico da cultura da soja. A partir disso foi realizada as análises comparativas da temperatura, precipitação, ETP, excedente e déficit hídrico, assim como dos ISNAs, demonstradas a seguir.

4.1 ANÁLISE DOS BALANÇOS HÍDRICOS

4.1.1 Temperaturas

A comparação entre as séries de temperatura atuais e a série normal indica que a série EMB apresentou valores de temperatura média mensal acima da série NOR, enquanto que a série FAL apresentou valores mais baixos durante a maior parte do ano, principalmente nos meses mais frios (maio a agosto) (Tabela 5). As maiores variações entre as séries atuais ocorreram entre as séries EMB e FAL, com diferenças superiores a 2°C nos meses de junho a setembro (Figura 4). As diferenças de altitude (1159,5, 1080 e 1007 m para NOR, FAL e EMB, respectivamente) pode ser um dos fatores que explicam as diferenças de temperatura. Entretanto, deve-se levar em consideração também o grau de urbanização da área de cada estação: próximo à região onde os dados que produziram a série NOR foram tomados há um maior impacto da urbanização, o que pode estar refletido no aumento das temperaturas médias anuais.

Acrescentando as estimativas de temperatura feitas para os cenários futuros CA2 e CB2 nas comparações, é possível observar uma variação expressiva entre as séries históricas e os cenários futuros, principalmente em relação à série FAL (Figura 5). As diferenças máximas observadas foram de 7,6 e 7,7 °C entre FAL e CA2, e entre FAL e CB2, respectivamente. Como esperado, as séries CA2 e CB2 apresentaram os maiores valores de temperaturas médias mensais para os trinta anos em estudo, entretanto não apresentaram diferenças consideráveis entre si. Isto pode ser analisado posteriormente de forma mais detalhada, uma vez que o comportamento parecido das duas séries não era o esperado. A separação dos trinta anos de dados em pequenas séries de cinco ou dez anos pode mostrar um comportamento diferenciado, reduzindo o impacto dos valores do início da série, comparativamente mais baixos, na ponderação da média total.

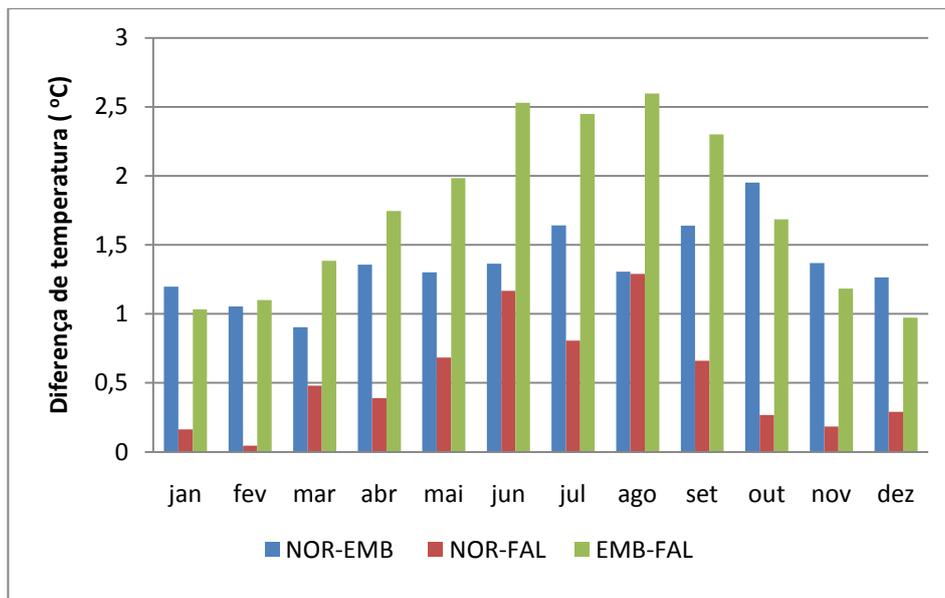


Figura 4 Diferenças entre as temperaturas médias mensais das séries de dados estudadas: séries atuais (EMB e FAL) e série normal (NOR).

Nota-se que para a série CA2, a média das temperaturas máximas do mês de janeiro, por exemplo, mudou de 28,9°C nos primeiros quinze anos para 30,5°C nos quinze anos seguintes. O mesmo comportamento foi observado nos outros meses e para as temperaturas médias e mínimas. A série CB2, analisada em períodos curtos (de 5 anos), também apresentou este aumento das médias, entretanto, em menores proporções que a série CA2.

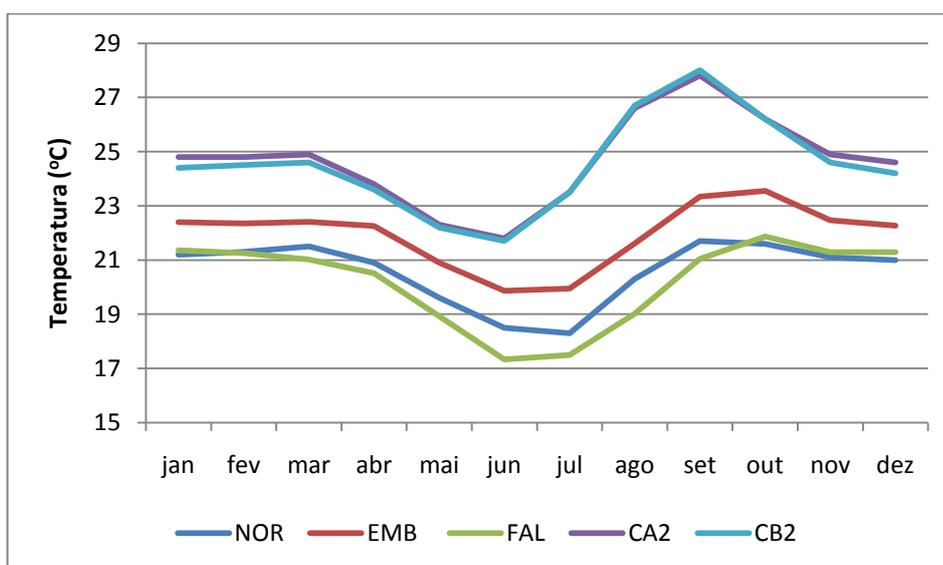


Figura 5 Temperaturas médias mensais das séries em estudo.

Tabela 5 Temperaturas médias mensais das séries em estudo.

	NOR	EMB	FAL	CA2	CB2
jan	21,2	22,4	21,4	24,8	24,4
fev	21,3	22,4	21,3	24,8	24,5
mar	21,5	22,4	21,0	24,9	24,6
abr	20,9	22,3	20,5	23,8	23,6
mai	19,6	20,9	18,9	22,3	22,2
jun	18,5	19,9	17,3	21,8	21,7
jul	18,3	19,9	17,5	23,5	23,5
ago	20,3	21,6	19,0	26,6	26,7
set	21,7	23,3	21,0	27,8	28,0
out	21,6	23,6	21,9	26,2	26,2
nov	21,1	22,5	21,3	24,9	24,6
dez	21,0	22,3	21,3	24,6	24,2
ano	20,6	22,0	20,2	24,7	24,5

4.1.2 Precipitação

A análise dos totais mensais de precipitação está apresentada na Figura 6. Observam-se alterações nas séries futuras em relação à série atual (CAT). A principal observação é que enquanto no CAT o período de estiagem (precipitação mensal menor do que 50 mm) inicia-se em maio encerrando em setembro, nos cenários futuros ocorre a antecipação deste período, que passa ser de abril a julho para a série CB2, e de maio a agosto para a série CA2. Essas modificações resultam em um mês a mais no período de seca (Figura 6a) em ambos os cenários futuros. No início do período chuvoso (entre os meses de setembro e dezembro), a precipitação mensal é, em geral, maior nos cenários futuros do que na série atual. Na comparação entre os cenários futuros, observa-se que o cenário CA2 apresenta maiores taxas de precipitação durante o ano, com exceção aos meses de agosto a outubro.

Na análise dos totais anuais, a série CAT apresentou um valor intermediário, 1446,2 mm, em relação aos cenários, onde a série CA2 totalizou 1500,8 mm e a série CB2, 1327,2 mm (Tabela 6). Assim, não se observa redução drástica no volume total anual de precipitação (Figura 6b).

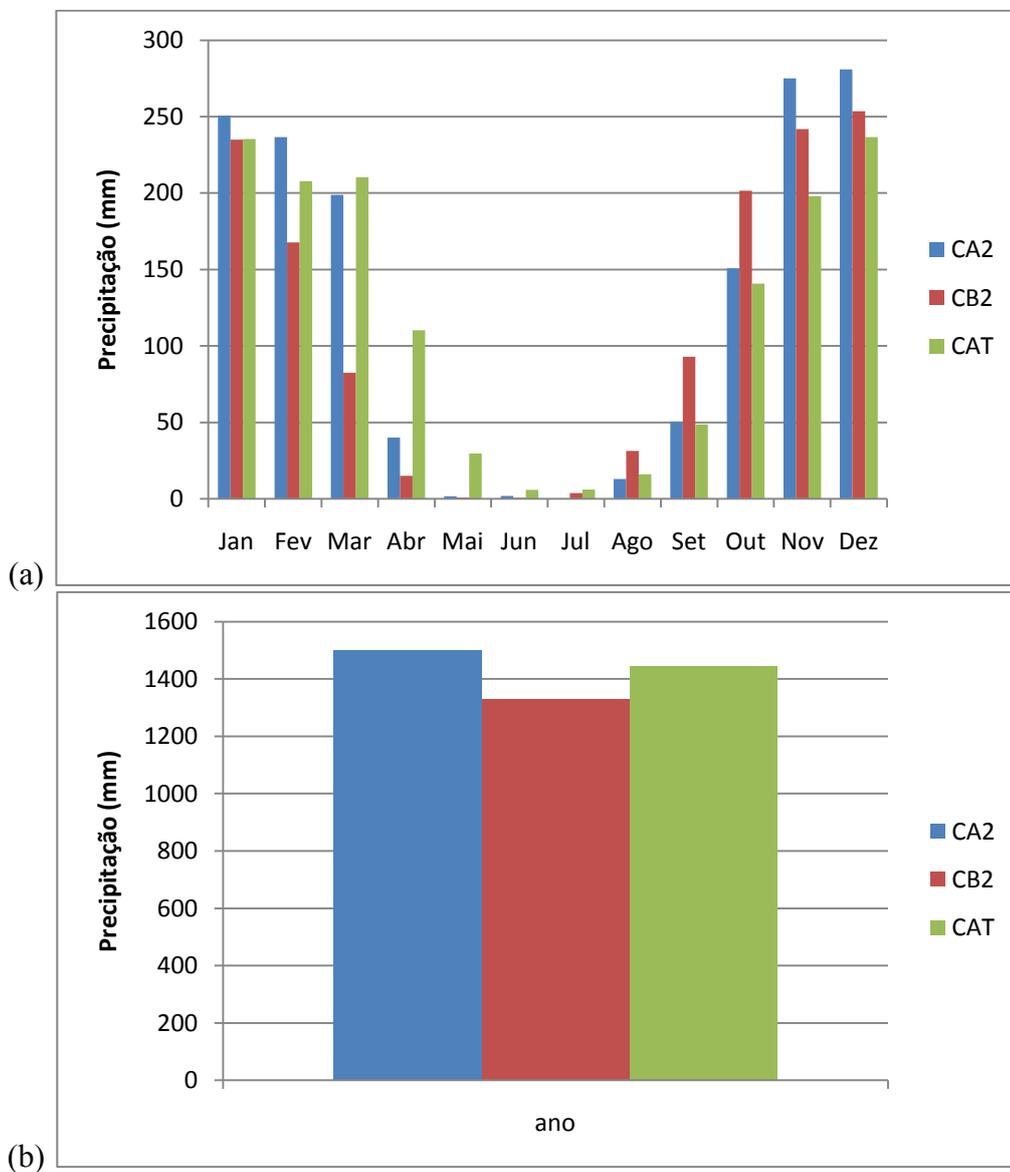


Figura 6 Precipitação acumulada das séries estudadas – série anual (CAT) e séries dos cenários futuros (CA2 e CB2): a) totais mensais; b) total anual.

Tabela 6 Precipitação média mensal das séries em estudo.

	CAT	CA2	CB2
jan	235,4	250,7	234,9
fev	207,9	236,7	167,8
mar	210,4	198,9	82,6
abr	110,4	40,2	15,0
mai	29,8	1,7	1,0
jun	5,9	1,9	0,7
jul	6,2	0,2	3,9
ago	16,2	13,0	31,3
set	48,7	50,6	93,0
out	140,8	150,8	201,6
nov	198,0	275,1	241,9
dez	236,6	281,0	253,5
ano	1446,2	1500,8	1327,2

4.1.3 Evapotranspiração Potencial

O cálculo da ETP utilizando o método de Thornthwaite (Figura 7) indica que ocorreram variações significativas entre as séries atuais e as séries futuras. Observa-se um aumento nas taxas de evapotranspiração das séries futuras, principalmente nos meses de agosto, setembro e outubro, onde atingem valores quase 100% maior que das séries atuais.

Como exemplo, no mês de setembro as séries CB2 e CA2 atingiram valores de ETP 94,1% e 90,2% maiores que a série FAL no mesmo mês, respectivamente (Tabela 7). Essa grande variação pode ser explicada pela elevação de temperatura prevista para os dois cenários futuros, já que para o cálculo da evapotranspiração potencial, o método de Thornthwaite correlaciona a evapotranspiração com a temperatura média e o fotoperíodo do local.

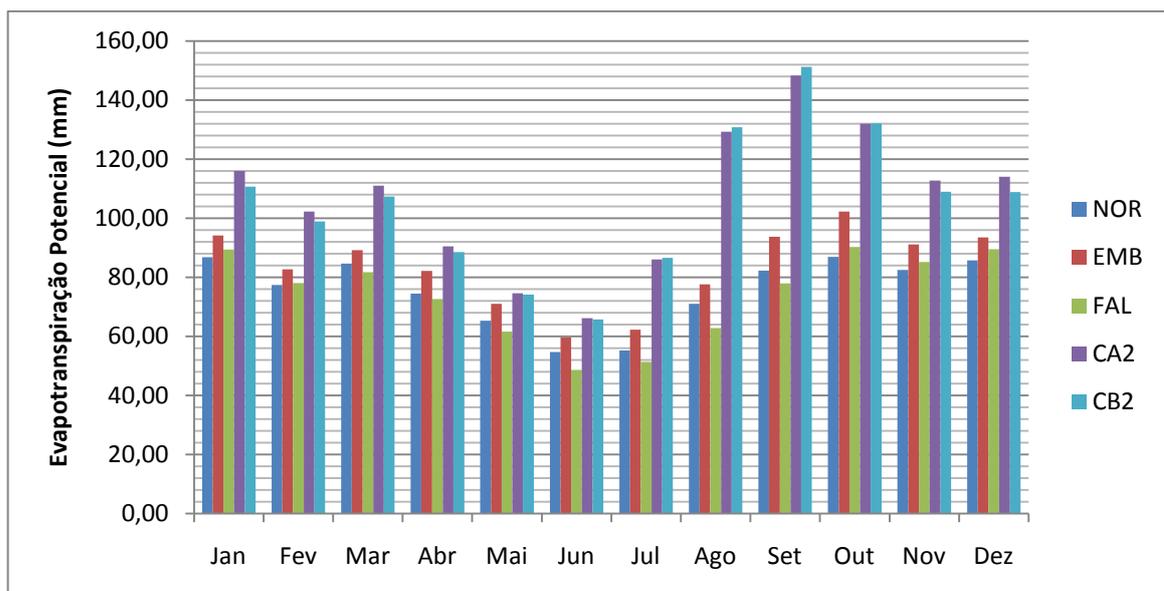


Figura 7 Evapotranspiração potencial mensal (ETP) das séries em estudo calculada pelo método de Thornthwaite.

Tabela 7 Evapotranspiração Potencial média mensal das séries em estudo

	NOR	EMB	FAL	CA2	CB2
jan	86,8	94,2	89,4	115,9	110,7
fev	77,4	82,7	78,0	102,3	98,9
mar	84,7	89,1	81,7	111,0	107,3
abr	74,5	82,1	72,6	90,4	88,6
mai	65,2	71,0	61,6	74,6	74,1
jun	54,7	59,6	48,7	66,1	65,8
jul	55,2	62,2	51,3	86,1	86,5
ago	71,0	77,6	62,8	129,3	130,8
set	82,2	93,7	77,9	148,2	151,2
out	86,9	102,3	90,3	131,9	132,0
nov	82,5	91,1	85,2	112,7	109,0
dez	85,7	93,5	89,4	114,0	108,8

4.1.4 Balanço Hídrico

Nos balanços hídricos climatológicos (BH) é possível observar o resultado conjunto da variação da precipitação e da temperatura, através da ETP. Na Figura 8 são apresentados os BHs calculados para as séries NOR e cenários futuros. Assim como na Figura 6a, foi observado um aumento do período de estiagem, com um prolongamento do período de

deficiência hídrica, por um mês para a série CA2 e por dois meses para a série CB2 em relação à série NOR.

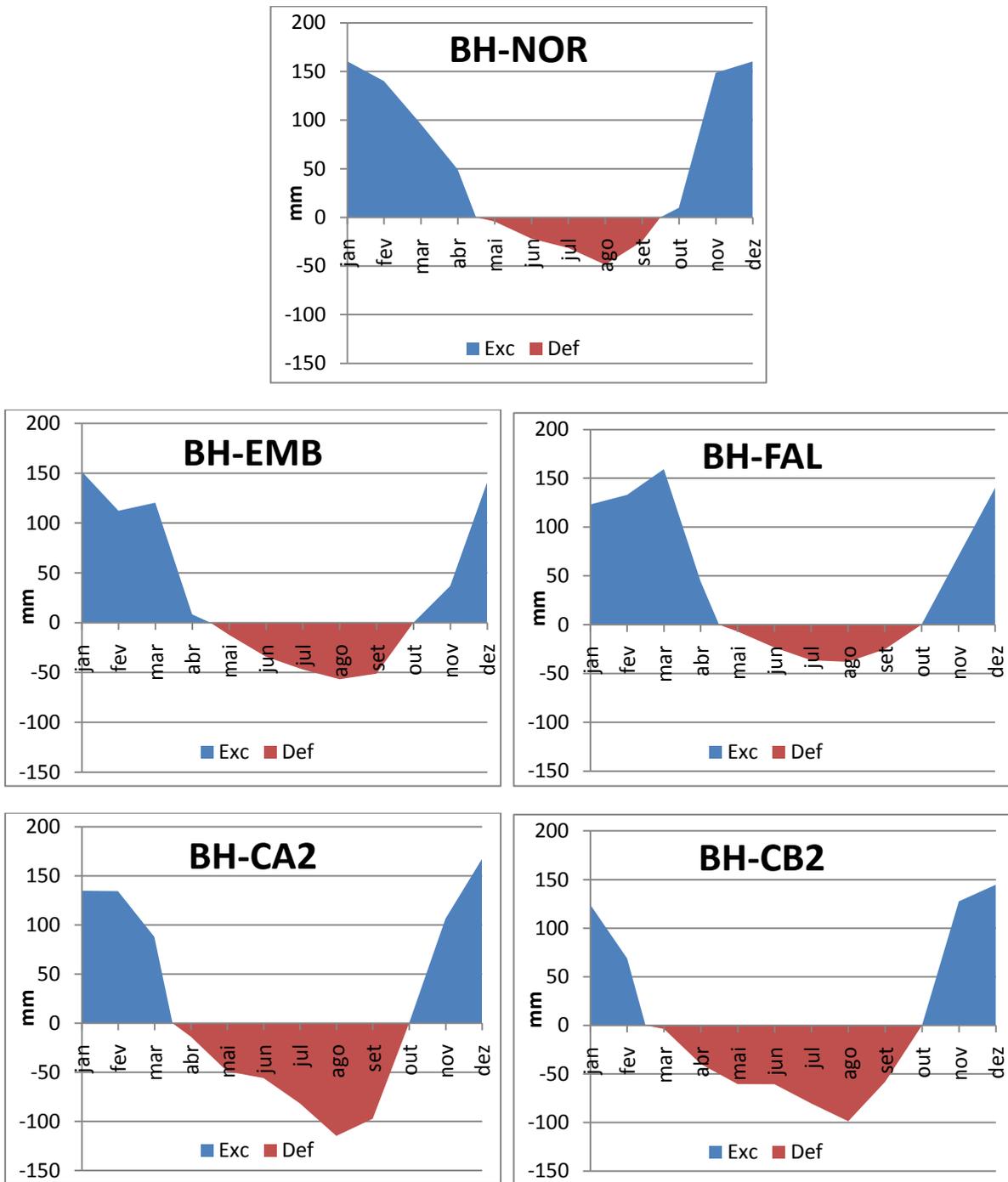


Figura 8 Balanços hídricos médios

Na comparação entre as séries atuais (EMB e FAL) e a série NOR, observa-se que os valores de déficit hídrico em EMB apresentaram as maiores variações (8 a 26 mm em maio e setembro), enquanto que o FAL apresentou menores valores de déficit hídrico. As diferenças

entre os déficits hídricos EMB e FAL totalizaram 71 mm no ano, indicativo da variação da precipitação e da ETP nas duas regiões (Tabela 8).

Tabela 8 Déficit hídrico mensal para as séries em estudo (média de toda a série de dados).

	NOR	EMB	FAL	CA2	CB2
jan	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
fev	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
mar	0,0	0,0	0,0	0,0	-3,7
abr	0,0	0,0	0,0	-13,6	-39,9
mai	-4,2	-12,1	-6,9	-49,0	-60,5
jun	-21,9	-34,0	-23,3	-55,9	-60,6
jul	-31,4	-46,9	-36,4	-81,7	-80,5
ago	-48,7	-56,6	-38,1	-114,8	-98,7
set	-24,8	-51,1	-25,3	-97,3	-58,1
out	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
nov	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
dez	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ano	-131,1	-200,7	-130,1	-412,3	-401,9

A comparação entre os cenários futuros indica pequena diferença entre os déficits hídricos de CA2 e CB2, totalizando 10 mm no ano, porém a distribuição das chuvas projetadas ao longo do ano é bastante variável, refletindo num maior déficit na primeira metade do ano para a série CB2, e na segunda metade para a série CA2. Em relação às séries atuais e à série normal, observou-se que as maiores diferenças ocorreram em relação à série CA2, como esperado, resultando em aumento do déficit anual em 282, 281 e 212 mm para FAL, NOR e EMB, respectivamente (Tabela 8).

O excedente hídrico que ocorre nos meses de verão apresentou maiores valores na série NOR, alcançando o máximo de 160 mm em janeiro e dezembro. Valores comparáveis foram observados no FAL, chegando a 159 mm em março. Na comparação da série normal com as duas séries atuais foi observada uma maior variação do total anual entre NOR e EMB, com uma diferença de 193 mm. Entre CA2 e CB2 foi observada uma diferença de até 88 mm no mês de março, sendo que CA2 apresentou valores maiores de excedente hídrico mensal do que CB2, com exceção do mês de novembro, totalizando 165 mm no ano. Em relação à série NOR, o CA2 foi o que apresentou maiores alterações, tendo sido observada a diminuição dos totais de excedente hídrico em 134 mm (Tabela 9).

Tabela 9 Excedente hídrico mensal para as séries em estudo (média de toda a série de dados).

	NOR	EMB	FAL	CA2	CB2
jan	160,6	152,0	123,1	134,8	124,2
fev	140,1	112,4	133,0	134,4	68,9
mar	95,9	120,5	159,3	87,9	0,0
abr	49,3	8,4	44,2	0,0	0,0
mai	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
jun	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
jul	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ago	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
set	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
out	9,8	0,0	0,0	0,0	0,0
nov	148,6	36,9	70,2	106,4	127,6
dez	160,3	140,8	140,2	167,0	144,7
ano	764,6	570,9	670,0	630,5	465,5

A análise conjunta das variáveis estudadas e dos balanços hídricos indica uma importante alteração na hidrologia da região do PAD/DF nos cenários futuros modelados. Tais alterações deve se refletir em alterações nos períodos de cultivo das culturas anuais, como apresentado a seguir para a cultura da soja.

4.2 ANÁLISE DOS ISNAs

O período de plantio da soja indicado pelo MAPA para a região do DF – entre outubro e dezembro – é definido a partir do cálculo do ISNA nos períodos de floração e enchimento de grãos (EVANGELISTA et al. 2009). Como foram observadas alterações nos períodos de deficiência e excedente hídrico nos cenários futuros, neste estudo o cálculo dos ISNAs foi realizado para decêndios no período de agosto a fevereiro. Desta forma buscou-se verificar se as alterações observadas no balanço hídrico climatológico se refletiriam também nas recomendações de época de plantio da soja, com baixo risco de perda de produção.

A análise do ISNA na fase de floração e enchimento de grãos para os cenários CA2 e CB2 indica que existiriam outras datas possíveis para plantio, diferentes das atuais recomendadas, ou seja, com 80% de probabilidade de ocorrência, o ISNA seria $\geq 0,65$ durante a fase de floração e enchimento de grão. Antes de discuti-las, e visando a confirmação da possibilidade do plantio, fez-se necessário observar se existiria a satisfação da demanda hídrica (ISNA satisfatório) também para a fase de germinação e emergência. Segundo DORENBOOS e KASSAM (1979), para a primeira fase fenológica da soja, os valores de

ISNA para que não haja danos para a planta, está compreendido entre 0,15 a 0,5, ou seja, de 15 a 50% da necessidade hídrica deve ser satisfeita. Admitiu-se o valor de 0,5 para este trabalho.

A Tabela 10 apresenta os valores de ISNA calculados pelo programa SARRA para as fases de germinação/emergência e floração/enchimento de grãos para os cenários EMB, CA2 e CB2, enquanto que as Figuras 9, 10 e 11 mostram o período de plantio da soja com baixo risco de perda de produção para a região do PAD/DF de acordo com os valores de ISNA calculados. Deve-se observar que as datas apresentadas na tabela e nas figuras citadas indicam o ponto médio dos decêndios analisados – dias 5, 15 e 25 de cada mês – e que foram utilizados pelo SARRA para o cálculo do ISNA.

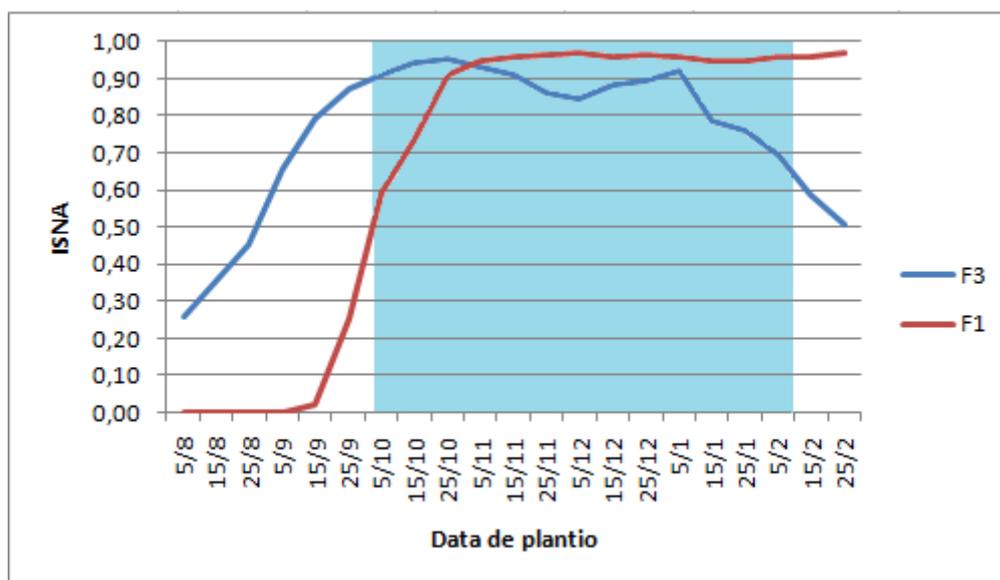


Figura 9 Variação dos valores de ISNA ao longo do período de simulação para a série EMB: (F1) corresponde ao período de germinação e emergência e (F3) ao período de floração e enchimento de grãos. A região sombreada indica a época de plantio com baixo risco de perda de produção.

A análise conjunta dos valores do ISNA indica que no cenário EMB, existe a possibilidade de plantio com sucesso se este ocorrer desde o primeiro decêndio de outubro até o primeiro decêndio de fevereiro. Isto significa um período de 13 decêndios, resultado próximo ao encontrado por EVANGELISTA et al. (2009) que menciona uma janela de plantio iniciando no segundo decêndio de outubro e terminando no segundo decêndio de janeiro. A diferença de 10 dias no início e 20 dias ao final do período favorável ao plantio observada deve-se principalmente ao valor da CAD utilizada nos dois trabalhos: naquele estudo, os cálculos e simulações foram realizados com CAD igual a 60 mm/m.

A análise do cenário CA2 indica que, comparado ao cenário EMB deste estudo, a janela de plantio diminuiria em um decêndio, encerrando-se no terceiro decêndio de janeiro. Já para o cenário CB2 ocorreria a antecipação do início da janela de cultivo em um decêndio, assim como a antecipação no final do período ideal, encerrando-se no terceiro decêndio de dezembro.

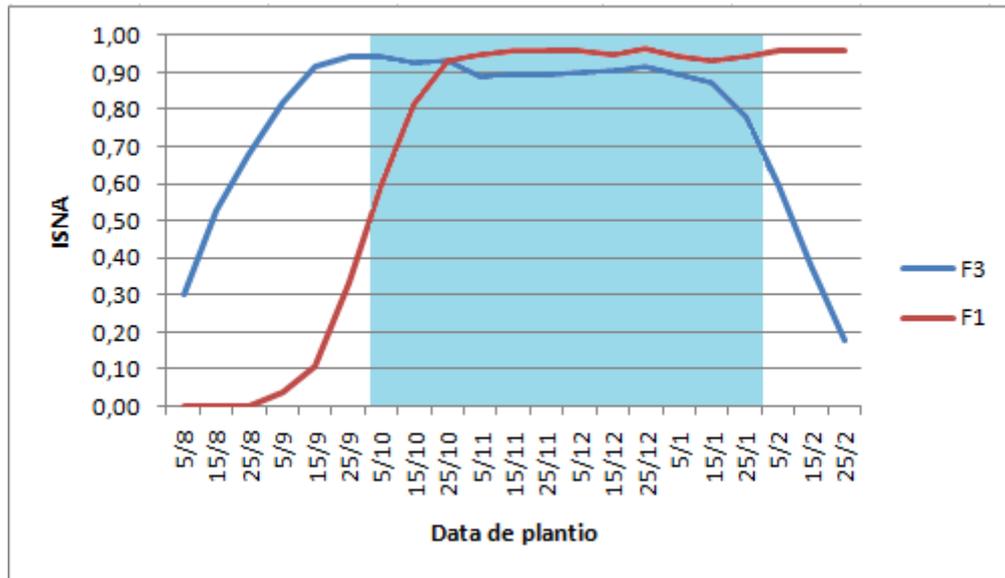


Figura 10 Variação dos valores de ISNA ao longo do período de simulação para a série CA2: (F1) corresponde ao período de germinação e emergência e (F3) ao período de floração e enchimento de grãos. A região sombreada indica a época de plantio com baixo risco de perda de produção.

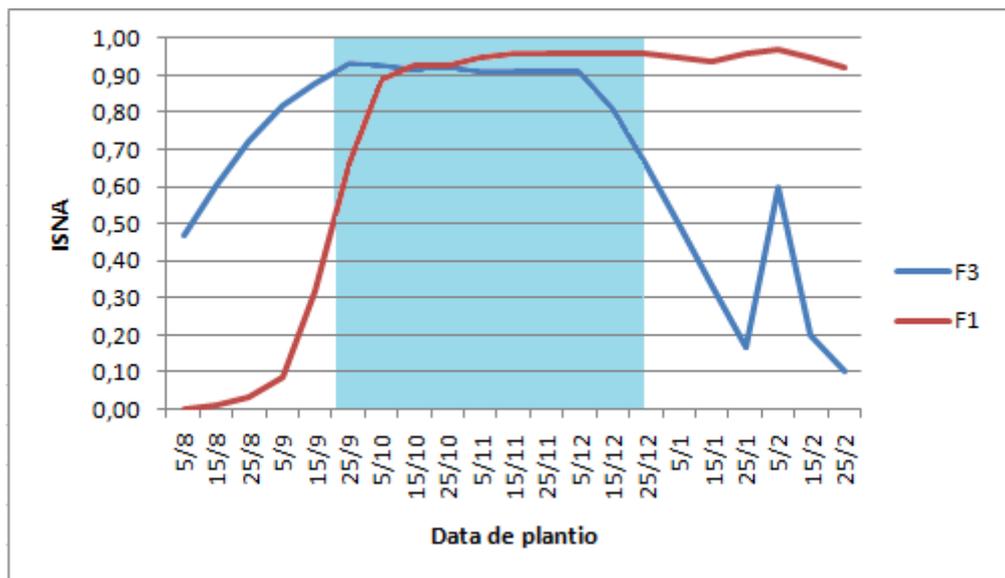


Figura 11 Variação dos valores de ISNA ao longo do período de simulação para a série CB2: (F1) corresponde ao período de germinação e emergência e (F3) ao período de floração e enchimento de grãos. A região sombreada indica a época de plantio com baixo risco de perda de produção.

Tabela 10 ISNAs da soja nas fases de floração e enchimento de grãos para todo o período de simulação.

Data de plantio	ISNA ¹ Germinação e Emergência			ISNA ¹ Floração e Enchimento de Grãos		
	EMB	CA2	CB2	EMB	CA2	CB2
5/8	0,00	0,00	0,00	0,26	0,30	0,47
15/8	0,00	0,00	0,01	0,35	0,53	0,60
25/8	0,00	0,00	0,03	0,45	0,68	0,72
5/9	0,00	0,04	0,09	0,66	0,82	0,82
15/9	0,02	0,11	0,32	0,79	0,92	0,88
25/9	0,25	0,33	0,66	0,87	0,94	0,93
5/10	0,59	0,60	0,89	0,91	0,94	0,93
15/10	0,73	0,81	0,93	0,94	0,93	0,92
25/10	0,91	0,93	0,93	0,95	0,93	0,92
5/11	0,95	0,95	0,95	0,93	0,89	0,91
15/11	0,96	0,96	0,96	0,91	0,89	0,91
25/11	0,96	0,96	0,96	0,86	0,89	0,91
5/12	0,97	0,96	0,96	0,85	0,90	0,91
15/12	0,96	0,95	0,96	0,88	0,91	0,81
25/12	0,96	0,97	0,96	0,89	0,92	0,66
5/1	0,96	0,94	0,95	0,92	0,89	0,50
15/1	0,95	0,93	0,94	0,79	0,87	0,33
25/1	0,95	0,94	0,96	0,76	0,78	0,17
5/2	0,96	0,96	0,97	0,70	0,60	0,60
15/2	0,96	0,96	0,95	0,59	0,38	0,20
25/2	0,97	0,96	0,92	0,50	0,18	0,10

¹ Os períodos marcados em vermelho indicam a janela de plantio da soja recomendada pelo MAPA para o DF. Os valores em azul indicam os períodos aptos ao plantio de acordo com este estudo, para a região do PAD/DF.

O zoneamento agroclimático do MAPA considera dois tipos de solo para plantio da soja no DF (Portaria 225/2010), onde o primeiro, solo tipo 2, é um solo de textura média, com CAD igual a 40 mm/m, e o segundo, solo tipo 3, é um solo de textura argilosa, com CAD igual a 60 mm/m. A recomendação de plantio com baixo risco de perda de produção para fins de crédito e seguro rural é feita de forma a unificar o calendário de semeadura independentemente do tipo de solo cultivado. Assim, segundo o MAPA a janela de plantio recomendada para a região do DF corresponde ao período de 1º de outubro a 31 de dezembro. Apesar de não haver diferenciação dos tipos de solo quanto ao período de plantio recomendado, ressalta-se que as comparações feitas neste trabalho estão mais relacionadas ao solo tipo 3 utilizado pelo MAPA (textura argilosa, CAD 60 mm/m), já que os solos de maior abrangência no PAD/DF apresentam textura argilosa e CAD média 75 mm/m.

Assim, na comparação entre as recomendações que constam da Portaria 225/2010 do MAPA e este trabalho, existem diferenças entre as janelas de plantio com baixo risco de perda, com um aumento de quatro decêndios deste para aquele trabalho.

De qualquer forma, independentemente do cenário futuro considerado, pode-se esperar a ocorrência de mudanças nas recomendações do calendário de plantio da soja na região do PAD-DF, já que o regime hídrico previsto é diferente do atual.

5 CONCLUSÃO

Este estudo indicou que, quanto às temperaturas, os dois cenários futuros testados poderão ter grande impacto nas médias locais. As precipitações, de modo geral, também poderão sofrer modificações no seu comportamento. Isto porque o maior volume precipitado se deslocaria do primeiro para o segundo semestre do ano, provocando inclusive a modificação do período de estiagem na região. Quanto ao total anual, percebe-se que poderão não ocorrer mudanças drásticas, na comparação do cenário atual com os futuros, entretanto é importante salientar que não existe consenso na comunidade científica quanto à eficácia de previsão do comportamento das precipitações nos diversos modelos utilizados.

É projetado um aumento considerável nas taxas de evapotranspiração potencial, principalmente nos meses de agosto, setembro e outubro, para ambos os cenários futuros, uma vez que nesses meses deverão ocorrer os maiores aumentos nas temperaturas médias. Das análises do balanço hídrico conclui-se que, para a região do PAD/DF, poderá ocorrer um aumento considerável no déficit hídrico em qualquer dos cenários futuros, sendo o cenário A2 o que apresenta maiores valores. Quanto ao excedente hídrico, nota-se que os cenários futuros apresentam valores inferiores aos cenários atuais.

Quanto aos períodos indicados para o plantio da soja no PAD/DF, os valores do ISNA calculados permitem concluir que, para o cenário CB2, a janela de plantio teria seu início adiantado em dez dias, quando comparado com as atuais recomendações do zoneamento agrícola do MAPA (Portaria 225/2010), com término na mesma época de recomendação (de 20 de setembro a 31 de dezembro versus 1º de outubro a 31 de dezembro). Para o cenário CA2, a janela de plantio se iniciaria na mesma época indicada nas recomendações da Portaria, com seu término um mês após (1º de outubro a 31 de janeiro).

Na comparação do cenário EMB analisado neste trabalho com as recomendações do MAPA, observou-se um acréscimo de quarenta dias ao final do período recomendado pela Portaria, resultando no período ótimo entre 1º de outubro e 10 de fevereiro para plantio da soja com baixo risco de perdas de produção no PAD/DF. Já os cenários CB2 e CA2 em relação ao cenário EMB, apresentariam uma redução na janela de plantio, de 30 e 10 dias, respectivamente.

Com este trabalho é possível observar a importância da análise regional da disponibilidade hídrica para as culturas, fator de suma importância para o zoneamento de risco agroclimático. Levando isso em consideração e a importância do zoneamento para o desenvolvimento de políticas agrícolas e concessão de crédito e seguro rural, espera-se que este trabalho seja útil como base para novos estudos no sentido de focalizar o zoneamento do DF em regiões menores. Isto porque existe uma grande diversidade de tipos de solo assim como variabilidade na precipitação. Em relação aos impactos das mudanças climáticas observados, espera-se que este trabalho possa colaborar no esclarecimento das possíveis alterações do zoneamento de risco para a cultura da soja, servindo tanto de guia para tomada de decisões futuras como também de incentivo a novas pesquisas no assunto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDREWS, C. H. **Some aspects of pod seed development in lee soybeans**. Mississipi, 1966. 75p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Mississipi State University. 1966.
- ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; ZULLO JR, J.; MARIN, F.; PELLEGRINO, G. Mudanças Climáticas e a Produção de Grãos no Brasil: Avaliação dos Possíveis Impactos. **Plenarium**, v.5, n.5, p. 96-117, out., 2008.
- BARON, C.; CLOPES, A. **Sistema de Análise Regional dos Riscos Agroclimáticos (SARRAMET/SARRAZON)**. Centro de Cooperação Internacional em Pesquisa Agronômica para o Desenvolvimento. SARRA. CIRAD, França. 1996.
- BERLATO, M. A.; GONÇALVES, H. M. Efeito da temperatura no desenvolvimento da soja (*Glycine max* (L.) Merrill). **Agronomia Sulriograndense**, Porto Alegre, v.14, n.2, p. 235-242, 1978.
- BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Aprova o Zoneamento Agrícola para a cultura de soja no Distrito Federal, ano-safra 2010/2011. **Portaria nº 255**, de 14 de julho de 2010.
- COMISSÃO MISTA ESPECIAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. Congresso Nacional. **Relatório Final**. Brasília, 2008. Relatório.
- COMITÊ INTERMINISTERIAL SOBRE MUDANÇA DO CLIMA, Governo Federal, **Plano Nacional Sobre Mudança do Clima**, Brasília, 2008. Relatório.
- CONAB: **Acompanhamento de Safra Nacional: Grãos**. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_06_09_08_50_47_graos_-_boletim_junho-2011..pdf. Acesso em 04 de Julho de 2011.
- CORDEIRO, L. A. M., GALERANI, P. R., DOSSA, D., AMARAL, D. D. DO. Plano Nacional para consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura. *Revista Plantio Direto*, Rio Grande do Sul, v. 121, janeiro/fevereiro de 2011.
- D`ANGIOLELLA, G. L. B.; VASCONCELLOS, V. L. D. BHídrico GD 4.0 – 2004: planilha eletrônica para cálculo do balanço hídrico climatológico. **Bahia Agríc.**, v.6, n.3, p. 14-16. nov 2004.
- DELOUCHE, J. C. Planting seed quality. In: BELTIWIDE COTTON PRODUCTION MECHANIZATION CONFERENCE, Memphis, 1969. **Summary proceeding...** New Orleans: National Cotton Council of America, 1969. p.16-18.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. Rome, FAO, 1979. 197p. (Irrigation and Drainage Paper, 33)
- EMATER DF, **IPAGRÍCOLA DF (Informativo da Produtividade Agrícola do Distrito Federal)**. Brasília, 2011.

EMBRAPA. **Receituário Técnico para a cultura da soja na Região Central do Brasil**. Londrina: Fundação MT, 2000/2001, p. 48-110.

EVANGELISTA, B. A.; LUNARDI, R.; SILVA, F. A. M. da; MÜLLER, A. G.; LOPES, T. S. de S. Efeito da Variabilidade Climática Sobre Zoneamento de Riscos Climáticos da Cultura da Soja no Distrito Federal. **Anais do XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**, Belo Horizonte, 2009.

FARIAS, J. R. B.; ASSAD, E. D.; ALMEIDA, I. R. de; EVANGELISTA, B. A.; LAZZAROTTO, C.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L. Caracterização de risco de déficit hídrico nas regiões produtoras de soja no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v.9, n.3, (Nº Especial: Zoneamento Agrícola), p.415-421, 2001.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2000. **IPCC Special Report: "Emissions Scenarios" Summary for Policymakers**. UNEP, Nairobi, Kenia. 27p.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2007a. **Climate Change 2007: Synthesis Report**. Cambridge University Press, Cambridge. 133p.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2007b. **Climate Change 2007: "The Physical Science Basis" Report**. Cambridge University Press, Cambridge. 996p.

MARCOVITCH, J. (Coord.) **Economia da Mudança do Clima no Brasil: Custos e Oportunidades**. São Paulo: IBEP Gráfica, 2010.

MARENGO, J. A. **Mudanças Climáticas Globais e seus Efeitos sobre a Biodiversidade Global**: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006.

MARENGO, J. A. Água e mudanças climáticas. **Estud. av.**, São Paulo, vol.22, no.63, 2008.

MENDES, M. C. D.; CAVALCANTI, I. F. de A.; TRIGO, R. M.; MENDES, D.; DACAMARA, C. do C.; ARAGÃO, M. R. da S. Episódios de bloqueios no hemisfério sul: comparação entre reanálises do NCEP/NCAR e modelo HADCM3 **Rev. bras. meteorol.** São Paulo, vol.24, no.3, set. 2009.

MENDONÇA, F. e DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 206p.

MITCHELL, J. F. B.; JOHNS, T. C.; SENIOR, C. A. 1998. **Transient response to increased greenhouse gases using models with and without flux adjustment**. Technical report, Hadley Centre, UK Met Office, Bracknell, UK

MORAN, J. M. e MORGAN, M. D. **Meteorology: The Atmosphere and the Science of Weather**. 5ª Edição. New Jersey: Prentice-Hall, 1997. 530p.

MUDANÇAS CLIMÁTICAS: **Olhar em profundidade**. Disponível em: www.mudancasclimaticas.andi.org.br. Acesso em: 01 de Julho de 2011.

NOBRE, C. A.; SAMPAIO, G.; SALAZAR, L. Mudanças climáticas e Amazônia, **Cienc. Cult.** São Paulo, v. 59, n 3, Jul - Set. 2007.

PELLEGRINO, G. Q., ASSAD, E. D., MARIN, F. R. Mudanças Climáticas Globais e a Agricultura no Brasil. **Revista Multiciência**, Campinas, Edição no. 8, Maio 2007.

PEARSON, P N.; PALMER, M. R. "Atmospheric carbon dioxide concentrations over the past 60 million years". **Nature**, vol 406 (6797), p. 695–699, ago. 2000.

PEIXOTO, A. A. P. **Mudanças Climáticas e suas Influências na Disponibilidade Hídrica do Solo e seu Impacto no Plantio de Baixo Risco da Cultura do Feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) no Distrito Federal.** Brasília 2010. 44p. Monografia de conclusão de curso. Universidade de Brasília, DF.

REATTO, A.; CORREIA, J.R.; SPERA, S.T.; CHAGAS, C.S.; MARTINS, E.S.; ANDAHUR, J.P.; GODOY, M.J.S. & LOPES ASSAD, M.L. **Levantamento pedológico semidetalhado da Bacia do rio Jardim (DF):** ficha de descrição dos perfis e mapa de solos da bacia do Rio Jardim, DF (escala 1:50.000). Planaltina, 2000. CD ROM

SCHNEIDER, F. M.; SACCOL, A. V.; HELDWEIN, A. B.; BURIOL, G. A. In: SANTOS, O. S. dos (coord). **A Cultura da Soja, 1: Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná.** Globo, Rio de Janeiro, 1988, p. 39-58.

SILVA, F. A. M. da; **Parametrização e Modelagem do Balanço Hídrico em Sistema de plantio Direto no Cerrado Brasileiro.** 2004. 218 f.. Dissertação (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

SOUSA, E. T. de; VASCONCELLOS, V. L. D.; ASSAD, E. D. **Simulação dos riscos climáticos no Distrito Federal para o plantio da soja de ciclo precoce e tardio.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 13., 2003, Santa Maria. Situação atual e perspectivas da agrometeorologia: anais. Santa Maria: UNIFRA: SBA: UFSM, 2003.

SPERLING, V., FERNANDES, V., MARQUES, J. R. **Relação Entre a Oscilação Decadal do Pacífico (Odp) e a Precipitação de Verão no Rio Grande do Sul,** XVIII Congresso de Iniciação Científica, XI Encontro de Pós-Graduação, I Mostra Científica, Universidade Federal de Pelotas, outubro de 2009

STERN, N. **Stern Review. The Economics of Climate Change,** UK, 2006. 267p.

THORNTHWAITE, C. W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, 38: 55-94.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. 1955. **The water balance.** Publications in Climatology, New Jersey. 104p.

VIEIRA, R. R. T. **Mudanças Climáticas e suas Influências na Disponibilidade Hídrica do Solo e seu Impacto no Plantio de Baixo Risco da Cultura do Milho (*Zea mays* L.) no**

Distrito Federal. Brasília 2010. 44p. Monografia de conclusão de curso. Universidade de Brasília, DF.

WILLIAMS, L. F. Structure and genetic characteristics of the soybean. In: MARKLEY, K.S. (ed.). Soybean and Soybean Products. v. 1, New York: **Interscience Publ.**, p. 111-134, 1950.

RECOMENDADA:

ANDERSON, I. C. e GIBSON, A. H. Soybean. In: EVANS, L. T. (ed.) **Crop Physiology. Some Cases Histories.** Cambridge University Press, Cambridge, p. 151-189. 1975

BLUCHEL, K. G. **A fraude do efeito-estufa: aquecimento global, mudança climática - os fatos.** Tradução de Hermann Lobmaier. São Paulo: PHL. 2008. 316 p. Título original: Der Klimaschwindel: Erderwärmung, Treibhauseffekt, Klimawandel - Die Fakten

EL-SHARKANWY, M. A. et HESKETH, J. D. Photosynthesis among species in relation to characteristics of leaf anatomy and CO₂ diffusion resistances. **Crop Sci.** 5: 517-521, 1965.

HUNTER, J. R. e ERICKSON, A. E. Relation of seed germination to soil moisture tension. **Agron. Journal.** 44: 107-109, 1952.

JOHNSON, L. C. Soil moisture use by soybean. **Agron. Journal.** 52: 687-689, 1960.

MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI / José A. Marengo – Brasília: MMA, 2006.**

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

MEDERSHI, H. J. e JEFFERS, D. L. Yield response of soybean varieties grown at two soil moisture stress levels. **Agron. Journal.** 65: 410-412, 1973.

PETERS, D. B. Water and water relations. p. 239-266. In: CADWELL, B. E. ed. **Soybeans Improvement, Production and Uses.** Amer. Soc. Inc. Publ. Madison, WISC. p. 239-266, 1973.

RASSINI, J. B. Efeitos de períodos de estiagens artificiais durante estágios desenvolvimento da planta no rendimento e qualidade do rendimento da soja. **Agronomia Sulriograndense,** Porto Alegre, 1981, 17 (2): 22 p. 225-237.

SALTER, P. J. e GOOGE, J. E. Crop responses to water at different stages of growth. Common Wealth. **Agron. Bureaux.** Farmhall Royal, Bucks, Engl., 246p., 1967.

SCOTT, W. e ALDRICH, S. R. **Producción moderna de la soja.** Editorial Hemisférico Sur, Buenos Aires, 1975, 192 p.