



UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE BIODIVERSIDADE E FLORESTAS
BACHARELADO EM AGRONOMIA

**PERSPECTIVAS DE IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS
PARA ÁREAS DE CULTIVO AGRÍCOLA NA REGIÃO DE
SANTARÉM - PA**

LAYSA MATHIAS DE JESUS

SANTARÉM, PARÁ

Junho de 2016



UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE BIODIVERSIDADE E FLORESTAS
BACHARELADO EM AGRONOMIA

**PERSPECTIVAS DE IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS
PARA ÁREAS DE CULTIVO AGRÍCOLA NA REGIÃO DE
SANTARÉM - PA**

Trabalho de Conclusão de Curso,
apresentado ao Instituto de Biodiversidade
e Florestas, da Universidade Federal do
Oeste do Pará, para a obtenção do título de
Bacharel em Agronomia.

Orientado: Laysa Mathias de Jesus.

Orientador: Prof. Dr. Gabriel Brito Costa

SANTARÉM, PARÁ

Junho de 2016



UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE BIODIVERSIDADE E FLORESTAS
BACHARELADO EM AGRONOMIA

LAYSA MATHIAS DE JESUS

**PERSPECTIVAS DE IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS
PARA ÁREAS DE CULTIVO AGRÍCOLA NA REGIÃO DE
SANTARÉM - PA**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao Instituto de Biodiversidade e Florestas, da Universidade Federal do Oeste do Pará, para a obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Aprovado em 16 de Junho de 2016

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Gabriel Brito Costa

UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ – UFOPA

Prof. Dr. Eloi Gasparin – 1º Examinador

UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ – UFOPA

Dra. Ana Carla dos Santos Gomes – 2º Examinador

UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ – UFOPA

Aos meus pais, Nara Mathias e Rony Borari, por acreditarem que educação é a base de tudo, e pelo amor incondicional, que não me fez desistir nos momentos difíceis.

Com muito amor, Dedico.

AGRADECIMENTOS

O Deus, por estar à frente de tudo o que faço, dando sabedoria e iluminando meus caminhos em todos os momentos de minha vida, não sendo diferente durante esse ciclo que aqui se encerra.

Ao meu pai Rony Borari, por todo amor dado, por ser minha grande inspiração e exemplo de vida, pelo apoio em cada momento ao longo desses anos, e principalmente por acreditar em mim.

A minha mãe Nara Mathias, por ter desistido dos estudos para que eu pudesse estudar, por todo apoio dado em cada momento de necessidade, pelo imenso amor e compreensão, por ser meu exemplo de persistência e dedicação, e por ser meu espelho e minha inspiração.

Ao professor e orientador Dr. Gabriel Brito Costa, por todo apoio e dedicação, mesmo em fins de semana e feriados, por todos os ensinamentos repassados, por toda sua paciência e compreensão ao longo do desenvolvimento deste Trabalho de Conclusão de Curso.

Aos todos os meus colegas da turma Agronomia 2011, por todo companheirismo e união ao longo do percurso acadêmico.

Ao meu grupo em especial, composto por Felipe Stelmachtchuk, Jaci Roecker, John Pontes, Jeremias Neto, Marcelo Diniz, Rafael Godinho, por toda sua amizade, por garantirem a diversão e trazerem alegria nos momentos mais complicados e não ter deixado desistir dos sonhos.

A Wendel Oliveira, em especial, por ter me ajudado em tudo em que precisei, por ter sido meu braço direito ao longo de nosso percurso acadêmico, por ter tido compreensão em minhas ausências, por ter sido um grande companheiro não somente dentro, mas fora do ciclo acadêmico, se mostrando um grande amigo com quem sempre se pode contar, e que jamais será esquecido.

A todos que direta e indiretamente, contribuíram para que eu concluísse este trabalho.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 - Aumento da temperatura em 1°C, 3°C e 5°C e o impacto na habilidade de produção agrícola brasileira.....	11
Figura 02 - Localização dos sítios de pesquisa	14
Figura 03 - Estrutura do modelo SiB2	17
Figura 04 - Cenários de mudança climática para a temperatura com o aumento em até 5°C.....	18
Figura 05 - Calibração do modelo SiB2, conseguindo reproduzir satisfatoriamente as condições presentes.....	19
Figura 06 - Cenários de mudança climática para o saldo de radiação horário	20
Figura 07 - Cenários de mudança climática para o fluxo de calor latente horário	21
Figura 08 - Cenários de mudança climática para evapotranspiração.....	21
Figura 09 - Cenários de mudança climática para o fluxo de calor sensível horário ...	22
Figura 10 - Mudança climática para o fluxo de CO ₂ horário.....	23
Figura 11 – Fluxograma para futuros cenários	24

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

BAEP – Boletim Agropecuário do Estado do Pará

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ENOS – El Niño Oscilação Sul

FAPESP – Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas do Pará

FLONA – Floresta Nacional do Tapajós

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

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

PRP – Precipitação Pluviométrica

SEDAP - Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e da Pesca

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo avaliar o impacto do aquecimento em até 5°C na temperatura do ar na região de Santarém-PA e em outras variáveis meteorológicas, como efeito das mudanças climáticas apontadas pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2007), fazendo uso de um modelo de interação Biosfera-Atmosfera (SiB2), utilizando dados do projeto LBA e calibração do modelo de interação Biosfera-Atmosfera Sib2 proposto por Llopart (2009), com intuito de inferir possíveis mudanças nas produtividades de soja e milho na região devido estas mudanças. O estudo mostrou que o modelo SiB2 calibrado para a Floresta Nacional do Tapajós representou de forma satisfatória os fluxos de calor latente, calor sensível, CO₂, evapotranspiração e saldo de radiação, podendo ser simulados futuros cenários satisfatoriamente para a região. As simulações possibilitaram perceber que as mudanças nos cenários terão um efeito negativo sobre produtividade de soja na região, quando se analisa temperatura e evapotranspiração como fator de limitação para a produtividade da cultura. Já para a cultura do milho, os futuros cenários não apresentam grandes riscos de perdas de produção, dadas as características tanto fisiológicas quanto anatômicas da cultura.

Palavras-Chave: Efeito estufa, milho, modelo de Interação Biosfera-Atmosfera produtividade, soja.

ABSTRACT

This study aimed to assess the impact of warming up to 5 °C in air temperature in Santarém-PA region and other meteorological variables, such effect of climate change highlighted by IPCC using a biosphere-atmosphere interaction model (SiB2), using LBA data and calibration of the Biosphere-Atmosphere SiB2 interaction model proposed by Llopart (2009), in order to infer possible changes on soybeans and corn productivity in the region due to these changes. The study showed that the SiB2 model calibrated to the Tapajós National Forest represented satisfactorily the latent heat flux, sensible heat, CO₂, evapotranspiration and radiation balance and can simulate real future scenarios for the region. The simulations enabled to realize that the changes in the scenarios will have a negative effect on soybean yield in the region, when analyzing temperature and evapotranspiration as a limiting factor for the culture productivity. As for the corn, future scenarios don't present a major risk of production losses, given the physiologic and anatomical characteristics of the culture.

Keywords: Biosphere-Atmosphere Interaction model, corn, greenhouse effect, soybean, productivity.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Necessidades agrometeorológicas da soja	3
1.1.1. Exigências Hídricas	3
1.1.2. Exigências Climáticas.....	5
1.2. Necessidades agrometeorológicas do milho	5
1.2.1. Exigências Hídricas	6
1.2.2. Exigências Climáticas.....	6
1.3. Modelos de interação Biosfera-Atmosfera	7
1.4. Mudanças climáticas e seus efeitos na agricultura	8
2. OBJETIVOS	12
2.1. Objetivo Geral.....	12
2.2. Objetivos Específicos	12
3. MATERIAL E MÉTODOS	13
3.1. Área de Estudo.....	13
3.2. Descrição do modelo SiB2	14
3.2.1. Parâmetros do bioma	16
3.2.2. Estrutura do modelo.....	16
3.2.3. Simulações	17
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	18
5. CONCLUSÃO	24
6. SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS.....	25
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26

1. INTRODUÇÃO

O município de Santarém, onde se encontram localizadas unidades de produção, agroindústrias beneficiadoras e a multinacional Cargill Agrícola S.A é hoje um dos maiores atuantes na produção agrícola paraense. Sabe-se que o preço da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) nessa região é estabelecido pela multinacional, por ser a única compradora do grão, segundo dados da Embrapa (2009). Deste modo os produtores de grãos locais visam principalmente aumentar suas produtividades através de técnicas inovadoras, reduzindo seus custos de produção e alcançando o tão almejado lucro.

Segundo dados do Boletim Agropecuário do Estado do Pará (BAEP, 2015), lançado em 2015 pela FAPESPA/SEDAP, o município de Santarém participou com uma significativa produção estadual de milho (*Zea mays* (L.)) no ano de 2013, totalizando 4,51% da produção, ficando atrás de municípios como Dom Eliseu (10,68%), Paragominas (7,17%), São Félix do Xingu (6,16%), Monte Alegre (5,50%) e Ulianópolis (4,72%), aparecendo em 6º colocado no ranking geral. No que diz respeito à produção de soja, conforme o BAEP (2015), o município aparece em 4º colocado do ranking estadual, com as maiores produções da oleaginosa, representando 7,54% da produção estadual, e como afirma El-Husny et al. (2001), Santarém caracteriza-se como município-pólo da microrregião do baixo Amazonas, ficando atrás apenas de Ulianópolis (15,95%), Santana do Araguaia (20,92%), e Paragominas (24,05%). Tal produção é equivalente a 6% da média nacional, mostrando o potencial da região na área de produção de grãos oleaginosos, como a soja.

A agricultura, conforme afirma o trabalho de Gornall et al., (2010) é uma atividade altamente influenciada pelas condições do tempo, que segundo Cruz et al., (2010) é a condição momentânea da atmosfera e envolvendo um período de observação relativamente curto e do clima, que segundo o mesmo autor é a representação do comportamento médio baseada em dados diários da condição atmosférica. Mudanças climáticas ameaçam potencialmente os sistemas de cultivo tradicionais, mas também proporcionam oportunidades para melhoras (GORNALL et al., 2010). Por isso, é de grande importância para a produtividade agrícola, que sejam realizados novos estudos de impacto resultantes das mudanças climáticas em agroecossistemas, contudo, muitas intempéries limitam tais estudos no campo, como por exemplo a falta de equipamentos, mão de obra e recursos financeiros. Há perspectivas de que estas mudanças climáticas

intensifiquem a ocorrência de eventos climáticos extremos, como o fenômeno ENOS (El Niño Oscilação Sul), caracterizado por um aquecimento anômalo das águas superficiais do oceano Pacífico, provocando alterações nos padrões de vento e no transporte de umidade na América do Sul (MARENGO, 2011). Tais eventos podem afetar diretamente a produtividade agrícola de determinadas culturas. No caso da soja em Santarém – PA, a produtividade não se mostra tão afetada por estes eventos, visto que a mesma mantém basicamente os mesmos patamares (em t/ha) desde o ano 2000 e mesmo em anos de seca extrema que ocorreram na região, como 2003 (MARENGO et al., 2008), e 2012 (LEWIS et al., 2011), devido o uso de tecnologias de irrigação, porém isso encarece o custo da produção, sendo necessário se aprimorar a previsibilidade destes eventos para a mitigação tentando minimizar prejuízos.

Para Silva et al. (2001) no estado do Pará, a cultura da soja está em plena expansão nas regiões nordeste e oeste como uma alternativa de aproveitamento das áreas degradadas pela substituição da floresta por pastagens. E além deste aproveitamento de área, a facilidade de transporte por meio de rodovias e transporte fluviais são fatores que influenciam no desenvolvimento da região.

As culturas de milho e soja ocupam, respectivamente, o 3º e 4º lugar no ranking estadual em termos de volume de produção das culturas anuais, e vêm ganhando destaque no Estado, a ponto da soja já constituir o 2º maior valor da produção agrícola paraense e o milho, o 5º. Entre 2012 e 2013, a soja expandiu a área semeada em 58,54% e a quantidade produzida em 35,61%, mostrando tendência de crescimento (FAPESPA/SEDAP, 2015).

De acordo com levantamentos e avaliações mensais da safra brasileira de grãos e de outras lavouras realizadas pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2015), no exercício 2015/2016, pode-se inferir sobre a produção nacional do milho primeira safra e segunda safra nos principais centros produtores do Brasil, no qual o Estado do Pará ganhou destaque no setor agropecuário como importante centro produtor deste grão na Região Norte, apesar de apresentar índices referentes apenas à primeira safra. De acordo com a CONAB (2015), a área total semeada no estado, observou-se que no período 2014/2015 utilizou-se 218,7 milhões de hectares, não apresentando variação de acordo com o período de 2015/2016, que também apresentou 218,7 milhões de hectares. Quanto à produtividade, notou-se que durante a safra de 2014/2015 o milho

da primeira safra apresentava-se com 3.232 kg/ha, índice superior ao exercício 2015/2016, que foi de 3.213 kg/ha. No que se refere à produção nacional, o Pará apresentou no exercício 2014/2015 a faixa de 706,8 milhões de toneladas, passando a um decréscimo no exercício 2015/2016 para 702,7 milhões de toneladas produzidas (CONAB, 2015).

No que tange à área semeada, produtividade e produção da soja, para o estado do Pará, observou-se no exercício de 2014/2015 que a área semeada foi de 336,3 milhões de hectares, valor igual ao período de 2015/2016, visto que o plantio na região só deverá ocorrer a partir de dezembro, com o início do período chuvoso (CONAB, 2015). No que diz respeito à produtividade desta oleaginosa, na safra de 2014/2015 obteve-se 3.024 kg/ha e na safra 2015/2016 3.104 kg/ha, destacando-se um pequeno acréscimo na produtividade do estado frente às outras regiões do país (CONAB, 2015).

No que se refere à produção estadual, a soja apresentou na safra 2014/2015 uma produção de 1.017,0 milhões de toneladas contra 1.043,9 milhões de toneladas no exercício de 2015/2016, evidenciando uma variação de 2,6% na produção de soja no estado do Pará (CONAB, 2015).

1.1. NECESSIDADES AGROMETEOROLÓGICAS DA SOJA

A soja é uma das mais importantes culturas na economia mundial. Seus grãos são muito usados pela agroindústria (produção de óleo vegetal e rações para alimentação animal), indústria química e de alimentos. Recentemente, vem crescendo também o uso como fonte alternativa de biocombustível (COSTA NETO & ROSSI, 2000 citado por FREITAS, 2011). Costa (2008a) afirma que, a estrutura da soja é altamente dependente das condições do clima, solo, da disponibilidade de água e do genótipo da variedade. Desta maneira, deve-se salientar também, que cada cultura apresenta suas exigências edafoclimáticas e graus de adaptação particulares, para que assim, alcancem seu ponto ótimo de desenvolvimento.

1.1.1. EXIGÊNCIAS HÍDRICAS DA SOJA

A soja necessita em todas suas fases bioquímicas e fisiológicas de água para que ocorra um bom desenvolvimento, visto que este mineral representa 90% do peso da planta (EMBRAPA, 2011). Além disso, como afirma Casagrande et al. (2001),

desempenha função de solvente, através do qual, gases, minerais e outros solutos entram na célula e se movem pela planta.

Segundo Embrapa (2011) e autores como Pereira (2002) é imprescindível que a disponibilidade de água ocorra em dois períodos importantes da planta, sendo a época de germinação/emergência e floração/enchimento de grãos, sendo que o déficit ou excesso de água prejudicam esta oleaginosa, causando desuniformidades. Para que se tenha então uma boa germinação é necessário que a semente de soja absorva pelo menos 50% de seu peso. Ressalta-se que a água disponível no solo não exceda 85% ou seja inferior a 50%, pois as necessidades da planta ainda não se encontram totalmente supridas, pois, o estágio vegetativo denominado VE representa a emergência dos cotilédones, isto é, uma plântula recém-emergida é considerada VE. Até o final do estágio VE, os cotilédones perdem cerca de 70% de seu peso. A perda precoce de um dos cotilédones pouco afeta o rendimento final da planta, mas a perda de ambos pode reduzir os rendimentos em até 9% (EMBRAPA, 2009).

Conforme (COSTA, 2008b), à medida que se dê o desenvolvimento da planta, a necessidade de água aumenta, sendo que no período de floração/enchimento de grãos é que o pico máximo se manifesta, sendo, segundo Embrapa (2011), necessário à planta cerca de 7 a 8 mm/dia de água. Caso nesta época ocorram déficits hídricos, consequências negativas como alterações fisiológicas e redução do rendimento de grãos podem ocorrer. Em relação à evapotranspiração diária e os estádios de desenvolvimento, pode-se inferir alguns valores sobre o consumo de água por evapotranspiração diária, sendo que da época da semeadura até emergência a evapotranspiração é de 2,2 mm; da emergência até início do florescimento, 5,1 mm; início de florescimento até surgimento de vagens, 7,4 mm; surgimento de vagens até 50% de folhas amarelas, 6,6 mm; e 50% de folhas amarelas até a maturação, 3,7 mm (FUNDAÇÃO MT, 2004). Salienta-se, portanto, que a necessidade de água para a cultura da soja varia entre 450 a 800 mm/ciclo, dependendo das condições climáticas, manejo e duração do ciclo da cultura (EMBRAPA, 2011), objetivando sempre o máximo rendimento. Tal necessidade hídrica da soja indica que são necessários 450 a 800 litros de água por metro quadrado durante o ciclo de desenvolvimento dessa cultura, e isso é um fator limitante para sua produtividade, se levados em consideração sua alta necessidade bem como as condições ambientais, influentes em seu desempenho de produção.

1.1.2. EXIGÊNCIAS CLIMÁTICAS DA SOJA

Segundo dados da Embrapa (2008) a cultura da soja apresenta boa adaptabilidade à temperaturas entre 20 °C e 30 °C, sendo que para o desenvolvimento e crescimento ideal da planta a temperatura gire em torno dos 30 °C. Quanto à temperatura do solo para semeadura, é necessário que esta esteja entre os 20 °C e 30 °C, sendo a faixa ideal 25 °C. Estes dados também são reafirmados em trabalhos como o de (FARIAS et al., 2007). Para os períodos de crescimento vegetativo, ressalta-se que temperaturas abaixo de 10 °C e acima de 40 °C ocasionam distúrbios na planta. Já para a fase de floração, é ideal que as temperaturas estejam acima de 13 °C, proporcionando à planta condições ideais para o bom desenvolvimento de seu ciclo.

Fotoperíodo e temperatura são importantes para o desenvolvimento da cultura da soja, por provocarem mudanças quantitativas ao longo do seu ciclo. [...] A soja é considerada uma planta de dia curto (COSTA, 2008c). Tal afirmação se deve ao fato de seu fotoperíodo crítico ser menor que o de outras plantas, haja vista que cada planta possui em particular, seu fotoperíodo crítico, acima do qual, o florescimento é tardio.

O crescimento e desenvolvimento da soja apresenta alta sensibilidade às condições climáticas, radiação, temperatura e duração do dia (fotoperíodo) (EMBRAPA, 2011). Segundo Pellegrino et al. (2007), a soja é uma cultura considerada sensível, e isso deve-se ao fato de ser uma planta C3, que por sua vez, não suporta altas temperaturas, e intensa radiação solar, haja vista que possui baixas taxas fotossintéticas e maior grau de abertura de seus estômatos, tendo uma maior perda de água, apresentando baixa produtividade em ambientes com tais condições.

1.2. NECESSIDADES AGROMETEOROLÓGICAS DO MILHO

Sabe-se que o milho se trata de uma planta C4, que possui altas taxas fotossintéticas e menor grau de abertura de seus estômatos, tendo uma menor perda hídrica, é bastante exigente em água, mas que em contrapartida a isso, utiliza a água absorvida de maneira máxima, além de ser uma cultura que possui abrangente adaptabilidade. Segundo Barros et al. (2014a), para a mesma quantidade que o milho utiliza, ele produz uma quantidade de matéria seca muito superior a outras culturas. Esta planta tem como finalidade de utilização a alimentação humana e animal, devido às suas elevadas qualidades nutricionais, contendo quase todos os aminoácidos conhecidos,

com exceção da lisina e do triptofano (BARROS et al., 2014b). É desta maneira, caracterizada como grande atrativo a produtores, principalmente de regiões onde o cultivo é limitado devido à falta de culturas que consigam adaptar-se a ponto de render uma produção ótima.

1.2.1. EXIGÊNCIAS HÍDRICAS DO MILHO

No estudo das relações hídricas no sistema solo-planta-atmosfera é fundamental a quantificação das necessidades hídricas das culturas durante o ciclo de desenvolvimento (BERGAMASCHI; MATZENAUER, 2014). O efeito sobre a produção de grãos pode ser afetada em função da fase de desenvolvimento fenológico da cultura do milho (WAGNER, 2009).

Para Barros et al. (2014c), as fases de desenvolvimento que mais são afetadas pelo déficit hídrico são o início da floração e o desenvolvimento da inflorescência, o período de fertilização e o enchimento dos grãos. Desta maneira, faz-se necessário um acompanhamento mais aprofundado nestes estádios, para que sejam evitados erros que resultem na perda de produtividade das plantas. Esses relatos também foram encontrados em trabalhos como de Nied et al. (2005) citados por Wagner (2009), onde relatam que as fases mais críticas da cultura do milho ao déficit hídrico são o florescimento, o enchimento dos grãos e o desenvolvimento vegetativo.

De acordo com Embrapa (2009), para que se atinja altas produtividades, o consumo de água do milho varia entre 500 a 800 mm/ciclo. Já Silva et al. (2006), que cita que o consumo de água desta cultura encontra-se entre 450 a 600 mm/ciclo. A Embrapa (2009) enfatiza que a faixa mínima exigida pela planta é de 350 a 500 mm, para que a cultura produza sem a utilização de irrigação, bem como Durães et al. (2004), onde destacam uma exigência hídrica na faixa de 350 a 500 mm/ciclo para um desenvolvimento ótimo. Salienta-se ainda que, em condições de clima quente e seco, o consumo de água raramente excede 3 mm/dia, e que do período de iniciação floral à maturação, pode atingir valores de 5 a 7 mm/dia.

1.2.2. EXIGÊNCIAS CLIMÁTICAS DO MILHO

O milho, assim como a maioria das culturas econômicas, requer a interação de um conjunto de fatores edafoclimáticos apropriados ao seu bom desenvolvimento. Sabe-se que temperaturas do solo abaixo de 10 °C e acima de 40 °C causam prejuízos à

germinação, sendo que a faixa ideal encontra-se entre 25 °C e 30 °C, de acordo com a Embrapa (2009). Esses dados também são descritos por Cantele (2009), onde há relatos de que faixas de temperatura entre 25 °C e 30 °C propiciam melhores condições para o desencadeamento do processo germinativo das sementes e emergência das plântulas. Segundo dados da Embrapa (2009), para a fase de floração, temperaturas acima de 26 °C aceleram o florescimento, em contrapartida à temperaturas abaixo de 15,5 °C, que retardam tal fase, dados estes reforçados em trabalhos como de Fancelli & Dourado Neto (2000) citados por Cantele (2009). Ainda de acordo com a Embrapa (2011) para o período de maturação, temperaturas abaixo de 15 °C retardam este processo, e para o crescimento, salienta-se que as temperaturas devem variar entre 10 °C e 45 °C, sendo que 10 °C representa a faixa mínima que a espécie tolera 28 °C e 35 °C são consideradas faixas ótimas e 45 °C a faixa máxima que a cultura suporta. Ressalta-se ainda que temperaturas acima de 35 °C ocasionam a queda da produtividade da planta.

1.3. MODELOS DE INTERAÇÃO BIOSFERA-ATMOSFERA

Com o passar dos anos, e nos novos cenários ambientais que têm sido vivenciados, muitos estudos têm destacado o papel das mudanças climáticas na agricultura e na produção de alimentos (HAIM & BERLINER, 2008). Segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2007) as temperaturas médias globais aumentaram cerca de 0,13 °C por década desde 1950. Um ritmo ainda mais rápido de aproximadamente 0,2°C por década é esperado nas próximas 2 a 3 décadas, com tendência de que ocorra com maior probabilidade em áreas de terra cultivada (CESTARO, 2012).

Uma ferramenta que vem sendo aprimorada ao logo das últimas décadas, para melhor entender a dinâmica da interação biosfera-atmosfera, é o desenvolvimento de modelos que representam a vegetação terrestre (SELLERS et al., 1986).

A evolução dos modelos que representam o sistema solo-planta-atmosfera começa com modelos simples que calculam apenas as trocas, entre a atmosfera e superfície, de momento, energia e de vapor d'água até versões mais complexas, que incluem o ciclo do carbono, nutrientes, vegetação dinâmica e dinâmica da vegetação (SELLERS et al., 1997).

De acordo com Cestaro (2012) esses modelos são aplicados em relação com o zoneamento agroecológico, com a previsão de produtividade regional e, principalmente, com estudos de cenários para explorar o efeito das mudanças ambientais na agricultura, bem como quais seriam as possibilidades de perdas econômicas, resultantes de tais mudanças. O desempenho de modelos desta modalidade depende, segundo Domingues (2014) da calibração dos parâmetros para específicos tipos de cobertura vegetal, como por exemplo, reportado em Llopart (2009) para a floresta amazônica.

Dentre vários modelos desenvolvidos, destaca-se o SiB.

O Simple Biosphere Model, SiB, é um modelo da biosfera terrestre desenvolvido com o intuito de calcular as trocas de energia, massa e momentum entre a atmosfera e a superfície vegetada. A formulação do SiB tem como estratégia modelar a vegetação e o solo, e deixar que os mesmos determinem os caminhos em que a superfície terrestre irá interagir com a atmosfera (Sellers et al., 1986, 1997).

Tal modelo foi aprimorado, dando origem ao SiB2 que de forma geral é, de acordo com Domingues (2014) um modelo diagnóstico de área unitária de superfície, "alimentado" com dados meteorológicos em passo de tempo horário, englobando módulos físicos que descrevem a transferência de momentum, a transferência radiativa no dossel, a difusão de água no solo e a assimilação de carbono. Além do modelo utilizado nesse trabalho, têm-se também o SiB2-Reg, desenvolvido por Acosta (2007) em escala regional, que segundo Domingues (2014) utiliza-se de mapas de vegetação e de solo como condições de fronteira, e considera a vegetação e solo homogeneamente distribuídos dentro de cada ponto de grade.

Na agricultura, a aplicação desses modelos se constitui em uma ferramenta que nos permite conhecer quantitativamente as influências das condições climáticas sobre o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade das culturas agrícolas (RIO, 2014).

1.4. MUDANÇAS CLIMÁTICAS E SEUS EFEITOS NA AGRICULTURA

Ao longo dos anos, o homem tem buscado adaptar o meio em que vive para alcançar satisfação e bem-estar pessoal e da comunidade como um todo, e como resultado disso, segundo Klabin (2009) tem-se a geração eletricidade, construção de rodovias para transporte de pessoas e mercadorias, bem como construção de grandes

empreendimentos, leem-se indústrias para processamento de matéria-prima, indústrias automobilísticas cada vez mais sofisticadas, grandes hidrelétricas para a geração de energia, entre outros. Ao passo que homem busca satisfação pessoal, deixa rastros acentuados no ambiente em que vive, como por exemplo, a modificação de leitos de rios, explorações danosas em oceanos, uso de produtos químicos na produção de alimentos, e a destruição de grandes áreas de florestas. Assim, para a construção de cada projeto, necessita-se levar em consideração diversos fatores relevantes, sendo um deles, o clima e suas demais variáveis.

A ação antrópica sobre o meio ambiente ao longo dos anos tem acentuado a emissão de gases poluentes na atmosfera, que por sua vez, acentuam o efeito das mudanças climáticas globais. Os avanços da ciência e as mudanças climáticas observadas fornecem um melhor entendimento da variabilidade do sistema climático terrestre e sua provável resposta às influências naturais e antrópicas (MOSS et al., 2010). Além disso, para Marengo (2009) como um dos resultados das mudanças climáticas, tem-se o aumento dos eventos climáticos extremos, tanto em termos de quantidade quanto de intensidade, e tais eventos passaram a ser observados mais nitidamente a partir do século XX.

Como consequência do aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera, a elevação na temperatura média do planeta já uma realidade (KLABIN, 2009), e segundo o IPCC (2013) é inevitável que se tenha um incremento de 2°C na temperatura média da Terra, até mesmo se forem tomadas todas as medidas preventivas de emissão desses gases na atmosfera ou a concretização da captura do carbono já emitido. Relatos do IPCC (2013) mostram que a concentração de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera aumentou em 40% desde a era pré-industrial, devido primeiramente às emissões derivadas dos combustíveis fósseis e, em segundo lugar às emissões derivadas de mudanças no uso do solo (CAVERO, 2015). Estima-se que os impactos das mudanças climáticas perdurarão por muitos séculos, mesmo diminuindo as emissões de CO₂, o que supõe uma notável inexorabilidade das mudanças climáticas durante séculos, devido às emissões de CO₂ passadas, presentes e futuras (IPCC, 2013).

Em estudos voltados ao tema, autores como Taiz & Zeiger (2004), afirmam que tais incrementos na concentração do dióxido de carbono na atmosfera, tentem a beneficiar o desenvolvimento de culturas agrícolas, como soja e o milho haja vista que o

CO₂ é substrato primário para o processo de fotossíntese de tais culturas. Os mesmos autores, no entanto, ressaltam que, se tal incremento for acompanhado de um aumento acentuado da temperatura do ar, há possibilidade de ocorrer um encurtamento do ciclo de desenvolvimento e aumento da respiração do tecido vegetal, que por sua vez, reduz ou anula os efeitos benéficos do CO₂.

As mudanças climáticas decorrentes do incremento de CO₂ na atmosfera afetam de forma direta a agricultura, bem como as áreas de florestas brasileiras. Com base nos cenários apresentados pelo IPCC (2013), muitos estudos têm sido desenvolvidos a fim prever possíveis situações para o cenário agrícola do Brasil e do mundo. Desta maneira, dentre os estudos desenvolvidos, têm-se os de simulação dos impactos sobre a agricultura, que são realizados por meio de modelos matemáticos. Autores como Siqueira et al. (2007) e Nobre et al. (2004) apresentam simulações para soja e o milho, além de outras culturas de interesse econômico. Estes autores apresentam ainda as perdas econômicas anuais provocadas pelo aumento de 1°C a 5°C na temperatura, [...] além desses, outros estudos contemplam efeitos sobre pragas, doenças, solos e outros aspectos do sistema produtivo agrícola (PELLEGRINO et al., 2007). Com isso, é de conhecimento da comunidade científica que os países subdesenvolvidos e os que ainda estão em processo de desenvolvimento, e dentre estes, o Brasil, sejam vítimas diretas das situações provocadas pelas mudanças climáticas. Essas mudanças podem ser observadas (Figura 01) a seguir, onde é possível perceber que com o aumento gradual de temperatura, os solos, em determinadas regiões do país, vão perdendo a capacidade de produção, se tornando inaptos ao cultivo agrícola.

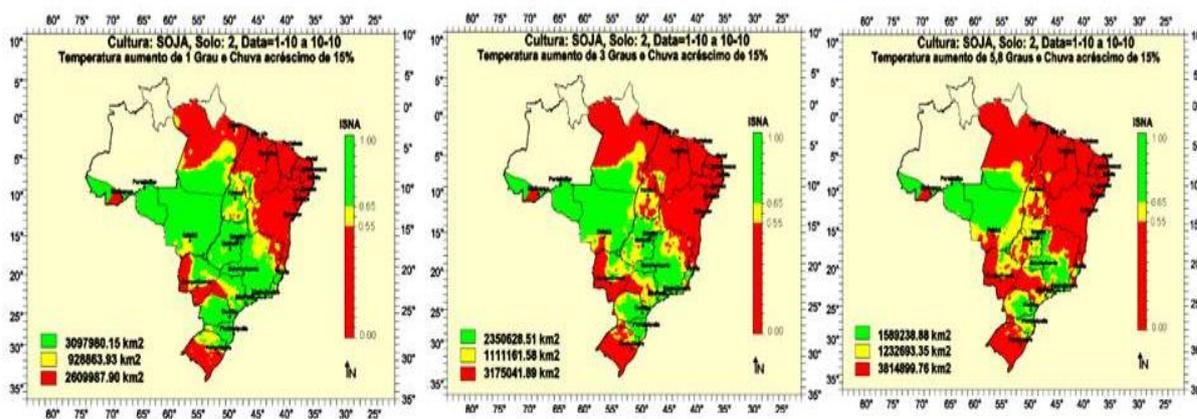


Figura 01. Aumento da temperatura em 1°C, 3°C e 5°C e o impacto na habilidade de produção agrícola de soja em áreas brasileiras. Fonte: Pellegrino et al., 2007.

No contexto de interação entre mudanças climáticas e agricultura, pode-se inferir que, ao passo que tais mudanças provocam fortes e diretos impactos em variáveis que influenciam no desenvolvimento das culturas de soja e o milho, cita-se a temperatura, por exemplo, setores como os de produção de alimentos, seriam afetados, a ponto de áreas de produção brasileiras, perderem gradativamente o potencial de produtividade. Com isso, observa-se a grande importância no monitoramento das variáveis climáticas para se ter ideia das potencialidades produtivas das culturas citadas. Em um cenário de crescentes estudos sobre mudanças de uso do solo e mudanças climáticas globais, faz-se necessário o entendimento do impacto que estas mudanças possam ocasionar na produtividade das culturas, sendo este o principal objetivo deste trabalho.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar o impacto do aquecimento em até 5°C na temperatura do ar na região de Santarém-PA e em outras variáveis meteorológicas, como efeito das mudanças climáticas apontadas pelo IPCC, utilizando um modelo de interação biosfera-atmosfera (SiB2), com intuito de inferir possíveis mudanças nas produtividades de soja e milho na região devido este aquecimento.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Utilizar o modelo SiB2 (Simple Biosphere Model), para produzir cenários de mudanças climáticas devido o aumento de temperatura do ar.
- Avaliar o impacto causado nos parâmetros condicionadores da produtividade das culturas de soja e milho devido às mudanças climáticas futuras.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada na Floresta Nacional do Tapajós (FLONA), no estado do Pará, segundo Llopart (2009), conforme mostrado na Figura 02. A FLONA é uma unidade de conservação com uma área aproximada de 545 mil hectares de floresta tropical úmida, com dossel da vegetação de altura média de 40m, aproximadamente 70 km ao sul da cidade de Santarém. A torre micrometeorológica (02°51' S, 54°58' W) situada na Floresta Primária está localizada a uma distância de aproximadamente 67 km da cidade de Santarém-PA, e foi instrumentada com o objetivo principal de verificar os processos físicos, biofísicos e biológicos entre biosfera-atmosfera (Saleska et al., 2003; Hutyrá et al., 2007). A plataforma instrumental foi instalada em 19 de Junho de 2000, aproximadamente 2 km a oeste da entrada do km 83 da Rodovia Cuiabá-Santarém, e 14 km a leste da margem oriental do Rio Tapajós.

O conjunto de dados utilizados pertence ao Programa LBA (Programa de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia), cujas médias horárias são do ano de 2006.

A instrumentação foi fixada em uma torre de 67m de altura (tipo Rohn 55G-Peoria IL com base triangular, 46 cm de secção transversal e alimentada com 1000W/120V/60Hz) no solo e em tripés de 2m de altura dentro da floresta. Predominam na região a topografia suave e os LATOSSOLOS AMARELOS argilosos (LLOPART, 2009).



Figura 02. Localização dos sítios de pesquisa. Fonte: MACHADO, 2012.

A vegetação enquadra-se na área de bioma Amazônico, ou seja, floresta equatorial, região fitoecológica da floresta ombrófila densa e estágio sucessional clímax. O relevo é denominado como flanco, que é constituído por terrenos acidentados e superfícies planas em direção ao rio Tapajós. A unidade de relevo presente na área de interesse apresenta-se como extensas superfícies de forma tabular, conhecidas e denominadas na região como platôs.

3.2. DESCRIÇÃO DO MODELO SiB2

O modelo SiB (Simple Biosphere Model; Sellers et al., 1986) é considerado, do ponto de vista biofísico, um modelo pioneiro e realista por basear-se nos processos físicos de interação superfície-atmosfera, concebido para interagir com modelos de circulação geral da atmosfera. O modelo requer que se prescrevam, para cada ponto de grade, os parâmetros físicos, fisiológicos e morfológicos da superfície, supostos uma representação média da vegetação e do solo na área da célula (LLOPART, 2009). A transferência de momentum no modelo SiB2 usa os parâmetros morfológicos da vegetação e descreve as trocas dentro e acima do dossel por trajetórias que são associadas as resistências aerodinâmicas de cada camada, empregando um esquema de

fechamento de primeira ordem, implementado em rotinas Fortran 77 (SiBX/MOMOPT, Sellers et al., 1989).

O modelo SiB2 é prescrito por onze variáveis prognósticas e por um conjunto de equações que controlam o balanço de energia no dossel, na superfície do solo e no solo profundo, o armazenamento de água interceptada (solo e dossel) e o balanço hídrico nas camadas de solo do modelo, além da condutância de vapor d'água pelo dossel. As variáveis prognósticas são três temperaturas (do dossel, T_c , da superfície do solo, T_g , e do solo profundo, T_d); quatro armazenamentos de água interceptada (pelo dossel, M_{cw} , e pela superfície do solo, M_{gw} , para água no estado líquido, e os correspondentes M_{cs} e M_{gs} , para gelo); grau de saturação da umidade do solo para as três camadas (W_1 , W_2 e W_3); e a condutância do dossel (g_c). (DOMINGUES, 2014).

Das equações prognósticas, por exemplo, tem-se a equação de temperatura da superfície do solo.

$$C_g \frac{\partial T_g}{\partial t} = Rn_g - H_g - \lambda E_g - \frac{2\pi C_d}{\tau_d} (T_g - T_d) - \xi_{gs}$$

Onde temos:

C_g : Capacidade Calorífica;

Rn_g : Radiação disponível;

H_g : Fluxo de Calor Sensível;

λE_g : Fluxo de Calor Latente;

$T_g - T_d$: Temperatura;

ξ_{gs} : Troca de energia nas mudanças de fase da água interceptada.

Segundo Sellers et al. (1996) desde sua criação até o uso atual, o modelo passou por mudanças, saindo de sua primeira versão do SiB, para o modelo SiB2 e de acordo com Llopart (2009) dentre as mudanças realizadas para aprimoração do modelo, citam-se: (i) uso de uma parametrização mais realista da condutância e fotossíntese do dossel; (ii) a possibilidade de se usar dados de satélite, para também se descrever a fenologia da vegetação; e (iii) um submodelo hidrológico modificado da versão de Sellers et al. (1996).

3.2.1. PARÂMETROS DO BIOMA

Para Llopart (2009), os parâmetros que definem as classes de vegetação e solo no modelo SiB2 são divididos em parâmetros invariantes e variantes com o tempo. O primeiro grupo acompanha a fenologia ou simplesmente variações sazonais ou de alteração temporal da vegetação, que podem ser explorados com dados de satélite, já o segundo grupo não. As propriedades físicas da vegetação e do solo e os parâmetros fisiológicos que foram usados na elaboração desse trabalho podem ser encontrados no estudo de Llopart (2009) sendo os mesmos utilizados por Sellers et al. (1989) e da Rocha et al. (1996).

3.2.2. ESTRUTURA DO MODELO

Os cálculos para a determinação dos fluxos turbulentos de energia e o fluxo de CO₂ são feitos segundo uma analogia com a Lei de Ohm, supondo-se os fluxos de calor proporcionais à diferença de potencial e ao inverso de uma resistência especificada, segundo estudo realizado por Llopart (2009). Na versão de Sellers et al. (1996) o solo é dividido em três camadas adjacentes: a primeira camada (de superfície) é fina, favorecendo a evaporação direta pelos espaços vazios dos poros; o sistema radicular é definido tal que não ultrapasse a base da segunda camada (camada de raízes), e a terceira camada profunda, de drenagem, promove o escoamento da água por drenagem gravitacional para gerar o escoamento de base ou sub-superfície, conforme mostra o a figura 03.

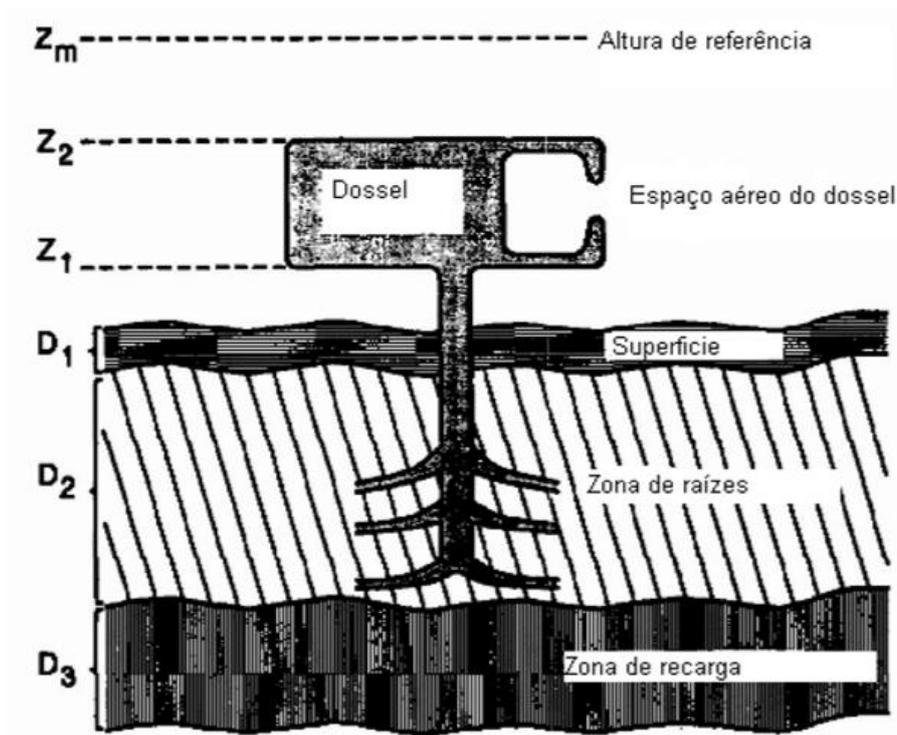


Figura 03. Estrutura do modelo SiB2. Adaptado de Sellers et al. (1996a). Fonte: Llopart (2009).

A calibração do modelo SiB2, usado na elaboração desse trabalho é dada em Llopart (2009).

3.2.3. SIMULAÇÕES

Com a série de dados horários de 1 ano utilizando o modelo calibrado por Llopart (2009), criou-se uma primeira saída de dados com as condições atuais de temperatura. Após a criação desta série chamada “original”, adicionou-se 1 °C em cada dado de temperatura do ar no arquivo de entrada de dados utilizado pelo modelo e efetuou-se uma nova rodada, gerando novas saídas com os cenários de aumento de temperatura do ar, até o máximo de 5 °C. A cada rodada as demais variáveis de saída do modelo tem uma resposta diferente ao aumento de temperatura, sendo comparadas entre si a cada rodada.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. TEMPERATURA DO AR

A figura 5 mostra a série de simulações de aumento de temperatura em até 5 °C a partir dos dados medidos na torre (dados observados, chamado aqui de “Original”). É possível perceber que as maiores temperaturas ocorreram a partir do mês de Julho, quando os acumulados de precipitação pluviométrica diminuem.

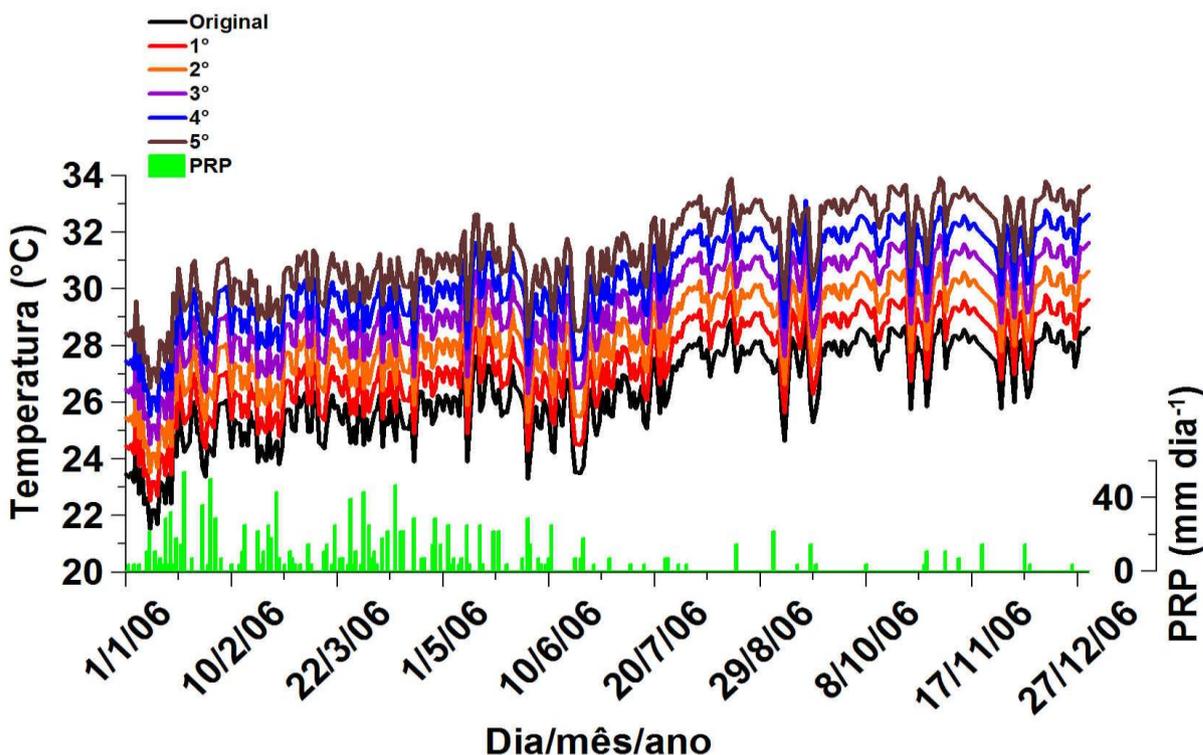


Figura 04. Cenários de mudança climática para a temperatura e precipitação pluviométrica (PRP) com o aumento em até 5°C.

Com base nestes cenários, é possível inferir que a partir de um aumento de 4 °C na temperatura do ar, a cultura da soja teria diminuição de produtividade na região, uma vez que por ser uma planta C3, tem baixas produtividades quando submetida a altas temperaturas (PELLEGRINO et al. 2007) e para o desenvolvimento e crescimento ideal da planta a temperatura necessita estar em torno dos 30 °C, patamar este ultrapassado a partir do aumento de 4 °C em relação às condições medidas no sítio.

Neste tipo de ambiente ocorre o fenômeno conhecido como fotorrespiração nas espécies C3, que é tido como um processo de autodefesa do aparelho fotossintético, principalmente em plantas expostas às altas intensidades

luminosas, com o objetivo de dissipar o acúmulo de moléculas que, em condições ideais de temperatura e radiação, são úteis à célula, mas que, quando produzidos intensamente, podem se acumular e danificar as estruturas fotossintéticas (PELLEGRINO et. al, 2007).

Quanto à cultura do milho, devido os níveis de temperatura do ar não atingirem o limiar de 35 °C, sua produtividade não seria comprometida, segundo Pellegrino et al. (2007), devido ao fato de ser uma planta C4, que por sua vez, formam o ácido oxalacético, como primeiro produto da fotossíntese, além de possuírem características anatômicas e fisiológicas que implicam em maior habilidade em conviver em ambientes mais quentes e com elevada irradiância solar, tornando-se supostamente mais aptas a suportar a condições nos verões das regiões temperadas. Diante deste cenário, pode-se inferir que as espécies C3 estão menos preparadas para a elevação da temperatura do que as espécies C4.

4.2. CALIBRAÇÃO DO MODELO

A figura 6 mostra a comparação entre o saldo de radiação medido na torre (Rn observado) e o saldo de radiação (Rn estimado) estimado pelo modelo utilizado na elaboração do presente trabalho.

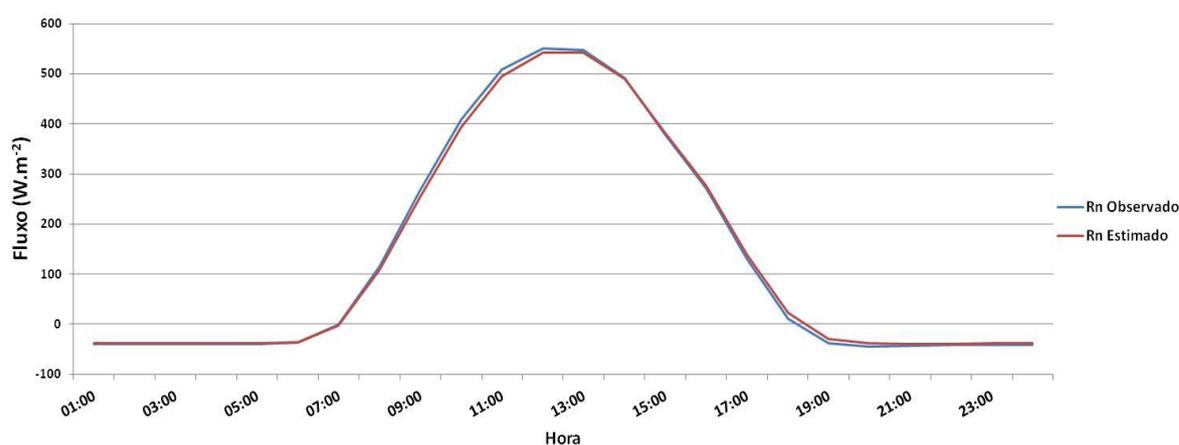


Figura 05. Calibração do modelo SiB2, conseguindo reproduzir satisfatoriamente as condições presentes.

Não só a variação ao longo do perfil médio horário é similar, como os valores absolutos são muito próximos, mostrando que a calibração do modelo consegue reproduzir satisfatoriamente as condições presentes, sendo assim possível fazer inferências às mudanças na temperatura do ar devido às mudanças climáticas futuras.

4.3. SALDO DE RADIAÇÃO

A figura 7 mostra os cenários de mudança no padrão do saldo de radiação horário. Os resultados indicam que o saldo de radiação tenderá a aumentar em praticamente todos os horários do dia, provavelmente como resultado da intensificação do efeito estufa, que altera o balanço de radiação na terra fazendo com que parte da radiação que seria perdida para o espaço retorne para a superfície (PEREIRA, 2007), devido a maior concentração de gases estufa. Isto corrobora o comprometimento de culturas do tipo C3 como a soja, uma vez que esta não suporta altas temperaturas e intensa radiação solar, apresentando baixa produtividade em ambientes com tais condições (PELLEGRINO, 2007).

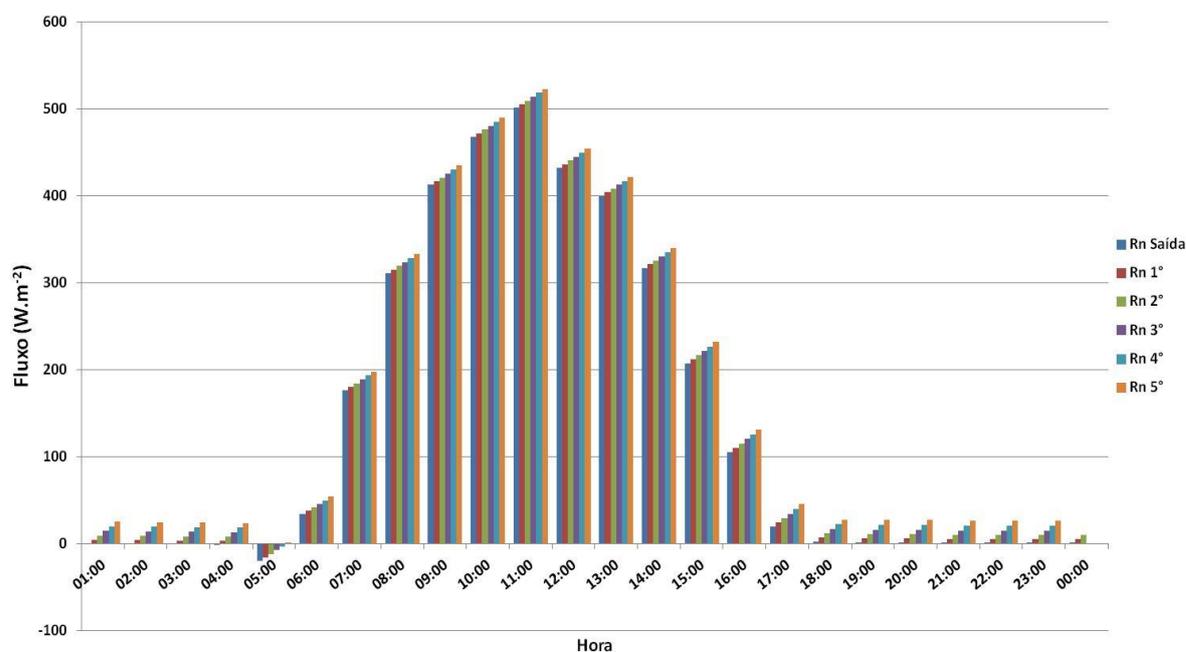


Figura 06. Cenários de mudança climática para o Saldo de radiação horário.

4.4. FLUXO DE CALOR LATENTE

A figura 8 mostra os cenários de mudança no padrão do fluxo de calor latente horário. Os resultados indicam que será utilizada mais energia para mudança de estado físico da água na forma de calor latente. Este efeito é mais acentuado nas primeiras horas do dia e diminui ao longo da tarde, indicando que o modelo assimila um provável controle estomatal da vegetação, pois devido ao grande aumento da evapotranspiração as plantas tendem a diminuir suas trocas gasosas com a atmosfera para não perder tanta água (COSTA, 2015). Além disso, este aumento na evapotranspiração (Figura 9) infere

que haverá maior demanda hídrica dos cultivares da região, e pelo cenário de mudanças climáticas indicarem diminuição de chuva na mesma, conforme afirma Saad et al., (2010), provavelmente o custo de produção aumentará significativamente, devido a necessidade do uso de tecnologias de irrigação, além de prejudicar a agricultura familiar que não tem tanto acesso e recursos para o uso destas técnicas.

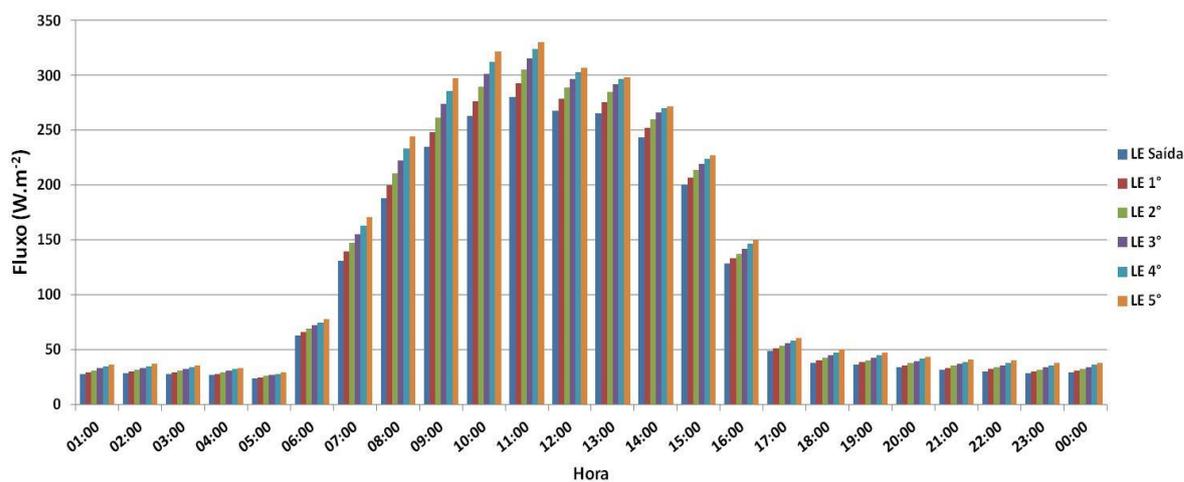


Figura 07. Cenários de mudança climática para o fluxo de calor latente horário.

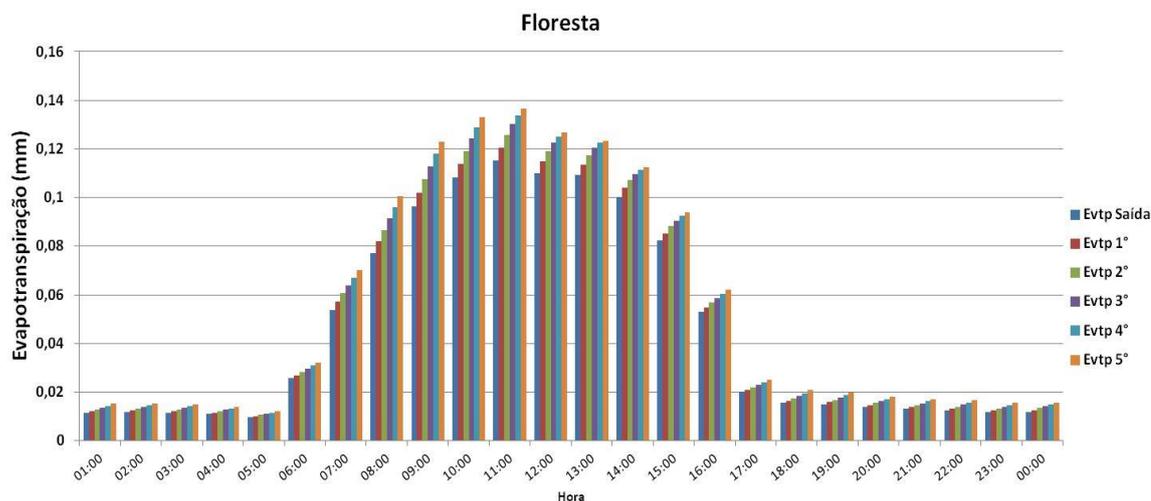


Figura 08. Cenários de mudança climática para evapotranspiração.

4.5. FLUXO DE CALOR SENSÍVEL

A figura 10 mostra os cenários de mudança no padrão do fluxo de calor sensível horário. Os resultados indicam uma diminuição do calor sensível a medida que a

temperatura aumenta. Isto provavelmente se deve á maior parte da energia disponível ser convertida para mudança de estado físico da água, conforme mostrado anteriormente. Este padrão de diminuição de calor sensível e aumento de calor latente mostra como seria feita a partição da energia disponível em cenários de aumento de temperatura, mostrando privilegiamento da energia disponível para evaporar água em detrimento do aquecimento do ar, fazendo com que a demanda evaporativa local aumente substancialmente e requerendo maior oferta hídrica, que provavelmente não se dará por chuvas, mas sim por maior demanda de irrigação, elevando os custos de produção das culturas locais.

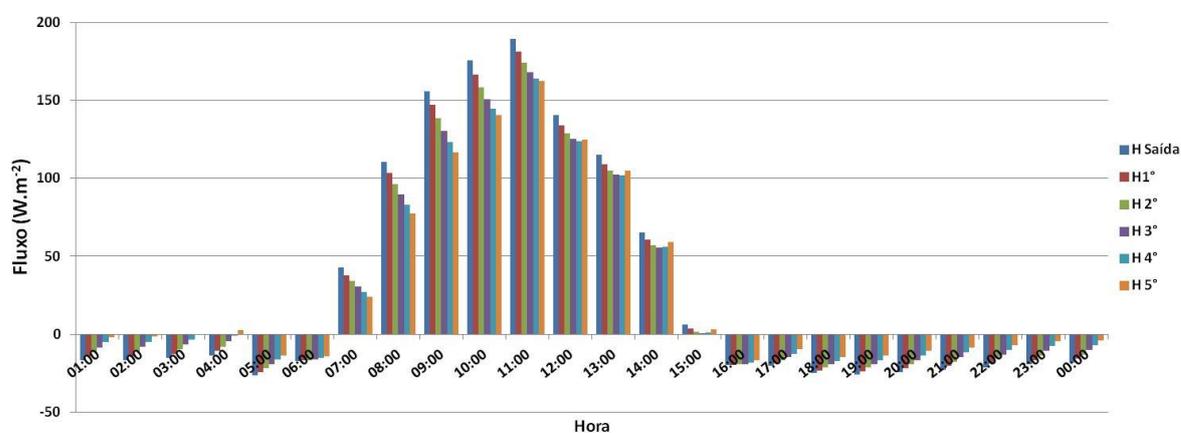


Figura 09. Cenários de mudança climática para o fluxo de calor sensível horário.

4.6. FLUXO DE CO₂

A figura 11 mostra os cenários de mudança no padrão do fluxo de CO₂ horário. Os resultados indicam que o aumento de temperatura tornará a respiração noturna da floresta maior e diminuirá a capacidade fotossintética diurna, com menor assimilação de CO₂. Estes efeitos da temperatura nos padrões de CO₂ já foram comentados em outros trabalhos como de Costa (2015) e mostram um preocupante cenário, onde a floresta, que geralmente é responsável por capturar CO₂ atmosférico, deixará de ser sumidor de CO₂ para se tornar fonte de CO₂ para a atmosfera. Isto tem sérias implicações para a agricultura da região, pois o avanço da fronteira agrícola seria um fator intensificador do problema, já que as mudanças de uso do solo atuais e suas consequências, tais como afirma Balsan (2006) “a destruição das florestas e da biodiversidade genética, a erosão dos solos e a contaminação dos recursos naturais”; afetam bastante na intensificação das

mudanças climáticas o que comprometeria a produção de alimentos não só em escala local como também regional.

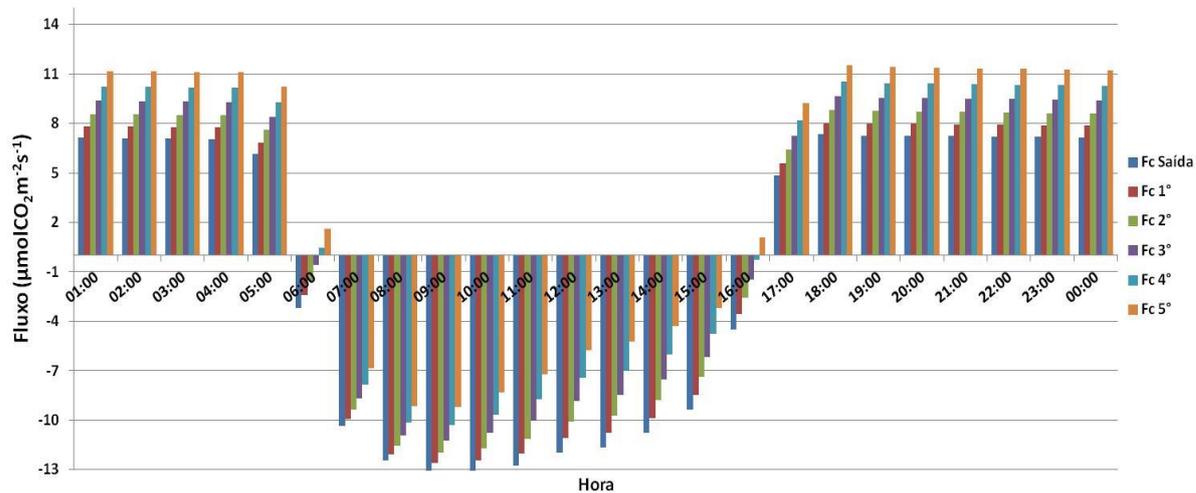


Figura 10. Mudança climática para o fluxo de CO₂ horário.

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho mostrou que o modelo SiB2 calibrado para a Floresta Nacional do Tapajós representou de forma satisfatória os fluxos de calor latente, calor sensível, CO₂, evapotranspiração, saldo de radiação, podendo ser simulados futuros cenários reais para a região.

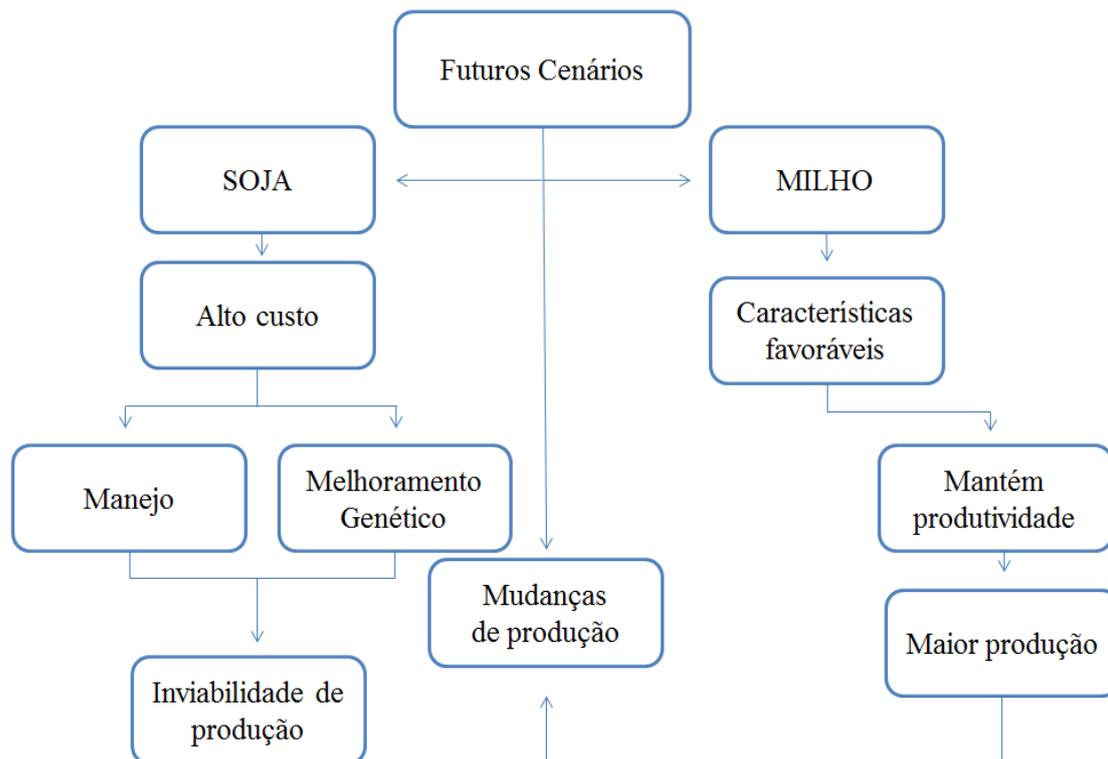


Figura 11. Fluxograma para futuros cenários

As simulações possibilitaram perceber que as mudanças nos cenários terão um efeito negativo sobre produtividade de soja na região, quando se analisa temperatura e evapotranspiração como fator de limitação para a produtividade da cultura. Já para a cultura do milho, os futuros cenários não apresentam grandes riscos de perdas de produção, dadas as características tanto fisiológicas quanto anatômicas da cultura.

Com os resultados projetados pelo modelo SiB2 e, considerando o alto custo de qualquer evolução tecnológica, tanto no manejo da cultura quanto no seu melhoramento genético, infere-se que seria inviável continuar com a produção de soja na região de Santarém. Para o milho, porém, a possibilidade de produção é aceitável, podendo até

mesmo, inferir-se que, futuramente o milho ultrapasse a produção da *commoditie* carro chefe da produção agrícola na região.

Como a influência que o clima exerce nas culturas, se dá por meio de uma combinação dos diferentes elementos climáticos, é importante que sejam analisadas todas essas interações climáticas, bem como, práticas de manejo adequadas para as culturas, influências do solo e da disponibilidade de nutrientes para que planta alcance o ponto ótimo de produtividade, entre outras características importantes para o desenvolvimento de culturas de interesse econômico.

Desta forma, é possível estimar futuros cenários para a produção agrícola na região, e através destes, estudar novas possibilidades de mitigação, visando o melhor aproveitamento possível dos recursos disponíveis, através de técnicas adequadas. Há tempo e tecnologia suficientes para isso, sendo necessário desenvolver políticas públicas adequadas e investir mais em pesquisas que permitam atender a já citada demanda.

6. SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

A partir da disponibilidade de mais dados climáticos do projeto LBA em um futuro próximo, será possível realizar as simulações com uma série de dados mais extensa, bem como viabilizar análises em anos de extremos climáticos (ENOS – Fase fria e fase quente), uma vez que os prognósticos indicam que a intensidade destes fenômenos tende a aumentar com as mudanças climáticas, o que ficou de fora da análise deste trabalho devido a limitação da série de dados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACOSTA, R. **Um modelo biosfera-hidrosfera para a bacia do Tocantins-Araguaia**. Dissertação de mestrado (Mestrado em meteorologia) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.
- BALSAN, R. **Impactos decorrentes da modernização da agricultura brasileira**. *Revista de geografia agrária*, v.1, n.2, pg. 124, agosto, 2006.
- BARROS, J. F.C; CALADO, J.G. **A cultura do milho**. pg. 4 Departamento de Fitotecnia. Escola de Ciências e Tecnologia. Universidade de Évora. Alentejo. Portugal. 2014.
- BERGAMASCHI, H; MATZENAUER, R. **O milho e o clima**. Emater/RS-Ascar, pg. 84. Porto Alegre. Rio Grande do Sul. 2014.
- CANTELE, E.F. **Desempenho da cultura do milho em diferentes épocas de cultivo no sudeste paulista**. Dissertação de Mestrado, pg. 22 Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo. Piracicaba. São Paulo. 2009.
- CASAGRANDE, E.C.; FARIAS, J.R.B.; NEUMAIER, N.; TETSUIJOYA; PEDROSO, J.; MARTINS, P.K.; BRETON, M.C.; NEPOMUCENO, A.L. **Expressão gênica diferencial durante déficit hídrico em soja**. Embrapa Soja. Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal, pg. 169. Londrina. Paraná. 2001.
- CAVERO, A.P.S. **Impacto das mudanças climáticas na produtividade da cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merr) na Amazônia – Estudo de caso no Município de Santarém – PA**. Tese de Doutorado, pg. 13. Programa de Pós-Graduação em Clima e Ambiente – CLIAMB. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA – Universidade do Estado do Amazonas – UEA. Manaus. Amazonas. 2015.
- CESTARO, B.P. **Implementação do modelo da biosfera SiB2 para agroecossistemas brasileiros**. Dissertação de mestrado. – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2012.
- CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**. Safra 2015/16. v. 3, n. 1, pg, 140. Brasília, Out. 2015.

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, pg. 4, 2000.

COSTA, G.B.; **Fluxos de energia, CO₂ e CH₄ sobre a floresta em planície de inundação da Ilha do Bananal.** Tese de doutorado. Centro de Energia Nuclear na Agricultura. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo, pg. 103 – 107. Piracicaba. São Paulo, 2015.

COSTA, J.P.R. **Modelagem e simulação das interações biosfera-atmosfera em plantio de soja na amazonia.** Tese de Doutorado, pg. 13. Programa de Pós- graduação em Meteorologia Agrícola. Viçosa. Minas Gerais, Brasil. 2008.

CRUZ, F.N.; BORBA, G.L.; ABREU, L.R.D. **Clima e tempo.** Ciências da Natureza e Realidade. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2º Edição. EDUFRN Editora da UFRN, Natal, Rio Grande do Norte, 2005.

Da Rocha, H.R. da, SELLERS, P. J.; COLLATZ, J.; WRIGHT, I.; GRACE, J. **Calibration and use of SiB2 model to estimate H₂O and CO₂ exchnages in Abracos forest sites.** 1996. In: LLOPART, M.P. Calibração do modelo SiB2 em módulo sequenciais para a floresta tropical amazônica. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

DOMINGUES, L. M. **O balanço de água superficial no Brasil calculado com o modelo SiB2-Regional: padrões médios e sensibilidade aos eventos de aquecimento e seca,** pg. 124 Dissertação (Mestrado) - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

DURÃES, F. O. M.; SANTOS, M.X.; GAMA, E. E. G. et al. **A phenotyping platform supporting breeding and genomics programs of cereals and legumes at Embrapa – Brazil,** pg. 16- 23 In: DROUGHT PHENOTYPING PROTOCOLS WORKSHOP, Montpellier. 2004.

EL-HUSNY, J. C.; ANDRADE, E. B. de; CORRÊA, J. R. V.; KLEPKER, D.; ALMEIDA, L. A. **Comportamento de cultivares de soja em Santarém,** pg. 28.Embrapa Amazônia Oriental. Circular Técnica, 25. Belém, Pará, 2001.

EMBRAPA. **Cultivo do milho**. Embrapa Milho e Sorgo Sistemas de Produção, 2. ISSN 1679-012X - Versão Eletrônica - 5ª edição. Set./2009.

EMBRAPA. **Tecnologias de Produção de Soja – Região Central do Brasil 2012 e 2013**. Embrapa Soja - Sistemas de Produção. n. 15. pg. 261. Londrina, 2011.

FAPESPA/SEDAP. **Boletim Agropecuário do Estado do Pará 2015**, pg. 35. Belém, 2015.

FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da soja**. Embrapa Soja. (Circular técnica, n. 48). Londrina. 2007. Disponível em: <<http://www.cnpso.embrapa.br/download/cirtec/cirtec48.pdf>>. Acesso em: 24 de março, 2016.

FREITAS, M.C.M. **A cultura da soja no Brasil: O crescimento da produção brasileira e o surgimento de uma nova fronteira agrícola**. Enciclopédia Biosfera. Centro Científico conhecer – Goiânia, vol. 7. N.12; pg, 10. 2001.

FUNDAÇÃO MT. Fundação de Apoio à Pesquisa Agropecuária de Mato Grosso. **Boletim técnico de soja 2004**, pg. 128. Rondonópolis: Fundação MT, 2004.

GORNALL, J.; BETTS, R.; BURKE, E.; CLARK; CAMP. J.; WILLET, K; WILTSHIRE, A. **Implications of climate change for agricultural productivity in the early twenty-first century**. Philosophical Transactions of the Royal Society, pg. 368. 2010.

HAIM, D.; SHECHTER, M.; BERLINER, P., 2008. **Assessing the impact of climate change on representative field crops in Israeli agriculture: a case study of wheat and cotton**. Climate Change, v.86, pg. 244. 2008.

HUTYRA, L.R.; MUNGER, W.; SALESKA, S.; GOTTLIEB, E.; DAUBE, B.C.; DUNN, A.L.; AMARAL, D.F.; CAMARGO, P.B.; WOFSY, S. **Seasonal controls on the exchange of carbon and water in an Amazon rain forest**. Journal of Geophysical Research, New York, v. 112, p. 1-16, 2007.

IPCC – Painel Intergovernamental em Mudanças Climáticas. **Mudanças Climáticas 2007: A Base Ciência Física**. Contribuição do Grupo de Trabalho I do Quarto

Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima , ed. S. Solomon , D. Qin, M. Manning et al. New York: Cambridge Univ. 2007.

IPCC- Painel Intergovernamental em Mudanças Climáticas - **Alterações Climáticas 2013: A Base Ciência Física**. Contribuição do Grupo de Trabalho I do Quinto Relatório de Avaliação da Intergovernamental Painel sobre Mudança do Clima. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido e Nova York, EUA, 2013.

KABLIN, I. **Mudanças Climáticas e eventos extremos no Brasil**. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável – FBDS, pg. 02. 2009.

LEWIS, S.; BRANDO, P. M.; PHILLIPS, O. L.; HEIJDEN, G. M. F.; NEPSTAD, Daniel . **The 2010 Amazon Drought**. Science 04, pg. 558 Vol. 331. Washington. February. 2011.

LLOPART, M.P. **Calibração do modelo SiB2 em módulos sequenciais para a floresta tropical amazônica**. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

MACHADO, W.B.; **Balço de energia em áreas de floresta e de um campo agrícola no leste da Amazônia**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Oeste do Pará. Santarém, Pará. Março, 2012.

MARENGO, J.A. **Long-term trends and cycles in the hydrometeorology of the Amazon basin since the late 1920s**. Hydrological Processes, pg. 3236, V. 23, n. 22, 2009.

MARENGO, J.A; NOBRE, C. A.; CHOU, S. C.; TOMASELLA, J.; SAMPAIO, G.; ALVES, L. M.; OBREGÓN, G. O.; SOARES, W. R.; BETTS, R.; KAY, G. **Riscos das Mudanças Climáticas no Brasil: Análise conjunta Brasil-Reino Unido sobre os impactos das Mudanças Climáticas e do Desmatamento na Amazônia**. São Jose dos Campos, SP: INPE, pg. 55. 2011.

MARENGO, J.A; NOBRE. C.A.; TOMASELLA, J.; OYAMA, M.D.; OLIVEIRA, G. S.; OLIVEIRA, R.; CAMARGO, H.; ALVES, L. M.; BROWN, I. F. **The drought of Amazônia in 2005**. Journal of Climate, pg. 495, 2008.

MOSS, R.H.; EDMONS, J.A.; HIBBARD, K.A.; MANNING, M.R.; ROSE, S.K.; VAN VAUREN, D.P.; CARTER, T.R.; EMORI, S.; KAINUMA, M.; KRAM, T. MEEHL, G.A.; MITCHELL, J.F.B.; NAKICENOVIC, N.; RIAHI, K.; SMITH, S.J.; STOUFFER, R.J.; THOMSON, A.M.; WEYANT, J.P.; WILBANKS, T.J. 2010. **The next generation of scenarios for climate change research and assessment**. Nature, 463: 747-756.

NIED, A.H. **Balanço hídrico diário do solo simulado para diferentes épocas de semeadura do milho em Santa Maria, RS**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Curso de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria. 2003.

NOBRE C.A., OYAMA, M.D., OLIVEIRA, G. S., MARENGO, J.A., SALATI, E. 2004. **Impact of climate change scenarios for 2100 on the biomes of South America**. First International CLIVAR Conference, Baltimore, USA, pg. 21-25 June 2004. In: Pellegrino G.Q; Assad, E.D, Marin, F. R. **Mudanças Climáticas Globais e Agricultura no Brasil**. Embrapa Informática Agropecuária. Revista Multiciência. Edição nº. 8. Mudanças Climáticas. Campinas. São Paulo. Maio de 2007.

PELLEGRINO G.Q; ASSAD, E.D, MARIN, F. R. **Mudanças Climáticas Globais e Agricultura no Brasil**. Embrapa Informática Agropecuária. Revista Multiciência. Edição nº. 8. Mudanças Climáticas. Campinas. São Paulo. Maio de 2007.

PEREIRA, A. R., ANGELOCCI, L. R., SENTELHAS, P. C. **METEOROLOGIA AGRÍCOLA**. EDIÇÃO REVISTA E AMPLIADA, PIRACICABA – SP, pg. 129. 2007.

PEREIRA, C. R. **Análise do crescimento e desenvolvimento da cultura de soja em diferentes condições de ambientes**, pg. 282. Tese de Doutorado. Doutorado em Meteorologia Agrícola. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais, 2002.

RIO, A. **Aquecimento global – impacto na produtividade da cultura da soja e ações de manejo para minimização em diferentes regiões produtoras do Sul do Brasil**. Dissertação de mestrado. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo, pg. 36. Piracicaba. São Paulo. 2014.

SAAD, S.I; ROCHA, H.; DIAS, M.A.F.; ROSOLEM, R. **Can the Deforestation Breeze Change the Rainfall in Amazonia? A Case Study for the BR-163 Highway Region?** Department of Atmospheric Science, Institute of Astronomy, Geophysics and Atmospheric Sciences (IAG), University of São Paulo, São Paulo, Brazil. July. 2010.

SALESKA, S.R; MILLER, S.D.; MATROSS, D.M.; GOULDEN, M.L; WOFSY, S.C.; ROCHA, H.R. da; CAMARGO, P.B. de; CRILL, P.; DUABE, B.C.; FREITAS, H.C. de; HUTYRA, L.; KELLER, M. KIRCHHOFF, V.; MENTON, M.; MUNGER, J.W.; PYLE, E.H.; RICE, A.H. SILVA, H. **Carbon in Amazon forests: Unexpected seasonal fluxes and disturbance-induced losses.** Science. 302, n. 1554-1557. Washington, 2003.

SELLERS, P. J.; SHUTTLEWORTH, W. J.; DORMAN J. **Calibrating the Simple Biosphere Model for Amazonian Tropical Forest using field and remote sensing data.** Part I: Average calibration with field data. Journal of Applied Meteorology, 28: 727-759, 1989.

SELLERS, P.J.; MINTZ, Y.; SUD, Y.C.; DALCHER, A.. **A Simple Biosphere Model (SiB) for use within general circulation models.** Journal of Atmospheric Sciences, v. 43, pg.505, 1986.

SELLERS,P, J; DICKINSON, R, E; RANDALL, D, A; BETTS, A, K; HALL, F,G; BERRY, J, A; COLLATZ, G, J; DENNING, A, S; MOONEY, H, A; NOBRE, C, A; SATO, N; FIELD, C, B; HENDERSON-SELLERS, A. **A Modeling the Exchanges of Energy, Water, and Carbon Between Continents and the Atmosphere.** Science. v. 275 pg. 502, 1997.

SILVA, W. J. et al. **Exigências climáticas do milho em Sistema de Plantio Direto.** Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.27, n.233, pg.14-25, Jul/Ago 2006.

SILVA, A.B.; BATISTA, T.F.C.; EL-HUSNY, J.C.; **Soja no município de Paragominas.** Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2001.

SIQUEIRA, O. J. Efeitos Potenciais das Mudanças Climáticas na Agricultura Brasileira e Estratégias Adaptativas para Algumas Culturas. 2001. In: Pellegrino G.Q; Assad, E.D, Marin, F. R. **Mudanças Climáticas Globais e Agricultura no Brasil.** Embrapa Informática Agropecuária. Revista Multiciência. Edição no. 8. Mudanças Climáticas. Campinas. São Paulo. Maio de 2007

TAIZ, L.; ZIEGER, E. **Fisiologia vegetal**. Artemed. 3.ed. Porto Alegre, 2004.

WAGNER, M.R, **Características Hidroclimáticas para a cultura do milho em Guarapuava-PR**, pg 19. Dissertação de Mestrado. Pós-Graduação em Agronomia – Universidade Estadual do Centro-Oeste. UNICENTRO-PR. Guarapuava – Paraná. 2009.