



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE  
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE  
DEPARTAMENTO DE ECOLOGIA (DECO)**

**RAIANE BIANO DE FARIAS**

**IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NOS ESTOQUES DE  
CARBONO NO CULTIVO DE MILHO EM CANINDÉ DE SÃO  
FRANCISCO-SE**

São Cristóvão (SE)

2019.1

RAIANE BIANO DE FARIAS

**IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NOS ESTOQUES DE  
CARBONO NO CULTIVO DE MILHO EM CANINDÉ DE SÃO  
FRANCISCO-SE**

**Orientador:** Prof. Dr. Alexandre Siqueira Pinto

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Ecologia da Universidade Federal de Sergipe (UFS) como pré-requisito para obtenção do título de Bacharel em Ecologia.

São Cristóvão (SE)

2019.1

## AGRADECIMENTOS

Foi difícil, ninguém disse que seria fácil, mas, enfim consegui. É chegado ao fim um ciclo de muitas risadas, choro, felicidade e frustrações. Primeiramente agradeço a Deus que permitiu que tudo isso acontecesse, ao longo de minha vida, e não somente nestes anos como universitária, mas que em todos os momentos é o maior mestre que alguém pode conhecer.

Agradeço a minha mãe Maria José, heroína que mim deu todo apoio nas horas difíceis, de desânimo e cansaço e que me incentivou sempre a estudar. Ao meu pai Renivan que apesar de todas as dificuldades mim fortaleceu e que foi muito importante nessa jornada. Agradeço a toda a minha família por acreditarem em mim e realizarem esse sonho juntos comigo, em especial a minha vó Raimunda, a minhas irmãs Isabela e Amanda, Jackson, Jussimara, Bonifácio, Alberto e Rilzete, por todo o apoio e incentivo. Agradeço também ao meu noivo Junior por ter acreditado em mim e por estar ao meu lado sempre que precisei, a minha tia Iza e prima Aline por ter me acolhido de braços abertos em sua residência durante os anos da minha carreira acadêmica.

Obrigada ao meu orientador Alexandre Siqueira Pinto, por ter me recebido em seu laboratório, pela motivação durante a realização do presente trabalho, e acima de tudo ter acreditado na minha capacidade.

Aos meus amigos do curso de Ecologia, por toda a ajuda e apoio durante todos os períodos tão importante da minha formação acadêmica, em especial, agradeço a Jessica Amanda, Rosi Mary e Sara pela parceria e por ter me ajudado sempre que precisei, sei que posso contar sempre com vocês. Obrigada por todos os momentos essenciais que passamos! A todos os meus colegas de laboratório Vitor, Irene, pelos bons momentos de risadas em especial a Maiara, que me ajudou muito no desenvolvimento do TCC. Enfim a todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para a realização do meu trabalho.

Também gostaria de deixar um agradecimento a Universidade Federal de Sergipe por possibilitar a execução deste trabalho e a todos os professores que contribuíram com seus conhecimentos para a minha formação acadêmica.

Agradeço imensamente a todos vocês por realizarem esse sonho comigo!

**Resumo:** Estudos vêm mostrando o aumento das concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera em função de atividades antrópicas, sendo o uso da terra um dos setores que mais contribuem para esse cenário. Sabe-se que a agricultura depende de fatores climáticos para se desenvolver, portanto a mudança no clima pode afetar a produção agrícola. O milho (*Zea mays* L.) é considerado uma das principais espécies cultivadas no mundo, correspondendo a uma importante fonte de renda e subsistência no semiárido nordestino brasileiro. No entanto, o uso intensivo do solo associado a práticas agrícolas inadequadas vêm comprometendo os estoques de carbono (C) nesse compartimento e, conseqüentemente, aumentando sua emissão para atmosfera. A modelagem ambiental tem auxiliado na compreensão dos efeitos do uso da terra na dinâmica de C no sistema solo-planta-atmosfera. Considerando as perspectivas de mudança do clima global e seus impactos na agricultura, este estudo teve como objetivos: (1) avaliar o efeito das mudanças climáticas nos estoques de carbono do solo e na produtividade do milho; (2) avaliar a eficácia de um manejo alternativo (simulação de uso de milho melhorado geneticamente e também plantio direto) para mitigação das emissões de carbono para a atmosfera, no município de Canindé de São Francisco, Sergipe. O modelo Century versão 4.5 foi utilizado para simular a dinâmica de C na região sobre efeito das projeções climáticas até 2100 (pessimista, o qual simula aumento da energia no sistema de 8,5 W.m<sup>-2</sup>; intermediários, 6,0 e 4,5 W.m<sup>-2</sup>; otimista, 2,6 W.m<sup>-2</sup>) e investigar o efeito de dois sistemas de manejo (convencional e alternativo). Foi possível observar redução nos estoques de C do solo e também na produção de grão, sendo que dentre os diferentes cenários simulados, o pessimista resultou em maiores perdas ao final do período avaliado em ambos os sistemas de manejo. O cenário pessimista apresentou perda de 8,2 Mg.ha<sup>-1</sup> (convencional) e -7,7 Mg.ha<sup>-1</sup> (alternativo). No otimista essa perda correspondeu a -3,7 Mg.ha<sup>-1</sup> (convencional) e -2,1 Mg.ha<sup>-1</sup> (alternativo). Portanto, o manejo alternativo reduziria as perdas de C do solo, apesar de ter pouco efeito na produção de grãos. Para o enfrentamento das mudanças climáticas em Canindé de São Francisco seria importante buscar novos tipos de manejo, de forma a garantir segurança alimentar e menor comprometimento ambiental em função do cultivo de milho.

**Palavras-chave:** Modelagem ambiental, Century 4.5, mitigação, agricultura familiar

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Representação esquemática dos arquivos utilizados pelo modelo Century. M.O. = matéria orgânica, V.N. = vegetação nativa..... 10
- Figura 2. Dinâmica de C do solo simulado através do modelo Century em Canindé de São Francisco, SE. .... 13
- Figura 3. Médias de temperatura mínima, máxima e precipitação para real (linha contínua preta), modelada pela National Center of Atmospheric Research (linha contínua cinza), e ajustada (linha tracejada) para o período entre 1986 a 2005. a) Temperatura mínima. b) Temperatura máxima. c) Precipitação. .... 14
- Figura 4. Projeções mensais de precipitação e temperatura (mínima e máxima) até 2100 modelados pela NCAR e corrigidos para Canindé de São Francisco, SE, conforme Carvalho et al. (2015). a) Precipitação. b) Temperatura mínima e máxima. .... 16
- Figura 5. Variação dos estoques de carbono em função de projeções climáticas até 2100 em cultivo de milho submetido à plantio convencional em Canindé de São Francisco, Sergipe. a) Solo. b) Grão. .... 18
- Figura 6. Variação dos estoques de carbono em função de projeções climáticas até 2100 a) no solo e b) no grão em cultivo de variedade de milho melhorado submetido à plantio direto em Canindé de São Francisco, Sergipe. .... 20

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1. Diferença entre as médias mensais calculadas para os períodos 2090-2100 e 2010-2020. ....	17
Tabela 2. Efeito das mudanças climáticas e sistema de manejo (convencional e alternativo) sob diferentes cenários (pessimista, otimista e intermediário) no estoque de carbono em solos de Canindé de São Francisco-SE. Os valores são a diferença entre a média dos estoques de C entre os períodos “2090 - 2100” e “2010 - 2020”. ....	20
Tabela 3. Efeito das mudanças climáticas e sistema de manejo (convencional e alternativo) sob diferentes cenários (pessimista, otimista e intermediário) no estoque de carbono no grão de milho em Canindé de São Francisco -SE. Os valores são as médias dos estoques de C no período final de simulação (2090 a 2100) .....	22

## Sumário

1. Introdução.....	1
2. Revisão Bibliográfica .....	3
2.1 Mudanças climáticas.....	4
2.2 Agricultura familiar .....	5
2.3 O cultivo do milho .....	3
2.4 Modelagem ambiental.....	7
3. Metodologia.....	8
3.1 Área de estudo .....	8
3.2 Modelagem da dinâmica de carbono .....	9
3.3. Criação de cenários de mudanças climáticas .....	10
3.4 Avaliação de manejo alternativo.....	11
3.5 Análises estatísticas .....	12
4. Resultados e Discussão.....	12
4.1. Simulação da dinâmica de C em solos sob cultivo de milho em Canindé de São Francisco, SE .....	12
4.2. Correções dos dados de temperatura do ar e precipitação para Canindé de São Francisco, SE .....	13
4.3. Projeções climáticas para Canindé de São Francisco, SE até 2100.....	15
4.4. Impactos das mudanças climáticas na dinâmica de C em cultura de milho sob plantio convencional .....	17
4.5. Cenário alternativo de manejo para adaptação aos efeitos das mudanças climáticas....	19
5. Conclusões.....	23
6. Referências bibliográficas .....	23

## 1. Introdução

O clima global vem sofrendo mudanças nas últimas décadas devido ao aquecimento global ocasionado por meio de atividades humanas, principalmente desmatamento, mudanças no uso da terra e emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) resultantes da queima de combustíveis fósseis (Carvalho *et al.*, 2011). Entre as principais mudanças no clima, está a distribuição irregular das chuvas, aumento ou diminuição de temperaturas da atmosfera e elevação do nível do mar (Cerri e Cerri, 2007).

Países com grandes produções agrícolas, como o Brasil, podem ser afetados pelas mudanças no clima global, visto que estas podem interferir no cultivo de várias culturas agrícolas. Para a cultura do milho (*Zea mays L.*) os principais fatores climáticos que podem reduzir a produção, seja por ação individual ou conjunta, são a precipitação, temperatura do ar e radiação solar (Maldaner *et al.*, 2014).

A agricultura brasileira é reconhecida por sua relevante colaboração para a economia do país, como também por sua importância para o mercado global. Embora muitas regiões apresentem altas produtividades agrícolas, tal padrão não é observado em todo o território, em especial na região Semiárida, localizada na parte Nordeste do Brasil (CEPEA, 2015).

Na atualidade, a agricultura familiar reúne a maioria da população rural, no Brasil ela abrange cerca de 6,5 milhões de unidades de produção agropecuária, mais da metade localizada na Região Nordeste (FAO, 1996). Esta modalidade de agricultura possui importância social e econômica em função do peso nos mercados de produtos alimentares (milho, feijão, batata, banana, etc.) e de exportação (cacau, café, laranja, etc.), bem como pelos recursos e empregos que ela possibilita (Veiga, 1996).

O milho (*Zea mays L.*) é classificado como uma das espécies mais utilizadas no mundo, conforme sua multiplicidade de aplicações, o mesmo assume um importante papel



socioeconômico, além de ser uma matéria-prima indispensável para vários complexos agroindustriais (Fancelli; Dourado Neto, 2000). No semiárido brasileiro é o principal cereal empregado para alimentação humana e animal, colaborando ainda com a geração de empregos no setor primário (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000). Nessa região são produzidas aproximadamente 233,3 milhões de toneladas de grãos, em uma área mais o menos de 12,93 milhões de hectares (CONAB, 2019).

Nesse cenário, os modelos de simulação auxiliam na compreensão dos efeitos do uso da terra, dinâmica da matéria orgânica do solo, bem como das alterações dentro dos compartimentos (Leite e Mendonça, 2003). A modelagem dos processos biogeoquímicos através de modelos de simulação permite avaliar e entender a dinâmica do carbono solo-plantas em diferentes sistemas (Vilela e Mendonça, 2013). Os modelos possibilitam também a criação de cenários prospectivos, os quais podem representar processos relacionados às alterações no uso da terra (Macedo *et al.*; 2013).

O modelo Century já foi utilizado em diferentes escalas temporais e variáveis ambientais, o qual possibilita uma rápida estimativa sob a dinâmica do carbono em diferentes usos da terra em um curto prazo de tempo. Desta forma, a utilização desse modelo contribui para a proposição de medidas preventivas e mitigadoras dos impactos gerados pelo uso da terra na dinâmica de carbono em agroecossistemas (Wendling *et al.*, 2014).

Considerando a importância social e econômica da cultura do milho, este trabalho teve como objetivos avaliar o efeito das mudanças climáticas nos estoques de carbono do solo e na produtividade do milho no município de Canindé de São Francisco, Sergipe, e também avaliar a eficácia de um manejo alternativo para mitigar as emissões de C na região.

## 2. Revisão Bibliográfica

### 2.1 Mudanças climáticas

Segundo a Convenção Quadro das Nações Unidas para Mudança do Clima (UNFCCC), mudanças climáticas são as alterações do clima, relacionadas direta ou indiretamente às atividades antropogênicas, as quais ocasionam modificações na composição da atmosfera global e que são adicionais às variações climáticas naturais.

O efeito estufa é um fenômeno natural provocado por gases presentes na atmosfera terrestre que aprisionam parte da radiação infravermelha emitida pela superfície e a redistribuem em forma de calor (IPCC, 2007). Entre os principais gases responsáveis pelo efeito estufa estão o metano ( $\text{CH}_4$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), vapor d'água e o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Este último é o que mais contribui para o fenômeno em função de sua alta concentração na atmosfera, uma vez que vem sendo emitido em grandes quantidades por atividades antrópicas (Carvalho 2005).

Evidências apontam que atividades humanas são responsáveis pelas mudanças climáticas globais na atualidade, uma vez que a emissão exacerbada de GEE potencializa o efeito estufa ocasionando variações excessivas na temperatura e, conseqüentemente, o aquecimento global.

O Brasil ocupa o terceiro lugar no ranking das emissões de gases GEE provenientes do setor agropecuário. Dentre as principais práticas, o desmatamento de áreas destinadas a pastagem e agricultura representa o maior percentual das emissões do setor no país (SEEG 2016).

Os modelos climáticos globais do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), e os modelos regionais de mudanças climáticas, estimam um aumento da temperatura superficial de 2 a 4°C na América do Sul até o final do século XXI (MMA 2007). Entre as principais conseqüências previstas, a improdutividade de vários sistemas agrícolas será um problema de quase todas as regiões do Brasil, principalmente do semiárido nordestino (PBMC, 2014).

## *2.2 Agricultura familiar*

Desde os anos 1990, a agricultura familiar, como forma diferenciada de produção, vem crescendo em todos os pontos do mundo e tem como característica predominante a mão-de-obra e gerenciamento realizado por membros de uma família (Tomasetto, Lima e Shikida, 2009). A importância e o papel da agricultura familiar no desenvolvimento socioeconômico do Brasil vem sendo impulsionado, principalmente, pela concepção de avanço, geração de emprego, renda, segurança alimentar e desenvolvimento local. Além de ser um dos fatores que reduzem o êxodo rural, e hoje ocupa lugar de destaque em políticas públicas, nos meios acadêmicos e na economia (FAO/INCRA, 2000).

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a agricultura familiar corresponde a 84,4% de todas as propriedades rurais no país, compreendendo 4,36 milhões de estabelecimentos. Além de ser responsável por garantir boa parte da segurança alimentar do país vem ganhando destaque pela maneira sustentável que relaciona o agronegócio ao meio ambiente (Comciencia, 2011). Em 2007 foi responsável por 67% da produção nacional de feijão, 97% de fumo, 84% de mandioca, 31% de arroz, 49% de milho, 52% de leite, 59% de suínos, 40% de aves e ovos, 25% de café e 32% de soja. Segundo dados fornecidos pelo PRONAF (Programa Nacional Concentração Geográfica da Agricultura Familiar), nesse mesmo ano, a agricultura familiar conseguiu atingir 30,5% da área total dos estabelecimentos rurais, gerando 38% do Valor Bruto da Produção (VBP) nacional e ocupando 77% do total de pessoas que trabalhavam na agricultura (BRASIL, 2007).

Na região nordeste, a agricultura familiar apresenta diversas condições agroecológicas e de relações sociais, que estabeleceram a formação de uma diversidade de sistemas agrários e de produção, muitos dos quais em acelerado processo de transformação. A região caracteriza-se pelo acúmulo de pequenos estabelecimentos familiares em algumas áreas geográficas, baixo

nível de renda gerado pelas unidades produtivas, pequena base de recursos naturais, até mesmo hídrico e fundiário, pela pressão demográfica e deterioração ambiental (Buainain *et al.*; 1997).

A agricultura familiar, ao contrário da agricultura convencional, procura equilibrar o uso dos recursos naturais buscando alternativas para uma produção sustentável (Tomasetto, Lima e Shikida, 2009). Para Veiga (1996), além das diversas formas de produção visando a sustentabilidade, outra vantagem da agricultura familiar é ter um perfil basicamente distributivo que busca promover o fortalecimento dos agricultores.

Colaborando no processo de desenvolvimento local, os agricultores familiares buscam distribuição de renda e igualdade social e ao mesmo tempo promove uma relação mais equilibrada com a natureza. Corroborando com as palavras de Santos e Silveira (2005), de que “inovações técnicas e organizacionais na agricultura concorrem para criar um novo uso do tempo e um novo uso da terra”.

Dessa forma, é necessário destacar que a produção familiar, além de ser um dos fatores que reduzem o êxodo rural, pois consiste em uma importante fonte de recursos para as famílias com baixa renda. Contribui ainda para a geração de riqueza, considerando a economia não somente do setor agropecuário, mas do próprio país (Guilhoto *et al.*, 2009; Grisa; Schneider, 2008). Também favorece diversas dimensões estratégicas para o futuro do país como, por exemplo, a sustentabilidade da produção, equidade econômica e inclusão social (Sousa; Crestana, 2006).

### 2.3 Cultivo de milho

O milho (*Zea mays L.*) é uma planta que pertence à família Poaceae, também conhecida como família das gramíneas. A mesma possui um sistema radicular fasciculado por meio do qual a planta obtém água e nutrientes fundamentais para seu crescimento (Magalhães *et al.*, 2002). Água, temperatura e radiação solar ou luminosidade são fatores limitantes no período de crescimento e desenvolvimento do milho. A cultura do milho precisa que os índices dos fatores climáticos, principalmente temperatura, precipitação pluviométrica e fotoperíodo, atinjam

níveis considerados ótimos, a fim de que seu potencial genético de produção se expresse ao máximo (EMBRAPA, 2010).

De acordo com (Bergamaschi e Matzenauer, 2014), o crescimento máximo da cultura ocorre entre 26°C e 34°C, sendo os limites extremos 8°C e 44°C. Segundo a Embrapa (2010), a temperatura para a fase da germinação até a fase de maturação deve estar em torno de 25°C. Na fase de maturação dos grãos a temperatura abaixo de 15°C pode provocar retardamento desse processo. Em relação à temperaturas noturnas, quando estas são superiores a 24°C ocorre o aumento da taxa respiratória, ocasionando a redução da taxa de fotoassimilados, resultando em queda na produção (Sans, 2009).

O milho (*Zea mays L.*) responde de maneira positiva à radiação solar, pois, pertence ao grupo de culturas com metabolismo fotossintético C4. A radiação solar é muito importante para essas culturas, sem a qual o processo fotossintético é inibido e a planta fica bloqueada de manifestar seu máximo potencial produtivo. Cerca de 90% da matéria seca dessas culturas resulta da fixação de CO<sub>2</sub> no processo de fotossíntese, os outros 10% são originados da absorção de nutrientes (Magalhães; Souza, 2011).

Na fase que vai do florescimento à maturação, a cultura fica muito sensível, e quando acontece uma estiagem nesse período ocorre a redução do número de grãos por espiga, o que resulta na redução da produtividade final (Bergamaschi *et al.*, 2004). De acordo com Magalhães *et al.* (2002) um déficit hídrico da ordem de 2 dias no decorrer da fase de florescimento ocasiona queda de produtividade em mais de 20%. Quando o déficit compreende um período de quatro a oito dias pode comprometer a produtividade em mais de 50%.

O milho mostra grande diversidade de usos, destacando-se pela sua grande importância para a economia e sociedade. No semiárido brasileiro é o cereal mais utilizado para alimentação humana e animal, e contribui ainda com a geração de empregos no setor primário, além de ser uma matéria-prima fundamental que impulsiona vários complexos agroindustriais locais

(Fancelli; Dourado Neto, 2000). Na fase de enchimento de grãos o déficit hídrico causa danos no metabolismo da planta e o fechamento dos estômatos, reduzindo a taxa fotossintética e resultando na produção de fotoassimilados e sua translocação para os grãos (EMBRAPA, 2010).

As limitações ocasionadas pela baixa disponibilidade de água do solo ou pela alta demanda evaporativa acionam determinados mecanismos fisiológicos que permitem aos vegetais escapar ou resistir a essas condições ambientais. No entanto, promovem modificações no crescimento e desenvolvimento, que tem como consequência reduções na produção final (Magalhães *et al.*, 2002).

#### *2.4 Modelagem ambiental*

Através da modelagem é possível fazer previsões a longo prazo, composição atmosférica e mudanças no uso da terra que é essencial na formulação de políticas ambientais, agrícolas, sociais e econômicas. Modelos matemáticos facilitam o entendimento da dinâmica da MOS tornando-se ferramentas essenciais na predição dos efeitos das mudanças ambientais, para testar cenários específicos e desenvolver estratégias que mitiguem os efeitos das mudanças no uso da terra, além de baixo custo (Leite e Mendonça, 2003).

A operacionalização do modelo segue as seguintes etapas: tratamentos utilizados na simulação, inicialização, calibração e validação do modelo (Bortolon *et al.* 2009). Segundo Jørgensen e Bandorocchio (2001). A calibração do modelo consiste em uma tentativa de se estabelecer, por meio de variação de parâmetros internos do modelo, coincidências entre os dados medidos em campo e os dados de saída do modelo. Após esse processo, o modelo pode ser utilizado para responder perguntas e solucionar problemas. Por exemplo, realização de simulações de alterações no manejo do uso da terra, visando encontrar melhores práticas de recuperação do solo e melhorias do ecossistema (Parton *et al.*, 1993).

O modelo Century é uma ferramenta que vem sendo bastante utilizada na quantificação da matéria orgânica e simulação da dinâmica do carbono nos compartimentos planta-solo sob diferentes cenários climáticos (Parton et al., 1993). Além de simular diferentes cenários, o Century combinado com técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, possibilita simular a dinâmica espaço-temporal do carbono orgânico total do solo (Lopes et al. 2008). Inicialmente foi desenvolvido para simular a dinâmica do carbono e nutrientes do solo em pastagens naturais de ambientes temperados (Parton et al.1993). Portanto, após a realização de alguns ajustes passou a ser utilizado para regiões tropicais (Leite et al. 2004, Bortolon et al. 2012, Wendling et al. 2014),).

### **3. Metodologia**

#### *3.1 Área de estudo*

A Caatinga, faz parte do domínio das Florestas Tropicais Sazonalmente Secas (FTSS). Abrangendo oito estados do Nordeste do Brasil é formada por diversas tipologias vegetais e espécies endêmicas, representando aproximadamente 70% da vegetação da região. O clima é predominantemente semiárido, caracterizado por baixas médias de pluviosidade (500 a 700 mm.a<sup>-1</sup>) (Oliveira *et al.*, 2006), baixa umidade relativa do ar, chuvas escassas e concentradas em um curto período, provocando enchentes torrenciais. Mesmo durante a época das chuvas (novembro a abril), sua distribuição é irregular, deixando de ocorrer durante alguns anos, provocando “secas” (EMBRAPA FLORESTAS, 2016). A temperatura média anual varia de 25C° a 30C° e os solos são rasos e pedregosos (Sena, 2011).

Os longos períodos de estiagem dificultam a produção de culturas perenes, sendo, portanto, efetuados os cultivos de inverno, via de regra milho e feijão consorciado. Também é comum a abertura de áreas para pastagens, onde o gado geralmente é solto de forma extensiva (Amarante, 2013).

O teor de Carbono Orgânico Total (COT) no horizonte superficial dos solos sob a vegetação de Caatinga é geralmente baixo, em comparação com outros biomas. Esses teores estão relacionados a baixas entradas de resíduos orgânicos, uma vez que a produção vegetal é limitada pela disponibilidade de água e deficiências na fertilidade do solo (Jacomine *et al.*, 1979).

Canindé de São Francisco é uma cidade de Estado do Sergipe, que está situada no nordeste sergipano, tendo como característica marcante a vegetação da caatinga. O município se estende por 902,2 km<sup>2</sup> e contava com 24 686 habitantes no último censo. A densidade demográfica é de 27,4 habitantes por km<sup>2</sup> no território do município, situado a 19 metros de altitude, Canindé de São Francisco tem as seguintes coordenadas geográficas: Latitude: 9° 38' 32" Sul, Longitude: 37° 47' 19" Oeste ([www.brasilchannel.com.br](http://www.brasilchannel.com.br)).

Os principais cultivos e rendas municipais provêm da agricultura (milho, tomate, feijão e algodão), pecuária (bovinos, caprinos e ovinos), avicultura (galináceos). Em Canindé de São Francisco, o verão é longo, escaldante, seco e de céu quase encoberto; o inverno é curto, morno e de céu quase sem nuvens. Durante o ano inteiro, o tempo é abafado e de ventos fortes. Ao longo do ano, em geral a temperatura varia de 19 °C a 36 °C e raramente é inferior a 17 °C ou superior a 39 °C ([weatherspark.com](http://weatherspark.com)).

### *3.2 Modelagem da dinâmica de carbono*

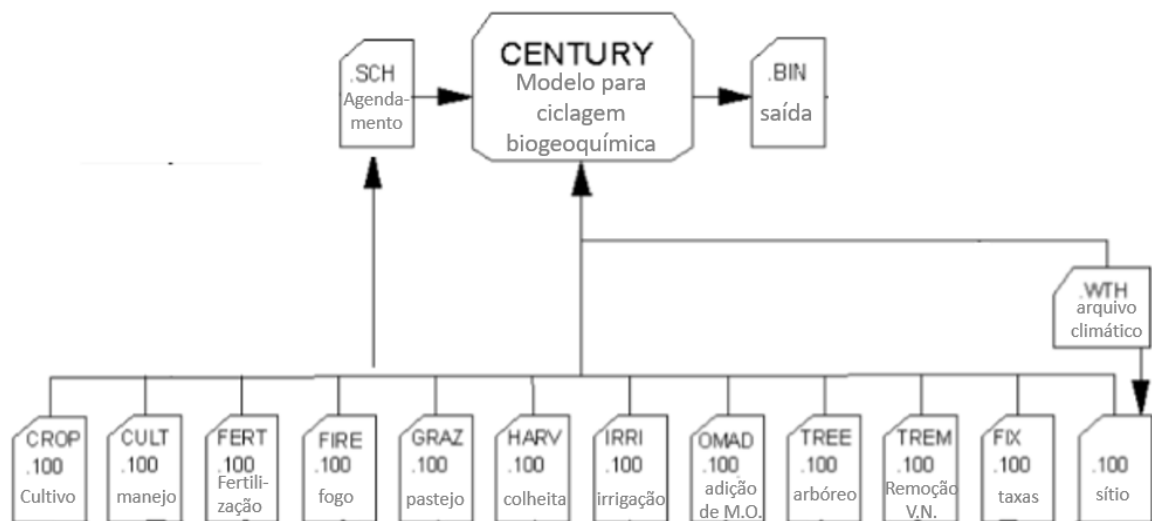
O modelo Century 4.5 foi utilizado nas simulações da dinâmica de C do solo e da biomassa aérea em pastagens. As informações de entrada necessárias para utilização do modelo são: 1) dados ambientais (precipitação, temperatura máxima e mínima, além de textura, densidade e pH do solo) - arquivo “sítio”; 2) construção do histórico de uso informando os períodos de ocorrência dos eventos (vegetação nativa, desmatamento, instalação do uso da terra) - arquivo “SCH”; 3) características das coberturas vegetais (alocação de C em diferentes partes da planta, potencial de produtividade, etc.) - arquivos “CROP.100” e “TREE.100”; 4) propriedades



relacionadas ao uso da terra como efeito do pastejo (GRAZ.100), efeito do manejo (CULT.100) (Figura 1).

A calibração e validação do modelo Century para estudar a dinâmica de C em solos sob cultivo convencional de milho (com revolvimento do solo no plantio) no município de Canindé de São Francisco foi previamente realizada por Gouveia (2018). Este autor observou os seguintes erros para vegetação nativa de Caatinga e cultivo de milho (30 anos): 7% e 10%, respectivamente. Neste trabalho de conclusão de curso foram realizados ajustes nos parâmetros PRDX(1) e PRDX(2), respectivamente, relacionados à produtividade primária da cultura e do estrato lenhoso da vegetação de caatinga, como o objetivo de aumentar a acurácia do modelo em estimar os estoque de C na região.

**Figura 1. Representação esquemática dos arquivos utilizados pelo modelo Century. M.O. = matéria orgânica, V.N. = vegetação nativa.**



### 3.3. Criação de cenários de mudanças climáticas

Os cenários de mudanças climáticas foram criados através da construção de arquivos com extensão WTH utilizados pelo modelo Century para armazenamento de dados de precipitação, temperaturas mínimas e máximas mensais por sítio. As projeções climáticas até o ano 2100 foram obtidas na página do National Center of Atmospheric Research (NCAR - <https://gisclimatechange.ucar.edu>), gerenciado pela University Corporation for Atmospheric

Research (UCAR), Colorado, EUA. Foram utilizados quatro cenários de projeções climáticas, cujas intensidades de aumento na energia retida no sistema planetário pelos gases de efeito estufa até o ano 2100 variam de 2,6 W.m<sup>-2</sup> (otimista) a 8,5 W.m<sup>-2</sup> (pessimista), sendo dois cenários intermediários (4,5 e 6,0 W.m<sup>-2</sup>).

Após a organização dos dados referentes às projeções climáticas para o município de Canindé de São Francisco, foi realizada a correção das projeções através de cálculos conforme realizado por Carvalho *et al.* (2015). A correção de erros sistemáticos para temperatura do ar foi feita subtraindo as médias mensais reais das médias mensais modeladas para período entre 1986 e 2005, conforme a equação:

$$\text{Erro sistemático} = \text{Temp(mod)} - \text{Temp(obs)}$$

Onde: Temp(mod) correspondente à temperatura do ar simulada pela NCAR, e Temp(obs) é a temperatura real.

Para a precipitação, foi gerado um fator de correção (c), definido conforme a fórmula abaixo:

$$c = \frac{\sum_{i=1}^{m=20} P_i^{\text{OBS}}}{\sum_{i=1}^{m=20} P_i^{\text{MOD}}}$$

Onde: POBS refere-se aos valores mensais da série histórica de precipitação observada e PMOD refere-se aos valores mensais modelados. Os médias mensais reais de temperatura e precipitação para Canindé de São Francisco foram obtidas na página “climate-date.org”.

### 3.4 Avaliação de manejo alternativo

Um cenário alternativo de manejo foi testado para avaliar seu efeito em relação ao enfrentamento das mudanças climáticas em Canindé de São Francisco. Este manejo era composto por dois procedimentos em conjunto: 1) simular a prática de plantio direto (sem revolvimento do solo no plantio da cultura e sem remoção dos resíduos vegetais na colheita); 2) simular a utilização de milho melhorado geneticamente, técnica que vem sendo utilizada para assegurar a produção de milho mesmo em condições crescentes de seca (Zagatto Paterniani *et*

*al.*, 2019). Para isto foi feito ajuste no parâmetro responsável pelo potencial biótico da cultura (PRDX(1)).

### *3.5 Análises estatísticas*

A avaliação do modelo foi feita através do cálculo do desvio entre os valores simulados e observados através da fórmula:  $((\text{Sim} - \text{Obs})/\text{Obs}) * 100$ , onde Sim é o valor simulado, Obs é o valor observado e o resultado expresso em porcentagem. Parton et al. (1993) sugere que os erros sejam menores do que  $\pm 25\%$ .

Para avaliação do efeito dos cenários climáticos nos estoques de C foram feitas comparações das médias dos valores obtidos no final da simulação (2090 - 2100) com o período próximo à instalação do uso da terra (2010 - 2020). Os primeiros anos pós instalação do uso da terra foi desconsiderado para evitar o efeito do desbalanço nas entradas e saídas do C provocado pela perturbação inerente ao processo.

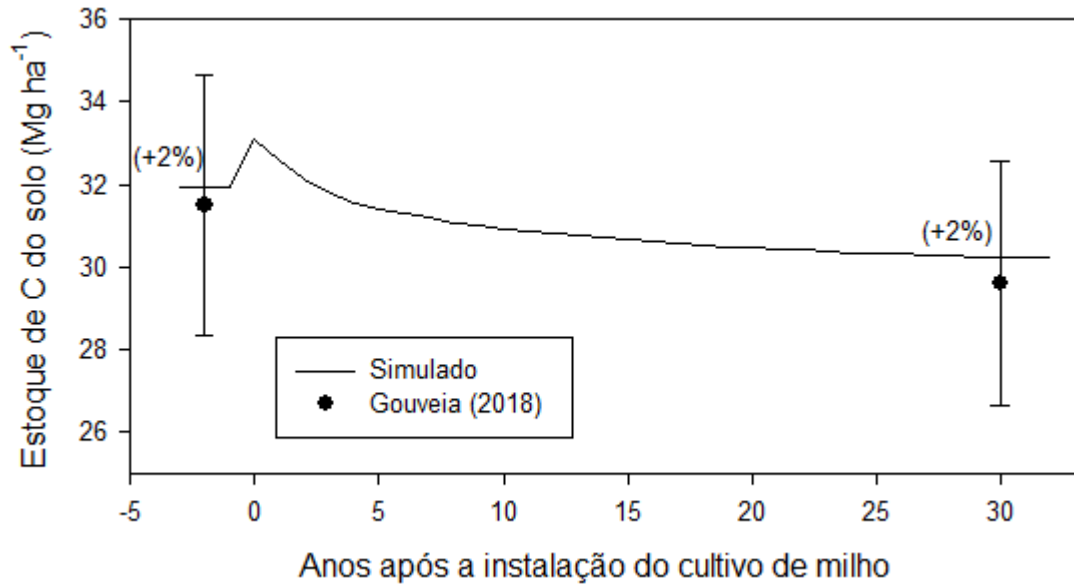
## **4. Resultados e Discussão**

### *4.1. Simulação da dinâmica de C em solos sob cultivo de milho em Canindé de São*

#### *Francisco, SE*

Os ajustes realizados em parâmetros do modelo aprimoraram sua performance, uma vez que os erros observados ( $+2\%$ , tanto vegetação nativa quanto para 30 anos após a instalação do cultivo de milho) (Figura 2), foram menores do que os encontrados por (Gouveia, Pinto e Loureiro, 2018), que foram de  $+7\%$  e  $-7\%$ , respectivamente. Posteriormente, seguiu-se a utilização do modelo para simular os efeitos mudanças climáticas até 2100.

Figura 2. Dinâmica de C do solo simulado através do modelo Century em Canindé de São Francisco, SE.



#### 4.2. Correções dos dados de temperatura do ar e precipitação para Canindé de São

##### Francisco, SE

A metodologia utilizada para correção de erros sistemáticos nos valores climáticos modelados pela NCAR mostrou-se eficiente, uma vez que aproximou os dados ajustados dos dados reais. Os valores de temperatura mínima modelados apresentaram maior discrepância em relação aos reais no período correspondente aos meses de agosto a dezembro (Figura 3a). Em relação a temperatura máxima essa diferença foi mais evidente entre os meses de setembro a dezembro. Em ambos os casos a resposta do ajuste do modelo aproximou os valores aos dos dados medidos em campo (Figura 3b).

A correção foi fundamental para a utilização das projeções de precipitação na modelagem da dinâmica de C pois foi possível observar alta discrepância entre os valores simulados pela NCAR e os dados reais (Figura 3c). Após a correção, os valores ajustados se tornaram bastante similares aos valores reais.

Figura 3. Médias de temperatura mínima, máxima e precipitação para real (linha contínua preta), modelada pela National Center of Atmospheric Research (linha contínua cinza), e ajustada (linha tracejada) para o período entre 1986 a 2005. a) Temperatura mínima. b) Temperatura máxima. c) Precipitação.

a)

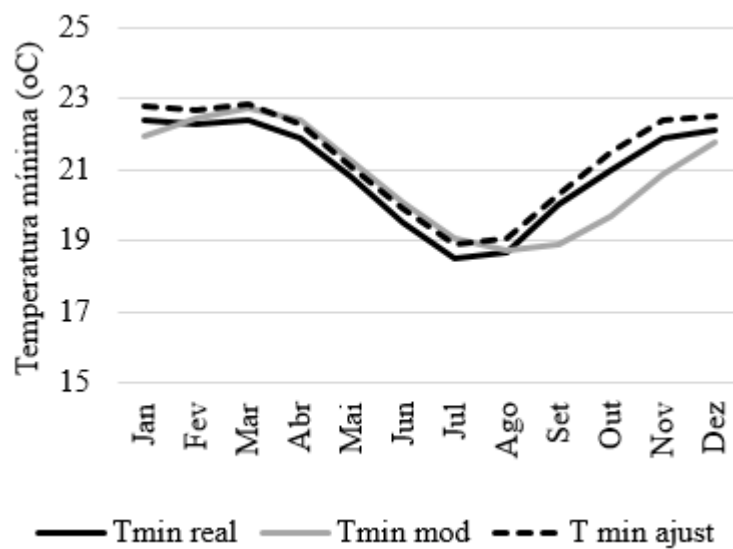
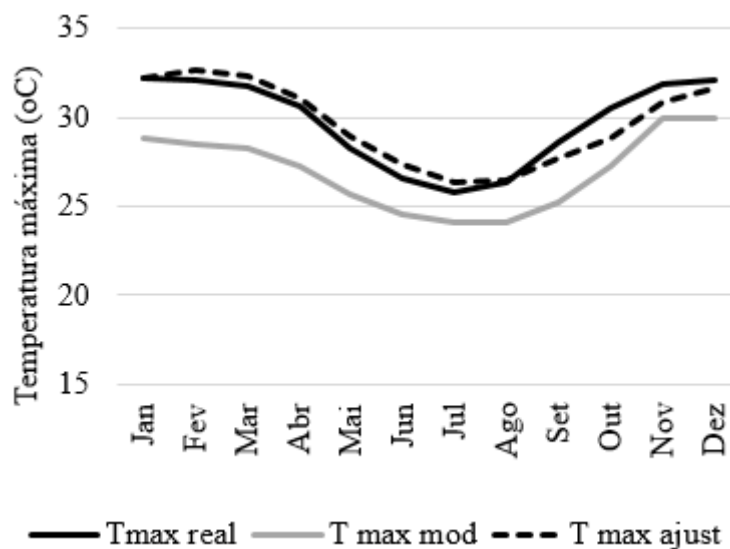
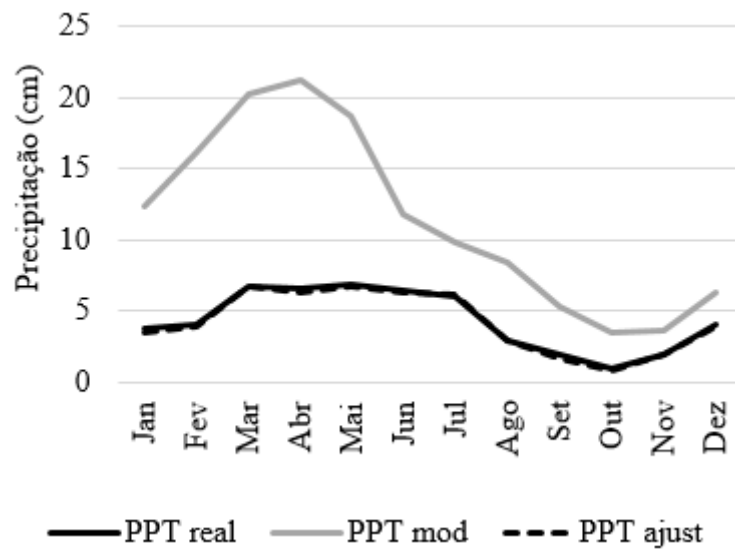


Figura 3. continuação

b)



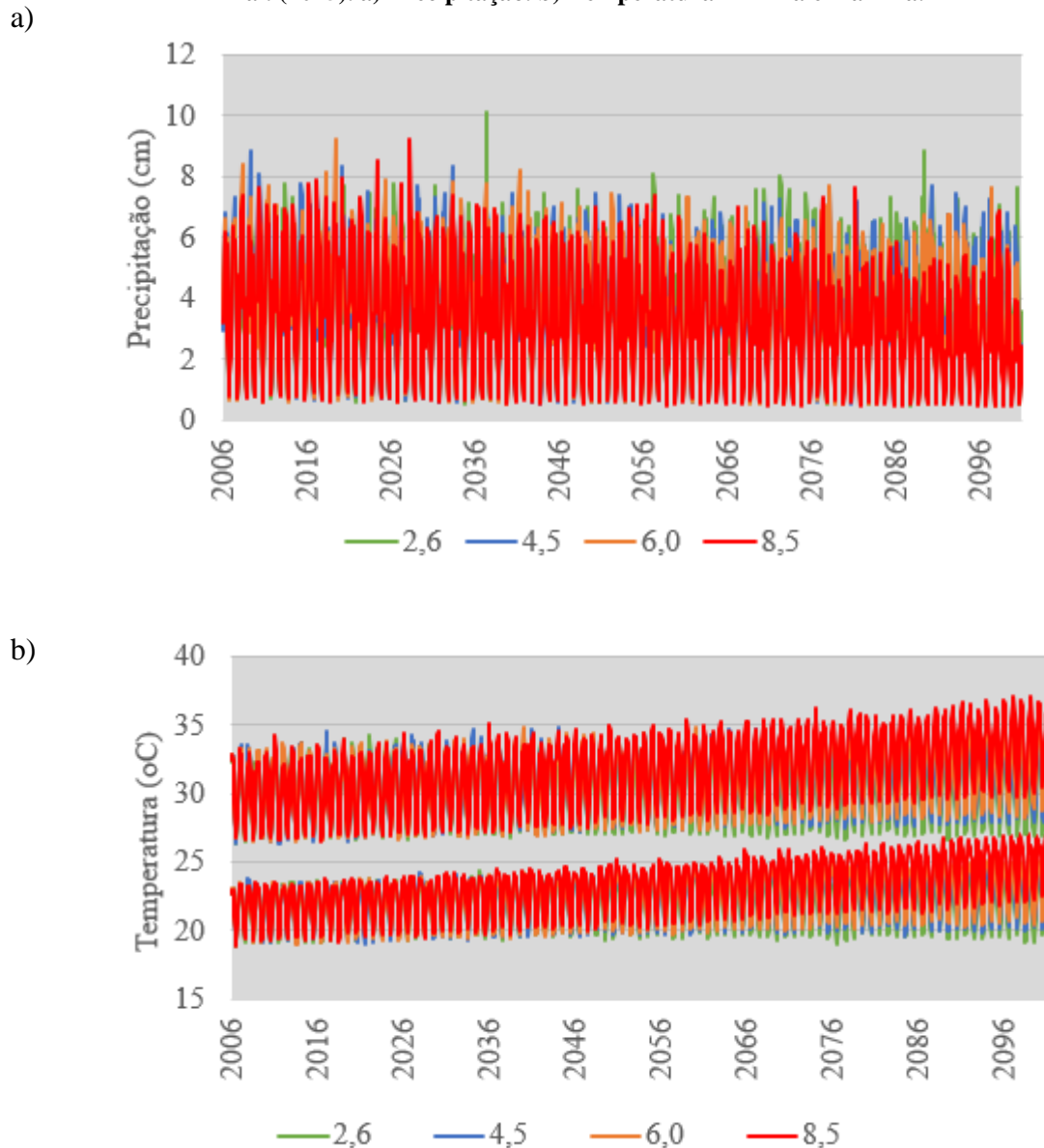
c)



#### 4.3. Projeções climáticas para Canindé de São Francisco, SE até 2100

Até o final do século XXI, as projeções mostram uma tendência a redução da precipitação no município em todos os cenários simulados. Quando comparados, o cenário otimista apresenta uma menor redução em relação aos cenários intermediários e pessimista (Figura 4a). Para a temperatura há uma tendência de aumento ao longo do tempo em todos os cenários climáticos. No entanto, esse aumento é mais acentuado no cenário pessimista tanto para temperatura mínima quanto para temperatura máxima (Figura 4b).

**Figura 4. Projeções mensais de precipitação e temperatura (mínima e máxima) até 2100 modelados pela NCAR e corrigidos para Canindé de São Francisco, SE, conforme Carvalho et al. (2015). a) Precipitação. b) Temperatura mínima e máxima.**



Em relação às médias mensais calculadas para os períodos 2090-2100 e 2010-2020, foi possível observar que dentre os cenários avaliados o otimista apresentou menor impacto sobre a redução da precipitação e aumento da temperatura mínima e máxima, resultando em -0.1, +0.2 e +0.3, respectivamente (Tabela 1). Entretanto, o cenário pessimista em comparação com os demais cenários climáticos foi o que resultou em maior variação na distribuição de chuvas e

aumento de temperatura. Para precipitação ocorreu um decréscimo de até -1,2 cm, enquanto para as temperaturas mínimas e máximas houve acréscimo de +2.9 e +3.3, respectivamente.

**Tabela 1. Diferença entre as médias mensais calculadas para os períodos 2090-2100 e 2010-2020.**

<b>Cenário climático (W.m-2)</b>	<b>Precipitação (cm)</b>	<b>T. mínima (oC)</b>	<b>T. máxima (oC)</b>
Otimista (RCP 2,6)	-0,1	+0,2	+0,3
Intermediário 1 (RCP 4,5)	-0,4	+0,9	+1,1
Intermediário 2 (RCP 6,0)	-0,6	+1,4	+1,7
Pessimista (RCP 8,5)	-1,2	+2,9	+3,3

#### *4.4. Impactos das mudanças climáticas na dinâmica de C em cultura de milho sob plantio convencional*

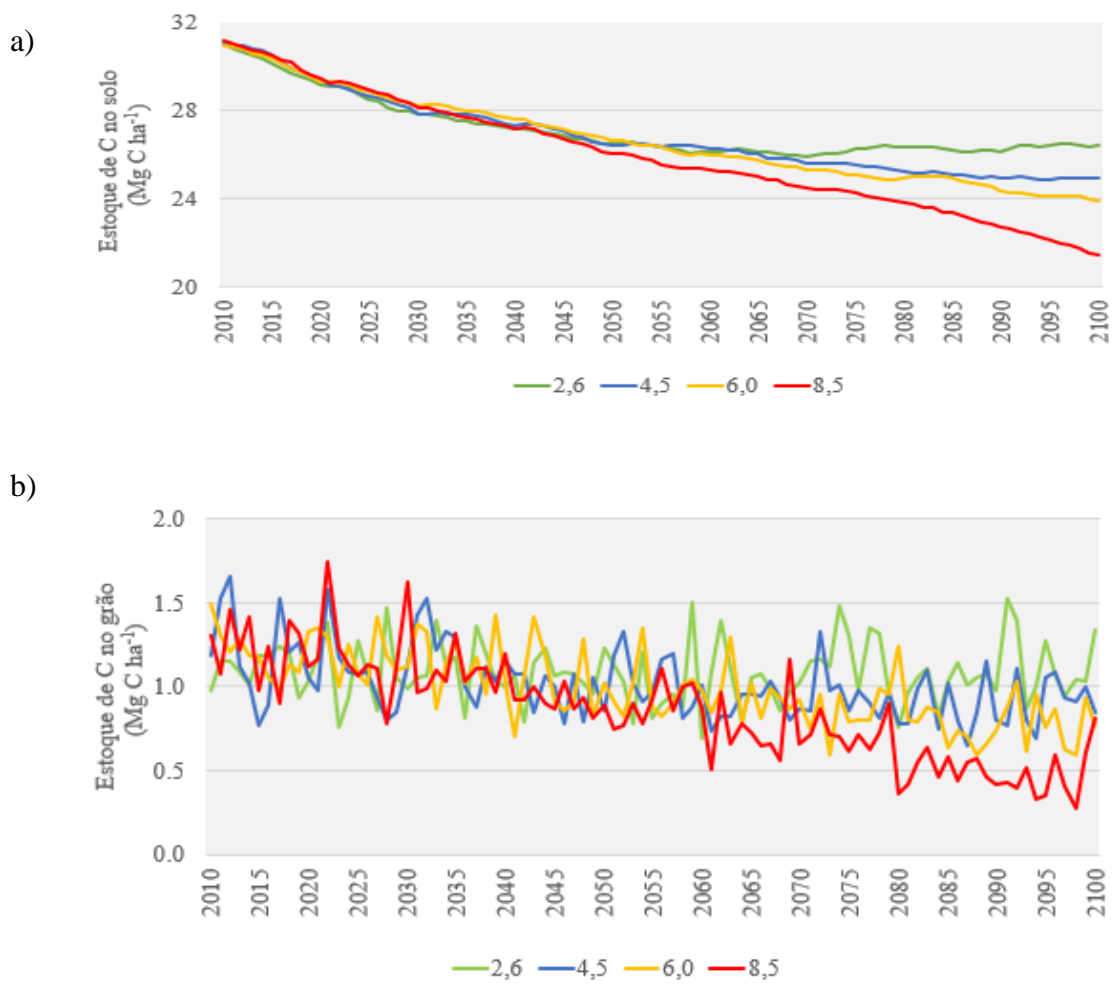
Algumas das implicações resultantes do aumento de temperatura e redução de precipitação previstas para o cultivo de milho sob manejo convencional em Canindé de São Francisco até 2100 serão a redução nos estoques de C do solo (Figura 5a) e também na produção de grãos de milho (Figura 5b). Mudanças na produção de milho estão relacionadas com a disponibilidade de água, sobretudo no período crítico da cultura, que vai do pendoamento ao início do enchimento de grãos (Matzenauer, 1994; Bergonci et al., 2001). Além disso, a combinação de altas temperaturas e baixas umidades pode causar morte das folhas e flores, impossibilitando a polinização. De acordo com (Bergamaschi e Matzenauer, 2014), o crescimento máximo do milho ocorre entre 26 e 34°C, apontando valores fora dessa faixa como fator limitante para o desenvolvimento do milho.

A simulação do efeito dos cenários climáticos no cultivo de milho em manejo convencional mostra que, até aproximadamente o ano 2045 haverá perda de C do solo, entretanto, a diferença



entre os cenários é pequena. Após 2050, é possível notar estabilização e posteriormente ligeiro aumento nos estoques de C no cenário otimista, enquanto a estabilização seria mais tardia (por volta do ano 2070) no cenário RCP 4,5. Nos demais cenários haveria perda de C, com maior intensidade no pessimista (Figura 5a). Considerando o período avaliado, os estoques de C do solo nos cenários atingiram 26,4 Mg.ha<sup>-1</sup> no otimista e 21,4 Mg.ha<sup>-1</sup> no pessimista em 2100.

**Figura 5. Variação dos estoques de carbono em função de projeções climáticas até 2100 em cultivo de milho submetido à plantio convencional em Canindé de São Francisco, Sergipe. a) Solo. b) Grão.**



Em ambos os compartimentos (solo e planta) foi observado uma tendência na diminuição dos estoques de C ao longo do tempo independentemente do cenário aplicado. Esse resultado

pode estar relacionado a eficiência na assimilação e transformação energética do CO<sub>2</sub> sob altas temperaturas das plantas C4 (Pinto *et al.*, 2007). (Minuzzi e Lopes, 2015), observaram que a longo prazo ocorrem maiores perdas na produtividade do milho, atribuindo ao efeito do estresse hídrico na redução da abertura dos estômatos que, conseqüentemente, diminui a quantidade de assimilados disponíveis para o desenvolvimento de grãos. Devido a elevadas temperaturas o solo e a vegetação sofrem maiores taxas de evaporação, principalmente no semiárido nordestino caracterizado por chuvas irregulares, solos rasos, pedregosos e com baixa capacidade de reter água (Oliveira *et al.*, 2006).

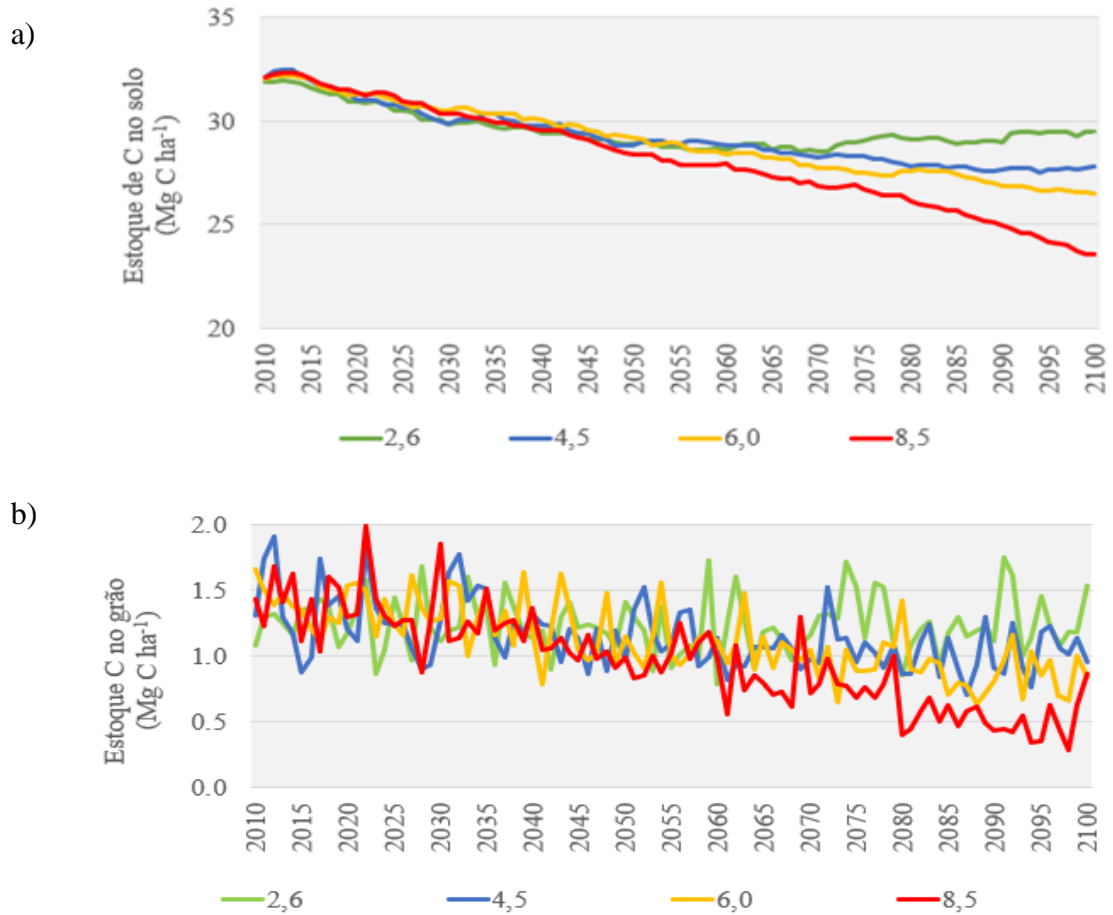
Segundo Taiz e Zeiger (1991), o aumento da concentração de CO<sub>2</sub> beneficia a atividade fotossintética, uma vez que, o CO<sub>2</sub> é substrato desse processo. No entanto, (Streck e Alberto, 2006) verificaram que o aumento de temperatura pode anular o potencial benéfico do aumento de CO<sub>2</sub> na produtividade do milho.

#### *4.5. Cenário alternativo de manejo para adaptação aos efeitos das mudanças climáticas*

No manejo alternativo, o estoque de C do solo também não apresentou alta variação entre os diferentes cenários climáticos para os anos de 2010 a 2050. Entretanto, analisando o período de 2050 a 2100 é possível verificar maior variação nos diferentes cenários simulados (pessimista, intermediários e otimista) (Figura 6a).

Para o estoque de C no grão, no cenário pessimista o período de 2010 a 2030 apresentou maiores picos na produtividade em relação aos cenários intermediários e otimista. Contudo, de 2030 a 2100 esse cenário sofreu maior decréscimo no estoque de C (Figura 6b). Ao final do período avaliado o estoque de C correspondeu a 1,3 Mg de C ha<sup>-1</sup> no cenário otimista, 1 e 0,9 Mg de C ha<sup>-1</sup> nos cenários intermediários e 0,5 Mg de C ha<sup>-1</sup> e no pessimista.

**Figura 6. Variação dos estoques de carbono em função de projeções climáticas até 2100 a) no solo e b) no grão em cultivo de variedade de milho melhorado submetido à plantio direto em Canindé de São Francisco, Sergipe.**



Avaliando todo o período estudado (2006 a 2100), o estoque de C do solo para o cenário pessimista apresentou uma perda de  $-7,7$  Mg de C ha<sup>-1</sup>. Para os cenários intermediários, a redução correspondeu a  $-4,2$  e  $-5,1$  Mg de C ha<sup>-1</sup> e no cenário otimista a perda foi aproximadamente de  $-2,1$  Mg de C ha<sup>-1</sup>.

**Tabela 2. Efeito das mudanças climáticas e sistema de manejo (convencional e alternativo) sob diferentes cenários (pessimista, otimista e intermediário) no estoque de carbono em solos de Canindé de São**

**Francisco-SE. Os valores são a diferença entre a média dos estoques de C entre os períodos  
“2090 - 2100” e “2010 - 2020”.**

Cenários	Convencional (Mg C ha <sup>-1</sup> )	Alternativo (Mg C ha <sup>-1</sup> )
Otimista (RCP 2,6)	-3,7	-2,1
Intermediário 1 (RCP 4,5)	-5,4	-4,2
Intermediário 2 (RCP 6,0)	-6,1	-5,1
Pessimista (RCP 8,5)	-8,2	-7,7

A perda de C no grão tende a aumentar com o passar dos anos devido a um gasto energético elevado que é influenciado pela eficiência do uso da energia e da água (Ormond, 2013). O preparo do solo, no plantio convencional, com arados e grades, aumenta a oxidação do C e a mineralização do N pela integração dos resíduos, quebra dos agregados e aumento da aeração do solo (Pereira *et al.*, 2010). Altas temperaturas, na faixa de 30°C a 35°C aumenta a velocidade de decomposição da matéria orgânica liberando CO<sub>2</sub> para a atmosfera. Se os agricultores continuarem no sistema convencional de plantio com os efeitos das mudanças climáticas poderá ocorrer modificações nos cultivos, ocasionando uma redução no rendimento do milho.

Sobre outra perspectiva, sistemas de preparo como o manejo alternativo aumentam a incorporação dos resíduos vegetais, proporcionam a redução da erosão (Cassol, 1984), aumento do armazenamento de água, da atividade microbiana, acúmulo de nutrientes e matéria orgânica, além da diminuição da temperatura nas camadas superficiais do solo (Bayer e Mielniczuk, 1999). Também reduzem a ruptura dos agregados no solo, sendo capazes de conservar ou até mesmo aumentar os estoques de C e N (Albuquerque *et al.* 2005; Alkaisi; Yin, 2005). O aumento dos estoques de C e o potencial para mitigar emissões de CO<sub>2</sub> relacionado ao sistema de manejo alternativo também têm sido mencionados em diversos outros trabalhos (Leite e Mendonça, 2003)

Em relação ao estoque de C no grão sob o manejo convencional, as médias atingidas entre os anos 2090-2100 foram de 1,1; 0,9; 0,8 e 0,5 Mg C ha<sup>-1</sup> para os cenários otimista, intermediários e pessimista, respectivamente (Tabela 2).

**Tabela 3. Efeito das mudanças climáticas e sistema de manejo (convencional e alternativo) sob diferentes cenários (pessimista, otimista e intermediário) no estoque de carbono no grão de milho em Canindé de São Francisco -SE. Os valores são as médias dos estoques de C no período final de simulação (2090 a 2100)**

Cenários	Convencional (Mg C ha <sup>-1</sup> )	Alternativo (Mg C ha <sup>-1</sup> )
Otimista (RCP 2,6)	1,1	1,3
Intermediário 1 (RCP 4,5)	0,9	1,0
Intermediário 2 (RCP 6,0)	0,8	0,9
Pessimista (RCP 8,5)	0,5	0,5

Apesar de ser interessante para mitigação das emissões de C no solo, o manejo alternativo não proporciona grandes acréscimos na produção de grãos, logo, não tem contribuição efetiva para aumento da produção de alimento e geração de renda.

A agricultura familiar consiste em uma das principais atividades econômicas do semiárido nordestino brasileiro em função da geração de emprego, renda, segurança alimentar e desenvolvimento local (FAO/INCRA, 2000). No entanto, apesar da sua importância socioeconômica e fragilidade ambiental, a região ainda é uma das mais limitadas, dentre outros fatores, em relação à assistência técnica, apoio financeiro, logístico (IBGE, 2006). Tendo em vista a importância socioeconômica da cultura do milho e a fragilidade desse ecossistema frente às mudanças climáticas, é preciso investir em novas alternativas tecnológicas para melhorar a produção de grão e assim promover uma maior rentabilidade para os agricultores familiares. A

modelagem tem potencial para dar suporte na busca de manejos alternativos atribuídos ao semiárido nordestino brasileiro.

## 5. Conclusões

O modelo Century mostrou-se uma ferramenta eficiente para simulação do efeito do uso do solo na Caatinga, contribuindo para a busca de manejos mais sustentáveis e eficazes no sequestro de C em solos do semiárido nordestino brasileiro.

As simulações realizadas mostram uma tendência a redução nos estoques de C do solo e da biomassa até o final do século XXI, levando-se em consideração os diferentes cenários climáticos projetados pelo IPCC. Além da redução nos estoques de C a produtividade do sistema também será afetada, o que pode gerar a sérias implicações socioeconômicas, uma vez que boa parte da economia da região depende dessa atividade.

Dentre os sistemas de manejo avaliados para o município de Canindé de São Francisco SE, o sistema de manejo alternativo contribui para o sequestro de carbono no solo, correspondendo a uma alternativa viável e com potencial para a mitigação da emissão do CO<sub>2</sub> para a atmosfera.

## 6. Referências bibliográficas

- ALBUQUERQUE, J. A.; ARGENTON, J.; BAYER, C.; WILDNER, L. P.; KUNTZE, M. A. G. Relação de atributos do solo com a agregação de um latossolo vermelho sob sistemas de preparo e plantas de verão para cobertura do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 29, n. 3, p. 415-424, 2005.
- AL-KAISI, M. M.; YIN, X. Tillage and crop residue effects on soil carbon and carbon dioxide emission in corn-soybean rotations. *J. Environ. Qual.*, Madison, v. 34, n. 2, p. 437-445, 2005.
- BAYER, C. et al. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. *Soil & Tillage Research*, v. 86, p. 237-245, 2006.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Ed.). **Matéria orgânica do solo: fundamentos e caracterização**. Porto Alegre: Gênese, 1999. p.9-26.

- BERGONCI, J.I.; BERGAMASCHI, H.; SANTOS, A.O.; FRANÇA, S.; RADIN, B. Eficiência da irrigação em rendimento de grãos e matéria seca de milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.36, p.949-956, 2001.
- BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; BERGONCI, J. I.; BIANCHI, C. A. M.; MÜLLER, A. G.; COMIRAN, F.; HECKLER, B. M. M. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 9, p. 831–839, set. 2004.
- BERGAMASCHI, H.; MATZENAUER, R. **O milho e o clima**. Porto Alegre, RS: [s.n.].
- BORTOLON, E.S.O., MIELNICZUK, J., TORNQUIST, C.G., LOPES, F., GIASSON, E. & BERGAMASCHI, H. 2012. Potencial de uso do modelo Century e SIG para avaliar o impacto da agricultura sobre estoques regionais de carbono orgânico do solo. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, 36:831-849. LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. DE S. Modelo Century de dinâmica da matéria orgânica do solo: equações e pressupostos. **Ciência Rural**, v. 33, n. 4, p. 679–686, ago. 2003.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Agrário. Programa Nacional do Crédito Fundiário. Plano Safra 2007/2008 investirá R\$ 12 bilhões na agricultura. Brasília, 2007. Disponível em: [http://www.creditofundiario.org.br/comunicacao/one-entry?entry\\_id=83964](http://www.creditofundiario.org.br/comunicacao/one-entry?entry_id=83964)> Acesso em: 03 out. 2019.
- BUAINAIN, A. Recomendações para a formulação de uma política de fortalecimento da agricultura familiar no Brasil. Campinas: Convênio FAO/INCRA, 1997. (Mimeogr.).
- CARVALHO, P.L.O.A. 2005. Carbono do solo e mitigação da mudança climática global. *Química Nova*, 28(2), 329-334.
- CARVALHO, H. W. L. DE; MELO, K. E. DE O.; FEITOSA, L. F.; LIRA, M. A.; TABOSA, J. N.; PACHECO, C. A. P.; OLIVEIRA, I. R. DE; CARDOSO, M. J. ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE MILHO NO NORDESTE BRASILEIRO. v. 13, p. 15, 29 ago. 2011.
- CASSOL, E.A. Erosão do solo: influência do uso agrícola, do manejo e preparo do solo. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, Instituto de Pesquisa em Recursos Naturais Não Renováveis, 1984. 40p. (Boletim Técnico, 15).
- CASTELÕES, L. **Agricultura familiar predomina no Brasil**. ComCiência: revista eletrônica de jornalismo científico, Campinas, 2011. Reportagens. Disponível em: <http://www.comciencia.br/reportagens/ppublicas/pp07.htm>>. Acesso em: 03 ago. 2019.
- CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA – CEPEA. PIB do Agronegócio: 1995-2015. Piracicaba, SP, 2015. Disponível em: < <http://cepea.esalq.usp.br/pib/>> Acesso em 02-out-2019.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, décimo levantamento**. Brasília, setembro/2019.
- CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. AGRICULTURA E AQUECIMENTO GLOBAL. p. 9, 2007.
- DA VEIGA, José Eli. Agricultura familiar e sustentabilidade. **Cadernos de Ciência &**

- Tecnologia**, v. 13, n. 3, p. 383-404, 1996
- EMBRAPA, E. B. DE P. A. Cultivo do Milho. n. 6, p. 10, 2010.
- FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Ecofisiologia e fenologia**. In: FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. Produção de milho. Guaíba: Agropecuária, p. 21-54. 2000.
- FAO/INcRA. **Perfil da agricultura familiar no Brasil: dossiê estatístico**. Brasília, 1996.
- FAO/INCRA. Projeto de cooperação técnica INCRA/FAO. Novo retrato da agricultura familiar. O Brasil redescoberto. Brasília, 2000.
- GOUVEIA, R. F.; PINTO, A. S.; LOUREIRO, D. C. **ESTOQUE E DINÂMICA DO CARBONO E NITROGÊNIO EM DIFERENTES USOS DA TERRA NA CAATINGA DO ESTADO DE SERGIPE**. Sao Cristóvão: UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE, 2018.
- GRISA, C.; SCHNEIDER, S. “Plantar pro gasto”: a importância do autoconsumo entre famílias de agricultores do Rio Grande do Sul. Revista de Economia e Sociologia Rural, Rio de Janeiro, v. 46, n. 2, p. 481-516, abr./jun. 2008.
- GUILHOTO, J. J. M.; ICHIHARA, S. M.; SILVEIRA, F. F.; DINIZ, B. P. C.; AZZONI, C. R.; MOREIRA, G. R. C. **A importância da agricultura familiar no Brasil e em seus Estados**. 2009. Disponível em: <http://www.anpec.org.br/encontro2007/artigos/A07A089.pdf>> Acesso em: 04 ago. 2019.
- IBGE. Censo agropecuário 2006: **agricultura familiar ocupava 84,4% dos estabelecimentos agropecuários**. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: [http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia\\_visualiza.php?id\\_noticia=1466&id\\_pagi-na=1](http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=1466&id_pagi-na=1)> Acesso em: 01 set. 2019.
- IPCC, 2007: Climate change 2007: The physical Science basis. In: Contribution of working group I to the assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., et al. (Eds.)]. Cambridge, UK, e New York, NY, USA: Cambridge University Press, 996 pp.
- JORGENSEN, S.E.; BENDOROCHIO, G. **Fundamentals of ecological modelling**. 3<sup>rd</sup> ed. New York: Elsevier, 2001. 530p. (Developments in Environmental Modelling, 21).
- LEITE, L.F.C., MENDONÇA, E.S. & MACHADO, P.L.O.A. 2004. Simulação pelo modelo Century da dinâmica de matéria orgânica de um argissolo sob adubação mineral e orgânica. Revista Ciências do Solo, 28:347-358.
- LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. DE S. Modelo Century de dinâmica da matéria orgânica do solo: equações e pressupostos. **Ciência Rural**, v. 33, n. 4, p. 679–686, ago. 2003.
- LOPES, F. et al. Simulação da dinâmica do carbono do solo numa microbacia rural pelo modelo Century. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 6, p. 745–753, jun. 2008.



- MACEDO, et al. Modelagem dinâmica espacial das alterações de cobertura e uso da terra relacionadas à expansão canavieira, 2013.
- MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, P. O. M.; CARNEIRO, N. P.; PAIVA, E. **Fisiologia do Milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2002. 23p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 22).
- MAGALHÃES, P. C.; SOUZA, T. C.; RODRIGUES, J. A. **Cultivo do Milho**. Sistema de Produção, 2. Ecofisiologia. Embrapa Milho e Sorgo 2011. Disponível em: < [http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/sorgo\\_8\\_ed/ecofisiologia.htm](http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/sorgo_8_ed/ecofisiologia.htm). > Acesso em 01 de set de 2019.
- MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; CARNEIRO, N. P.; PAIVA, E. Fisiologia do Milho. p. 23, 2002.
- MINUZZI, R. B.; LOPES, F. Z. Desempenho agrônômico do milho em diferentes cenários climáticos no Centro-Oeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 8, p. 734–740, ago. 2015.
- MALDANER, L. J.; HORING, K.; SCHNEIDER, J. F.; FRIGO, J. P.; AZEVEDO, K. D.; GRZESIUCK, A. E. **Exigência Agroclimática da Cultura do Milho (Zea Mays)**. Revista Brasileira de Energias Renováveis, Palotina, v. 3, p. 13-23, 2014.
- MATZENAUER, R. Modelos agrometeorológicos para estimativa do rendimento de milho, em função da disponibilidade hídrica no Estado do Rio Grande do Sul. 1994. 172p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- MMA. 2017. Protocolo de Quioto. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/protocolo-de-quioto>.
- OLIVEIRA, M. B. L. DE; SANTOS, A. J. B.; MANZI, A. O.; ALVALÁ, R. C. DOS S.; CORREIA, M. DE F.; MOURA, M. S. A B. DE. TROCAS DE ENERGIA E FLUXO DE CARBONO ENTRE A VEGETAÇÃO DE CAATINGA E ATMOSFERA NO NORDESTE BRASILEIRO. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, p. 378- 386, 2006.
- ORMOND, A. T. S. **SISTEMAS DE SEMEADURA E MANEJO DO SOLO NO DESENVOLVIMENTO DA CULTURA DA SOJA**. Rondonópolis: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO, 2013.
- PARTON, W. J. et al. Observations and modeling of biomass and soil organic matter dynamics for the grassland biome worldwide. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 7, n. 4, p. 785–809, dez. 1993.
- PBMC, 2014, Impactos, vulnerabilidades e adaptação às mudanças climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 2 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas [Assad, E.D., Magalhães, A. R. (eds.)]. COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 414 pp.
- PEREIRA, M.: G.; LOSS, A.; BEUTLER, S. J.; TORRES, J. L. R. Carbono, matéria orgânica leve e fósforo remanescente em diferentes sistemas de manejo do solo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 45, n. 5, p. 508-514, 2010.

- PINTO, H. S. et al. O aquecimento global e a cafeicultura brasileira. **Embrapa Informática Agropecuária-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2007.
- SANS, L. M. A. Influência dos atributos climáticos na implantação do milho e sorgo em safrinha. In: X Seminário Nacional Milho Safrinha. 2009. **Anais**. Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2009. p. 67-74.
- SANTOS, M.; SILVEIRA, M.L. *O Brasil: território e sociedade no início do século XXI*. 8. ed. Rio de Janeiro: Record, 2005.
- SEEG. 2016. Análise das emissões de GEE Brasil (1970-2014) e suas implicações para políticas públicas e a contribuição brasileira para o acordo de Paris. Observatório do Clima. Disponível em: <http://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2016/09/WIP-16-09-02-RelatoriosSEEG-Sintese.pdf>.
- Sítio da UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change [Convenção-Quadro sobre Mudança Climática] – Disponível em <http://unfccc.int/>. Acesso em 05 set de 2019.
- SOUSA, I. S. F. de; CRESTANA, S. Introdução. In: SOUSA, I. S. F. de (Ed.). Agricultura familiar na dinâmica da pesquisa agropecuária. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2006. p. 11-23.
- STRECK, N. A.; ALBERTO, C. M. Estudo numérico do impacto da mudança climática sobre o rendimento de trigo, soja e milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 9, p. 1351–1359, set. 2006.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. Plant physiology. Redwood City: Benjamin/ Cummings Pub. Co., 1991. 559p.
- TOMASETTO, M. Z. DE C.; LIMA, J. F. DE; SHIKIDA, P. F. A. Desenvolvimento local e agricultura familiar: o caso da produção de açúcar mascavo em Capanema - Paraná. **Interações (Campo Grande)**, v. 10, n. 1, jun. 2009.
- VILELA, E. F. & MENDONÇA, E. S. **Impactos de sistemas agroflorestais sobre a matéria orgânica do solo: modelagem de carbono e nitrogênio**. Coffee Science, Lavras, v. 8, n. 3, p. 354-363, jul./set. 2013.
- WEATHERSPARK.COM. **Clima característico em Canindé de São Francisco, Brasil durante o ano - Weather Spark**. Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/y/31176/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Canind%C3%A9-de-S%C3%A3o-Francisco-Brasil-durante-o-ano>>. Acesso em: 2 out. 2019.
- WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E. DE S.; ALMEIDA, R. F. DE. Simulação dos estoques de Carbono e Nitrogênio pelo Modelo Century em Latossolos, no Cerrado Brasileiro. **Rev. Ciênc. Agron.**, v. 45, n. 2, p. 11, 2014.
- WWW.BRASILCHANNEL.COM.BR. **Canindé de São Francisco (SE) -**

**BrasilChannel.com.br.** Disponível em:  
<[https://www.brasilchannel.com.br/municipios/mostrar\\_municipio.asp?nome=Canind%C3%A9%20de%20S%C3%A3o%20Francisco&uf=SE](https://www.brasilchannel.com.br/municipios/mostrar_municipio.asp?nome=Canind%C3%A9%20de%20S%C3%A3o%20Francisco&uf=SE)>. Acesso em: 2 out. 2019.

ZAGATTO PATERNIANI, M. E. A. G.; BERNINI, C. S.; GUIMARÃES, P. D. S.; RODRIGUES, C. S. Estratégias de melhoramento para tolerância à seca em germoplasma de milho tropical. **Singular Meio Ambiente e Agrárias**, v. 1, n. 1, p. 19–24, 13 ago. 2019.