



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA

---

VICTOR RONCARATTI DE MORAES

**O MODELO STICS NA SIMULAÇÃO DO ESTOQUE DE  
CARBONO DO SOLO, PRODUTIVIDADE E FITOMASSA  
DAS CULTURAS DE MILHO E SOJA EM ÁREAS DO  
CERRADO SOB PLANTIO CONVENCIONAL E DIRETO**

VICTOR RONCARATTI DE MORAES

**O MODELO STICS NA SIMULAÇÃO DO ESTOQUE DE  
CARBONO DO SOLO, PRODUTIVIDADE E FITOMASSA  
DAS CULTURAS DE MILHO E SOJA EM ÁREAS DO  
CERRADO SOB PLANTIO CONVENCIONAL E DIRETO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Osmar Rodrigues Brito

Co-Orientador: Dr. Robélio Leandro Marchão

Londrina  
2016

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Moraes, Victor Roncaratti de .

O modelo stics na simulação do estoque de carbono do solo, produtividade e fitomassa das culturas de milho e soja em áreas do cerrado sob plantio convencional e direto / Victor Roncaratti de Moraes. - Londrina, 2016.

60 f. : il.

Orientador: Osmar Rodrigues Brito.

Coorientador: Robélio Leandro Marchão.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2016.

Inclui bibliografia.

1. Modelo STICS - Tese. 2. ILP - Tese. 3. Sistemas de manejo - Tese. 4. SPD - Tese. I. Brito, Osmar Rodrigues . II. Marchão, Robélio Leandro . III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

VICTOR RONCARATTI DE MORAES

**O MODELO STICS NA SIMULAÇÃO DO ESTOQUE DE CARBONO  
DO SOLO, PRODUTIVIDADE E FITOMASSA DAS CULTURAS DE  
MILHO E SOJA EM ÁREAS DO CERRADO SOB PLANTIO  
CONVENCIONAL E DIRETO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Agronomia.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Orientador: Dr. Prof. Osmar Rodrigues Brito  
Embrapa CPAC

---

Dr. Fernando Antônio Macena da Silva  
Embrapa-Cerrados, Brasília.

---

Prof. Pedro Rodolfo Siqueira Vendrame  
Universidade Estadual de Londrina – UEL

---

Profa. Maria de Fátima Guimarães  
Universidade Estadual de Londrina – UEL

---

Dr. José Francirlei de Oliveira  
Instituto Agronômico do Paraná - IAPAR

Londrina, 30 de maio de 2016.

Ao meu pai, Luis Gustavo Pinheiro de Moraes, ao meu avô  
Orency Garcia de Moraes e aos meus amigos, familiares e  
colegas envolvidos na produção deste.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao meu orientador, Dr. Osmar Rodrigues Brito, e ao meu co-orientador, Dr. Robélio Leandro Marchão, pela orientação neste trabalho e pela atenção e disposição demonstrada.

Ao Dr. Fernando Antônio Macena da Silva, cuja participação e parceria tornou este trabalho possível, e aos outros colegas do CIRAD e da Embrapa CPAC, Marc Corbeels e Egidio Ramalho Neto, que ajudaram ao longo do trabalho.

À CAPES pela bolsa de estudos fornecida que possibilitou a produção deste trabalho, à Embrapa Cerrados pela oportunidade e pelas portas abertas, e aos colegas e amigos que estiveram ao meu lado ao longo desta caminhada: Thadeu Rodrigues de Melo, Augusto Moreira Shoji, Romulo Veronesi Batistela, Kae Filipe Sacchi, Marcela Lück e Jaime Gil da Costa.

MORAES, Victor Roncaratti de. **O modelo STICS na simulação do estoque de carbono do solo, produtividade e fitomassa das culturas de milho e soja em áreas do cerrado sob plantio convencional e direto.** 2016. 60p. Dissertação de Mestrado (Pós-Graduação em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2016.

## RESUMO

O aumento na temperatura mundial média, ocasionado pelo efeito estufa, está relacionado principalmente com as emissões de CO<sub>2</sub>, sendo que cerca de 20% da emissão brasileira, que é de 1,25 bilhões de toneladas/ano, provém da produção agropecuária. O cerrado representa 24% do território brasileiro e é o segundo maior bioma da América do Sul, superado apenas pela floresta amazônica. Devido à expansão da fronteira agrícola é inevitável que haja degradação progressiva em razão dos cultivos sem adoção de técnicas adequadas de manejo que além de visar a produtividade objetiva também conservação ambiental. Todavia, recentes estudos sugerem que a atividade agrícola, por meio da mitigação de carbono pelo solo, é um agente de sequestro de carbono em potencial. Em decorrência deste cenário, torna-se necessário avaliar, quantificar e comparar os diversos sistemas de cultivo com vistas à manutenção ou incremento do carbono orgânico dos solos. Visando selecionar e testar parâmetros de modelagem para simular a dinâmica do carbono no solo de áreas do cerrado brasileiro este estudo foi realizado com o objetivo de utilizar o software de modelagem STICS para simulação do estoque de carbono do solo, produtividade e produção de fitomassa das culturas de milho e soja em áreas do cerrado brasileiro. Foram utilizados dados de estudos prévios realizados pela EMBRAPA-Cerrados em áreas de cultivo submetidas a sistemas de manejo com plantio convencional e plantio direto com as culturas de milho e soja no período 2010-2013. Na primeira etapa procedeu-se a calibração do modelo para estimativas de produtividade e fitomassa em safras de milho e soja, utilizando dados observados pertencentes ao banco de dados da Embrapa-CPAC. Numa segunda etapa efetuou-se simulações da cronosequência (2010-2013) visando avaliar a dinâmica do estoque total de carbono do solo, bem como a produtividade e a produção de fitomassa das culturas de milho e soja cultivadas sob sistemas de manejo com plantio convencional e plantio direto em áreas de cerrado. Na terceira etapa foram feitas análises estatísticas para aferição da qualidade e precisão das simulações via STICS. O modelo STICS não simulou com qualidade e precisão suficientemente altas a produtividade e a produção de fitomassa das culturas de milho (BRS 1030 e PL 1335) e soja (Valiosa), bem como o estoque total de carbono do solo das duas áreas do Cerrado, porém apresentou potencial como ferramenta para estudos com amostragem maior e de maior duração. Os estoques de carbono total do solo do cerrado, no curto período avaliado (2010-2013), não apresentaram variações significativas. Entretanto, é significativamente maior nas camadas superiores (0-5 e 5-10 cm), principalmente nas áreas manejadas sob sistema de plantio convencional.

**Palavras-chave:** Modelo STICS. Sistemas de manejo. ILP. SPD.

MORAES, Victor Roncaratti de. **The STICS model simulating soil carbon stocks, soy and maize crop yield and biomass in brazilian savanna under different systems.** 2016. 60p. Dissertação de Mestrado (Pós-Graduação em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2016.

## **ABSTRACT**

Climate change and constantly raising global temperatures are directly associated with greenhouse effect, which itself is caused mainly by CO<sub>2</sub> discharge into the atmosphere. Brazilian emissions sum up to 1.25 billion Mg/year, and approximately 20% of those emissions are due to the agricultural sector. But still, recent studies show that through the correct soil management, agriculture might change from carbon emitter to mitigator. Faced with these facts, the need to develop and adopt low-carbon-emission crop systems is arisen to reduce environment impact. Due to this demand, comes the urge to evaluate, quantify and compare multiple crop systems in relation to soil carbon levels, establishing modelling parameters to carbon dynamics on savanna soils under different crop systems. Data from previous studies carried out by EMBRAPA Cerrados in cultivation under conventional tillage and the conservative system (No-Till and Livestock Integration) through the years 2009-2013 will be used. In first place, three crops were modelled and calibrated by using data aquired from the studied areas, and hence the 2010-2013 scenario was simulated to verify soil carbon levels, comparing them with the data aquired from previous field experimentsins. The model did not reach expected levels of precision, simulating crop yield, biomass and soil carbon, mostly beacause the brief duration of the analyzed scenario was insufficient to verify variations on observed soil carbon, although a higher amount was observed in upper soil layers (0-5 and 5-10 cm) under conventional tillage. Nevertheless, the STICS model shows great potential as a tool for soil preservation and should be studied furthermore.

**Key Words:** Savanna. STICS. Carbon. Dynamics.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>7</b>
<b>2.1</b>	<b>O CERRADO BRASILEIRO</b> .....	<b>7</b>
<b>2.1.1</b>	<b>Atividade Agropecuária e a Degradação do Cerrado</b> .....	<b>8</b>
<b>2.2</b>	<b>CARBONO DO SOLO E SISTEMAS DE PRODUÇÃO</b> .....	<b>8</b>
<b>2.2.1</b>	<b>Estoques de Carbono</b> .....	<b>8</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Estoques de Carbono do Solo</b> .....	<b>9</b>
<b>2.2.3</b>	<b>Produção: Plantio Convencional e Direto</b> .....	<b>10</b>
<b>2.2.4</b>	<b>O Solo e a Mitigação do Carbono Atmosférico</b> .....	<b>12</b>
<b>2.3</b>	<b>MODELAGEM NA AGRICULTURA</b> .....	<b>13</b>
<b>2.3.1</b>	<b>A Modelagem do Carbono na Agricultura</b> .....	<b>14</b>
<b>2.4</b>	<b>O MODELO STICS</b> .....	<b>16</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>17</b>
<b>3.1</b>	<b>LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO</b> .....	<b>17</b>
<b>3.2</b>	<b>ESTOQUES DE CARBONO</b> .....	<b>20</b>
<b>3.3</b>	<b>INFORMAÇÕES METEOROLÓGICAS</b> .....	<b>24</b>
<b>3.4</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO FÍSICA, QUÍMICA E HIDRODINÂMICA DO SOLO</b> .....	<b>26</b>
<b>3.5</b>	<b>CALIBRAÇÃO DO STICS PARA OS CENÁRIOS ESTUDADOS</b> .....	<b>27</b>
<b>3.5.1</b>	<b>Modelagem para Carbono do Solo com o STICS</b> .....	<b>27</b>
<b>3.5.2</b>	<b>Cenários Simulados</b> .....	<b>29</b>
<b>3.5.3</b>	<b>Dados Meteorológicos</b> .....	<b>29</b>
<b>3.5.4</b>	<b>Dados referentes às Plantas Cultivadas (.plt)</b> .....	<b>31</b>
<b>3.5.5</b>	<b>Dados Referentes ao Itinerário Técnico (arquivo .tec)</b> .....	<b>34</b>
<b>3.5.6</b>	<b>Dados Referentes ao Solo (.sol) e (.ini)</b> .....	<b>35</b>
<b>3.5.7</b>	<b>Execução da Calibração</b> .....	<b>37</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>39</b>
<b>4.1</b>	<b>CALIBRAÇÃO DO MODELO STICS PARA AS CULTURAS DE MILHO E SOJA</b> .....	<b>39</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>51</b>

<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>51</b>
----------	-------------------------	-----------

## 1 INTRODUÇÃO

O Cerrado brasileiro é o segundo maior bioma do país, com aproximadamente 204 milhões de hectares e, atualmente, é considerado como área de expansão da fronteira agrícola. A agricultura praticada nessa região se destaca pelo grande tamanho das propriedades e pela baixa declividade das áreas cultivadas que se adaptam ao cultivo mecanizado. Além disso, dado o baixo custo das terras, grandes áreas do Cerrado que são exploradas com pecuária extensiva apresentam alto grau de degradação dos solos, principalmente pela falta de adoção de técnicas adequadas de manejo e conservação dos solos.

A degradação progressiva dos solos é mais evidente nas áreas onde, após o desmatamento, procede-se a queima dos resíduos vegetais e se adota o sistema convencional de plantio, que envolve o revolvimento prévio do solo (aração e gradagem) para execução da semeadura das culturas.

Tal sistema de produção reduz a quantidade de microagregados do solo, favorece a exposição direta aos raios solares e aos impactos das gotas de chuva, favorecendo a ocorrência de erosão laminar, bem como a redução significativa do conteúdo de matéria orgânica do solo, liberando grandes quantidades de CO<sub>2</sub> na atmosfera (MARCHÃO et al., 2009).

A adoção de sistemas de manejos como Sistema de Plantio Direto (PD) e a Integração Lavoura-Pecuária (ILP) além de reduzir os custos operacionais, favorecem a conservação dos solos, uma vez que eliminam o revolvimento periódico dos mesmos e minimizam a erosão. Além disso, contribuem para aumentar o conteúdo de matéria orgânica do solo, a retenção d'água, a atividade biológica, a biodisponibilidade de nutrientes e para reduzir a resistência à penetração do sistema radicular, reduzindo assim a resistência à penetração e, por fim, aumentam sua fertilidade biológica, tornando o sistema mais sustentável. Estudos como os de Bayer e Bertol (1999) e Machado e Silva (2001) indicam que em áreas de plantio direto há um incremento anual que pode atingir 5,2 Mg C ha<sup>-1</sup>, favorecendo a conservação e a qualidade dos solos.

A mitigação das emissões de CO<sub>2</sub> obtida com adoção de técnicas conservacionistas de manejo, além de trazer benefícios ao solo, é um fator que impacta positivamente o ecossistema, aumentando o estoque de carbono do solo como indica Trumbore (2009).

Considerando as informações anteriores, evidencia-se a necessidade do desenvolvimento de metodologias adequadas e precisas, para avaliar e simular a dinâmica do carbono do solo sob diferentes manejos, de forma a permitir a proposição de medidas corretivas que possibilite a conservação dos mesmos, principalmente nas áreas de cerrado incorporadas ao sistema de produção agropecuária.

Diante do exposto, o trabalho foi desenvolvido com o objetivo de testar e ajustar o modelo STICS (Simulateur multIdisciplinaire pour les Cultures Standard) (BRISSON, et al, 1998) para monitorar a dinâmica do carbono dos solos em áreas do Cerrado brasileiro.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 O CERRADO BRASILEIRO**

Estima-se que o bioma cerrado brasileiro abranja 204 milhões de hectares (IBGE, 2004), representando aproximadamente 24% do território nacional. Esta área é caracterizada por apresentar estações bem definidas ao longo do ano, ou seja, uma estação de seca no inverno e uma estação de alta precipitação no verão (EMBRAPA, 2012). Segundo Coutinho (2006), o Cerrado é um mosaico de biomas, composto por solos originários de diversas tipos de rochas e sujeito a diferentes condições climáticas. Todavia, o tipo de solo predominante é o latossolo, que normalmente é profundo, de baixa fertilidade e apresenta como impedimentos químicos ao desenvolvimento de culturas comerciais a elevada acidez e altos teores de alumínio trocável (HARIDASSAN, 2000).

Em termos de vegetação, a região dos Cerrados é coberta predominantemente por vegetação rasteira (gramíneas), árvores e arbustos. As áreas compostas por indivíduos de porte herbáceo-subarbusivo são denominadas de campo limpo, e as áreas com predominância de espécies arbóreas são denominadas de Cerradão (COUTINHO, 1978). O relevo, geralmente plano, se caracteriza pela altura média de 1100m (REATTO et al., 1998) com temperatura média entre 22 °C e 27 °C e precipitação média anual variando de 800 mm a 2000 mm (RATTER et al., 1997).

### **2.1.1 Atividade Agropecuária e a Degradação do Cerrado**

Responsável por 60% da produção de grãos e 55% da produção de carne do país, cerca de 115 milhões de hectares das áreas do Cerrado são ocupadas com pastagens, em grande parte degradadas como indica Macedo e Zimmer (1993), e de acordo com Sano et., al (2008) somente metade dessa área é de fato cultivada com adoção de técnicas adequadas de manejo dos solo e das pastagens.

Cunha et al (2008) analisou que a intensidade da exploração agropecuária do Cerrado manifestou-se pelo uso intensivo do solo através de tecnologias mecânicas, bioquímicas e da pecuária, e constatou que as microrregiões com maiores níveis de degradação foram o sul de Minas Gerais, o sudeste de Mato Grosso e o sul de Goiás.

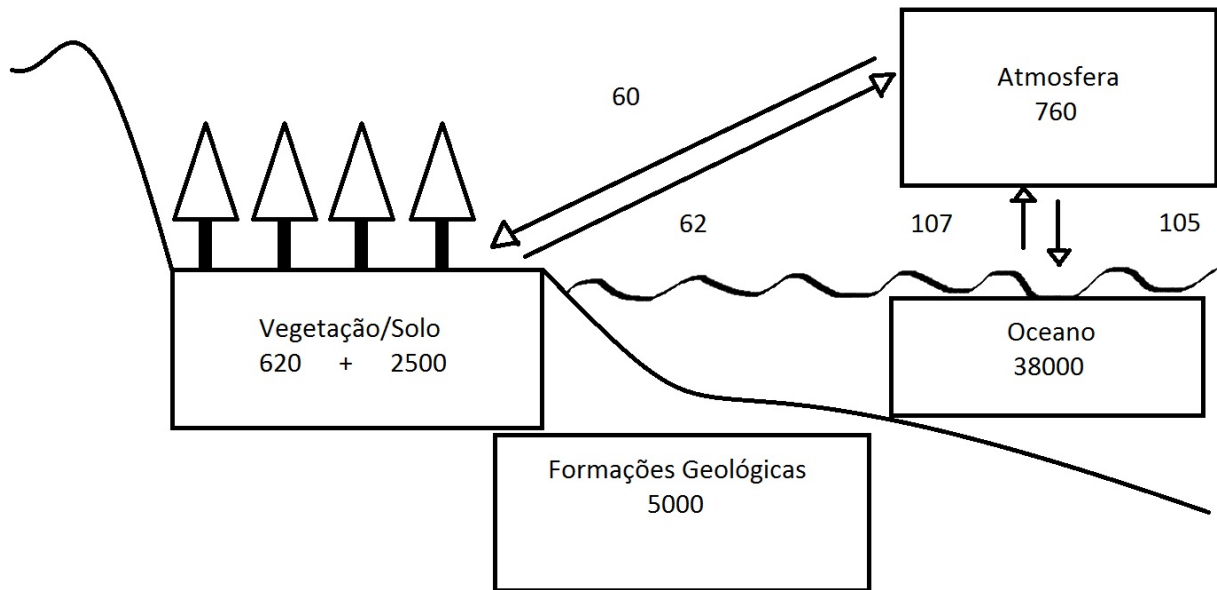
Recentemente a ocupação do cerrado brasileiro tem se tornado foco de novos estudos, principalmente em razão da crescente participação do Brasil na produção agropecuária mundial. Além disso, com o avanço da ciência torna-se cada vez mais necessária a utilização de métodos sustentáveis de produção agropecuária, visando sempre o aumento da produtividade sem negligenciar a preservação ambiental. Marchão (2007) observa que a adoção de técnicas de manejo conservacionistas como o Plantio Direto favorecem o acúmulo de matéria orgânica no solo (Miranda e Miranda, 2000), e para Ferreira (2003) a baixa qualidade e fertilidade dos solos do Cerrado podem ser contornadas com a utilização racional de corretivos e fertilizantes minerais.

## **2.2 CARBONO DO SOLO E SISTEMAS DE PRODUÇÃO**

### **2.2.1 Estoques de Carbono**

O carbono na Terra encontra-se distribuído em quatro compartimentos: na atmosfera, nos oceanos, nos ecossistemas terrestres e nas formações geológicas contendo carbono fóssil. Na Figura 1 apresenta-se um esquema que indica os diferentes compartimentos, estoques e fluxos do carbono na Terra.

**Figura 1.** Compartimentos, estoques e fluxos de carbono na terra (unidades em Pg de C.  $1\text{Pg} = 10^{15}\text{g}$ ). Adaptado de Lal et al., (1999).



Os oceanos representam o compartimento com maior reservatório de carbono na Terra (38000 Pg C). O conteúdo de carbono das formações geológicas é estimado como sendo 4000 Pg na forma de carvão, 500 Pg na forma de petróleo e 500 Pg na forma de gás natural, aproximadamente. No compartimento solo, reservatório de C é de apenas 2500 Pg, porém é o maior entre os ecossistemas terrestres, chegando a ser quatro vezes maior que o compartimento vegetação e atmosfera, respectivamente. No solo o reservatório de carbono é constituído pelo carbono mineral (1000 Pg C) e pelo carbono orgânico (1500 Pg C). Mas, muito pouco se sabe sobre os valores exatos das perda de carbono do solo para a atmosfera (MACHADO, 2005).

### 2.2.2 Estoques de Carbono do Solo

Quase todo carbono orgânico incorporado ao solo tem sua origem ligada direta ou indiretamente à fotossíntese realizada pelas plantas que gera fotossintatos que são incorporados aos solos via exudatos radiculares ou decomposição de resíduos orgânicos, criando assim um complexo de substâncias orgânicas denominado simplesmente como matéria orgânica do solo (SILVA e MENDONÇA, 2007).

Essa matéria orgânica é responsável pelas principais propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, podendo ser avaliada e utilizada como parâmetro indicativo da qualidade dos solos (GREGORICH et al.,1994). No caso dos solos da região dos Cerrados, que são formados por minerais que apresentam baixa densidade de cargas negativas, o papel da matéria orgânica torna-se mais relevante, como indica trabalhos pioneiros como o de Verdade (1956) que verificou que nestes solos a matéria orgânica contribui com cerca de 70 a 80% da sua capacidade de troca catiônica (CTC).

As variações nos estoques de matéria orgânica dos solos dependem da dinâmica do carbono, que segundo Hénin e Dupuis (1945) pode ser expressa, pela seguinte equação:

$$\Delta C = k_1 A - k_2 C$$

Onde:

$\Delta C$  = variação do estoque de C orgânico do solo.

$k_1$  = taxa anual de decomposição do carbono orgânico (resíduos vegetais e animais) adicionados.

A = quantidade anual de carbono orgânico (resíduos vegetais e animais) adicionado.

$k_2$  = taxa anual de mineralização do C orgânico do solo.

C = estoque atual de carbono orgânico do solo.

Estes fatores são variáveis e são diretamente modulados pelas condições ambientais de clima e solo. Em ambientes de temperatura elevada e alta precipitação, ocorrerá sempre aceleração da velocidade de decomposição do material orgânico do solo. Entretanto, deve-se ressaltar que os tipos de manejo e de preparo se destacam como os fatores que mais influenciam no dimensionamento dos estoques de carbono orgânico dos solos.

### **2.2.3 Produção: Plantio Convencional e Direto**

A derrubada e queima da vegetação natural seguida do revolvimento do solo mediante adoção das práticas de uma aração e duas

gradagens, que caracterizam o sistema de preparo convencional, resulta sempre em mudanças na dinâmica da matéria orgânica do solo (SIX et al., 2002), reduzindo a sua fertilidade química e aumentando as possibilidades de ocorrência de erosão (LAL, 2003; BERNOUX et al., 2004). Isso ocorre porque há uma forte relação entre matéria orgânica, disponibilização de nutrientes e a estabilidade dos agregados dos solos. Por outro lado, a estabilidade dos agregados garante maior porosidade e infiltração das águas das chuvas no perfil, minimizando o escoamento superficial, principal responsável pelo carreamento das partículas superficiais do solo que é denominada de erosão laminar. Nesse contexto, tem-se observado que o preparo e revolvimento excessivo dos solos do bioma Cerrado promovem a degradação progressiva dos mesmos, tendo como consequência reduções contínuas da produtividade das culturas exploradas economicamente na região (Miranda e Miranda, 2000).

O sistema de plantio direto foi introduzido, primeiramente, no Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) em 1965, porém apenas na década de 70 foi adotado de forma efetiva em uma propriedade agrícola situada no município de Rolândia, norte do estado do Paraná, destinada a produção comercial de grãos e cereais. Pretendia-se avaliar o potencial dessa tecnologia na redução da degradação do solo em razão da erosão laminar, entretanto, segundo Borges (1993), a introdução do Sistema Plantio Direto nas áreas dos Cerrados brasileiros só ocorreu em meados dos anos 90, com a migração de produtores da região Sul e Sudeste que passaram a adotá-lo na exploração de grandes áreas como milho e soja.

Diferentemente do que se observa no Sistema de Plantio Convencional, sistemas de manejo conservacionistas como o Plantio Direto e a Integração Lavoura-Pecuária proporcionam aumentos nos teores de matéria orgânica dos solos, assegurando a manutenção da integridade estrutural dos agregados e evitando a degradação dos mesmos (SILVA e MIELNICZUK, 1997; CASTRO FILHO et al., 2002). Além disso, os resíduos orgânicos que acumulam na superfície das áreas cultivadas sob estes sistemas protegem o solo da exposição direta à radiação solar, minimizando a elevação das temperaturas. Da mesma forma, por reduzir a quantidade de operações com máquinas, os sistemas conservacionistas de manejo do solo reduzem os custos de produção, tornando a atividade mais rentável para o produtor.

#### **2.2.4 O Solo e a Mitigação de Carbono Atmosférico**

A agricultura sempre foi associada à degradação do meio ambiente, tanto por gerar resíduos como por consumir combustíveis fósseis e outros recursos naturais (CUNHA, 2008). Todavia, só após a revolução industrial (Séc. XVIII) as consequências da crescente atividade humana começaram a influenciar mais intensivamente as propriedades da atmosfera, devido aos aumentos progressivos na emissão de gases de efeito estufa como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e metano (BAEDE et al., 2001).

Depois de muito tempo e somente com a pressão de grupos de pesquisadores preocupados com a qualidade de vida humana no planeta, passou-se a dar maior atenção para os sistemas de produção agrícola, visando, através de uma ótica conservacionista, o desenvolvimento de técnicas que minimizassem os impactos ambientais negativos associados à produção de alimentos e fibras (MACHADO, 2005).

Em dezembro de 1997 foi aprovado o Protocolo de Quioto que estabelecia metas de redução nas emissões de gases de efeito estufa para a atmosfera. Entre 2008 e 2012, a Europa deveria reduzir as emissões em 8% abaixo dos níveis de 1990 e os Estados Unidos e o Japão deveriam reduzir em 7 e 6%, respectivamente.

Ainda segundo Machado (2005), diversas instituições de pesquisa privadas e públicas vêm desenvolvendo tecnologias para mitigar os teores de CO<sub>2</sub> na atmosfera, entre elas a separação e captura de CO<sub>2</sub> a partir de sistemas energéticos e o seqüestro de carbono nos oceanos e ecossistemas terrestres. A principal consideração é até que ponto estas medidas técnicas podem ser tomadas em períodos de expansão econômica, associados com altas demandas por combustíveis fósseis pelo setor industrial e de transportes, e se podem reduzir suficientemente os níveis de CO<sub>2</sub> atuais como previsto pelos governos.

A quantificação do potencial de mitigação do CO<sub>2</sub> atmosférico que pode ser atribuído a agricultura ainda é um desafio para os pesquisadores, mas acredita-se que a restauração dos teores de matéria orgânica de solos que foram cultivados sob preparo convencional seja uma contribuição significativa (LAL et al., 1995; REICOSKY & FORCELLA, 1998).

Entre as estratégias principais de manejo do solo para aumentar a mitigação de carbono, a principal alternativa é redução do revolvimento do solo (Lal et al., 1998; Sisti et al., 2004; Amado et al., 2006). West & Post (2002) observaram mitigação anual média de C de  $57 \pm 0.14 \text{ Mg ha}^{-1}$  em áreas de conversão de Sistema Convencional para Sistema Plantio Direto, e Vandenbygaart et al. (2003) concluiu que, ao longo de 37 experimentos, houve uma taxa anual de mitigação de C de  $0.38 \pm 0.72 \text{ Mg ha}^{-1}$  para áreas sob Plantio Direto em comparação a áreas de Plantio Convencional. Bayer et al. (2009), investigando o impacto das culturas de cobertura, concluiu que as áreas de Argissolo sob Plantio Direto mitigaram anualmente de 0.11 Mg a 0.68 Mg C  $\text{ha}^{-1}$ . Para as regiões temperadas, Lal et al. (1999) estimaram que, num período entre 25 e 50 anos, a recuperação do carbono do solo tenha sido de 50 a 75% do carbono orgânico perdido, em função da mudança do preparo convencional para o Sistema Plantio Direto.

Existem evidências de que, em regiões de clima subtropical, o Sistema Plantio Direto com alta adição de resíduos poderá promover a restauração dos teores de matéria orgânica do solo em menor período de tempo (BAYER & MIELNICZUK, 1997).

O Brasil apresenta potencial para ser um importante dreno de  $\text{CO}_2$  a nível mundial por possuir aproximadamente 32 milhões de hectares de áreas cultivadas sob o Sistema Plantio Direto, muitas com rotação de culturas e outras com cultivo de plantas de cobertura nas entressafras das culturas comerciais. Porém, ainda são poucos os estudos realizados com a finalidade de avaliar e quantificar este potencial, que depende de variáveis como tipos e texturas dos solos, relevo regional e condições climáticas relacionadas principalmente com temperatura e umidade (Parfitt et al., 1997).

### **2.3 MODELAGEM NA AGRICULTURA**

De acordo com Monteith (1996), modelos de cultura são esquemas quantitativos utilizados para simular o desenvolvimento e o rendimento de uma ou mais culturas em função de um conjunto de parâmetros genéticos e ambientais relevantes. Por outro lado, para Sinclair e Seligman (1996) os modelos servem para simular a dinâmica do crescimento de uma cultura com a ajuda da computação, por meio da integração numérica dos processos envolvidos.

O início das simulações dos sistemas agrícolas via modelagem se deu com o desenvolvimento de modelos para estimar a fotossíntese e a interceptação da luz solar pelas culturas (LOOMIS e WILLIAMS, 1963). Esses modelos simulavam a incidência de luz no dossel da planta, fazendo assim uma avaliação da sensibilidade do aparato fotossintetizante das culturas em função do ângulo de incidência e da taxa de exposição das folhas à radiação solar.

Recentemente têm ocorrido aumentos significativos na utilização da modelagem na agronomia, visando simular as interações do sistema solo-planta-atmosfera. A maior parte destes modelos foi desenvolvida para culturas de ciclo anual enfatizando as cultivadas sob o sistema de plantio convencional, tais como a soja, milho, trigo, cana-de-açúcar, sorgo, arroz e batata inglesa (Tabela 1). Muitos destes modelos são genéricos e podem ser aplicados a diferentes culturas, enquanto outros são específicos para determinadas culturas.

### **2.3.1 Modelagem do Carbono na Agricultura**

As evidências da influência do CO<sub>2</sub> atmosférico no aquecimento global tornaram o carbono orgânico total (COT) do solo um ponto de interesse, como é um dos principais compartimentos do ciclo do carbono (Cerri et al., 2003; Lal, 2004). Entre os muitos métodos de estimativa das variações nos estoques de COT os modelos de simulação tem sobressaído pois permitem estudar cenários passados e futuros através do atual conhecimento da dinâmica do carbono no solo (Cerri et al., 2003, 2004; Leite et al., 2004; Tornquist, 2007).

Se tratando de modelagem de Carbono na Agricultura, já foram realizadas simulações com o modelo Century, como realizado por Lopes et al (2008), onde utilizou-se o modelo para avaliar a dinâmica espaço-temporal do COT no solo. Todavia, o modelo Century utiliza apenas dados de entrada e saída de biomassa para calcular o balanço do COT no solo.

**Tabela 1.** Principais modelos agrometeorológicos que simulam o crescimento e desenvolvimento das culturas em sistema de preparo convencional do solo e os seus respectivos dados de entrada.

Modelos	Dados de Entrada			Referências
	Clima	Cultura	Solo	
<b>Arroz</b>				
MACROS	NÃO	NÃO	NÃO	Timsina et al. (1993)
RICESYS	SIM	SIM	SIM	Graf et al. (1990)
SIMREW	SIM	NÃO	NÃO	Horie et al. (1992)
<b>Batata</b>				
POTATO	SIM	NÃO	NÃO	Ewing et al. (1990)
<b>Cana-de-Açúcar</b>				
SUGAR CANE	SIM	SIM	NÃO	Lorber et al. (1984)
<b>Milho</b>				
SIMCOY	SIM	SIM	SIM	Place e Brown (1987)
CERES Maize	SIM	SIM	SIM	Carberry et al. (1989)
WANGRO	SIM	SIM	SIM	Kanneganti e Fick (1991)
<b>Soja</b>				
SOYMOD1	SIM	NÃO	SIM	Sinclair (1986)
SOYGRO V5.42	SIM	SIM	SIM	Jones et al. (1989)
<b>Sorgo</b>				
SORGF	SIM	SIM	SIM	Arkin et al. (1976)
CERES Sorghum	SIM	SIM	SIM	Robertson et al. (1993)
<b>Trigo</b>				
ARCWHEAT	SIM	NÃO	NÃO	Weir et al. (1984)
SIMTAG	SIM	SIM	SIM	Stapper e Harris (1989)

Os modelos são classificados de acordo com as relações matemáticas utilizadas (lineares ou não); com a descrição dos processos de simulação, sejam estatísticos (equações baseadas em determinação experimental), empíricos ou de base física (emprega equações baseadas em leis físicas já

estabelecidas, permitindo determinar o valor da variável para qualquer cenário); a aleatoriedade, sendo estocásticos (equações baseadas em variáveis aleatórias, com distribuição probabilística) ou determinísticos (não se considera a aleatoriedade); e por fim de acordo com o tempo de simulação (eventos contínuos ou individuais).

Para Boote et al. (1996) os modelos utilizados para simulações com culturas agrícolas podem ser classificados em três categorias: modelos para interpretação de resultados experimentais, modelos para o desenvolvimento de pesquisa agrícola e modelos utilizados para promover o crescimento ou desenvolvimento da agricultura a campo.

## **2.4 O MODELO STICS**

O modelo STICS (Simulateur mulTIdisciplinaire pour les Cultures Standard) foi criado por pesquisadores do Institut National de la Recherche Agronomique (INRA, França) no ano de 1996, e desde então foi usado como referência para o desenvolvimento de muitos outros modelos (INRA, 2014). Mais de 50 pesquisadores contribuíram para a criação do modelo, que visa integrar conhecimentos de diferentes áreas da ciência como: climatologia, ecofisiologia, agronomia, hidrologia, ciências do solo, fitopatologia e entomologia, permitindo gerar também previsões sobre a dinâmica do carbono do solo e de outras variáveis de interesse agrônomo.

De acordo Maltas (2007) o modelo STICS pode ser utilizado para estimar a produtividade das culturas, a biomassa total produzida, o impacto ambiental e os ciclos fenológicos. O modelo inclui na lista de variáveis-entrada fatores climáticos como radiação, precipitação, temperaturas máximas e mínimas; variáveis do solo como teor de matéria orgânica, capacidade de retenção hídrica além de outras informações como: práticas agrícolas como datas de semeadura ou plantio, variedades cultivadas, densidade populacional, época, modo de aplicação, doses e fontes de nutriente, e outras variáveis que podem interferir na dinâmica do solo e na produção agrícola.

Quanto aos aspectos relacionados a impactos ambientais, o modelo STICS possibilita a entrada de variáveis como lixiviação de nitrato e emissão de gases de efeito estufa ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$ , entre outros). O STICS pode também ser utilizado em conjunto com outros modelos para monitorar impactos de doenças endêmicas e epidêmicas nas culturas (BRISSON, LAUNAY; BEAUDOIN, 2009).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO

Para realização deste trabalho foi utilizado um banco de dados, criado a partir de estudos prévios realizados por Sá (2011), além de dados ainda não publicados originários de estudos realizados na Embrapa Cerrados, Brasília, DF.

Os estudos prévios referidos anteriormente foram realizados em área de uso contínuo com diferentes sistemas de manejo (Figura 2), porém utilizou-se apenas os dados relativos ao Plantio Convencional e ao Plantio Direto (Tabela 2) da área S4, das safras de verão 2010-2011, 2011-2012 e 2012-2013. Desta forma, gerou-se seis simulações, sendo uma sob Plantio Direto e outra sob Plantio Convencional para cada safra, utilizando dois arquivos “.plt” (SoloPD e SoloPC), seis arquivos “.tec” (BRS1030PD, BRS1030PC, ValiosaPD, ValiosaPC, PL1335PD e PL1335PC), dois arquivos planta, para a Soja e Milho (soybeanLondr e corn-cerr) e um arquivo de inicialização, denominado de “SojaLond”.

Todos estes arquivos tem suas parametrizações caracterizadas ao longo da descrição do trabalho, os parâmetros que não foram contemplados na parametrização apresentam valores originais (default) ou 0 (zero) (caso não influenciem a sensibilidade da avaliação).

**Tabela 2.** Culturas avaliadas e utilizadas no trabalho.

Culturas/Cultivares	Data de Plantio	População (plantas m <sup>-2</sup> )	Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> )	Data de Colheita	Altura Média (m)
<b>Milho BRS 1030</b>	11/11/2010	6.45	10074	13/03/2011	1.56
<b>Soja Valiosa RR</b>	16/11/2011	19	3620	19/03/2012	0.5463
<b>Milho PL 1335</b>	05/11/2012	5.2	9950	17/03/2013	1.72

**Figura 2.** Croqui da área experimental implantada em 1991, com indicação das parcelas experimentais.

		← Curral				BR.020 →					
VN		Reserva 58				Reserva 57				VN	
S1		1	2	3	4	53	54	55	56	S2	
S3PT2		8	7	6	5	52	51	50	49	S3LT1	
S4		PC	9	11		45	46	47	48	S3PT1	
		PD	10	12							
S3PT1		16	15	14	13	44	43	42	41	S1	
S3LT2		17	18	19	20	PD	38	40		S4	
						PC	37	39			
S2		24	23	22	21	36	35	34	33	S3PT2	
S3LT1		25	26	27	28	29	30	31	32	S3LT2	
VN		Reserva 59				Reserva 60				VN	
		Repetição I e II				Repetição III e IV					

- S1 – Pastagem contínua em monocultivo de gramínea;  
 S2 – Pastagem contínua de gramínea consorciada com leguminosa;  
 S3P – Integração lavoura-pecuária com rotação iniciada com pastagem;  
 S3L – Integração lavoura-pecuária com rotação iniciada com lavoura;  
 S4 – Lavoura contínua;  
 T1 – Preparo convencional do solo;  
 T2 – Sistema de plantio direto.

As áreas experimentais utilizadas neste experimento (parcelas 9, 10, 37 e 38) foram implantadas adotando-se os sistemas de Plantio Convencional (T1) e Plantio Direto (T2) sob lavoura contínua. Para cada sistema de plantio ou tratamento foram implantadas duas parcelas com cinco leituras em cada.

Na Tabela 3 estão apresentados os valores de produtividade (13% umidade) e da produção de fitomassa da parte aérea das culturas nas diferentes safras utilizadas neste estudo. Os valores das produtividades das culturas nas diferentes safras consideradas foram obtidos mediante avaliações das colheitas realizadas. Os valores para produção de fitomassa da parte aérea das culturas

foram estimados considerando o índice de colheita (IC) de 0,40 para variedades de milho (MAGALHÃES et al., 2012) e 0,50 para variedades de soja (BRAGA e COSTA, 1983). O valor da relação Sistema Radicular/Parte Aérea adotado foi de 0.35 (JOHNSON et al., 2006), mediante a seguinte equação: Fitomassa Aérea = Fitomassa Total x (0.35 / 1.35).

**Tabela 3.** Produtividade e fitomassa da parte aérea das culturas de milho (BRS1030 e PL1335) e de soja (Valiosa) utilizadas neste estudo.

Trat.	Rep	Cultivares			Cultivares		
		BRS1030	Valiosa	PL1335	BRS1030	Valiosa	PL1335
		-- Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> ) --			---- Fitomassa (kg ha <sup>-1</sup> ) ----		
T1	1	10610	3593	11280	19648	5323	20889
T1	2	10531	3415	11200	19503	5059	20741
T1	3	11308	3062	11240	20940	4537	20815
T1	4	10921	2730	10840	20225	4045	20074
T1	5	9778	3614	11200	18107	5354	20741
T1	6	10817	3079	10320	19517	4561	16000
T1	7	9141	3585	10120	14842	5311	17185
T1	8	8691	3357	10960	19882	4974	18963
T1	9	10228	3933	8440	19273	5826	18222
T1	10	10453	4112	8120	14879	6092	20000
T2	1	9676	4133	8800	20032	6123	19111
T2	2	9130	3727	9040	16928	5521	18741
T2	3	10726	3777	10440	16095	5595	20297
T2	4	11755	3130	8360	18942	4637	15630
T2	5	10002	4091	9840	19358	6061	15037
T2	6	10539	3120	8640	17918	4623	16297
T2	7	8014	4266	9280	16907	6320	16741
T2	8	10736	3221	10240	19862	4772	19334
T2	9	10407	4091	9840	21769	6060	15482
T2	10	8034	4381	10800	18522	6490	18222

**Tabela 4.** Adubação de semeadura das parcelas de Lavoura contínua no período de 2010-2013.

Cultivares	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
	.....kg/ha.....		
BRS1030	63	71	71
Valiosa	-	100	100
PL1335	70	100	100

**Tabela 5.** Dados referentes ao ciclo e florescimento das culturas utilizados na simulação.

<b>Cultivares</b>	<b>Ciclo (dias)</b>	<b>Florescimento (dias)</b>
<b>BRS1030</b>	121	62
<b>Valiosa</b>	123	56
<b>PL1335</b>	125	58

### 3.2 ESTOQUES DE CARBONO

As leituras de carbono realizadas por Sá (2011) não contemplaram as parcelas 11, 12, 40 e 39 (Figura 2), que se tratavam de parcelas com fertilização inferior às demais (9, 10, 38 e 37) (Figura 2), recebendo somente 50% da adubação fosfatada da mesma. A modelagem contemplou duas etapas, a primeira etapa de calibração consistiu na atribuição de valores aos parâmetros de entrada de forma a caracterizar uma condição ambiental local específica. Na segunda etapa, correspondente à validação, comparou-se os valores simulados preliminarmente com os valores obtidos em campo (Tabela 6).

**Tabela 6.** Teores e conteúdos de C e N do solo estudado, no ano de 2010. Adaptado se Sá (2011). Média de 2 leituras por camada.

<b>Parcelas</b>		<b>Camadas</b>	<b>C (%)</b>	<b>N (%)</b>	<b>C (Kg ha<sup>-1</sup>)</b>
<b>9a</b>	<b>S4 T1</b>	0-5	2.30	0.149	12535
<b>9a</b>	<b>S4 T1</b>	5-10	2.50	0.165	14750
<b>9a</b>	<b>S4 T1</b>	10-15	2.35	0.151	14100
<b>9a</b>	<b>S4 T1</b>	15-20	2.10	0.129	11904
<b>9a</b>	<b>S4 T1</b>	20-30	1.72	0.101	17929
<b>9a</b>	<b>S4 T1</b>	30-40	1.72	0.087	16924
<b>9b</b>	<b>S4 T1</b>	0-5	3.79	0.178	19518
<b>9b</b>	<b>S4 T1</b>	5-10	2.47	0.136	14573
<b>9b</b>	<b>S4 T1</b>	10-15	2.23	0.119	13045
<b>9b</b>	<b>S4 T1</b>	15-20	2.12	0.121	11978
<b>9b</b>	<b>S4 T1</b>	20-30	2.40	0.106	26400
<b>9b</b>	<b>S4 T1</b>	30-40	2.03	0.083	20706
<b>37a</b>	<b>S4 T1</b>	0-5	2.30	0.146	12535
<b>37a</b>	<b>S4 T1</b>	5-10	2.39	0.146	14101
<b>37a</b>	<b>S4 T1</b>	10-15	2.35	0.144	14100
<b>37a</b>	<b>S4 T1</b>	15-20	2.16	0.135	12204
<b>37a</b>	<b>S4 T1</b>	20-30	1.94	0.106	20176

**Tabela 6.** Teores e conteúdos de C e N do solo estudado, no ano de 2010. Adaptado se Sá (2011). Média de 2 leituras por camada. Continuação...

Parcelas		Camadas	C (%)	N (%)	C (Kg ha <sup>-1</sup> )
37a	S4 T1	30-40	1.51	0.081	14847
37b	S4 T1	0-5	3.56	0.229	18334
37b	S4 T1	5-10	2.40	0.153	14160
37b	S4 T1	10-15	1.55	0.122	9067
37b	S4 T1	15-20	2.18	0.118	12317
37b	S4 T1	20-30	1.47	0.113	16170
37b	S4 T1	30-40	1.56	0.096	15912
10a	S4 T2	0-5	2.52	0.157	13734
10a	S4 T2	5-10	2.34	0.154	13806
10a	S4 T2	10-15	2.38	0.146	14292
10a	S4 T2	15-20	1.86	0.140	10531
10a	S4 T2	20-30	1.62	0.095	16848
10a	S4 T2	30-40	1.50	0.089	14700
10b	S4 T2	0-5	3.72	0.200	19158
10b	S4 T2	5-10	2.52	0.130	14868
10b	S4 T2	10-15	2.42	0.115	14157
10b	S4 T2	15-20	2.48	0.122	14012
10b	S4 T2	20-30	2.51	0.103	27610
10b	S4 T2	30-40	1.82	0.097	18564
38a	S4 T2	0-5	2.53	0.151	13788
38a	S4 T2	5-10	2.55	0.156	15045
38a	S4 T2	10-15	2.41	0.145	14460
38a	S4 T2	15-20	2.02	0.120	11413
38a	S4 T2	20-30	1.69	0.116	17648
38a	S4 T2	30-40	1.56	0.083	15288
38b	S4 T2	0-5	3.68	0.181	18952
38b	S4 T2	5-10	2.82	0.130	16638
38b	S4 T2	10-15	1.48	0.130	8658
38b	S4 T2	15-20	2.44	0.113	13786
38b	S4 T2	20-30	2.10	0.116	23100
38b	S4 T2	30-40	1.80	0.076	18360
		<b>Média T1</b>	2	0.12	
		<b>Média T2</b>	2.25	0.12	

Os dados referentes ao carbono do solo do ano de 2013 (Tabela 8) foram repassados por Marchão (2016) por comunicação pessoal, e fazem parte de

um banco de dados da Embrapa-CPAC. Para obtenção destes dados foram realizadas 2 leituras para cada camada.

Os estoques de C orgânico total (EC) foram estimados para cada camada, considerando os teores individuais de C, a densidade aparente do solo e a espessura da camada amostrada (NEILL et al., 1997; BERNOUX et al., 1998) mediante emprego da seguinte equação:

$$EC = d \times h \times C$$

Onde:

EC = estoque total de carbono orgânico do solo ( $Mg\ ha^{-1}$ ),

d = densidade aparente do solo ( $g\ cm^{-3}$ ),

h = espessura da camada amostrada (m).

C = teores totais de carbono orgânico ou nitrogênio do solo ( $Mg\ ha^{-1}$ ).

**Tabela 7.** Estoques de C do solo estudado, obtidos no ano de 2013.

Parcelas		Camadas (cm)	d ( $gcm^{-3}$ )	C (%)	C ( $Kg\ ha^{-1}$ )
9a	S4 T1	0-5	1.09	2.59	14130
9a	S4 T1	5-10	1.18	2.63	15527
9a	S4 T1	10-20	1.16	2.22	25720
9a	S4 T1	20-30	1.04	1.93	20109
9a	S4 T1	30-40	0.98	1.59	15621
9b	S4 T1	0-5	1.09	1.64	8914
9b	S4 T1	5-10	1.18	2.36	13909
9b	S4 T1	10-20	1.16	1.96	22688
9b	S4 T1	20-30	1.04	1.64	17048
9b	S4 T1	30-40	0.98	1.34	13111
37a	S4 T1	0-5	1.09	2.44	13289
37a	S4 T1	5-10	1.18	2.44	14404
37a	S4 T1	10-20	1.16	2.07	23959
37a	S4 T1	20-30	1.04	1.69	17583
37a	S4 T1	30-40	0.98	1.39	13598
37b	S4 T1	0-5	1.09	2.65	14455
37b	S4 T1	5-10	1.18	2.16	12737
37b	S4 T1	10-20	1.16	2.28	26433
37b	S4 T1	20-30	1.04	1.86	19318
37b	S4 T1	30-40	0.98	1.38	13499
10a	S4 T2	0-5	1.03	3.08	15862
10a	S4 T2	5-10	1.18	2.32	13702

**Tabela 7.** Teores de C do solo estudado, obtidos no ano de 2013. Continuação...

Parcelas		Camadas (cm)	d (gcm <sup>-3</sup> )	C (%)	C (Kg ha <sup>-1</sup> )
10a	S4 T2	10-20	1.15	2.14	24589
10a	S4 T2	20-30	1.10	2.05	22547
10a	S4 T2	30-40	1.02	1.67	17037
10b	S4 T2	0-5	1.03	2.84	14628
10b	S4 T2	5-10	1.18	2.35	13840
10b	S4 T2	10-20	1.15	2.14	24659
10b	S4 T2	20-30	1.10	1.93	21249
10b	S4 T2	30-40	1.02	1.53	15579
38a	S4 T2	0-5	1.03	3.54	18221
38a	S4 T2	5-10	1.18	2.13	12584
38a	S4 T2	10-20	1.15	1.95	22395
38a	S4 T2	20-30	1.10	1.33	14654
38a	S4 T2	30-40	1.02	1.87	19071
38b	S4 T2	0-5	1.03	3.00	15451
38b	S4 T2	5-10	1.18	2.26	13317
38b	S4 T2	10-20	1.15	2.15	24742
38b	S4 T2	20-30	1.10	1.96	21589
38b	S4 T2	30-40	1.02	1.51	15369

Os teores de carbono orgânico total do solo foram determinados via combustão a seco, utilizando-se 20 mg das amostras de terra que forma acondicionada em cápsulas de estanho, e analisadas em um auto-analisador de carbono e nitrogênio (Modelo Elementar Combustion System CHNS-0, Costech Analytical Technologies Inc., Valencia, USA), do laboratório de Química Agrícola da Embrapa Agrobiologia, utilizando metodologia padrão de uso internacional (SWIFT, 1996). Em temperatura elevada (aproximadamente 1800 °C), o carbono das substâncias orgânicas e inorgânicas das amostras é transformado para a forma gasosa de CO<sub>2</sub>. Logo após, os gases percorrem uma coluna de separação de cromatografia gasosa e são separados e detectados através de sinais proporcionais à concentração de cada elemento presente na amostra. Acoplado ao sistema está um software que compara os picos de leitura do elemento a ser avaliado com o do material padrão utilizado na calibração. Desta forma, gera-se um relatório que indica a composição da amostra em termos de carbono total. Neste processo e feita a checagem da calibração do equipamento a cada 10 amostras analisadas.

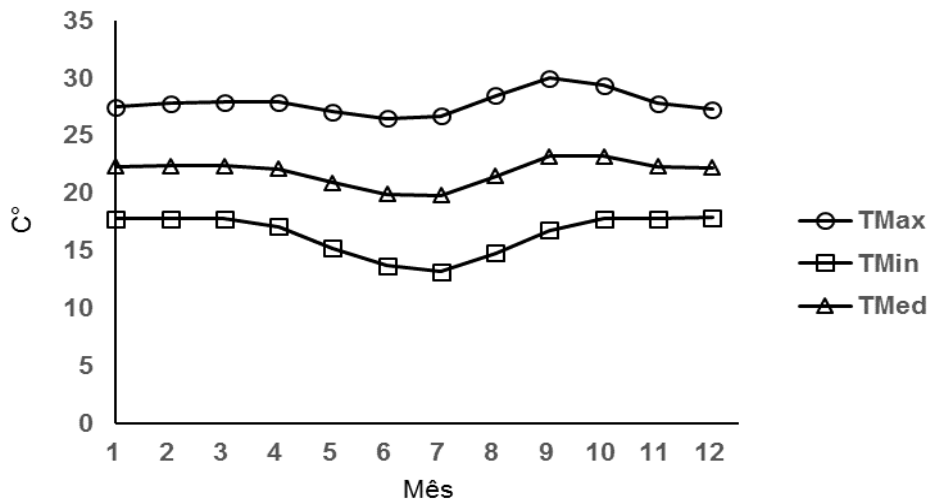
Para determinação do teor de nitrogênio do solo, alíquotas de 1,000 g de terra foram submetidas ao método de digestão Kjeldahl (BREMNER & MULVANEY, 1982), que promove a digestão das amostras pela utilização de ácido sulfúrico concentrado e catalisadores (proporção de 100:10:1 de  $\text{CuSO}_4/\text{K}_2\text{SO}_4/\text{Se}$ ) a 150 °C por 1 hora, seguido por 300 °C durante mais 3 horas. Depois de resfriadas os digeridos foram alcalinizadas com 20 ml de solução de NaOH 50% e imediatamente destiladas utilizando um destilador automático Kjeltex Auto-analyzer modelo 1030 (TECATOR, Höganäs, Sweden). Os destilados foram recebidos em uma mistura de soluções de ácido bórico + azul metil + vermelho metil. Posteriormente procedeu-se a titulação dos destilados utilizando uma solução diluída e padronizada de ácido sulfúrico permitindo assim calcular os teores de nitrogênio das amostras.

Após o cumprimento destas etapas, realizou-se a parametrização do modelo utilizando diferentes variações nos valores dos parâmetros de entrada para caracterizar os diferentes cenários que se desejava avaliar.

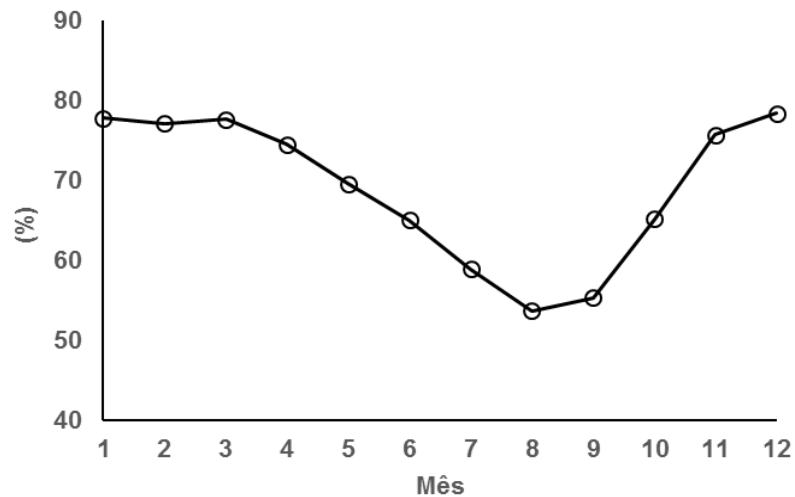
### **3.3 INFORMAÇÕES METEOROLÓGICAS**

Os dados meteorológicos provieram de estação meteorológica automática Campbell, gerenciada pela Embrapa Cerrados, (15° 36' latitude Sul e 47° 42' longitude Oeste) e altitude aproximada de 1000 metros acima do nível do mar. A estação está localizada dentro de uma bordadura de gramado de 10 metros, mantida sob regime de irrigação durante a estação seca, o que evita a redução de área foliar durante o final deste período. O pluviômetro se encontra a 1,5 m de altura e possui precisão de 0,25 mm de lâmina precipitada, conseguindo manter precisão em casos de até 700 mm h<sup>-1</sup> de precipitação. A medida da radiação ocorre na faixa de comprimento de ondas eletromagnéticas de 310 - 2800 nm, apresentando erro de precisão de 1 % para intensidade de radiação de até 4000 W m<sup>-2</sup>. Os sensores de umidade e de temperatura são mantidos sob abrigo termométrico e tem erro de precisão de até 0,3 °C, já o de umidade relativa apresenta erro de precisão de até 2 %. O tanque classe A se encontra instalado no centro da estação e possui sensor de registro de altura da lâmina de água no tanque a cada dia, permitindo assim estimar a lâmina d'água evaporada por diferença.

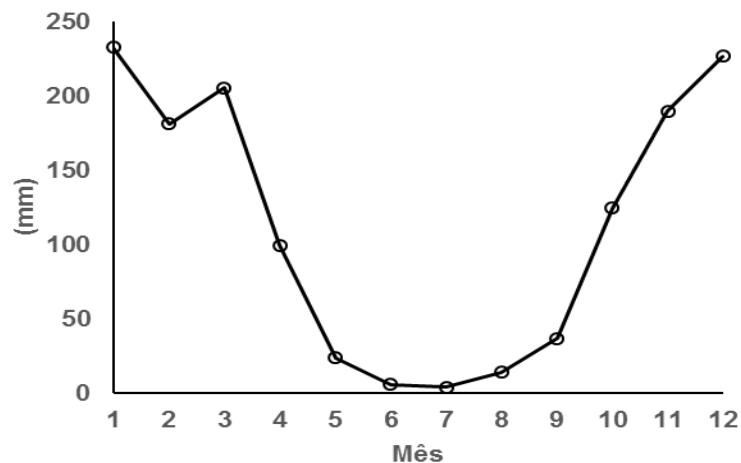
**Figura 3.** Temperaturas máximas, mínimas e médias da área experimental no intervalo de 1974-2015.



**Figura 4.** Umidade relativa média da área experimental no intervalo de 1974-2015.



**Figura 5.** Precipitação mensal média da área experimental no intervalo 1974-2015.



### 3.4 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA, QUÍMICA E HIDRODINÂMICA DO SOLO

As principais variáveis de entrada para a execução da rotina de balanço hídrico do modelo STICS são: granulometria do solo, densidade do solo, umidade do solo na capacidade de campo (CC) ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ), pH e umidade do solo no ponto de murcha permanente (PMP).

Os teores de argila (%) do solo (**argi**) utilizados neste estudo, foram obtidos por diferença aos teores de areia (Tabela 8) apresentados por Jantalia (2005), uma vez que os solos da região estudada apresentam teores muito baixos de silte (MALTAS, 2007), podendo ser desconsiderados sem prejuízos para a qualidade das estimativas ou simulações pretendidas. Por outro lado, os teores de argila obtidos (**argi**) ficaram acima dos valores máximos aceitos para entrada de dados no STICS que é de 60%. Confirmando mais uma vez que a metodologia adotada para estimar este parâmetro não terá qualquer interferência nas estimativas ou simulações obtidas.

**Tabela 8.** Teores de areia e estimativa dos teores de argila do solo estudado. Adaptados à partir dos dados apresentados por Jantalia (2005).

Camadas (cm)	Área de Lavoura		Cerrado Nativo	
	Areia (%)	Argila* (%)	Areia (%)	Argila* (%)
<b>0-10</b>	30	70	34	66
<b>10-20</b>	33	67	32	68
<b>20-30</b>	30	70	33	67
<b>30-40</b>	31	69	30	70
<b>40-60</b>	29	71	29	71
<b>60-80</b>	27	73	29	71

\* Estimativa para teores de Argila (%) = 100 - areia (%).

Os valores para densidade e o pH, bem como para **norg** e **cnurNsol** de cada camada do solo utilizados neste estudo, foram obtidos à partir do trabalho apresentado por Sá (2011) e encontram-se apresentados nas Tabelas 9 e 7. No caso específico do dados **norg** e **cnurNsol**, para cada parcela foram realizadas 12 leituras, sendo duas para cada profundidade, separadas na tabela pelas letras “a” e “b”.

**Tabela 9.** Valores para densidade e pH do solo (Adaptado de Sá, 2011).

Camadas (cm)	Densidade		pH (H <sub>2</sub> O)	
	S4T1	S4T2	S4T1	S4T2
	(g cm <sup>-3</sup> )			
0-5	1.09	1.03	5.1	6.1
5-10	1.18	1.18	5	6.2
10-15	1.2	1.17	5	5.4
15-20	1.13	1.13	5	5.1
20-30	1.04	1.1	4.9	5
30-40	0.98	1.02	4.5	5

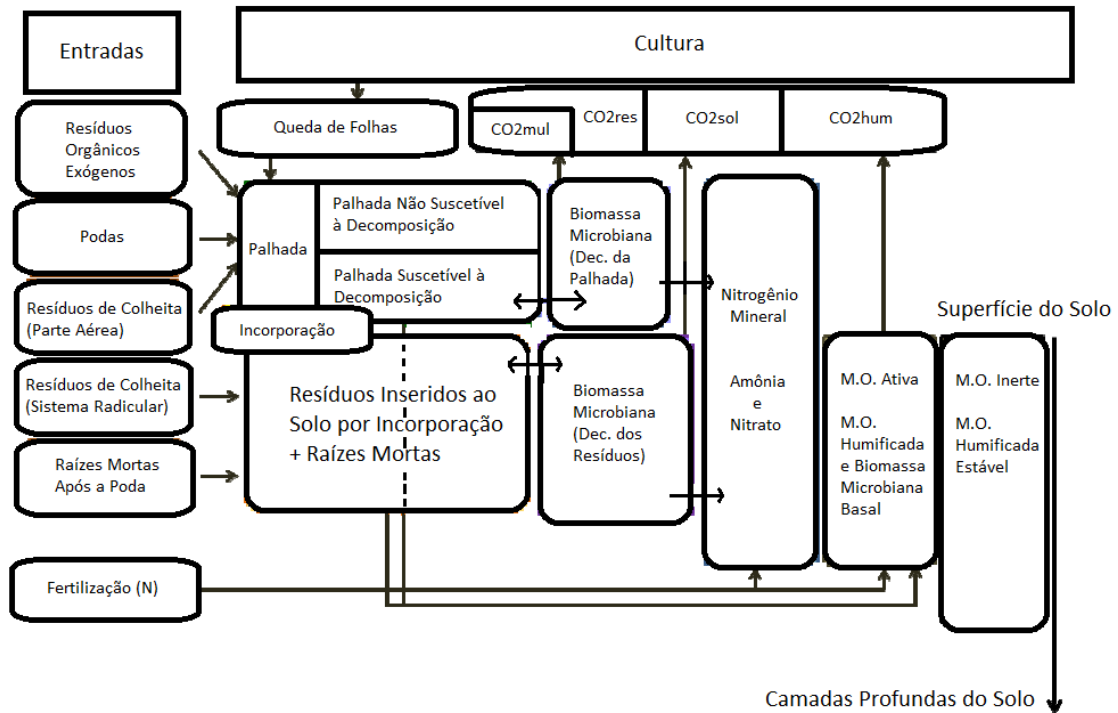
\* S4T1= Plantio Convencional. S4T2= Plantio Direto.

### 3.5 CALIBRAÇÃO DO STICS PARA OS CENÁRIOS ESTUDADOS

#### 3.5.1 Modelagem Para C do Solo com o STICS

Os vários compartimentos orgânicos, bem como as entradas e saídas de carbono no solo (fluxo de mineralização orgânica produzindo CO<sub>2</sub>) estão apresentados de forma esquemática na figura 3. O aporte de matéria orgânica provém da superfície do solo (resíduos orgânicos exógenos, podas, folhas caídas durante o cultivo, resíduos da colheita), ou das raízes residuais, presentes no perfil do solo após a colheita de uma cultura. Nas áreas onde se adota o Sistema Plantio Direto, os resíduos orgânicos deixados na superfície do solo forma uma cobertura morta, ou mulch, que além de proteger a superfície do solo contra impacto direto das gotas da chuva evita a incidência direta da luz solar, evitando o superaquecimento da camada superficial do solo. Por outro lado, na transição entre as superfícies do solo e dos resíduos ocorre a decomposição de parte dos resíduos liberando compostos orgânicos para o solo contribuindo para uma rápida alteração dos teores de carbono do solo.

**Figura 6.** Representação esquemática dos compartimentos C-N e do fluxo de aporte e mineralização do STICS.



Onde:

1. Ingressos (aportes orgânicos cumulativos) e saídas (CO<sub>2</sub> cumulativo).
  - a) Aporte de folhas senescentes ou perfilhos: **QCplantetombe** e **QNplantetombe** (código do resíduo = 2).
  - b) Aportes orgânicos exógenos: **QCresorg** e **QNresorg** (inserido no arquivo "tec" em <formalisme nom="supply of organic residues">; (código do resíduo = P\_coderes(is)).
  - c) Aporte por trabalho do solo: **QCrogne** e **QNrogne** (código do resíduo = 2).
  - d) Aporte de resíduos de parte aérea na colheita: **QCressuite** et **QNressuite** (código do resíduo = 1 à 10, conforme o **P\_ressuite**).
  - e) Aporte de resíduos radiculares na colheita da cultura: **QCrac** e **QNrac** (código do resíduo = 21).
2. Mineralização dos resíduos.
  - a) CO<sub>2</sub> total emitido pela decomposição da matéria orgânica (húmus + resíduos): **QCO2sol** = **QCO2hum** + **QCO2res**. Também se calcula **QCO2mul**, que é o CO<sub>2</sub> acumulado a partir da decomposição da palhada, e representa parte de **QCO2res**.

### 3.5.2 Cenários Simulados

Primeiramente foram simulados três cenários individuais utilizando os dados das safras individuais estudadas e apresentadas anteriormente na Tabela 2, com a finalidade de calibrar cada cultura e permitir fazer simulações em cronossequência, para avaliar os valores de C do solo sob Sistemas Plantio Direto e Plantio Convencional, no cenário 2010-2013.

### 3.5.3 Dados Meteorológicos

Os dados meteorológicos de entrada no programa STICS são: precipitação diária (mm), radiação solar ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ), temperaturas mínima e máxima do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ), umidade relativa do ar (%) e velocidade média diária do vento ( $\text{m s}^{-1}$ ) e evapotranspiração potencial ( $\text{mm dia}^{-1}$ ) estimada pelo método de PENMAN (1948).

Os dados meteorológicos são inseridos no programa STICS através do acesso Model Inputs -> Local Parameters -> Climate -> Formatting a Climate File, mediante uso de uma planilha do Microsoft Excel, com colunas indicativas para dia, mês e ano seguida das colunas referentes aos dados das leituras e cálculos mencionados anteriormente. Há ainda a necessidade de indicar, dentro da interface do modelo, as colunas específicas para cada informação introduzida bem como as data de início e fim do período avaliado. Informações como ETP (evapotranspiração potencial), velocidade do vento e umidade do ar são opcionais. Deve-se também especificar o número de linhas utilizadas para a nomeação das colunas, inserindo o valor em "Number of headlines". Para formatação e aceitação do arquivo Microsoft Excel pelo programa STICS, este deve ser salvo no formato ".csv" (separado por vírgulas), portanto na interface indica-se a seleção de ";" na seção "Separator", como apresentado na Figura 7.

**Figura 7.** Janela de entrada e de formatação dos dados meteorológicos do programa STICS.

The screenshot shows the 'Format weather file' dialog box. It includes the following fields and options:

- File properties:**
  - File: D:\Clima\Arquivo\Embrapa\_soja1991\_2013.csv
  - Change weather file name: EmbrapaSoja
  - Number of headlines: 1
  - Separator: ;
- Columns and variables matching:**
  - Year: 3
  - Month: 2
  - Minimum temperature: 5 ° Celsius
  - Maximum temperature: 4 ° Celsius
  - Global radiation: 8 MJ/m2
  - CO2: (empty)
  - Penman PET: 10 mm
  - Rainfall: 9 mm
  - Wind: (empty) m/s
  - Vapor pressure: (empty) Relative humidity in %
- Additional options:**
  - Partial format
  - Date of beginning: 01/01/1991
  - Date of end: 31/12/2013
  - Use CO2 value
- Buttons:** Generate, Save, Quit

Após selecionada a planilha a ser trabalhada e preenchidas todas as demandas da interface, acessa-se Model Inputs -> Local Parameters -> Climate -> Weather Station, onde se escolhe o arquivo “.xml” com o qual se deseja trabalhar, e fornece-se ao sistema os valores de “zr” (altura de referência da mensuração dos dados meteorológicos, em metros), latitude ( $-90^{\circ}$  a  $90^{\circ}$ ) e pressão atmosférica (mbar). Os outros parâmetros presentes não devem ser mudados, pois representam os valores estabelecidos previamente (*default*), utilizados pelos pesquisadores que desenvolveram o software. Eventualmente estes dados podem ser atualizados mediante pesquisas específicas para novas calibrações dos mesmos ou se houver convicção dos pesquisadores para utilização de dados confiáveis disponíveis na literatura referente a região/cenário para a qual o programa esta sendo calibrado. O programa emprega os “Julian Days”, dias julianos, pois estes facilitam a utilização do programa, uma vez que o emprego do sistema dia/mês/ano implicaria em complicações em função do número de dias diferentes em cada mês e os anos bissextos.

### 3.5.4 Dados Referentes às Plantas Cultivadas (arquivo .plt)

Os dados referentes às plantas cultivadas são acessados pelo trajeto Model Inputs -> Global Parameters -> Plant and Genotype. Parte dos dados relativos às plantas cultivadas utilizados neste estudo foram obtidos do banco de dados da Embrapa Cerrados, e parte buscou-se na literatura. O período de duração das safras foi obtido através de anotações das áreas experimentais da Embrapa CPAC. O período de tempo decorrido entre a emergência e a colheita estão apresentados na Tabela 2, e foram obtidos à partir dos boletins oficiais da Embrapa referentes a apresentação e descrição das cultivares de soja BRS 1030 e Valiosa (PARENTONI, 2004 e EMBRAPA, 2010) e do site oficial da Brasmilho para o híbrido de milho PL 1335 (BRASMILHO, 2016). Os dados relativos à produtividade de grãos e de fitomassa destes cultivares estão apresentados na Tabela 3.

Para composição do arquivo “.plt” utilizado no STICS, se insere as seguintes informações sobre a planta (cultivar/variedade): temperaturas mínima e máxima do ambiente onde ocorre o desenvolvimento da cultura (°C) (**tdmin** e **tdmax**), a temperatura ótima ou adequado ao e desenvolvimento da cultura (°C) (**teopt**), a eficiência máxima no uso de radiação solar durante as fases vegetativa e reprodutiva (**efcroiveg** e **efcroirepro**), entre outros.

Na Tabela 10 estão apresentados os parâmetros gerais referentes ao arquivos “.plt” para cultura da soja e do milho, enquanto na Tabela 11 estão apresentados os parâmetros específicos das cultivares avaliadas “Cultivar Parameters”, incluindo a duração de cada período fenológico da cultura (graus dias), o peso máximo de um grão, a 0% de umidade (**pgrainmax**), e o número máximo de grãos por m<sup>2</sup> (**nbrgrainmax**).

Para parâmetros não apresentados nas tabelas 10 e 11 são considerados os valores padrões do modelo (default) que não influenciam na avaliação e provém do arquivo original fornecido na instalação do software do modelo STICS.

**Tabela 10.** Parametrização dos arquivos “.plt” utilizados na simulação.

Parâmetros	Culturas	
	Milho	Soja
tdmin	6	15
tdmax	32	35
phyllotherme	70	70
bdens	4.3	7
hautmax	2.5	1
tcxstop	35	45
vlaimax	2.1	2.39
pentlaimax	5.5	5.5
udlaimax	3	2.82
ratiodurviel	1	0.8
tmin	8	5
tmax	42	45
ratiosen	0.8	0.8
parazofmorte	13	13
innturgmin	0.38	-0.8
dlaimax	0.0016	0.00089
dlaimin	0	0
temin	8	15
temax	40	35
teopt	24	28
efcroijuv	1.38	1.65
efcroiveg	2.76	3.3
efcroirepro	4.1	1
slamax	230	290
slamin	170	200
tigefeuil	0.25	1
envfruit	0.1	0.4
sea	100	50
nbjgrain	20	25
cgrain	0.13	0.044
cgrainv0	0.4533	0
nbrgrmin	1500	0
vitirazo	0.0114	0.025

**Tabela 11.** Parametrização dos parâmetros específicos dos cultivares utilizados na simulação (Cultivar Parameters).

Parâmetros	Cultivares		
	BRS1030	PL1335	Valiosa
stlevamf	220	230	180
stamflax	430	440	370
stlevdrp	950	930	430
stflodrp	250	250	0
stdrpdes	650	650	357
pgrainmaxi	0.35	0.33	0.13
adens	-0.12	-0.125	-0.45
croirac	0.13	0.13	0.15
durvieF	200	200	100
stlaxsen	688	680	200
stsenlan	272	272	160
nbgrmax	4500	4400	5000
stdrpmat	650	640	410

A estimativa da soma térmica para culturas avaliadas foi calculada da seguinte forma:

$$ST = \sum(T_m - T_b)$$

Onde:

T<sub>m</sub>: Temperatura média do ar (°C)

T<sub>b</sub>: Temperatura basal para a cultura (°C)

A produção de fitomassa foi calibrada pelos ajustes dos parâmetros relativos à eficiência do uso da radiação solar “**efcroiveg**”, e à fotoassimilação no grão “**efcroirepro**”. O índice de máxima área foliar “**LAIMax**” foi ajustado através do parâmetro “**dlaimax**”, que é caracterizado pela taxa de desenvolvimento da área foliar máxima.

### 3.5.5 Dados Referentes ao Itinerário Técnico (arquivo .tec)

O programa STICS requer, para a simulação, um itinerário técnico do cenário a ser simulado, que é acessado por Model Inputs -> Local Parameters -> Crop Management. Neste arquivo, deve-se inserir as adições de resíduos orgânicos, especificando a data de aporte dos resíduos (**julres**), o tipo de resíduo (**coderes**) (1 = Resíduos de Cultura Madura; 2 = Resíduos de Cultura Não-Madura; 3 = Esterco; 4 = Matéria Orgânica Compostada; 5 = Lodo de Esgoto; 6 = Vinhaça, entre outros), a massa fresca de resíduo aportada (**qres**) ( $t\ ha^{-1}$ ), o teor de carbono do resíduo (**Crespc**), relação C/N do resíduo (**CsurNres**) e o teor de umidade do resíduo (**eaures**).

É necessário informar ainda se houve intervenção mecânica (preparo do solo), que deve ser inserido na data do plantio ou próximo, em caso de cenários que envolvam o Plantio Convencional. Neste caso terá que especificar o dia em que o trabalho foi realizado e a profundidade máxima de incorporação de resíduos (**proftrav**).

Neste mesmo arquivo especifica-se a data da semeadura (**iplt0**), a profundidade de semadura (cm) (**profsem**), a densidade de semeadura (plantas  $m^{-2}$ ) (**densitesem**) e o número de identificação da variedade relativo à posição da variedade trabalhada dentro da aba “Cultivar Parameters” no arquivo “plt”. Na aba “Phenological Stages” pode se optar por forçar a data de início de etapas como germinação, florescimento e maturação (Tabela 12), onde foram inseridos os valores observados. Por fim, deve-se especificar a fertilização, inserindo o tipo de adubo nitrogenado utilizado, bem como a data e a concentração de N do mesmo.

Para este estudo prévio de simulação, foram gerados seis arquivos .tec, sendo dois para cada safra (um para o cenário do PC e outro para o cenário do PD), denominados de MilhoBRS1030PD, MilhoBRS1030PC, ValiosaPC, ValiosaPD, MilhoPL1335PD e MilhoPL1335PD. A data de semeadura utilizada para as três safras avaliadas estão apresentadas na Tabela 2. Para os arquivos da primeira safra

(soja BRS1030) foi necessário incluir um aporte de resíduos orgânicos, referente aos resíduos da cultura anterior, cujos dados foram obtidos no estudo de Sá (2011), que apresentou tais valores na última cultura implantada antes do início das avaliações deste estudo (soja Valiosa 2009-2010).

Optou-se por forçar a germinação (**ilev**) em 5 dias após o plantio, visando a uniformização da emergência e início das culturas. Para a fertilização, o programa permite apenas entrada para adubação nitrogenada, cujos valores foram inseridos de acordo com as adubações realizadas na área experimental da Embrapa CPAC e que estão apresentadas na Tabela 4.

Desta forma, foram gerados os seis arquivos “.tec”, que estão apresentados na tabela 12.

**Tabela 12.** Parametrização dos arquivos “.tec” das diferentes cultivares gerados para realização da simulação.

Parâmetros	Cultivares					
	BRS1030PD	BRS1030PC	ValiosaPD	ValiosaPC	PL1335PD	PL1335PC
<b>julres</b>	262	262	-	-	-	-
<b>coderes</b>	1	1	-	-	-	-
<b>qres</b>	3	3	-	-	-	-
<b>profres</b>	-	0	-	0	-	0
<b>Crespc</b>	40	40	-	-	-	-
<b>CsurNres</b>	50	50	-	-	-	-
<b>Nminres</b>	1	1	-	-	-	-
<b>eaures</b>	15	15	-	-	-	-
<b>jultrav</b>	-	315	-	320	-	310
<b>proftrav</b>	-	20	-	20	-	20
<b>iplt0</b>	315	315	320	320	310	310
<b>profsem</b>	5	5	5	5	5	5
<b>densitesem</b>	30	30	30	30	30	30
<b>variete</b>	17*	17*	5*	5*	18*	18*
<b>ilev</b>	320	320	325	325	315	315
<b>irecbutoir</b>	500	500	500	500	500	500
<b>julapN</b>	315	315	-	-	310	310
<b>absolute_value</b>	63	63	-	-	70	70

### 3.5.6 Dados Referentes ao Solo (.sol) e (.ini)

O parâmetro “**profhum**” representa a profundidade máxima do solo

onde se considera que ocorrerá atividade biológica. Portanto é o parâmetro que definirá a espessura da camada do solo onde ocorrerão as variações nos conteúdos de carbono. Neste caso foi utilizada a espessura de 0,40 m, correspondente à soma das espessuras das camadas de solo onde foram efetivamente avaliados os teores ou conteúdos de carbono orgânico total do solo. Além destes dados foram inseridas também informações sobre os teores de N orgânico total (parâmetro **norg**) e das relações C/N (parâmetro **csurnsol**) para a camada de solo avaliada.

Com os dados obtidos foi possível gerar dois arquivos “.sol”, referentes os solos avaliados. Um para as parcelas submetidas ao sistema de Plantio Convencional (SoloPC) e outro para parcelas submetidas ao Sistema Plantio Direto (SoloPD), cuja parametrização para entrada no programa STICS encontra-se apresentada na Tabela 13.

**Tabela 13.** Parametrização dos arquivos “.sol” programa STICS, utilizados na simulação.

<b>Parâmetro</b>	<b>SoloPD</b>	<b>SoloPC</b>
<b>argi</b>	60	60
<b>norg</b>	0.12	0.12
<b>profhum</b>	40	40
<b>calc</b>	0	0
<b>pH</b>	5.6	4.9
<b>concseuil</b>	0	0
<b>albedo</b>	0.12	0.12
<b>q0</b>	50	50
<b>ruisolnu</b>	0	0
<b>obstarac</b>	200	200
<b>pluiebat</b>	100	100
<b>mulchbat</b>	0.5	0.5
<b>zesx</b>	60	60
<b>cfes</b>	5	5
<b>z0solnu</b>	0.01	0.01
<b>csurnsol</b>	18.1	16.5
<b>penterui</b>	0.33	0.33

Outra exigência incluída no programa STICS com a finalidade de garantir a qualidade das simulações consiste na avaliação do solos em 5 camadas ou horizontes. Sendo assim, a entrada dos seguintes dados foi realizada por espessura de camadas ou profundidade (**epc**): densidade aparente (**DAF**), umidade

gravimétrica na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente (**HCCF** e **HMINF**), como apresentado na Tabela 14.

**Tabela 14.** Descrição dos parâmetros de caracterização das camadas ou horizontes do solo para entrada no programa STICS.

Horizontes	epc*	HCCF	HMINF	DAF	infil
<b>PD1</b>	5	34.25	25.11	1.03	50
<b>PD2</b>	5	34.25	25.11	1.18	50
<b>PD3</b>	10	34.25	25.11	1.15	50
<b>PD4</b>	30	44.05	24.55	1.05	50
<b>PD5</b>	50	43.97	25.03	0.95	50
<b>PC1</b>	5	34.25	25.11	1.09	50
<b>PC2</b>	5	34.25	25.11	1.18	50
<b>PC3</b>	10	34.25	25.11	1.16	50
<b>PC4</b>	30	44.05	24.55	1	50
<b>PC5</b>	50	43.97	25.03	1	50

\* epc= Profundidade. HCCF= Umidade gravimétrica na capacidade de campo. HMINF= Umidade gravimétrica no ponto de murcha permanente. DAF= Densidade aparente. infil= Infiltrabilidade ( $\text{mm d}^{-1}$ ).

Para rodar o programa STICS há necessidade de um arquivo de inicialização (arquivo “.ini”), onde são incluídos fatores como umidade inicial do solo (**hinit**), e teores iniciais de N-NO<sub>3</sub> e de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Neste estudo foi incluído apenas o o valor inicial de umidade do solo relativa ao PMP (Tabela 5), uma que não estava disponível os dados referentes aos teores de N-NO<sub>3</sub> e N-NH<sub>4</sub>. Neste caso o programa faz a simulação/modelagem desprezando estes fatores.

### 3.5.7 Execução da Calibração

Os dados introduzidos no modelo se dividem em quatro categorias: dados referentes à planta (Arquivos .plt), ao itinerário técnico (Arquivos .tec), ao clima (Arquivos .cli) e ao solo (Arquivos .sol) além do arquivo de inicialização “.ini”.

Para a simulação, deve ser gerada uma USM em “Create and Run Single USM”, onde serão especificados os arquivos “.sol”, “.tec”, “.cli”, “.plt” e “.ini” para cada cenário. Como no estudo realizado todas as safras foram de verão, foi necessário selecionar a opção “2 years crop”, para que o modelo realize a simulação

entre dois anos, sendo assim necessário inserir o arquivo climático dos dois anos avaliados. Foram gerados, portanto, 6 USMs, uma para cada safra sob Plantio Direto e sob Plantio Convencional, utilizando as datas de início e fim de 261 e 500 para a cultivar BRS 1030, 136 e 500 para a cultivar Valiosa e 261 e 500 para a cultivar PL 1335.

**Figura 8.** Janela de entrada de dados da interface do programa STICS para geração das USMs das cultivares avaliadas. Dados da cultivar BRS1030.

Para a calibração do modelo, o primeiro passo consiste em ajustar os valores de produtividade, fitomassa e fenologia das variedades de soja e milho estudadas que são os fatores que mais impactam o C do solo.

Após a calibração prévia das culturas utilizadas no trabalho, foi realizada a simulação do plantio em sequência das culturas, utilizando a ferramenta “Run Successive USMs”, dentro da aba “Running Model”.

Para aferição das mudanças no estoque de carbono, apesar do modelo STICS liberar diferentes variáveis saída relacionadas ao C no solo, como por exemplo: teor de C na palhada (**Cmulch**), volume de CO<sub>2</sub> perdido (**CO<sub>2</sub>sol**) (kg ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>), C acumulado por raízes (**QCrac**), e C acumulado proveniente da parte aérea (**QCressuite**) dentre outros, será levado em consideração somente o teor de C total, subtraído do **Cmulch** que corresponde à quantidade de carbono presente na palhada

que ainda se encontra superfície do solo.

A avaliação de performance do modelo foi realizada através de simulações gráficas, mediante comparações dos valores simulados com o valor do erro padrão calculado para cada uma das variáveis simuladas (produtividade, fitomassa e carbono total do solo), pois o curto período temporal avaliado não permite análise mais aprofundada do modelo.

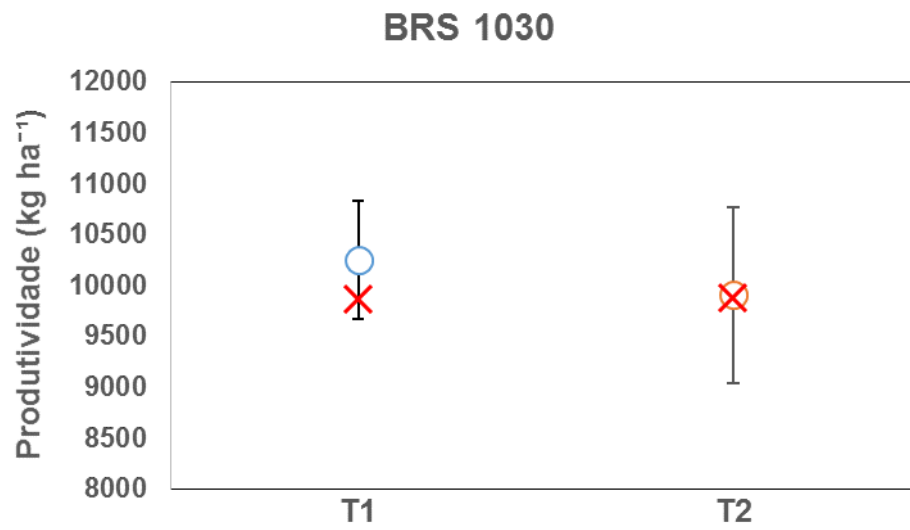
Os dados de carbono no solo foram testados quanto à normalidade dos resíduos pelo teste de Shapiro-Wilk e quanto à homogeneidade de variâncias pelo teste de Bartlett. Em função da normalidade dos resíduos para todas as camadas avaliadas, o teste t de Student a 5% de probabilidade foi utilizado para comparação entre as médias dos tratamentos T1 (Plantio Convencional) e T2 (Plantio Direto). Para avaliação da qualidade e precisão das simulações do programa, realizou-se o cálculo do intervalo de confiança da média (IC 95%) para cada um dos fatores avaliados (produtividade da cultura, fitomassa e carbono total do solo).

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

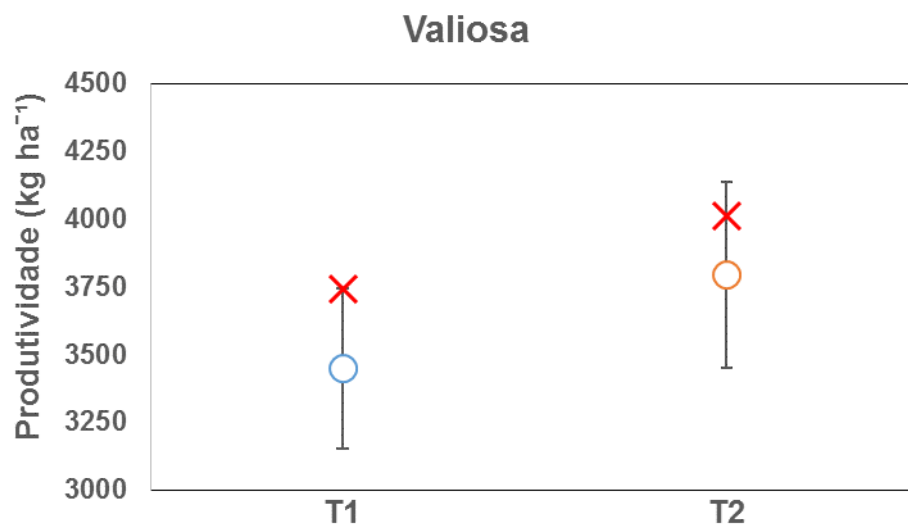
### **4.1 CALIBRAÇÃO DO MODELO STICS PARA AS CULTURAS DE MILHO E SOJA**

O modelo STICS apresentou boa performance para predição de parâmetros relativos às culturas de milho BRS 1030 e PL1335 e de soja Valiosa RR, quanto a predição da produtividade (Figuras 6, 7 e 8) e quanto a simulação da produção de fitomassa (Figuras 9, 10 e 11), uma vez que todos os valores simulados estão dentro da faixa do intervalo de confiança (IC) com 95% de probabilidade.

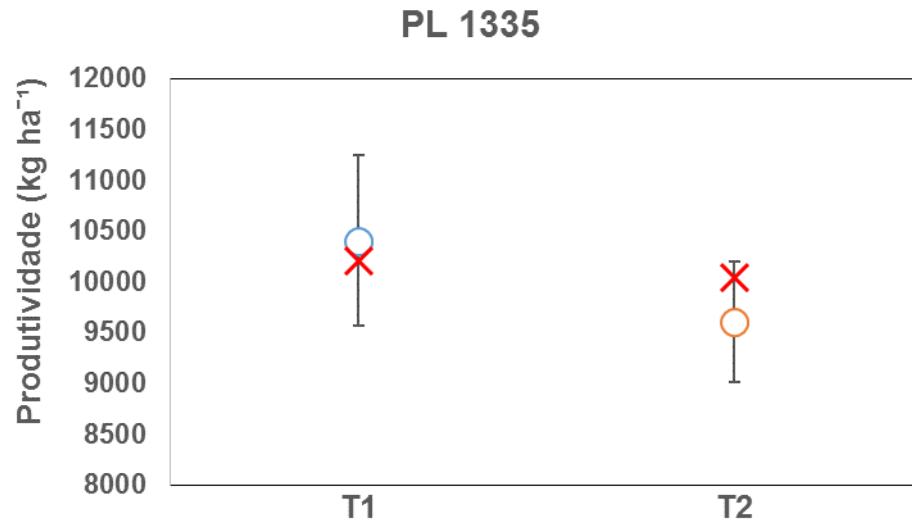
**Figura 9.** Comparação entre os valores simulados para produtividade do milho híbrido BRS1030 e o intervalo de confiança dos dados observados com precisão de 95 % de probabilidade.



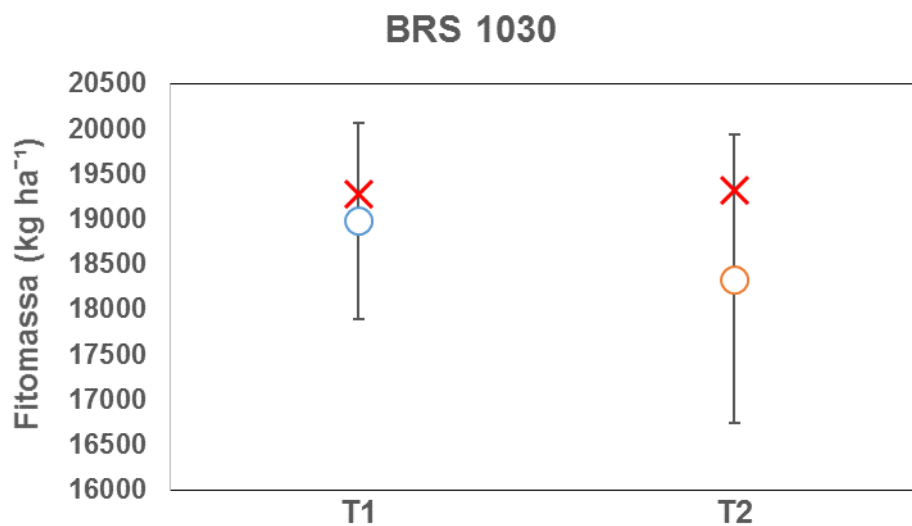
**Figura 10.** Comparação entre os valores simulados para produtividade da soja cultivar Valiosa e o intervalo de confiança dos dados observados com precisão de 95 % de probabilidade.



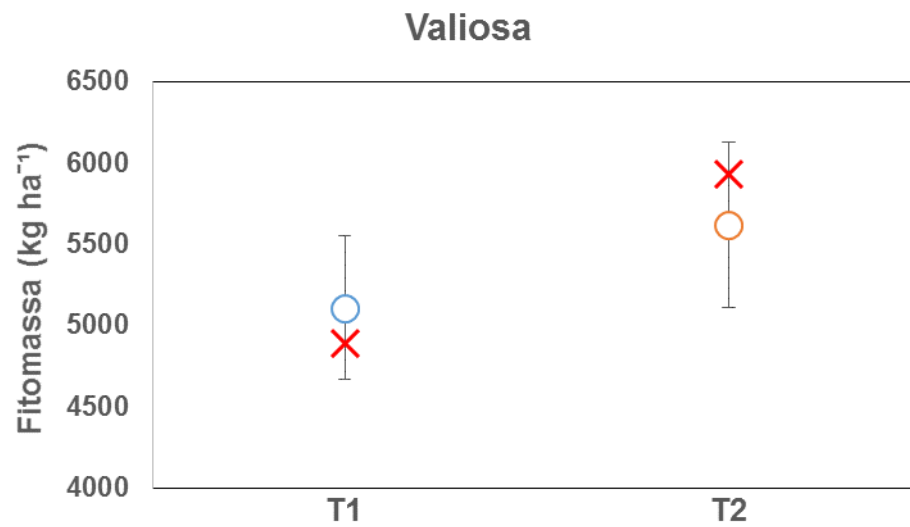
**Figura 11.** Comparação entre os valores simulados para produtividade do milho híbrido PLS 1335 e o intervalo de confiança dos dados observados com precisão de 95 % de probabilidade.



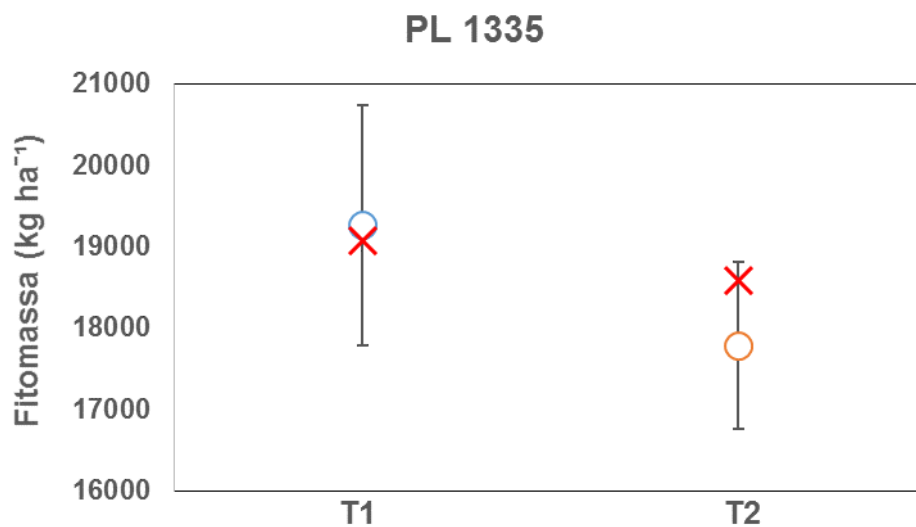
**Figura 12.** Comparação entre os valores simulados para fitomassa do milho cultivar BRS1030 e o intervalo de confiança dos dados observados com precisão de 95 % de probabilidade.



**Figura 13.** Comparação entre os valores simulados para fitomassa da soja cultivar Valiosa e o intervalo de confiança dos dados observados com precisão de 95 % de probabilidade.

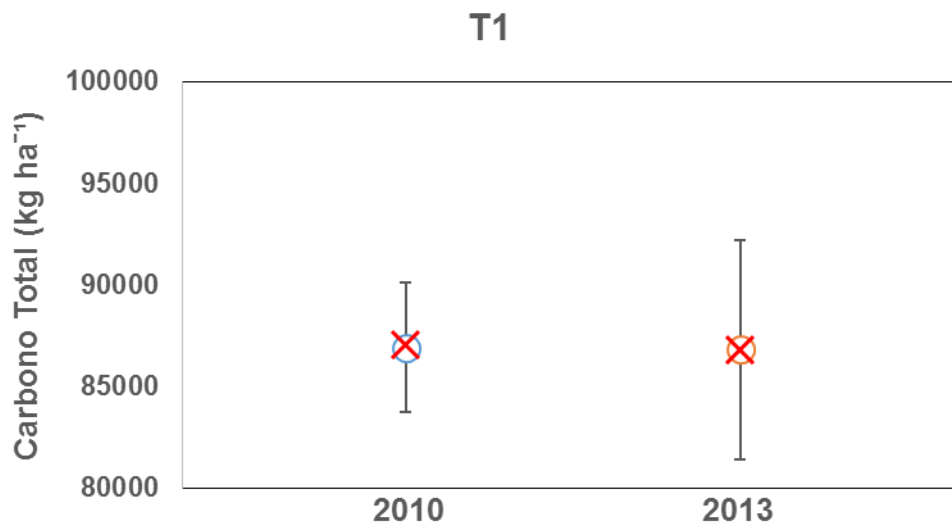


**Figura 14.** Comparação entre os valores simulados para fitomassa do Milho cultivar PL1335 e o intervalo de confiança dos dados observados com precisão de 95 % de probabilidade.

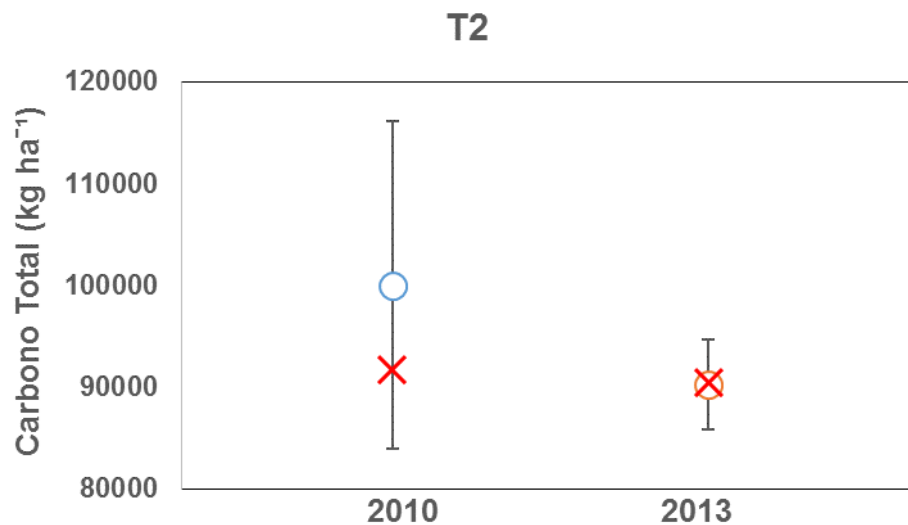


As comparações entre os valores simulados pelo programa STICS para o carbono total do solo e os valores observado, estão apresentados nas Figuras 12 e 13.

**Figura 15.** Comparação entre os valores simulados para carbono total do solo e o intervalo de confiança dos dados observados com precisão de 95 % de probabilidade, em parcelas manejadas sob sistema de pantio convencional (T1).



**Figura 16.** Comparação entre os valores simulados para carbono total do solo e o intervalo de confiança dos dados observados com precisão de 95 % de probabilidade, em parcelas manejadas sob sistema de pantio direto (T2).



Os valores observados e simulados para produtividade, produção de fitomassa e carbono total do solo e a percentagem de variação (PV%) entre eles estão apresentados nas Tabelas 15, 16, 17, 18 e 19.

**Tabela 15.** Comparações entre os valores da produtividade observada e simulada pelo programa STICS para as diferentes culturas avaliadas sob sistema de plantio convencional (T1).

Variedades	Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> ) (13% Umidade)		
	Observada	Simulada	PV (%)
Milho BRS 1030	10247	9860	-3.8
Soja Valiosa RR	3448	3704	7.4
Milho PL 1335	10402	10203	-2

PV = Percentagem de variação.

**Tabela 16.** Comparações entre os valores da produtividade observada e simulada pelo programa STICS para as diferentes culturas avaliadas sob sistema de plantio direto (T2).

Variedades	Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> ) (13% Umidade)		
	Observada	Simulada	PV (%)
Milho BRS 1030	9901	9887	-0.15
Soja Valiosa RR	3793	4011	5.7
Milho PL 1335	9603	10034	4.5

PV = Percentagem de variação.

**Tabela 17.** Comparações entre os valores da fitomassa observada e simulada pelo programa STICS para as diferentes culturas avaliadas sob sistema de plantio convencional (T1).

Variedades	Fitomassa (kg ha <sup>-1</sup> )		
	Observada	Simulada	PV (%)
<b>Milho BRS 1030</b>	18977	19270	1.5
<b>Soja Valiosa RR</b>	5108	4890	-4.3
<b>Milho PL 1335</b>	19263	19070	-1

PV = Percentagem de variação.

**Tabela 18.** Comparações entre os valores da fitomassa observada e simulada pelo programa STICS para diferentes culturas avaliadas sob plantio direto (T2).

Variedades	Fitomassa (kg ha <sup>-1</sup> )		
	Observada	Simulada	PV (%)
<b>Milho BRS 1030</b>	18337	19320	5.3
<b>Soja Valiosa RR</b>	5620	5930	5.5
<b>Milho PL 1335</b>	17783	18580	4.5

PV = Percentagem de variação.

**Tabela 19.** Comparações entre valores observados e simulados pelo programa STICS para carbono total do solo sob sistemas de plantio convencional (T1) e sistema de plantio direto (T2) nas amostragens feitas em 2010 e 2013.

Ano	Sistemas	Carbono total (kg ha <sup>-1</sup> )		
		Observado	Simulado	PV (%)
<b>2010</b>	<b>T1</b>	86915	87053	0.15
<b>2010</b>	<b>T2</b>	100011	91686	-8.3
<b>2013</b>	<b>T1</b>	86793	86819	0.03
<b>2013</b>	<b>T2</b>	90271	90366	0.1

PV = Percentagem de variação.

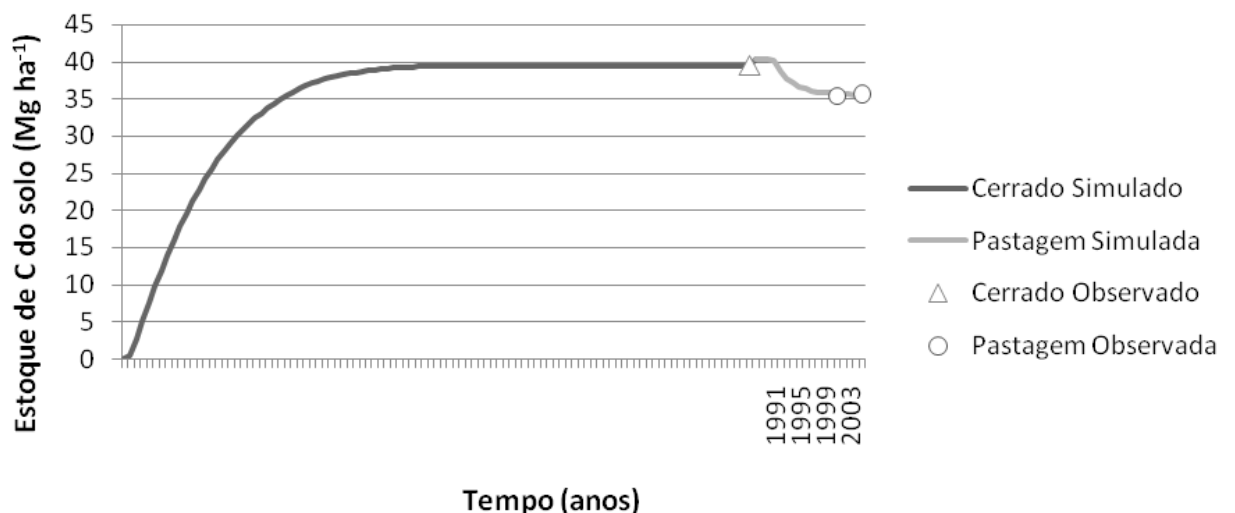
Os valores simulados pelo programa STICS para produtividade e fitomassa das culturas avaliadas estão de acordo com resultados apresentados por Silva (2004) permitindo classificar com boa qualidade e a precisão das simulações.

Entretanto, para o estoque de carbono total do solo as variações observadas foram muito baixas na maioria das situações, mas no ano de 2010 nas

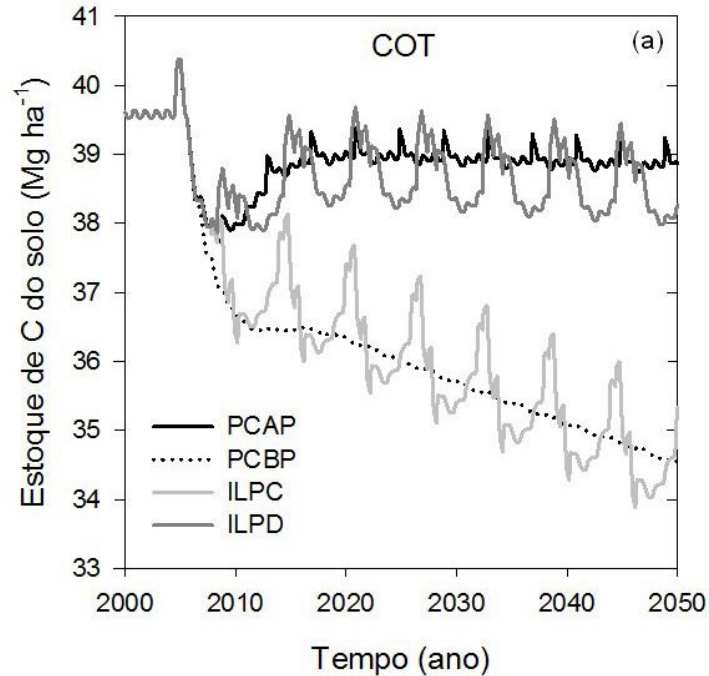
parcelas sob plantio direto o programa STICS simulou um estoque de C cerca de 8% menor.

Quando as comparações entre estoques de C do solo são feitas entre as amostragens de 2010 e 2013 (Tabela 19) pode-se observar que não ocorreram variações significativas, permitindo inferir que já se deve ter atingido um alto grau de estabilização dos estoques de carbono do solo, uma vez que o sistema foi implantado a cerca de 20 anos. Por outro lado, o curto período de tempo (2 anos) decorrido entre as amostragens utilizadas na simulação STICS, não foi suficiente para que ocorressem variações significativas nos estoques de carbono do solo como indica Dias (2010) que, trabalhando com o modelo CENTURY, utilizou dados acumulados para gerar uma simulação de 45 anos e observou que este tipo de variação só ocorre em períodos de maior duração, como indicado nas Figuras 17 e 18.

**Figura 17.** Estoques de C do solo (0-20 cm) observados (MARCHÃO, 2007) e simulados pelo CENTURY na etapa de validação. (Adaptado de Dias, 2010)



**Figura 18.** Carbono orgânico total do solo (COT) simulado pelo modelo CENTURY (0-20 cm) para quatro cenários avaliados sob as condições edafoclimáticas predominantes da região do Cerrado. (Adaptado de Dias, 2010)



LEGENDA: PCBP (pastagem contínua de baixa produtividade), PCAP (pastagem contínua de alta produtividade), ILPC (integração lavoura-pecuária com plantio convencional), ILPD (integração lavoura-pecuária com plantio direto).

Os teores médios de carbono total do solo variaram significativamente com os sistemas de manejo apenas nas camadas superiores de 0-5 e 5-10 cm, sendo que os maiores valores foram sempre observados nas parcelas manejadas sob sistema plantio convencional (T1) (Tabela 20). Estes resultados diferem daqueles apresentados por Leite (2010), que trabalhando com solos do cerrado do estado do Piauí observou que os maiores teores de C da camada 0-5 cm (2,8 % ou  $28 \text{ g kg}^{-1}$ ) foi obtido na área sob sistema de plantio direto em comparação com a área sob sistema de plantio convencional que apresentou teor de carbono de apenas 1,9% ou  $19 \text{ g kg}^{-1}$ .

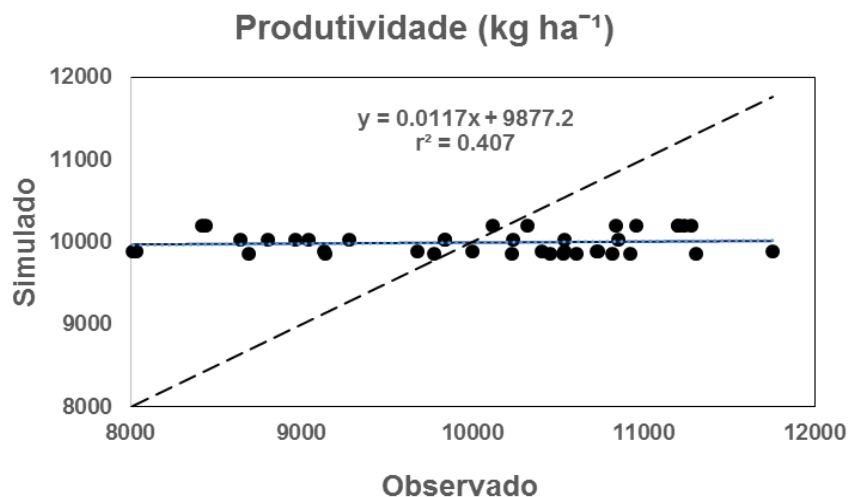
**Tabela 20.** Valores médios para a variação dos teores de carbono do solo em função dos sistemas de manejo e camadas avaliadas.

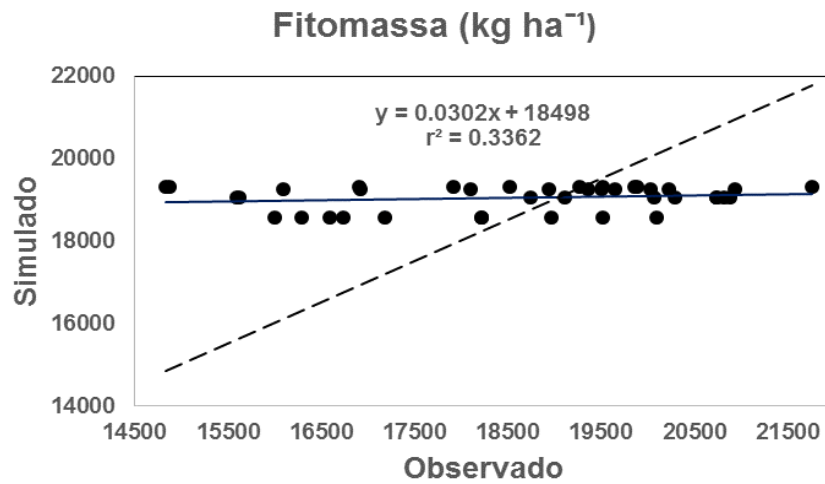
Sistemas de Manejo	Camadas (cm)	MÉDIA*	VAR	p-valor (t)
T1	0-5	-0.08276 <sup>a</sup>	0.17379	0.00248821
T2	0-5	-0.57283 <sup>b</sup>	0.06821	
T1	5-10	-0.04767 <sup>a</sup>	0.05755	0.00176087
T2	5-10	-0.28799 <sup>b</sup>	0.05324	
T1	10-20	-0.07606 <sup>a</sup>	0.02461	0.36232105
T2	10-20	-0.01716 <sup>a</sup>	0.12249	
T1	20-30	0.03498 <sup>a</sup>	0.05341	0.15829294
T2	20-30	-0.30094 <sup>a</sup>	0.45990	
T1	30-40	-0.15130 <sup>a</sup>	0.00116	0.95155748
T2	30-40	-0.15896 <sup>a</sup>	0.03928	

VAR= Variância.

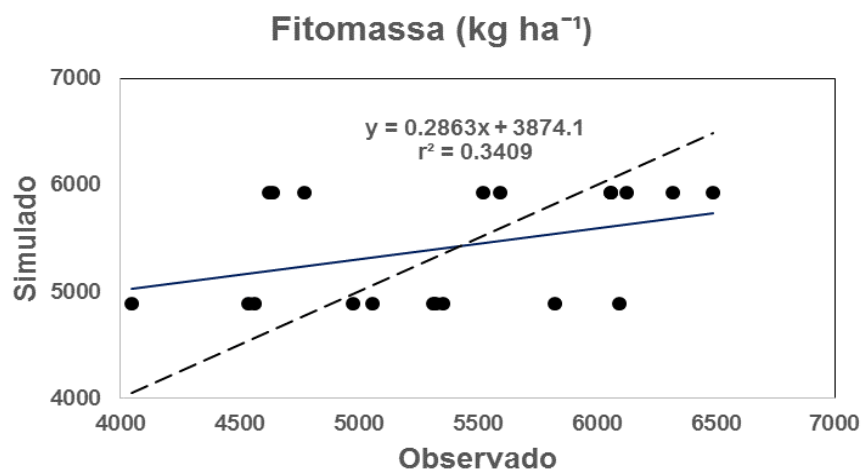
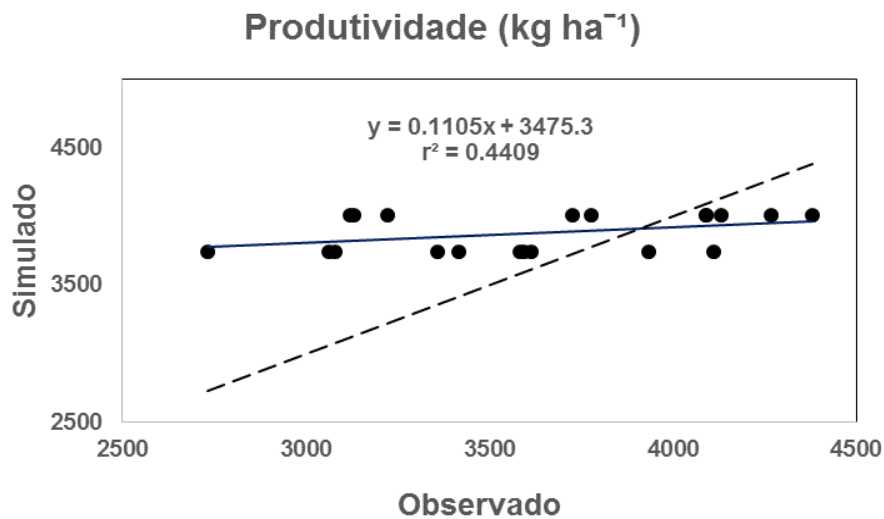
\* Médias seguidas da mesma letra para camada de solo não diferem entre si pelo teste t de Student, a 5% de probabilidade.

**Figura 19.** Validação do modelo STICS para produtividade e fitomassa das culturas de milho BRS 1030 e PL1335 em áreas de cerrado manejada sob sistemas de manejo de plantio convencional e plantio direto.

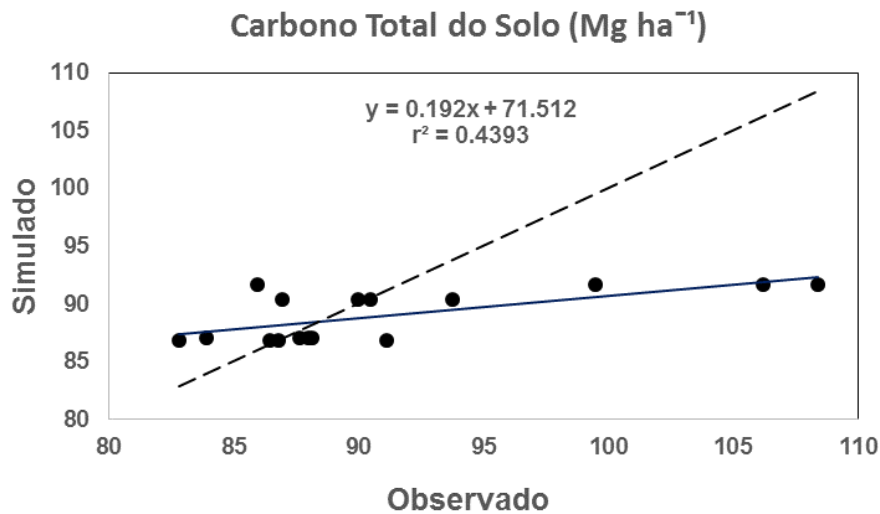




**Figura 20.** Validação do modelo STICS para produtividade e fitomassa da soja Valiosa RR em áreas de cerrado manejadas sob sistemas de manejo de plantio convencional e plantio direto.



**Figura 21.** Validação do modelo STICS para carbono total do solo em áreas de cerrado manejadas sob sistemas de manejo de plantio convencional e plantio direto.



Na comparação entre os valores observados e simulados pelo programa STICS, foram obtidos valores de coeficiente de determinação ( $r^2$ ) iguais a 0.407 para fitomassa e 0.3362 para produtividade das culturas de milho; 0.4409 para fitomassa e 0.3409 para produtividade da cultura de soja e 0.4393 o estoque de carbono total do solo. Estes valores, segundo Silva (2004), não são altos o suficiente para serem considerados adequados para determinar boa qualidade e precisão do modelo STICS como simulador da dinâmica dos estoques de C do solo, em grande parte devido ao curto espaço de tempo do cenário estudado e baixo número de amostras, tendo em vista que pesquisas recentes com modelos agrícolas, como o de Lopes (2008) e Dias (2010), adotaram amostragens muito maiores e cenários muito mais longos.

Todavia, uma vez validado para o cenário de manejo com plantio convencional e plantio direto em áreas do cerrado brasileiro, o modelo STICS poderá ser empregado futuramente em avaliações da dinâmica dos estoques de carbono do solo desta região que representa a última fronteira para expansão da área de produção agrícola e pecuária do Brasil.

Por outro lado, com a possibilidade de simulação da dinâmica dos estoques de carbono do solo sob diferentes cenários de uso da terra, será possível definir com maior precisão as técnicas de manejo para garantir a sustentabilidade dos sistemas de produção, aumentar a mitigação de C para o solo e contribuir para

minimizar os efeitos danosos das altas concentrações de CO<sub>2</sub> da atmosfera.

## 5 CONCLUSÕES

O modelo STICS simulou de maneira ainda insatisfatória tanto o rendimento, quanto a produção de fitomassa das de milho (BRS 1030 e PL 1335) e soja (Valiosa).

O modelo STICS também não simulou com precisão suficiente os estoques de carbono do solo, contudo apresenta potencial para ser utilizado como ferramenta para avaliar a dinâmica dos estoques de carbono do solo em áreas do cerrado brasileiro utilizadas no processo de produção agrícola e pecuária, se tornando, portanto, uma ferramenta nova a ser explorada.

Os teores de carbono total do solo do cerrado, no curto período estudado (2010-2013), não apresentaram variações significativas. Entretanto, é significativamente maior nas camadas superiores (0-5 e 5-10 cm), principalmente nas áreas manejadas sob sistema de plantio convencional.

## 6 REFERÊNCIAS

AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; CONCEIÇÃO, P.C.; SPAGNOLLO, E.; CAMPOS, B.C. & VEIGA, M. Potential of carbon accumulation in no-till soils with intensive use and cover crops in southern Brazil. *J. Environ. Quality*, 35:1599-1607, 2006.

ARKIN G. F.; VANDERLIP R. L.; RITCHIE, J. T. A dynamic grain sorghum growth model. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, n. 630, p. 622-626, 1976.

BAEDE, A. P. M.; AHLONSOU, E.; DING, Y.; SCHIMEL, D. *Climate Change 2001: The Scientific Basis*; **Cambridge University Press**: Cambridge, 2001, cap. 1.

BERNOUX, M.; CERRI, C. C.; NEILL, C.; de MORAES, J. F. L. The use of stable carbono isotopes for estimating soil organic matter turnover rates. **Geoderma**. v. 82, i. 1-3, p. 43-58, Fev. 1998.

BAYER, C.; BERTOL, I. Características químicas de um Cambissolo Húmico afetadas por sistemas de preparo, com ênfase à matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n.23. p.485-752, 1999.

BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p. 105-112, 1997.

BORGES, G. O. Resumo histórico do Plantio Direto no Brasil. In: EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Trigo. **Plantio Direto no Brazil**. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT / FECOTRGO/ Fundação ABC / Aldeia Norte, p. 13-18. 1993.

BRAGA, N. R.; COSTA, J.A. Avaliação de dez cultivares de soja pelo índice de colheita. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 18, p. 253-260,1983.

BREMNER, J. M.; MULVANEY, C. S. Nitrogen-Total. In: A.L. Page, R.H. Miller (Eds). **Methods of Soil Analysis: Part 2**. 2nd edition. **Agronomy Monograph**. Madison, WI v. 9, p. 595-624, 1982.

BRISSON N. et al. STICS: A generic model for the simulation of crops and their water and nitrogen balances. I. **Theory and parameterization applied to wheat and corn**. *Agronomie*, v. 18, p. 311–346, 1998.

BRISSON, N. et al (Ed.). **Conceptual Basis, Formalisations and Parameterization of the Stics Crop Model**. 2009. ed. : Quae, 2009. 304 p.

CARBERRY, P. S.; MUCHOW, R. C.; McCOWN, R. L. Testing the CERES-maize simulation model in a semi-arid tropical environment. **Fields Crops Research**, v. 20, p. 297-315, 1989.

CASTRO FILHO, C.; LOURENÇO, A.; GUIMARÃES, M. F.; FONSECA, I. C. B. Aggregate stability under different soil management systems in a res latosol in the state of Paraná, Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 65, p. 45-51, 2002.

CERRI, C.E.P.; BERNOUX, M.; CHAPLOT, V.; VOLKOFF, B.; VICTORIA, R.L.; MELILLO, J.M.; PAUSTIAN, K.; CERRI, C.C. Assessment of soil property spatial variation in an Amazon pasture: basis for selecting an agronomic experimental area. **Geoderma**, v.123, p.51-68, 2004.

CERRI, C.E.P.; COLEMAN, K.; JENKINSON, D.S.; BERNOUX, M.; VICTORIA, R.; CERRI, C.C. Modeling soil carbon from forest and pasture ecosystems of Amazon, Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, v.67, p.1879-1887, 2003.

COUTINHO, L. M. O conceito de bioma. **Acta Bot. Bras.** 1978, vol. 1, n.1, pp. 13-26.

COUTINHO, L. M. O conceito de cerrado. Revista Brasileira de Botânica, São Paulo, v.1, p. 17-23, 1978. Distribution of carbon in Oxisols of the Western Brazilian Amazon (Rondônia). **Soil Science**, New Brunswick, v. 163, n. 12, p.941-951, 1998.

CUNHA, N. R. S. et al. A intensidade da exploração agropecuária como indicador da degradação ambiental na região dos Cerrados, Brasil. **Rev. Econ. Sociol. Rural**. Brasília, v. 46, n. 2, p. 291-323, 2008.

DIAS, R. R. A. **Modelagem dos estoques de carbono do solo sob diferentes coberturas a região do cerrado**. 120 f. Dissertação (Mestrado). Curso de Mestrado em Ecologia, UnB, Brasília, 2010.

EMBRAPA (Planaltina). **O Cerrado**. 2012. Disponível em: <<http://www.cpac.embrapa.br/unidade/ocerrado/>>. Acesso em: 05 Jun. 14.

EMBRAPA (Londrina). **Cultivares de Soja (Minas Gerais e Região Central do Brasil)**. 2010. Disponível em: <[http://www.cnpso.embrapa.br/download/cultivares/Soja\\_2010-11MG.pdf](http://www.cnpso.embrapa.br/download/cultivares/Soja_2010-11MG.pdf)>. Acesso em: 05 Abril. 16.

EWING, E. E. et al. Modifications to the simulation model POTATO for use in New York. **Agricultural System**, v. 33, p. 173-192, 1990.

FERREIRA, D. F.; FERNANDES FILHO, J. F. Análise das transformações recentes na atividade agrícola da região de Goiás. 1970/1995-6. In: PEREIRA, S. L. XAVIER, C. L. (Org.). **O agronegócio nas terras de Goiás**. Uberlândia: EDUFU, p. 101-138, 2003.

GRAF, B.; RAKOTOBÉ, O.; ZAHNER, P.; DELUCCHI, V.; GUTIERREZ, A.P. A simulation model for the dynamics of rice growth and development: Part I – The carbon balance. **Agricultural Systems**, v. 32. p. 341-365, 1990.

GREGORICH, E. G.; CARTER, M. R.; ANGERS, D. A.; MONREAL, C. M. ; ELLERT, B. H. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. **Canadian Journal of Soil Science**, 74: 367-385. 1994.

HARIDASAN, M. Nutrição Mineral de Plantas Nativas do Cerrado. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Brasília, DF, v.12 n.1, p.54-64, 2000.

HÉNIN, S.; DUPUIS, M. Essai de bilan de la matière organique du soil. **Annales Agronomiques.**, v. 15. P.17-29, 1945.

HORIE, T.; YAJIMA, M.; NAKAGAWA, H. Yield forecasting. **Agricultural Systems**, v. 40. p. 211-236, 1992.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuario**. 2006. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/>>. Acesso em: 28 julho. 2014.

INRA. P, M. França. **STICS, an agronomy dynamo**. 2014. Disponível em: <<http://www.inra.fr/en/Scientists-Students/Agricultural-systems/All-reports/Modelling-and-agrosystems/STICS-an-agronomy-dynamo>>. Acesso em: 26 jun. 2014.

JANTALIA, C. P. Estudo de sistemas de uso do solo e rotações de culturas em sistemas agrícolas brasileiros: dinâmica de nitrogênio e carbono no sistema solo – planta – atmosfera. **Tese (Doutorado em Agronomia – Ciência em Fitotecnia)**,

151 f. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2005.

JOHNSON, J. M. F.; ALLMARAS, R. R.; REICOSKY, D. C. Estimating source carbon from crop residues, roots and rhizodeposits using the national grain-yield database. **Agronomy Journal**. v. 98, p. 622-636, 2006.

JONES, J. W.; BOOTE, K. J.; HOOBENBOOM, G.; JAGTAB, S. S.; WILKERSON, G. G. Soybean crop growth simulation model, SOYGRO v.5,42, User Guide. **Florida Agric. Exp. Station Journal**, n. 8304, 1989.

KANNEGANTI, V. R.; FICK, G. W. A warm-season annual grass growth model parameterized for maize and sudangrass. **Agricultural Systems**, v. 36, p. 439-470, 1991.

LAL, R.; FOLLET, R.F.; KIMBLE, J.; COLE, C.V. Managing U.S. cropland to sequester carbon in soil. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 5, p. 374-381, 1999.

LAL, R.; KIMBLE, J.; STEWART, B. A. Word soils as a source or sink for radiatively-active gases. **Soil management and greenhouse effect**. Boca Raton, Advances in Soil Science, CCR Lewis Publishers, p. 1-7, 1995.

LAL, R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. **Geoderma**, v.13, p.1-22, 2004.

LEITE, L. F. C. Atributos químicos e estoque de carbono em Latossolo sob plantio direto no cerrado do Piauí. **Agriambi**. Campina Grande – Paraíba. v. 14, n. 12, p. 1273-1280, 2010.

LEITE, L.F.C.; MENDONÇA, E.S.; MACHADO, P.L.O.A.; FERNANDES FILHO, E.I.; NEVES, J.C.L. Simulating trends in soil organic carbon of an Acrisol under no-tillage and disc-plow systems using the Century model. **Geoderma**, v.120, p.283-295, 2004.

LOOMIS, R. S.; WILLIAMS, W. A. Maximum crop productivity: An estimate. **Crop Science**, v. 3, p. 67-72, 1963.

LOPES, F. et al. Simulação da dinâmica do carbono do solo numa microbacia rural pelo modelo Century. **Pesquisa Agropecuária Brasileira.**, Brasília, v. 43, n. 6, p. 745-753, Junho 2008.

LORBER, M. N.; FLUCK, R. C.; MISHOE, J. W. A method for analysis of sugarcane (*Saccharum sp*) biomass production systems. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, v. 158, p. 146-152, 1984.

MACEDO, M. C. M.; ZIMMER, A. H. Sistema pasto-lavoura e seus efeitos na produtividade agropecuária. In Favoreto, V.; Rodrigues, L.R.A.; Reis, R.A. (Org.). **Simpósio sobre ecossistemas de pastagens**, 2, 1993, Jaboticabal, Anais. Goiânia: SBSC, p. 71-72, 1993.

MACHADO, P. O. L. A. E SILVA, C. A. Soil management under no-tillage systems in the tropics with special reference to Brazil. **Nutr. Cycling Agroecosyst.**, 61:119-130, 2001.

MACHADO, P. O. L. A. Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. **Quím. Nova**, São Paulo, v. 28, n. 2, p. 329-334, Mar. 2005. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-40422005000200026&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422005000200026&lng=en&nrm=iso). Acesso em 28 de Março de 2016.

MAGALHÃES, P. C.; SOUZA, T. C.; GOMES JÚNIOR, C. C. Caracterização ecofisiológica de dois híbridos de milho contrastantes à seca. Em: XXIX Congresso nacional de milho e sorgo, Águas de Lindóia, 2012. Diversidade e inovações na era dos transgênicos: resumos expandidos. Instituto Agrônomo de Campinas - Sete Lagoas. **Associação Brasileira de Milho e Sorgo**, 2012.

MALTAS, A. et al. Long-term effects of continuous direct seeding mulch-based cropping systems on soil nitrogen supply in the Cerrado region of Brazil. **Plant Soil**, v. 298, p.161-173, 16 ago. 2007.

MARCHÃO, R. L. et al. Carbon and nitrogen stocks in a Brazilian clayey Oxisol: 13-year effects of integrated crop–livestock management systems. **Soil & Tillage Research**, v. 103, p.442-450, maio 2009.

MARCHÃO, R. L. **Interação Lavoura-Pecuária num Latossolo do Cerrado: Impacto na Física, Matéria Orgânica e Macrofauna**. 2007. 153 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2007.

MIRANDA, H. MIRANDA, A. C. O uso da terra e queimadas no ciclo do carbono no Cerrado. In: Moreira, A. G.; SCHWARTZMAN, S. (Org.). **As mudanças climáticas e os ecossistemas brasileiros**. Ed. Foco, Brasília DF. p. 75-81, 2000.

MONTEITH, J. The quest balance in crop modeling. **Agronomy Journal**, v.88, p. 695-697, 1996.

NEILL, C. et al. Soil carbon and nitrogen stocks following forest cleaning for pasture in the southwestern Brazilian amazon. **Ecological Applications**. v. 7, i. 4, p. 1216-1225, Nov. 1997.

PARENTONI, S. N. et al., **Milho Híbrido Simples BRS 1030**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2004. 4 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Comunicado Técnico, 108).

PARFITT, R. L.; THENG, B. K. G.; WHITTON, J. S.; SHERPHERD, T.G. Effects of clay minerals and land use on organic matter pools. **Geoderma**, v. 75, p.1-12, 1997.

PENMAN, H. L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. **Proc. Royal Society London**, Ser A, v. 193, p. 120-145, 1948.

PLACE, R. E.; BROWN, D. M. Modelling corn yields from soil moisture estimates: Description, sensitivity analysis and validation. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 41. p. 31-56, 1987.

RATTER, J.A.; RIBEIRO, J.F. & BRIDGEWATER, S. The Brazilian Cerrado vegetation and threats to its biodiversity. **Ann. Bot.**, 80:223-230, 1997.

REATTO, A., CORREIA, J.R., SPERA, S.T. & MARTINS, S. Solos do Bioma Cerrado: aspectos pedológicos. In **Cerrado: ecologia e flora** (S.M. Sano, S.P. Almeida & J.F. Ribeiro, eds.). Embrapa Cerrados, Planaltina, p. 108-149. 1998.

REICOSKY, D.C. & FORCELLA, F. Cover crop and soil quality interactions in agroecosystems. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 53, p. 224-229, 1998.

ROBERTSON, M. J.; FUKAI, S.; HAMMER, G. L.; LUDLOW, M. M. Modelling root growth of grain sorghum using the CERES approach. **Fields Crops Research**, v. 33, p. 113-130, 1993.

SÁ, J. M. **Dinâmica da Matéria Orgânica do Solo e Eficiência Energética em Latossolo Vermelho do Cerrado**. 2011. 134 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Agronomia, UFRJ, Seropédica, 2011.

SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO, J. L. S.; FERREIRA, L. G. Mapeamento semidetalhado do uso da terra do Bioma Cerrado. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 43, p. 153-156, 2008.

SILVA, F. A. M. da. **Parametrização e modelagem do balanço hídrico em sistema de plantio direto no cerrado brasileiro**. 193 f. Tese (Doutorado) – Curso de Doutorado em Engenharia Agrícola, UNICAMP, Campinas – SP, 2004.

SILVA, I.F.; MIELNICZUK, J. Ação do Sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 20: 113-117, 1997.

SILVA, I.R.; E MENDONÇA, E. S. Matéria Orgânica do Solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L (Ed.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: SBCS. p. 275- 374, 2007.

SINCLAIR, T. R. Water and nitrogen limitations in soybean grain production. I. Model development. **Field Crops Research**, v. 15, p. 125-141, 1986.

SINCLAIR, T. R.; SELIGMAN, N. G. Crop modeling: From infancy to maturity. **Agronomy Journal**, v. 88, n. 5, p. 698-703, 1996.

SISTI, C.P.J.; SANTOS, H.P.; KOHHANN, R.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S. & BODDEY, R.M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional and zero tillage in southern Brazil. **Soil Tillage Res.**, v. 76. p. 39-58, 2004.

STAPER, M.; HARRIS, H. C. Assessing the productivity of wheat genotypes in a mediterranean climate, using a crop-simulation model. **Fields Crops Research**, v. 20, p. 129-152, 1989.

SWIFT, R. S. Organic Matter Characterization. In: Methods of Soil Analysis Part 3. Chemical Methods-SSSA Book Series nº 5. Madison: **Soil Science Society of America and American Society of Agronomy**, p. 1011-1069. 1996.

TIMSINA, J.; GARRITY, D.P.; PENNING De VRIES, F.W.T.; PANDEY, R.K. Yield stability of cowpea cultivars in rice-based cropping systems: experimentation and simulation. **Agricultural Systems**, v.42. p.359-381, 1993.

TORNQUIST, C.G. **Simulação da dinâmica do carbono orgânico do solo em escala regional**: aplicação do modelo Century e sistemas de informações geográficas. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 156p, 2007.

TRUMBORE, S.; CAMARGO, P. B. Dinâmica do Carbono no Solo. **Amazonia and Global Change**. American Geophysical Union. v. 186, p 451-462. 2009.

VANDENBYGAART, A.J.; GREGORICH, E.G. & ANGERS, D.A. Influence of agricultural management on soil organic carbon: A compendium and assessment of Canadian studies. *Can. J. Soil Sci.* 83:363-380, 2003.

VERDADE, F. da C. Influência da matéria orgânica na capacidade de troca de cations do solo. **Bragantia**, Campinas , v. 15, n. único, 1956 . Disponível em:

<[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0006-87051956000100004&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0006-87051956000100004&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em 04 de Agosto de 2014.

WEIR, A. H.; BRAGG, P. L.; PORTER, J. R.; RAYNER, J. H. A winter wheat crop simulation model without water or nutrient limitations. Cambridge. **Journal Agricultural Science**, v. 102, p. 371-382, 1984.

WEST, T.O. & POST, W.M. Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation: A global data analysis. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 66:1930-1946, 2002.