



UNIVERSIDADE DO ESTADO DA BAHIA
Departamento de Ciências Humanas - Campus IX

**ADAPTAÇÃO DO MODELO CENTURY4.5 PARA SIMULAÇÃO DOS
ESTOQUES DE CARBONO E NITROGÊNIO EM ÁREAS
AGRICULTÁVEIS NO CERRADO**

VICTÓRIA LUZIA RIBEIRO MEDEIROS

Barreiras-BA

Junho, 2024

VICTÓRIA LUZIA RIBEIRO MEDEIROS

**ADAPTAÇÃO DO MODELO CENTURY4.5 PARA SIMULAÇÃO DOS
ESTOQUES DE CARBONO E NITROGÊNIO EM ÁREAS
AGRICULTÁVEIS NO CERRADO**

Monografia apresentada ao Colegiado de Engenharia Agrônoma da Universidade do Estado da Bahia - UNEB - Campus IX, como requisito parcial para avaliação do Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Agrônoma.

Orientador: Prof. Dr. Adilson Alves Costa.

Barreiras-BA

Junho, 2024

UNIVERSIDADE DO ESTADO DA BAHIA
Departamento de Ciências Humanas - Campus IX

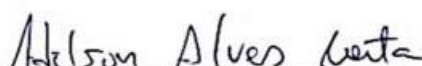
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**ADAPTAÇÃO DO MODELO CENTURY4.5 PARA SIMULAÇÃO DOS
ESTOQUES DE CARBONO E NITROGÊNIO EM ÁREAS
AGRICULTÁVEIS NO CERRADO**

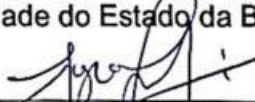
AUTORA: VICTÓRIA LUZIA RIBEIRO MEDEIROS

ORIENTADOR: Dr. ADILSON ALVES COSTA

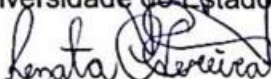
Banca Examinadora:



Dr. Adilson Alves Costa (Orientador)
Universidade do Estado da Bahia/ UNEB



Dr. Jorge da Silva Júnior (Examinador Interno)
Universidade do Estado da Bahia/ UNEB



Dra. Renata Cunha Pereira (Examinadora Externa)
JCO Bioprodutos

Data de realização: 28/06/2024

Aos meus pais Sidney dos Santos Medeiros e Rosemeire da Costa R. Medeiros e ao meu irmão Matheus Vinícius R. Medeiros que estão presentes em todos os momentos da minha vida.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus, que é minha fonte inesgotável de sabedoria e coragem para superar todos os desafios da vida.

À minha família que é meu alicerce e me dedicou amor, paciência e apoio em todas as fases da minha vida. Agradeço por nunca medirem esforços para eu chegar até aqui.

Aos meus avós, que sempre me incentivaram a trilhar o caminho da sabedoria. Meu muito obrigada, vocês têm papel fundamental na minha formação!

Ao meu afilhado Luís Felipe Ribeiro de Freitas que chegou para trazer felicidade e restaurar minhas energias quando eu mais precisava.

Aos meus amigos, que foram essenciais para eu conseguir vencer cada dificuldade durante a faculdade e que tornaram os dias exaustivos bem mais leves e alegres.

À Universidade do Estado da Bahia- UNEB, campus IX de Barreiras que me deu inúmeras oportunidades de crescimento acadêmico e profissional durante todo o curso.

Ao professor Dr. Adilson Alves Costa, dedico com muito carinho por ser meu exemplo de pessoa e profissional desde o início do curso, levarei seus ensinamentos para sempre comigo. Agradeço também por me orientar e sempre se dispor a ajudar na realização desse trabalho. Que Deus lhe abençoe sempre!

Aos meus professores da Universidade por todos os conhecimentos e que tiveram influência no meu crescimento pessoal e profissional.

A todos que fizeram parte da realização desse sonho, meu muito obrigada!

MEDEIROS, Victória Luzia Ribeiro. **Adaptação do Modelo Century4.5 para Simulação dos Estoques de Carbono e Nitrogênio em Áreas Agricultáveis no Cerrado**. 2024. 33 páginas. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrônômica) - Universidade Estadual da Bahia, Campus IX, Barreiras-Bahia, 2024.

RESUMO

A utilização inadequada de práticas agrícolas e o uso intensivo dos solos do Cerrado, alteram a dinâmica nos seus estoques de carbono (C) e nitrogênio (N). Neste sentido, o uso de modelos matemáticos, como o Century, é importante para simular a dinâmica dos estoques de C e N em solos de diferentes regiões. O objetivo desse trabalho foi adaptar o Modelo Century4.5 nas condições edafoclimáticas do Cerrado para simular os estoques de carbono e nitrogênio em áreas sob sistema de plantio convencional e sistema de plantio direto e indicar o melhor sistema de manejo para manter e aumentar os estoques de C e N no solo. A pesquisa foi desenvolvida no município de São Desidério, Bahia, em áreas de campo sob vegetação nativa, para estimar os valores dos estoques originais de carbono e nitrogênio, sistema de plantio convencional e sistema de plantio direto. Em cada área foram coletadas 20 amostras simples deformadas e indeformadas, aleatoriamente, na profundidade de 0-20 cm, e após, foi feita a determinação dos teores e dos estoques de Carbono Orgânico Total (COT) e Nitrogênio Total (NT). A calibração do modelo consistiu no levantamento dos históricos das áreas para obtenção dos valores de entrada, além de modificações nos valores originais dos parâmetros do modelo de acordo com as características do local de estudo. Após a sua calibração, foram avaliadas variáveis de saídas referentes a dinâmica dos estoques de COT e NT. O modelo Century4.5 mostra-se sensível ao estudo dos estoques de carbono nas áreas estudadas com valores de 24,00 Mg ha⁻¹ (observados) e 24,97 Mg ha⁻¹ (simulados) para sistema de plantio convencional e 27,70 Mg ha⁻¹ (observados) e 27,40 Mg ha⁻¹ (simulados) para sistema de plantio direto. Para o nitrogênio, os valores foram 1,70 Mg ha⁻¹ (observados) e 1,99 Mg ha⁻¹ (simulados) para sistema de plantio convencional e 3,20 Mg ha⁻¹ (observados) e 3,41 Mg ha⁻¹ (simulados) para sistema de plantio direto. O modelo Century4.5 mostra-se eficaz na simulação do carbono e nitrogênio e o sistema de plantio direto é o melhor para manter e aumentar os estoques de C e N no solo.

Palavras-chave: Simuladores, sistemas de manejo, matéria orgânica do solo.

MEDEIROS, Victória Luzia Ribeiro. **Adaptation of the Century4.5 Model for Simulation of Carbon and Nitrogen Stocks in Agricultural Areas in the Cerrado.** 2024. 33 pages. Undergraduate Thesis (Bachelor's in Agronomic Engineering) - State University of Bahia, Campus IX, Barreiras-Bahia, 2024.

ABSTRACT

The use based on agricultural practices and the intensive use of Cerrado soils changes the dynamics of its carbon (C) and nitrogen (N) stocks. In this sense, the use of mathematical models, such as Century, is important to simulate the dynamics of C and N stocks in soils from different regions. The objective of this work was to adapt the Century4.5 Model to the edaphoclimatic conditions of the Cerrado to simulate carbon and nitrogen stocks in areas under conventional planting systems and direct planting systems and to indicate the best management system to maintain and increase C and N stocks in the soil. The research was carried out in the municipality of São Desidério, Bahia, in field areas under native vegetation, to estimate the values of original carbon and nitrogen stocks, conventional planting system and direct planting system. In each area, 20 simple deformed and undeformed samples were collected, randomly, at a depth of 0-20 cm, and then the levels and stocks of Total Organic Carbon (TOC) and Total Nitrogen (NT) were determined. The model calibration consisted of surveying the areas' histories to obtain input values, in addition to modifications to the original values of the model parameters according to the characteristics of the study site. After calibration, output variables relating to the dynamics of TOC and NT stocks were evaluated. The Century4.5 model proves to be sensitive to the study of carbon stocks in the areas studied with values of 24.00 Mg ha⁻¹ (observed) and 24.97 Mg ha⁻¹ (simulated) for conventional planting system and 27.70 Mg ha⁻¹ (observed) and 27.40 Mg ha⁻¹ (simulated) for direct planting system. For nitrogen, the values were 1.70 Mg ha⁻¹ (observed) and 1.99 Mg ha⁻¹ (simulated) for conventional planting system and 3.20 Mg ha⁻¹ (observed) and 3.41 Mg ha⁻¹ (simulated) for direct planting system. The Century4.5 model is effective in simulating carbon and nitrogen and the no-tillage system is the best to maintain and increase C and N stocks in the soil.

Keywords: Simulators, management systems, soil organic matter.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Face do Modelo Century4.5 com representação dos compartimentos e seus respectivos parâmetros.....09
- Figura 2 (a,b).** Dinâmica dos compartimentos de C e N estimado pelo modelo Century4.5 na simulação de equilíbrio de 5.000 anos da ACN.....15
- Figura 3 (a,b).** Dinâmica dos compartimentos de C e N na simulação em áreas sob sistema de plantio convencional até o ano de 2022 estimado pelo modelo Century4.5..... 17
- Figura 4 (a,b).** Dinâmica dos compartimentos de C e N na simulação em áreas sob sistema de plantio direto até o ano de 2022 estimado pelo modelo Century4.5..... 19

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Parâmetros do FIX.100 utilizado na simulação da ACN.....	11
Tabela 2. Parâmetros da cultura (CROP.100) alterados na vegetação nativa.....	12
Tabela 3. Parâmetros alterados do TREE.100.....	12
Tabela 4. Valores simulados para carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) nos compartimentos ativo, lento e passivo na simulação de equilíbrio da ACN.....	16
Tabela 5. Valores simulados para carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) nos compartimentos ativo, lento e passivo em solos sob plantio de sistema convencional, em São Desidério, BA.....	18
Tabela 6. Valores simulados para carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) nos compartimentos ativo, lento e passivo em solos sob plantio de sistema direto, em São Desidério, BA.....	20
Tabela 7. Valores observados e simulados para carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) na área de Cerrado Nativo (ACN), sistema de plantio convencional (SPC) e sistema de plantio direto (SPD), em São Desidério, BA.....	20

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 Solos do Cerrado: Limitações e Potencialidades	3
2.2 Estoques de carbono e nitrogênio no Sistema de Plantio Direto e Sistema de Plantio Convencional.....	4
2.3 Uso de simuladores para avaliar os estoques de C e N no solo.....	5
2.4 Modelo Century4.5.....	6
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	7
3.1 Localização e Caracterização das áreas de estudo.....	7
3.2 Coleta dos solos e preparo das amostras.....	7
3.3 Determinação de COT e NT.....	8
3.4 Iniciação do Modelo Century4.5.....	8
3.5 Simulação de equilíbrio.....	9
3.6 Criação de cenários de manejo.....	9
3.7 Parametrização do Modelo Century4.5.....	10
3.8 Parâmetros do FIX.100.....	10
3.9 Parâmetros do CROP.100.....	11
3.10 Parâmetros do TREE.100.....	12
3.11 Variáveis de Saída Estudadas.....	12
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	14
4.1 Simulação de Equilíbrio.....	14
4.2 Simulação em área sob Sistema de Plantio Convencional.....	16
4.3 Simulação em área sob Sistema de Plantio Direto.....	18
4.4 Comparação dos valores Simulados com os Observados.....	20
5 CONCLUSÕES.....	22
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	23

1 INTRODUÇÃO

O Cerrado consiste em uma área em plena expansão da fronteira agrícola com grande importância comercial no cenário nacional e internacional (Ferreira; Lino, 2021). Neste contexto, o manejo da matéria orgânica e sua interação com os diversos componentes produtivos torna-se essencial para o armazenamento de carbono e nitrogênio no solo, além de evitar suas emissões para a atmosfera (Pillon *et al.*, 2020).

O solo funciona como um reservatório de carbono (C) e nitrogênio (N) e, de acordo com o sistema de manejo adotado, uso do solo e condições do clima, seus teores podem aumentar ou diminuir. No entanto, práticas de manejo conservacionistas são importantes para potencializar o sequestro de carbono e nitrogênio no solo, principalmente nas regiões tropicais onde o clima quente e úmido contribui para acelerar a decomposição da matéria orgânica (Primieri; Muniz; Lisboa, 2017; Pulrolnik *et al.*, 2021).

Nesse sentido, o uso de simuladores matemáticos é importante para quantificar os estoques de C e N no solo, pois esses modelos são uma opção a curto prazo na escolha de um sistema de manejo adequado para aumentar a retenção de C no solo (Barbosa, 2021). Exemplos desses modelos são o DAYCENTE, o APSIM, o DNDC e o CENTURY, que se destacam pela maior complexidade e são ferramentas seguras para estudar os efeitos dos sistemas de manejo sobre a matéria orgânica do solo (MOS) (Conant; Paustian; Elliot, 2001; Bettioli *et al.*, 2023).

Além disso, esses simuladores possuem uma linguagem mais moderna de programação e, através de técnicas matemáticas, possibilitam reproduzir o funcionamento de sistemas reais (Leão *et al.*, 2021). A execução consiste em trabalhar cada parte do modelo separadamente e fazer sua calibração com modificações nos valores originais de alguns parâmetros de acordo com as características específicas do local de estudo e, ao final, são feitas comparações dos dados simulados no modelo com os observados experimentalmente, onde chega à conclusão da eficácia do modelo quanto ao objetivo esperado (Ribeiro, 2020).

Dentre os modelos destaca-se o Century que, inicialmente, foi desenvolvido para estudos em regiões de clima temperado com o intuito de simular a dinâmica da matéria orgânica do solo (Parton *et al.*, 1987; Weber, Mielniczuk e Tornquist, 2016).

Atualmente, novas versões surgem para atender diversas condições edafoclimáticas, e tornam-se cada vez mais comum nas regiões do Brasil. No entanto, no Cerrado, poucos trabalhos foram desenvolvidos para avaliar a dinâmica dos estoques de carbono no solo.

Dessa forma, o Century pode contribuir para simular a dinâmica de carbono e nitrogênio em diferentes sistemas de manejo adotados em determinados locais com diversas condições edafoclimáticas, o que corrobora com trabalhos desenvolvidos por diversos autores, onde mostraram que o Modelo Century 4.5 teve eficiência na quantificação dos estoques de carbono e nitrogênio no solo (Wendling *et al.* 2014; Macedo *et al.*, 2018; Vogado *et al.*, 2024).

Portanto, este trabalho teve como objetivo adaptar o Modelo Century4.5 para simular os estoques de carbono e nitrogênio em áreas sob os sistemas de plantio convencional e direto no Cerrado, bem como indicar o melhor sistema de manejo para manter e aumentar os estoques de C e N no solo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Solos do Cerrado: Limitações e Potencialidades

O Cerrado brasileiro tem a sua maior área com a predominância de solos muito intemperizados, profundos, ácidos e com baixa fertilidade. Entretanto, com o avanço da tecnologia, a utilização de práticas de correção do solo, bem como a adoção de corretivos e fertilizantes conseguiram mudar o cenário e viabilizaram o cultivo agrícola (Ferreira; Lino, 2021).

De acordo com Sano *et al.* (2020), as classes de solo dominantes do Cerrado são os Latossolos e os Neossolos Quartzarênicos e, no Brasil, a grande maioria da área agricultável se encontra nesse bioma e seus solos possuem características típicas de regiões tropicais, as quais lhe conferem limitações e potencialidades de acordo com a finalidade de uso. Nesse sentido, a particularidade de cada uma está relacionada à topografia, pluviosidade, práticas de manejo, teores de matéria orgânica disponível, dentre outros fatores.

De maneira geral, alguns pontos devem ser levados em consideração quando os solos do Cerrado são destinados a algum sistema de produção vegetal, visto que, apresentam altas concentrações de alumínio, baixa saturação por bases, pouca disponibilidade de nutrientes e acidez elevada (Silva *et al.*, 2017; Alves *et al.*, 2022). Conforme Lopes e Guilherme (2016), as características desses solos resultam-se em aspectos negativos relacionados a baixa fertilidade natural e diminuição no desenvolvimento e produção das lavouras, portanto, precisam de alternativas para contornar os problemas enfrentados constantemente.

Para alcançar-se elevadas produtividades agrícolas nos solos do cerrado, as práticas de correção, gessagem e adubação são feitas com a finalidade de neutralizar a acidez e disponibilizar os micronutrientes exigidos pelas culturas (Gianluppi *et al.*, 2023). Também, altas precipitações pluviais, associadas a baixa CTC e pouca matéria orgânica no solo, contribuem para a lixiviação de nutrientes e aumentam a demanda da utilização de fertilizantes agrícolas (Ferreira *et al.*, 2022).

Ainda segundo Ferreira *et al.*, (2022), em contrapartida, esses solos são muito favoráveis para a agricultura por possuírem ótimas propriedades físicas e boa porosidade. Além disso, estão localizados em regiões com predominância de relevos

planos ou suavemente ondulado, o que favorece o uso de máquinas para as atividades realizadas no campo e obtém bons resultados quando as áreas são manejadas corretamente através de rotação de cultura, acréscimo de plantas de cobertura e adoção de sistemas que promovem a conservação do solo (Faleiro, 2015).

2.2 Estoques de carbono e nitrogênio no Sistema de Plantio Direto e Sistema de Plantio Convencional

Os sistemas conservacionistas são destaques na produção de alimentos, pois são possibilidades de contornar as limitações do solo do Cerrado, principalmente para elevar a fertilidade e potencial agrícola. Ademais, dependendo do tipo de solo e das condições climáticas, o uso desses sistemas pode aumentar os teores de matéria orgânica do solo (MOS) e, conseqüentemente, favorecer a ampliação dos seus estoques de carbono e nitrogênio (Pillon *et al.*, 2020).

Os estoques de carbono e nitrogênio do solo podem ser influenciados pelos fatores edafoclimáticos da região, o clima, por exemplo, é um dos pontos que propicia as atividades de microrganismos e resulta na maior produção ou decomposição da matéria orgânica do solo. Além disso, esses estoques também são influenciados pelo sistema de manejo e a cultura a ser implantada em uma determinada região, visto que, práticas de manejo inadequadas levam a diminuição da matéria orgânica e podem contribuir para o decréscimo desses estoques. No entanto, sistemas que visam o menor revolvimento do solo, como o plantio direto, mostra-se significativo em termos de resultado, se comparado ao preparo convencional, que promove a degradação da estrutura do solo (Costa *et al.*, 2020; Santos *et al.*, 2020).

Conforme explica Bettioli *et al.* (2023), no Sistema de Plantio Convencional as perdas de C do solo são significativas devido ao intenso revolvimento do solo, o que provoca uma maior exposição da matéria orgânica e sua rápida decomposição pela atividade de microrganismos, principalmente em regiões de clima tropical. Além disso, de acordo com o autor, esse sistema de manejo facilita os processos de degradação das áreas, pois não visa a cobertura do solo e, conseqüentemente, as perdas são contínuas e diminuem sua capacidade para atividades agrícolas.

Contudo, o Plantio Direto é um sistema de manejo alternativo para minimizar essas perdas, no qual propõe o aumento da agregação do solo e dos estoques de C

e N, já que preserva a estrutura do solo, minimiza o seu revolvimento e reduz a erosão (Silva *et al.*, 2022). Desse modo, a manutenção da matéria orgânica do solo e das suas propriedades físicas, químicas e biológicas ocorre devido a essa técnica sustentável que utiliza plantas de cobertura de espécies com decomposição lenta, associada a outras práticas que ajudam nesse processo, como a rotação de culturas e o revolvimento mínimo do solo (Rodrigues; Pugas, 2021).

Trabalhos desenvolvidos por Souza (2018), Araújo (2019) e Silva *et al.* (2022), mostraram que, na prática, o Sistema de Plantio Direto é favorável para o aumento dos estoques de C e N no solo, principalmente quando estabelecido a mais tempo na área. Logo, este sistema mostra melhores resultados para melhorias na qualidade do solo com o incremento nos teores de matéria orgânica e aumento da biomassa microbiana.

2.3 Uso de simuladores para avaliar os estoques de C e N no solo

Os estoques de C e N no solo podem ser simulados através de modelos matemáticos que dependem da matéria orgânica disponível no solo, e torna-se uma ferramenta importante na adoção de práticas agrícolas mais sustentáveis. Além disso, esses simuladores são trabalhados em linguagem mais moderna de programação, nos quais são feitas adaptações em casos específicos de cada área a ser estudada (Leão *et al.*, 2021).

Através dos simuladores, como o Century, é possível entender a dinâmica de C e N no solo e estudar como as diferentes formas de manejo interferem nos estoques desses elementos, além disso, permitem fazer simulações a curto e a longo prazo, bem como traçar cenários futuros. Inicialmente, o Century foi desenvolvido para estudos em regiões de clima temperado, porém, tornou-se mais comum nas regiões tropicais devido as várias adaptações realizadas no modelo (Weber, Mielniczuk e Tornquist, 2016).

A utilização do modelo Century para a simulação dos estoques de carbono e nitrogênio nos solos tropicais mostra-se confiável ao apontar resultados compatíveis com os estoques disponibilizados na bibliografia. Contudo, essa informação corrobora com os trabalhos desenvolvidos por Costa (2018) e Vogado *et al.* (2024) na região do

cerrado, os quais mostraram que esse modelo tem grande potencial para realizar essas simulações.

2.4 Modelo Century4.5

O Century4.5 é um modelo matemático que permite ao pesquisador inserir e mudar parâmetros de acordo com as características edafoclimáticas do local a ser estudado. Os arquivos são necessários para a realização da modelagem e, dentre eles, pode-se inserir os parâmetros de entrada referentes a área no arquivo local (SITE.100), onde são encontradas as informações referentes ao clima, localização geográfica e solo do local. Além desse arquivo, têm-se o .SCH referente aos sistemas de manejo e seus parâmetros podem ser mudados de acordo com as atividades realizadas na área e outras mudanças podem ser realizadas em arquivos como, CULT.100, FERT.100, CROP.100, TREE.100, de acordo com o tipo de solo, cultura e manejo utilizados em cada situação (Metherall *et al.*, 1994 *apud* Araújo Neto, 2019, p.25).

Diante disso, o modelo Century4.5 pode ser utilizado em diversas regiões e, para isso, exige-se que os valores de seus parâmetros sejam mudados com o objetivo de que a simulação da matéria orgânica do solo seja pertinente quando submetida a diferentes sistemas de manejo. Partindo da premissa de que esses cultivos afetam os estoques de C e N do solo, o impacto na matéria orgânica pode ser avaliado por esse modelo, desde que, seja calibrado e validado corretamente (Weber; Mielniczuk; Tornquist, 2016).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e Caracterização das áreas de estudo

A pesquisa foi desenvolvida em áreas de campo sob Cerrado Nativo (CN), sistema de Plantio Convencional (PC), com cultura do algodão e sistema de Plantio Direto (PD), com soja, em áreas comerciais. As áreas estão localizadas na fazenda Bela Vista, no município de São Desidério, Bahia, entre as coordenadas 12°21'48" latitude sul e 44°58'24" longitude oeste, com altitude de 497m. O solo é classificado como Latossolo Amarelo, caracterizado por ser profundo e bem drenado, pobre em matéria orgânica e baixa fertilidade do solo.

A Área de Cerrado Nativo (ACN) foi utilizada como condição de equilíbrio e não recebeu qualquer tipo de manejo, sem histórico sob qualquer exploração ou interferência humana até o ano de 1995, quando ocorreu o desmatamento. Para a área sob sistema de PC e PD, foram simulados cenários anteriores ao momento da coleta. Na área sob forma de uso com sistema convencional, fez-se o preparo do solo realizado com aração e gradagem e controle de ervas daninha com aplicação de herbicidas pré-emergentes.

As adubações, calagem e gessagem foram feitas de acordo com análise de solo e recomendações para o Cerrado. Até 2010/2011 foi utilizado o sistema de plantio convencional, com algodão como a cultura mais atual. Na área sob forma de uso com sistema direto, sem revolvimento, foi implantado cultivos de algodão (ano de 2012) e, atualmente, têm-se a cultura da soja.

3.2 Coleta dos solos e preparo das amostras

Em cada área (CN, PC e PD) foram coletadas 20 amostras simples deformadas, aleatoriamente, com o auxílio de um trado, na profundidade de 0-20 cm. Também foram coletadas, na mesma profundidade, amostras indeformadas com auxílio de um anel volumétrico acoplado à um trado para a determinação da densidade do solo. As amostras deformadas foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneiras de malha para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA) e, logo após, foram determinados os teores de carbono e nitrogênio.

3.3 Determinação de COT e NT

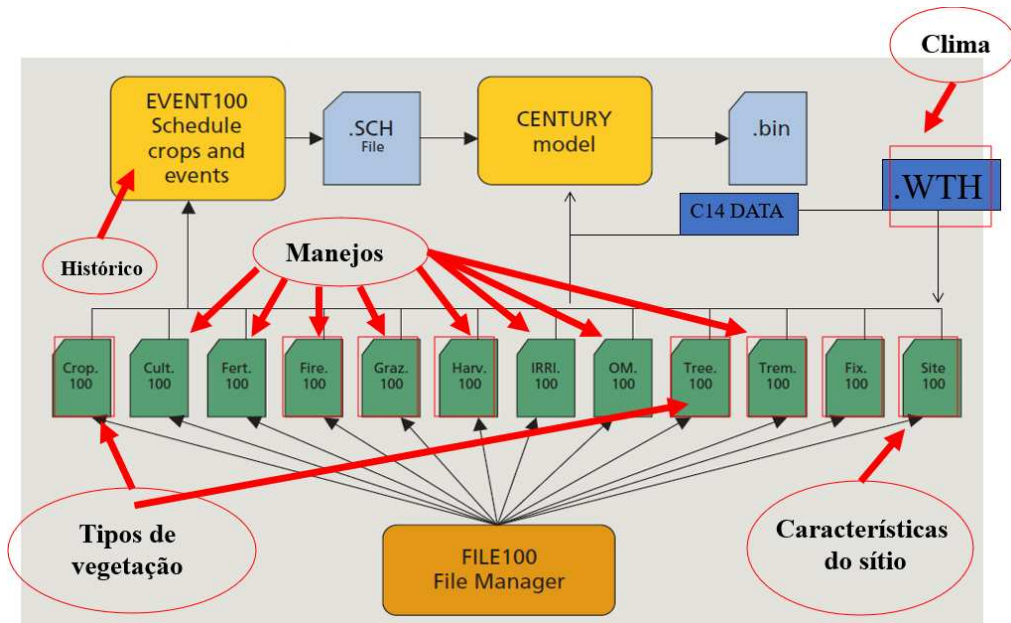
Seguindo o método da Embrapa (2017), foram determinados os teores de Carbono Orgânico Total (COT) e de Nitrogênio Total (NT). Os teores de COT foram quantificados pela oxidação da matéria orgânica via úmida com dicromato de potássio em meio sulfúrico e o NT foi determinado pelo Kjeldahl por destilação a vapor. Logo após, calculou-se a relação C/N a partir da divisão dos valores de COT pelos de NT e, posteriormente, os estoques de COT e NT foram corrigidos através do método de massa equivalente do solo.

3.4 Iniciação do Modelo Century4.5

Para a iniciação do Modelo Century4.5, necessitou-se modificar alguns parâmetros dos compartimentos com dados de entradas para o arquivo local referentes as condições climáticas e do solo, como a precipitação pluvial mensal, temperatura máxima °C e mínima °C, granulometria (areia, silte e argila), densidade do solo e pH, apresentados na Figura 1.

Utilizou-se, para o período de equilíbrio em dados climáticos da região de São Desidério, os valores médios de 55 anos (1967 – 2022) de precipitação e temperatura máxima e mínima mensal, no qual foram obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e Universidade do Estado da Bahia (UNEB). Os dados referentes ao solo, a areia, silte, argila, sua densidade e pH foram determinados pelo método da Embrapa (2017).

Figura 1. Face do Modelo Century4.5 com representação dos compartimentos e seus respectivos parâmetros.



Fonte: Parton *et al.*, (1987).

3.5 Simulação de equilíbrio

Na condição de cerrado nativo (CN) foi feita uma simulação no período de 5000 anos e, novas simulações foram feitas até que os valores de carbono e nitrogênio se estabilizassem. Essas simulações consistiram em fazer modificações em valores originais do parâmetro fixo (FIX.100), e foram consideradas as características edafoclimáticas da área de estudo.

3.6 Criação de cenários de manejo

Foram construídos cenários de manejo para a CN, PC e PD, no qual, o cenário na CN foi constituído com um bloco de informações referente à simulação de equilíbrio da vegetação nativa. Para o cenário de manejo do PC e PD foram construídos blocos com informações referentes ao histórico desta área, desde a derrubada da vegetação nativa de cerrado até a introdução das culturas.

3.7 Parametrização do Modelo Century4.5

Foram feitas modificações nos valores originais dos parâmetros do modelo de acordo com as características do local de estudo e, a cada alteração nos parâmetros, foram feitas novas simulações até que os valores referentes aos estoques de C e N ficassem similares aos observados na ACN, PC e PD de referência. Nesse sentido, foram alterados alguns parâmetros fixos (FIX.100), das culturas (CROP.100) e dos parâmetros da floresta (TREE.100).

3.8 Parâmetros do FIX.100

Ao considerar que a área de estudo possui as condições de clima tropical e que o modelo foi desenvolvido para clima temperado, os estoques de carbono e nitrogênio são superestimados pelo modelo na camada superficial de 0-20cm.

Logo, foram realizadas as modificações nos valores de alguns parâmetros fixos do modelo Century 4.5, o DEC4' e o DEC5' que simbolizam a máxima taxa de decomposição dos compartimentos da MOS. Além desses, foram modificados parâmetros referentes a dinâmica do nitrogênio e a relação C/N do material nos diferentes compartimentos da MOS, o OMLECH (1), OMLECH (3), VARAT1 (1,1), VARAT1 (2,1), VARAT1 (3,1), VARAT2 (1,1) VARAT2 (2,1), VARAT2 (3,1), VARAT3 (1,1), VARAT3 (2,1) e VARAT3 (3,1) (Tabela 1).

Tabela 1. Parâmetros do FIX.100 utilizado na simulação da ACN.

Parâmetros	Valor Original	Valor Utilizado
DEC4 ²	0,0059	0,0085
DEC5 ³	0,3200	0,6090
OMLECH (1) ⁴	0,0300	0,0010
OMLECH (3) ⁵	60,000	10,000
VARAT1 (1,1) ⁶	14,000	9,0000
VARAT1 (2,1) ⁷	3,0000	2,0000
VARAT1 (3,1) ⁸	2,0000	1,5000
VARAT2 (1,1) ⁹	15,000	8,0000
VARAT2 (2,1) ¹⁰	12,000	5,0000
VARAT2 (3,1) ¹¹	2,0000	2,0000
VARAT3 (1,1) ¹²	5,5000	2,5000
VARAT3 (2,1) ¹³	6,0000	1,5000
VARAT3 (3,1) ¹⁴	2,0000	1,0000

²Máxima taxa de decomposição da MOS no compartimento lento. ³Máxima taxa de decomposição da MOS no compartimento passivo. ⁴Interceptação pelo efeito da areia na lixiviação de compostos orgânicos; ⁵quantidade de água que flui para lixiviação dos compostos orgânicos; ⁶máxima relação C/N entrando no material SOM1; ⁷mínima relação C/N entrando no material SOM1; ⁸quantidade de N presente quando aplica a taxa mínima; ⁹Máxima relação C/N do material que entra no compartimento lento da MOS; ¹⁰mínima relação C/N que entra no material SOM2; ¹¹quantidade do N presente quando se aplica uma taxa mínima; ¹²Máxima relação C/N do material que entra no compartimento passivo da MOS; ¹³mínima relação C/N para material entrando no SOM3; ¹⁴quantidade de N presente quando se aplica uma taxa mínima.

3.9 Parâmetros do CROP.100

Os parâmetros do CROP.100 (de cultivo) foram modificados de acordo com dados das condições locais obtidos na literatura (Tabela 2). Foram feitas modificações no parâmetro PRDX(1) que se refere a produção de carbono acima do solo para as culturas, o SNFXMX(1) que está relacionado a fixação de nitrogênio e o CLAYPG devido ao solo trabalhado ser caracterizado como profundo.

Tabela 2. Parâmetros da cultura (CROP.100) alterados na vegetação nativa.

Áreas	Parâmetros	Valor Original	Valor Utilizado
	PRDX(1)	0,300	0,400
ACN	SNFXMX(1)	0,000	0,005
	CLAYPG	4,000	8,000

ACN: Área sob vegetação nativa de Cerrado sensu stricto; PRDX(1): produção de carbono acima do solo para culturas (g C/m²); SNFXMX(1): máxima fixação simbiótica de N para floresta (g N fixado/g C novo), CLAYPG: solo profundo.

3.10 Parâmetros do TREE.100

Nos parâmetros do TREE.100, em parâmetros de floresta (Tabela 3), foram feitas alterações para aumentar a biomassa aérea e radicular com a finalidade de similar aos valores encontrados na literatura.

Tabela 3. Parâmetros alterados do TREE.100.

Cultura	Parâmetros	Valor Original	Valor Utilizado
	PRDX (2) ¹	0,3000	0,2000
	FCFRAC (1,2) ²	0,0000	0,1100
	FCFRAC (3,2) ³	0,2000	0,0500
ACN	FCFRAC (4,2) ⁴	0,1550	0,1950
	LAITOP ⁵	0,4700	0,3000
	WOODDR (1) ⁶	0,3000	0,4000
	SNFXMX (2) ⁷	0,0005	0,0031

¹Quantidade de C adicionado na árvore;²quantidade de C adicionado nas folhas;³quantidade de C adicionado nos galhos finos;⁴quantidade de C adicionado nos galhos grossos;⁵relação do índice foliar com a produção florestal;⁶fração mensal da taxa de mortalidade para os componentes da floresta;⁷máxima fixação simbiótica da cultura (g N fixado por g⁻¹ C).

3.11 Variáveis de Saída Estudadas

Após a validação do modelo, foram consideradas as variáveis de saída referentes a dinâmica dos estoques de carbono e nitrogênio total: SOMSC (carbono orgânico total), SOM1 (2) (carbono do compartimento orgânico ativo do solo), SOM2C (carbono do compartimento orgânico lento do solo), SOM3C (carbono do

compartimento orgânico passivo do solo), SOMSE (1) (nitrogênio total do solo), SOM1E (2,1) (nitrogênio do compartimento orgânico ativo do solo), SOM1E (2,1) (nitrogênio do compartimento orgânico lento do solo), SOM3E (1) (nitrogênio do compartimento orgânico passivo do solo), nos quais os dados simulados não obtiveram tantas diferenças aos dados observados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Simulação de Equilíbrio

Em relação a simulação de equilíbrio na área de cerrado nativo para a estabilização do carbono e nitrogênio, foram feitos ajustes para que o modelo ficasse adequado às condições de regiões de clima tropical, visto que, são solos muito intemperizados e com decomposição da matéria orgânica mais acelerada, comparados aos solos de clima temperado. Essas alterações foram feitas em alguns parâmetros do arquivo (FIX.100) e no parâmetro (TREE.100) de acordo com as condições edafoclimáticas do local até que os valores dos estoques de C e N ficassem próximos aos observados no campo. Para a estabilização dos compartimentos de C e N, fez-se a simulação no período de 5.000 anos. Os estoques de C e N simulados na ACN podem ser observados na Tabela 4.

Na Figura 2, observa-se os resultados da simulação de equilíbrio dos compartimentos de C e N que se estabilizaram quando a mata apresentou aproximadamente 2000 anos de idade. Para o COT, teve sua estabilização de 31,24 Mg ha⁻¹, no compartimento ativo se estabilizou com 0,85 Mg ha⁻¹, no compartimento lento com 6,04 Mg ha⁻¹ e no compartimento passivo com 24,34 Mg ha⁻¹. Houve uma relação entre COT e os compartimentos ativo, lento e passivo de 3%, 19% e 78%, respectivamente, o que demonstra uma maior parte do compartimento passivo da MOS.

O NT se estabilizou com 5,04 Mg ha⁻¹, no compartimento ativo se estabilizou com 0,25 Mg ha⁻¹, no lento com 0,59 Mg ha⁻¹ e no passivo com 4,20 Mg ha⁻¹, onde mostraram uma relação ao NT de 5%, 12% e 83%, respectivamente. Esses dados mostraram-se similares aos dados encontrados no trabalho desenvolvido por Costa (2018), onde maiores proporções apresentavam no compartimento passivo, o que pode ser explicado pela maior resistência a decomposição da matéria orgânica desse compartimento e menores proporções nos compartimentos ativo e lento devido aos acontecimentos de queimadas nas regiões do cerrado que influenciam no aumento da decomposição e mineralização da MOS.

Figura 2. Dinâmica dos compartimentos de C (a) e N (b) estimado pelo modelo Century4.5 na simulação de equilíbrio de 5.000 anos da ACN.

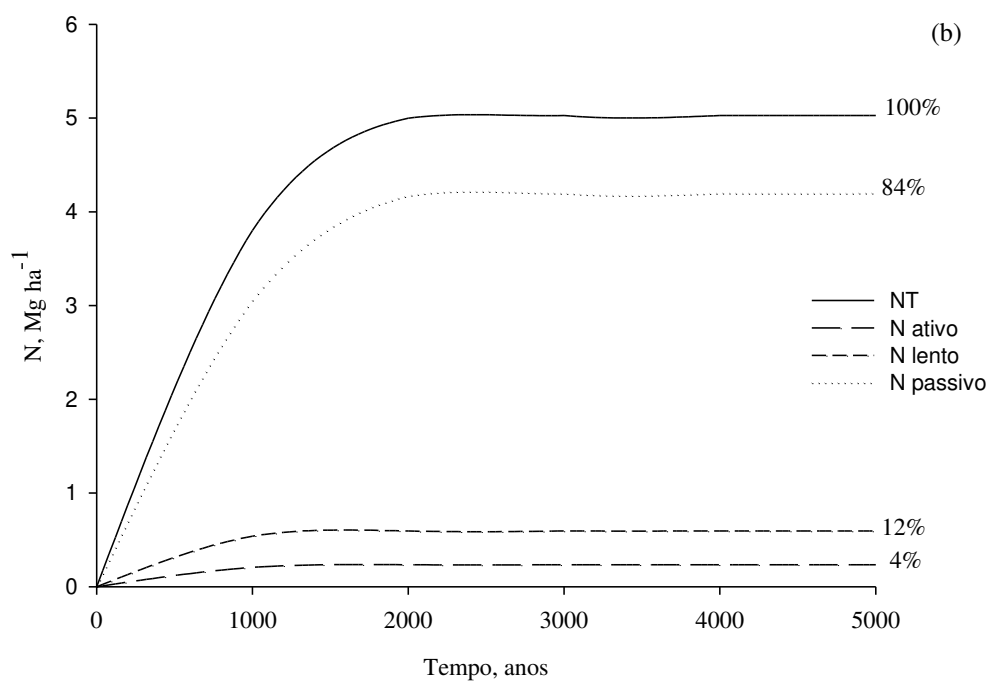
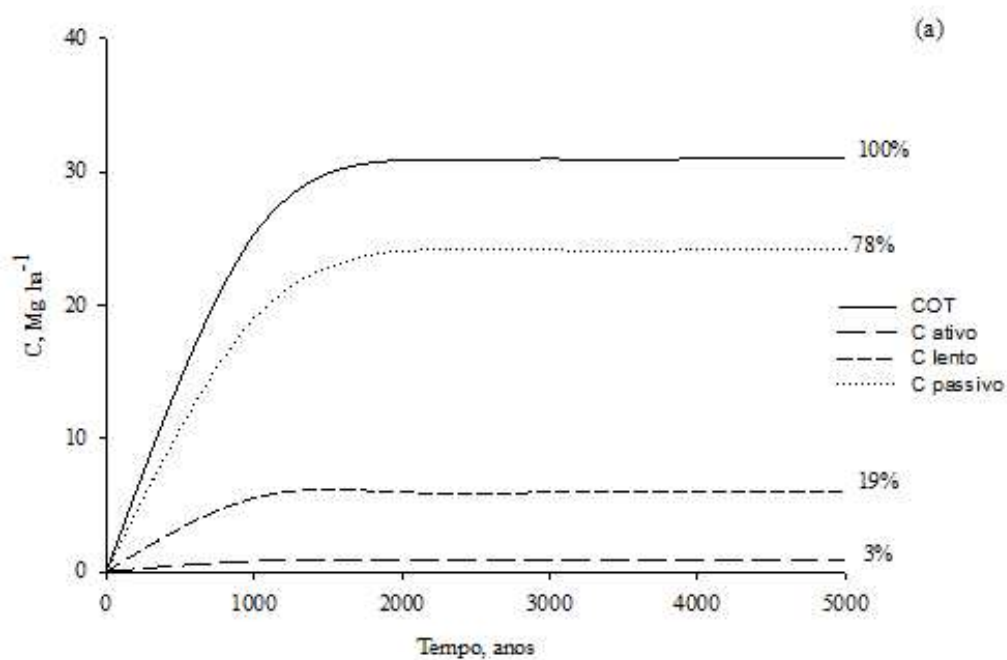


Tabela 4. Valores simulados para carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) nos compartimentos ativo, lento e passivo na simulação de equilíbrio da ACN.

Compartimentos	Estoques		Relação C/N
	Carbono	Nitrogênio	
	-----Mg ha ⁻¹ -----		
Ativo	0,85	0,25	3,40
Lento	6,04	0,59	10,23
Passivo	24,34	4,20	5,79
Total	31,24	5,04	6,19

4.2 Simulação em área sob Sistema de Plantio Convencional

Após a simulação de equilíbrio na ACN, foi feita a simulação dos estoques de C e N e seus compartimentos para a área sob sistema de plantio convencional, apresentados na Tabela 5 e Figura 3. Foram feitas simulações contínuas com ajustes nos arquivos até que os valores simulados ficassem parecidos aos observados em campo.

O valor simulado de COT foi de 25,13 Mg ha⁻¹, no compartimento ativo foi de 0,66 Mg ha⁻¹, no compartimento lento 2,08 Mg ha⁻¹ e no compartimento passivo foi de 22,38 Mg ha⁻¹, com uma diminuição dos compartimentos ativo, lento e passivo de 22%, 65% e 8%, respectivamente, em comparação aos dados da ACN. O valor simulado de NT foi de 1,81 Mg ha⁻¹, no compartimento ativo foi de 0,13 Mg ha⁻¹, no compartimento lento 0,34 Mg ha⁻¹ e no passivo 1,32 Mg ha⁻¹, com uma diminuição de 48%, 42% e 68%, respectivamente, dos estoques em comparação a ACN.

No ano de 1995, os estoques de C e N aumentaram consideravelmente quando ocorreu a derrubada da ACN e adotaram-se as primeiras práticas do sistema de PC, com a incorporação dos restos da vegetação nativa pela aração e com correção do solo e adubações nitrogenadas. Contudo, com o passar dos anos, os estoques desses compartimentos sofreram diminuição em comparação aos dados da ACN devido as atividades relacionadas a esse sistema de manejo, como o intenso revolvimento do

solo, o que ocasionou perda dos estoques de C e N por consequência do aumento da degradação da estrutura do solo.

Figura 3. Dinâmica dos compartimentos de C (a) e N (b) na simulação em áreas sob sistema de plantio convencional até o ano de 2022 estimado pelo modelo Century4.5.

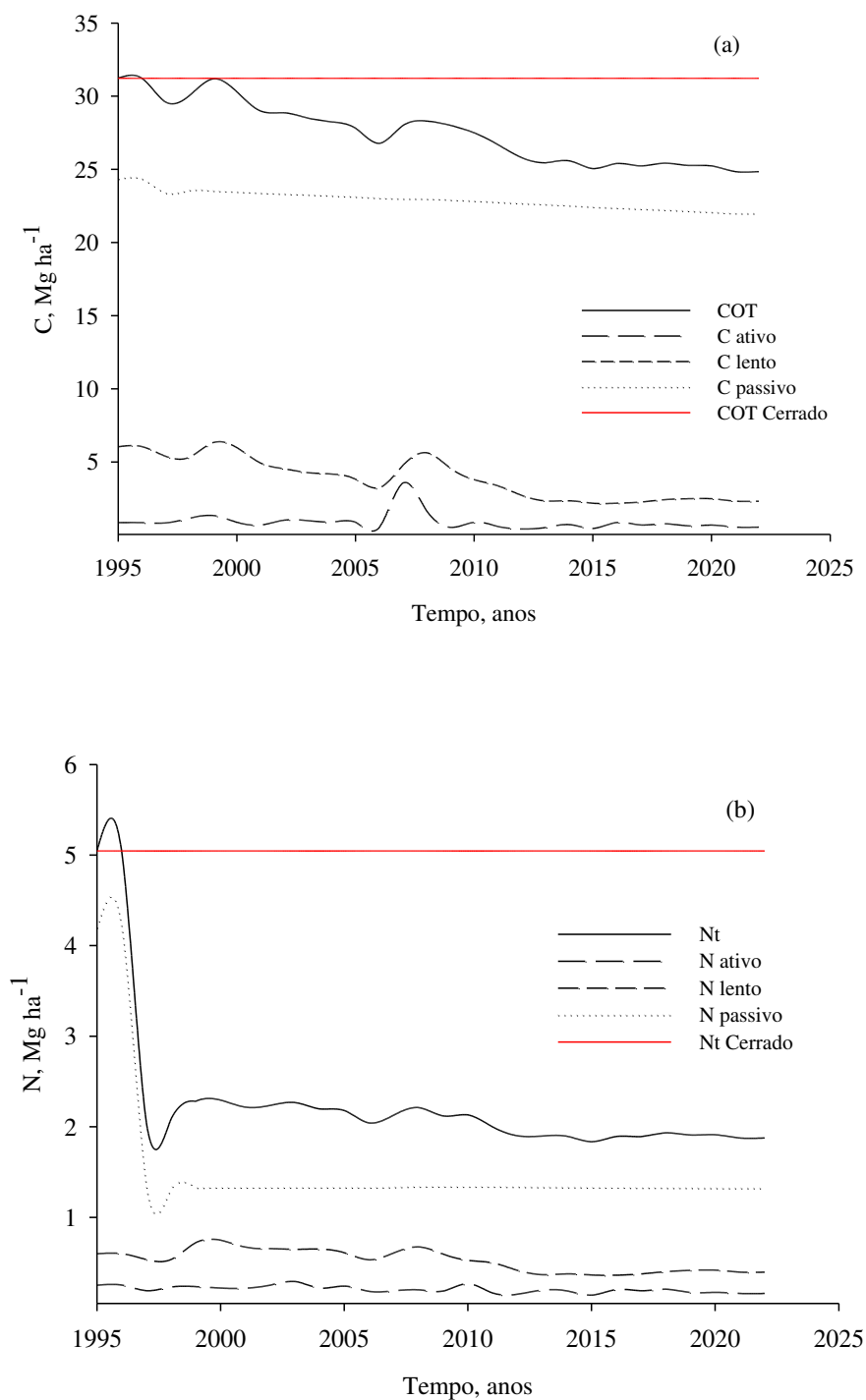


Tabela 5. Valores simulados para carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) nos compartimentos ativo, lento e passivo em solos sob plantio de sistema convencional, em São Desidério, BA.

Compartimentos	Estoques		Relação C/N
	Carbono	Nitrogênio	
	-----Mg ha ⁻¹ -----		
Ativo	0,66	0,13	5,08
Lento	2,08	0,34	6,12
Passivo	22,38	1,32	16,95
Total	25,13	1,81	13,88

4.3 Simulação em área sob Sistema de Plantio Direto

Para a área sob SPD também foram feitas simulações até que os valores dos estoques de C e N e seus compartimentos ficassem próximos aos observados em campo, apresentados na Tabela 6 e Figura 4. O valor simulado para COT foi de 27,40 Mg ha⁻¹, para o compartimento ativo foi de 0,86 Mg ha⁻¹, no compartimento lento 5,05 Mg ha⁻¹ e no passivo foi de 21,49 Mg ha⁻¹, e teve um aumento dos estoques em comparação aos dados do SPC. Os valores de N e seus estoques também aumentaram em comparação ao SPC, com valores de 3,41 Mg ha⁻¹ (NT), 0,24 Mg ha⁻¹ (ativo), 0,56 Mg ha⁻¹ (lento) e 2,60 Mg ha⁻¹ (passivo).

A área sob SPD apresentou maiores estoques em todos os compartimentos em relação aos valores obtidos na área sob sistema de plantio convencional e apresentou diminuição mínima dos estoques em comparação a ACN. Isso demonstra que o SPD é eficaz na capacidade de melhorar ou manter os estoques de C e N no solo, devido as atividades de rotação de cultura, cobertura e mínimo revolvimento do solo.

Além disso, o sistema conservacionista proporciona melhores condições de solo-planta e diminui a degradação da matéria orgânica, o que resulta no aumento significativo do estoque de C no solo, além do incremento de N. Isso demonstra que, mesmo em solos tropicais, com teores de matéria orgânica mais baixos e com sua

decomposição mais acelerada, é possível obter-se solos produtivos e com boas condições para o desenvolvimento das culturas. Portanto, o SPD é uma alternativa em detrimento ao SPC, no qual promove maior acúmulo de matéria orgânica e melhorias para a sua qualidade no solo.

Figura 4. Dinâmica dos compartimentos de C (a) e N (b) na simulação em áreas sob sistema de plantio direto até o ano de 2022 estimado pelo modelo Century4.5.

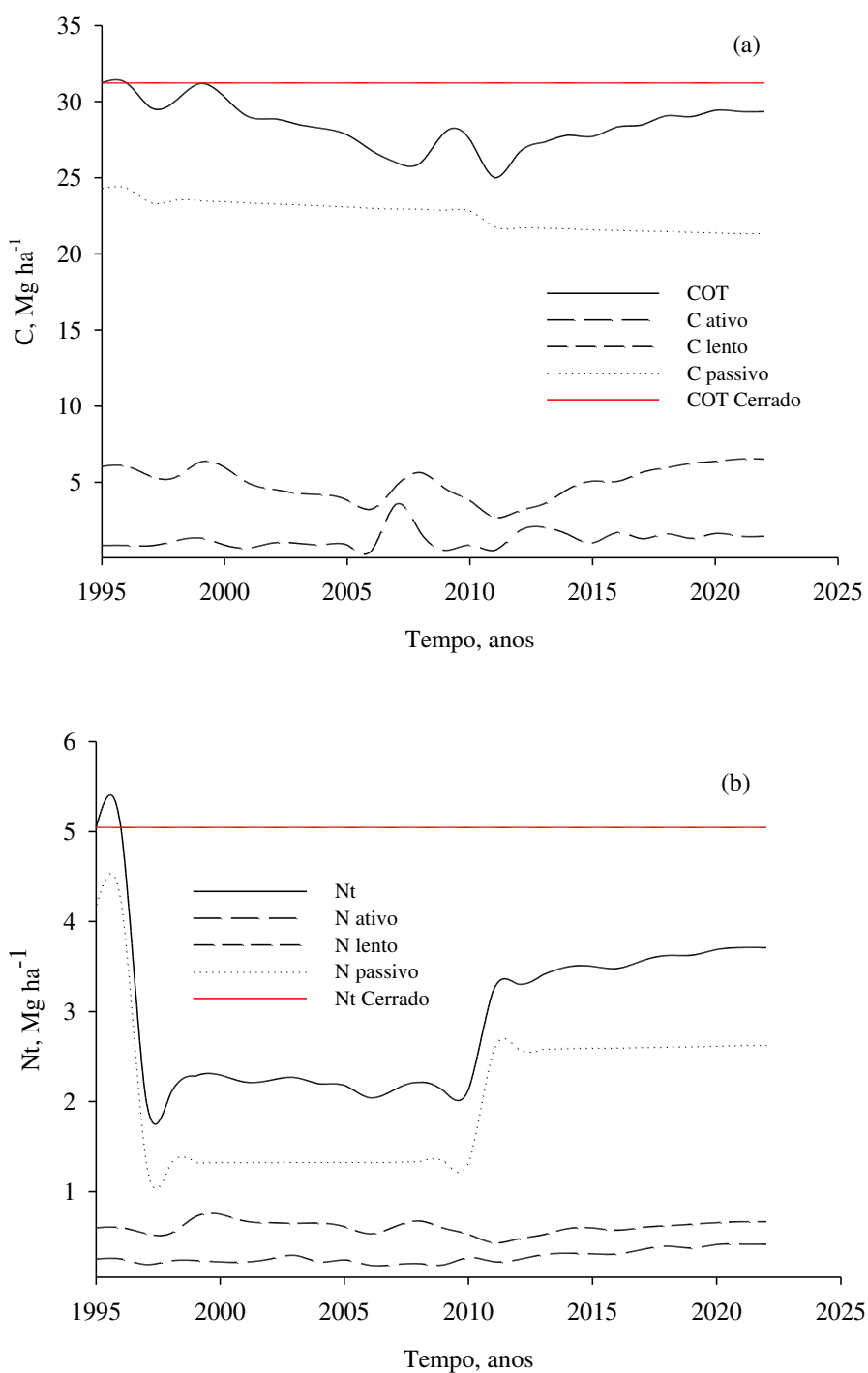


Tabela 6. Valores simulados para carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) nos compartimentos ativo, lento e passivo em solos sob plantio de sistema direto, em São Desidério, BA.

Compartimentos	Estoques		Relação C/N
	Carbono	Nitrogênio	
-----Mg ha ⁻¹ -----			
Ativo	0,86	0,24	3,58
Lento	5,05	0,56	9,02
Passivo	21,49	2,60	8,26
Total	27,40	3,41	8,03

4.4 Comparação dos valores Simulados com os Observados

Os estoques de COT e NT simulados nos sistemas de ACN, SPC e SPD foram parecidos aos valores obtidos em laboratório, com diferenças de até 6%, com uma diferença dentro do permitido pelo programa (Tabela 7).

Tabela 7. Valores observados e simulados para carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) na área de Cerrado Nativo (ACN), sistema de plantio convencional (SPC) e sistema de plantio direto (SPD), em São Desidério, BA.

Sistemas	Estoque de Carbono		Estoque de Nitrogênio	
	Observados	Simulados	Observados	Simulados
ACN	30,27	31,24	5,10	5,04
SPC	24,00	25,13	1,70	1,81
SPD	27,70	27,40	3,20	3,41

Na ACN, o estoque de COT simulado foi 31,24 Mg ha⁻¹ e o valor observado em laboratório foi 30,27 Mg ha⁻¹, no estoque de NT, o valor simulado foi 5,04 e o observado foi 5,10 Mg ha⁻¹. Na área de SPC o valor para COT simulado foi 25,13 Mg ha⁻¹ e observado 24 Mg ha⁻¹, no estoque de NT, o valor simulado foi 1,81 Mg ha⁻¹ e o

observado foi 1,70 Mg ha⁻¹. Para a área de SPD o valor para COT simulado foi 27,40 Mg ha⁻¹ e observado 27,70 Mg ha⁻¹, no estoque de NT, o valor simulado foi 3,41 Mg ha⁻¹ e o observado 3,20 Mg ha⁻¹.

Trabalhos desenvolvidos por Wendling *et al.* (2014) e Vogado *et al.* (2024) em solos do cerrado, também apresentaram semelhanças entre os valores simulados e os obtidos em laboratório, o que demonstra que o modelo tem a capacidade de simular com eficácia os estoques de C e N em solos tropicais.

Além disso, o modelo Century4.5 é de fácil acesso e possibilita fazer simulações futuras para as culturas de interesse do produtor. Com isso, após a sua adaptação para os solos de clima tropical, mostra-se uma ferramenta confiável e prático para a escolha de um melhor sistema de manejo para aumentar os estoques de C e N no solo.

5 CONCLUSÕES

O Modelo Century 4.5 apresenta potencialidade para simular os estoques de C e N em solos de clima tropical.

A simulação por meio do Modelo Century4.5 indica redução na dinâmica de C e N do solo para o sistema agrícola convencional e o sistema de plantio direto é o melhor sistema de manejo para aumentar o teor de matéria orgânica no solo e apresenta maiores estoques de C e N no solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, M. A. B. et al. Classes de solos nas bacias hidrográficas dos rios Caiabi e Renato, afluentes do rio Teles Pires, no sul da Amazônia. *Nativa*, v. 10, n. 3, p. 431-448, 2022.
- ARAÚJO, A. D. M. de. Estoque de carbono em um latossolo amarelo com cronosequência de cultivos sob sistema plantio direto no sudeste paraense. 2019. 37 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Energias Renováveis) – Universidade Federal Rural da Amazônia, PA, 2019.
- ARAÚJO NETO, R. A. de. Uso do Modelo Century na Dinâmica do Carbono de Solos do Semiárido de Alagoas: Cenários Climáticos Futuros em Ambiente Irrigado e de Sequeiro. 2019. 113 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Produção Vegetal), Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2019.
- BARBOSA, L. R. Qualidade Física, Compartimentos de Carbono e sua Simulação com o Modelo Century em um Argissolo coeso sob Integração Lavoura-pecuária no Cerrado Maranhense. Tese de doutorado. Universidade Federal da Paraíba, 2021.
- BETTIOL, V. et al. **Entendendo a Matéria Orgânica do Solo em Ambientes Tropical e Subtropical**. 1 ed. Brasília, DF: Embrapa, 2023, 788 p.
- CONANT, R. T.; PAUSTIAN, K.; ELLIOT, E. T. Grassland management and conversion into grassland: effects on soil carbon. *Ecological Application*, v. 11, p. 343-355, 2001.
- COSTA, ADILSON ALVES. Adaptação do modelo Century4.5 para simulação dos estoques de carbono e nitrogênio em área sob eucalipto no Cerrado. 2018. 28p. Tese (Doutor em Ciência do Solo) – Universidade Federal da Paraíba, PB.
- COSTA, A. A. et al. Estoque de carbono e de nitrogênio em solos sob diferentes formas de uso no Cerrado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 24, p. 528-533, 2020.
- FALEIRO, F. G. **Ecossistema cerrado na Bahia**: possibilidades de desenvolvimento agrícola sustentável e sugestões de linhas de pesquisa. Salvador, BA: EDUFBA, 2015, p. 29-40.
- FERREIRA, A. C. de B. et al. **Cátions trocáveis e controle da acidez em latossolo argiloso sob sistemas de manejo e de produção de algodão, milho e soja**. Campina Grande, PB: Embrapa Algodão, 2022, p. 01-22.
- FERREIRA, R. M.; LINO, E. N. da S. Expansão Agrícola no Cerrado: O desenvolvimento do Agronegócio no Estado de Goiás entre 2000 a 2019. *Revista Caminhos de Geografia*, v. 22, n. 79, p. 01-17, 2021.

GIANLUPPI, D. et al. Práticas para semeadura direta em área de cerrado melhorado: Emergência, sobrevivência e crescimento inicial de espécies florestais. *International Seven Multidisciplinary Journal*, v. 2, n. 4, p. 834-850, 2023.

LEÃO, P. M. M. et al. Implementação em R e testes do modelo Century de matéria orgânica do solo. In: CONGRESSO INTERINSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 15. Campinas, SP, 2021. Anais... Campinas, SP, UNICAMP, 2021. P 1-8.

LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G. A Career Perspective on Soil Management in the Cerrado Region of Brazil. *Advances in Agronomy*, v.137, p.1-72, 2016.

MACEDO, I. L. M. et al. Adaptação do Modelo Century 4.5 para a simulação dos estoques de Carbono em área sob Plantio Convencional e Direto no Cerrado. In: Congresso Internacional das Ciências Agrárias, III., 2018. p. 01-06.

PARTON, W. J. et al. Analysis of factors controlling soil organic matter levels in Great Plains grasslands. *Soil Science Society of America Journal*, v. 51, p. 1173-1179, 1987.

PILLON, C. N. et al. **Princípios para Conservação e Uso Sustentável dos Recursos Naturais e da Biodiversidade: Bases Teóricas para Processos de Capacitação.** 1 ed. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2020, 33 p.

PRIMIERY, S.; MUNIZ, A. W.; LISBOA, H. de M. Dinâmica do Carbono no Solo em Ecossistemas Nativos e Plantações Florestais em Santa Catarina. *Floresta e Ambiente*, v. 24, p. 01-09, 2017.

PULROLNIK, K. et al. **Estoques de Carbono e Nitrogênio no Solo e Biomassa Florestal em Sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta no Cerrado.** 1 ed. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2021, 23 p.

RIBEIRO, J. M. Dinâmica do carbono orgânico em cronossequências de uso do solo no cerrado mineiro: mudanças nos estoques e simulação com o modelo Century. Tese de doutorado. Universidade Federal de Minas Gerais, 2020.

RODRIGUES, R. de A.; PUGAS, J. **Matopiba: perspectivas sobre a sustentabilidade da soja.** Rio de Janeiro: Andrea Jakobsson Estúdio Editorial, 2021. cap. 3, p. 75-77.

SANO, E. E. et al. **Dinâmica Agrícola no Cerrado: análises e projeções.** Brasília, DF: Embrapa, 2020. v. 1, cap. 1, p. 21-37.

SANTOS, W. P. et al. **Agricultura em foco: Atividade microbiana sob o sistema de preparo do solo.** Guarujá, SP, 2020, cap. 2, p. 18-29.

SILVA, M. A. et al. Direct tillage system and crop rotation in the Cerrado. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 13, p. 01-10, 2022.

SILVA, M. B. et al. Soils in the karst landscape of Bodoquena plateau in Cerrado region of Brazil. *Catena*, v. 154, p. 107-117, 2017.

SOUZA, M. F. V. de. Avaliação da Qualidade do Solo com Indicadores Biológico em Cronosequência de Sistema Plantio Direto em Paragominas-PA. 2018. 42 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal Rural da Amazônia, PA, 2018.

TEIXEIRA, P. C. et al. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3 ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574p.

VOGADO, R. F. et al. Simulating soil Carbon and Nitrogen Trends Under an Integrated System in the Brazilian Cerrado. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 46, p. e62574, 2024.

WEBER, M. A.; MIELNICZUK, J.; TORNQUIST C. G. Changes in Soil Organic Carbon and Nitrogen Stocks in Long-Term Experiments in Southern Brazil Simulated with Century4.5. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 40, p. 01-17, 2016.

WENDLING B. et al. Simulação dos Estoques de Carbono e Nitrogênio pelo Modelo Century em Latossolos, no Cerrado Brasileiro. *Revista Ciência Agronômica*. V. 45, n. 2, p. 238-248, 2014.