



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS**  
**DEPARTAMENTO DE ENERGIA NUCLEAR**  
**Programa de Pós-Graduação em Tecnologias**  
**Energéticas e Nucleares**  
**PROTEN**

**ADAPTAÇÃO DO MODELO CENTURY PARA SIMULAÇÃO DA**  
**PRODUTIVIDADE DE BIOMASSA E CICLAGEM DO CARBONO E**  
**NITROGÊNIO EM ÁREAS DE CAATINGA**

**TIAGO DINIZ ALTHOFF**

**Orientador:** Prof. Dr. Rômulo S. C. Menezes

**Co-orientador:** Prof. Dr. Everardo V. S. B. Sampaio

Recife/2015

**TIAGO DINIZ ALTHOFF**

**ADAPTAÇÃO DO MODELO CENTURY PARA SIMULAÇÃO DA  
PRODUTIVIDADE DE BIOMASSA E CICLAGEM DO CARBONO E  
NITROGÊNIO EM ÁREAS DE CAATINGA**

**Defesa de Tese** apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares – PROTEN do Departamento de Energia Nuclear – DEN da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, Área de concentração: Fontes Renováveis de Energia para obtenção do título de Doutor.

**Orientador:** Prof. Dr. Rômulo S. C. Menezes

**Co-orientador:** Prof. Dr. Everardo V. S. B. Sampaio

Recife/2015

Catálogo na fonte  
Bibliotecário Carlos Moura, CRB-4 / 1502

A467a Althoff, Tiago Diniz.

Adaptação do modelo Century para simulação da produtividade de biomassa e ciclagem do carbono e nitrogênio em áreas de caatinga. / Tiago Diniz Althoff. - Recife: O Autor, 2015.

127 f. : il., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Rômulo Simões Cezar Menezes.

Coorientador: Prof. Dr. Everardo Valadares de Sá Barretto Sampaio.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares, 2015.

Inclui referências bibliográficas, apêndices e anexos.

1. Floresta seca. 2. Solo. 3. Clima. 4. Modelagem.  
I. Menezes, Rômulo Simões Cezar, orientador. II. Sampaio, Everardo Valadares de Sá Barretto, coorientador. III. Título.

CDD 662.88 (21. ed.)

UFPE  
BDEN/2015-05

# **ADAPTAÇÃO DO MODELO CENTURY PARA SIMULAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DE BIOMASSA E CICLAGEM DO CARBONO E NITROGÊNIO EM ÁREAS DE CAATINGA**

**Tiago Diniz Althoff**

**APROVADO EM: 14.01.2015**

**ORIENTADOR : Prof. Dr. Rômulo Simões Cezar Menezes**

**CO-ORIENTADOR : Prof. Dr. Everardo Valadares de Sá Barreto Sampaio**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

**Prof. Dr. Rômulo Simões Cezar Menezes – DEN/UFPE**

---

**Prof. Dr. Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira – Dept. Ciências Florestais/UFRPE**

---

**Prof. Dra. Elba Maria Nogueira Ferraz Ramos - IFPE**

---

**Prof. Dr. Ranyére Silva Nóbrega – Dept. Ciências Geográficas/UFPE**

---

**Prof. Dra. Ana Dolores Santiago de Freitas –DA/UFRPE**

**Visto e permitida a impressão**

---

**Coordenador(a) do PROTEN/DEN/UFPE**

Ao **Orientador** pela oportunidade

À minha querida mãe, **Maria Tereza Diniz**, que teve toda dedicação em formar uma família feliz.

***Dedico e ofereço.***

À minha esposa **Kelli**, por todo o apoio e confiança prestados ao longo da busca dos objetivos. Aos meus irmãos **Mila** e **Gabriel** e ao meu padrasto **José Alberto Pires (Bel)** pelo incentivo.

**Dedico.**

A minha avó, **Marieta Moura Brandão Diniz.**

*(in memoriam)*

**Ofereço.**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, especialmente, aos meus orientadores, Rômulo S. C. Menezes e Everardo V. S. B. Sampaio, pela paciência e inestimável apoio prestados durante a realização deste trabalho.

Ao Departamento de Energia Nuclear (DEN) e ao Programa de Tecnologias Energéticas e Nucleares (PROTEN) por toda infraestrutura e condições de trabalho.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudo.

À Associação de Plantas do Nordeste (APNE), principalmente ao amigo Frans Paryen por toda disponibilidade de material de estudo e orientação.

Aos professores e pesquisadores Ana Dolores Santiago de Freitas, Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira, Karina Guedes Correia e Alexandre de Siqueira Pinto por todas as contribuições que foram fundamentais para conclusão do trabalho.

A todos que fazem parte do Laboratório de Fertilidade de Solo/Radioagronomia (DEN/UFPE), aos funcionários: Pedrinho, Gilberto e Claudenice; aos colegas: Emmanuel, Júlio, Laerte, Nilson, Mona, Rennan, André, Patrick, Eric, Eliza, Gabriela, Samuel, Bárbara, Taciana, Carol, Mônica, Monalisa, Tânia, Dário e tantos outros colegas que fiz ao longo do curso pela dedicação e atenção ao longo do desenvolvimento do trabalho.

Aos funcionários do DEN: Magali, Nilvânia, Kallidja, Zaca (tricolor), Marcelo (rubro-negro), seu Antônio, Clarindo, Josenildo, João e os demais que fazem parte do departamento pela acolhida e boas conversas nos corredores do DEN.

Ao meu pai, tios, primos e sobrinhos por toda torcida pelo sucesso do presente trabalho.

Aos meus queridos sogro, sogra, cunhados, cunhadas e toda à família da minha esposa que me apoiaram para a obtenção do título.

À *DEUS*, por conceder-me esperança e motivação.

**RESUMO** - O semiárido brasileiro é caracterizado pela variabilidade espacial e temporal da precipitação pluviométrica, aliada às altas temperaturas, o que vem a elevar a evapotranspiração e a formar diferentes tipos de solos que origina distintas composições fitofisionômica florestal na região. De acordo com a modelagem climática atual, o bioma Caatinga está entre os mais vulneráveis ao possível cenário de mudanças climáticas. Tais mudanças podem alterar a ciclagem biogeoquímica e influenciar a dinâmica do carbono (C) e do nitrogênio (N) na vegetação e nos solos. Além da vulnerabilidade climática, a retirada de lenha para uso como fonte de energia e o uso da vegetação nativa como pastagem para ruminantes são práticas de pressão antrópica na região. Com essa complexidade dos ecossistemas na Caatinga torna difícil o delineamento e monitoramento de sistemas sustentáveis de uso da terra na região a partir de observações e trabalhos experimentais. Nesse sentido, os modelos matemáticos de simulação da ciclagem biogeoquímica podem contribuir para o melhor entendimento desses processos. Dentre os vários modelos de simulação da ciclagem biogeoquímica em ecossistemas terrestres, o Century tem sido usado com sucesso para simular a dinâmica de C e N, P e S em diferentes agroecossistemas no mundo. Sendo assim, o objetivo do presente trabalho foi adaptar o modelo Century para simular os fluxos e estoques de C e N no solo e na vegetação nativa da Caatinga submetidas a diferentes planos de corte florestal sob o cenário climático A1B até o ano de 2100. Os dados utilizados (vegetação, solo e clima) foram obtidos em parcelas de campo nos municípios de Santa Teresinha-PB (calibração) e Serra Negra do Norte-RN (validação). O solo predominante das áreas foi o Neossolo Litólico nas parcelas preservadas, sem corte raso ou perturbações antrópicas significativas por pelo menos nos últimos 50 anos e em processo de regeneração natural de 15 e 18 anos da vegetação. Com a biomassa florestal nativa estimada, foi considerado 45% de C. Os planos de cortes escolhidos para simulação foram a partir de dados observacionais de retirada da lenha (corte raso), seguido ou não da queima dos resíduos. Na etapa de validação para as parcelas em Serra Negra do Norte, RN, os valores simulados dos estoques de C da biomassa aérea das arbóreas em áreas preservadas ( $20,6 \text{ Mg ha}^{-1}$ ), coincidiram com a média dos valores observados em campo ( $20,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ ), o que validou o modelo de forma satisfatória. O modelo também simulou de forma adequada a dinâmica de C e N entre a vegetação e o solo após os planos de cortes ao longo de 15 e 18 anos. Com o modelo validado, foi avaliado o impacto de cenários climáticos sobre os fluxos e estoques de C solo-planta sob diferentes períodos (10, 15 e 20 anos) de corte raso (CR) com (CQ) e sem queima (SQ). O cenário climático utilizado foi o SRES A1B, projetado pelo modelo Eta/CPTEC para os períodos de 2010-2040, 2041-2070 e 2071-2100, composto pelos membros LOW, MIDI e HIGH revelando a amplitude das simulações do cenário A1B. Todos os cenários foram confrontados com o clima histórico, projetado nos intervalos futuros avaliados para servir como referência dos efeitos climáticos sobre os períodos de plano de corte adotado. Em 2100, as reduções no acúmulo da biomassa arbórea em ambos os tratamentos (CR-CQ e SQ) chegaram próximo a 50% e de 15% do COS confrontado ao cenário do clima histórico. Portanto, o melhor entendimento do funcionamento dos ecossistemas florestais poderá contribuir para o desenvolvimento mais sustentáveis, contribuindo na mitigação do aquecimento global.

**Palavras-chave:** Floresta seca, solo, clima, modelagem

**ABSTRACT** – Brazilian semiarid region is characterized by spatial and temporal variability of rainfall, combined with high temperatures, which is to increase evapotranspiration and to form different types of soils originating different forest vegetation types compositions in the region. According to the current climate modeling, the Caatinga is among the most vulnerable to possible climate change scenario. Such changes can alter the biogeochemical cycling and to influence the dynamics of carbon (C) and nitrogen (N) in vegetation and soils. In addition to climate vulnerability, the removal of wood for use as an energy source and the use of native vegetation as pasture for ruminants are anthropic disturbance practices in the region. With this complexity of ecosystems in the Caatinga makes it difficult to design and monitoring of sustainable systems of land use in the region from observations and experimental studies. In this sense, the mathematical models simulating the biogeochemical cycling can contribute to a better understanding of these processes. Among the various simulation models of biogeochemical cycling in terrestrial ecosystems, the Century has been successfully used to simulate the dynamics of C and N, P and S in different agro-ecosystems in the world. Thus, the objective of this study was to adapt the Century model to simulate the flow and C and N stocks in soil and native vegetation of the Caatinga submitted to different forest cutting plans under the A1B climate scenario until year 2100. The data used (vegetation, soil and climate) were obtained in field plots in the cities of Santa Teresinha-PB (calibration) and Serra Negra do Norte-RN (validation). Predominant soil areas was the Litholic Neosol the preserved plots without clearcutting or significant human disturbance for at least the past 50 years and in the process of natural regeneration of 15 and 18 years of vegetation. With the estimated native forest biomass was considered 45% of C. Plans cuts chosen for simulation were from observational data of the wood removed (clear-cutting), whether or not the waste burning. In the validation phase for plots in Serra Negra do Norte, RN, the simulated values of C stocks of aboveground biomass of tree in conservation areas ( $20.6 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) coincided with the average values observed in the field ( $20.3 \text{ Mg ha}^{-1}$ ), which validated the model satisfactorily. The model also simulated adequately the dynamics of C and N between the vegetation and the soil after the plans cuts over 15 to 18 years. With the validated model, we evaluated the impact of climate scenarios on flows and C soil-plant stocks in different periods (10, 15 and 20) clear cut (CR) with (CQ) and unburned (SQ). The climate scenario used was the SRES A1B, designed by Eta/CPTEC model for the periods 2010-2040, 2041-2070 and 2071-2100, comprising members LOW, MIDI, and HIGH revealing the extent of simulations A1B scenario. All scenarios were compared with the historical climate, designed in future intervals evaluated as reference of climate effects on the periods of adopted cutting plane. In 2100, the reductions in tree biomass accumulation in both treatments (CR-CQ and SQ) reached close to 50% and 15% of COS confronted to the historic climate scenario. Therefore, a better understanding of the functioning of forest ecosystems can contribute to more sustainable development, contributing to the mitigation of global warming.

**Keywords:** Dry forest, soil, climate, modeling

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b> Ambiente do modelo Century v.4.5 que mostra a relação entre programas e a estrutura dos arquivos.....	25
<b>Figura 2</b> Fluxograma da dinâmica e estoques do carbono no modelo de simulação Century v.4.5 nos diferentes compartimentos da floresta.....	25
<b>Figura 3</b> Modelo Century v.4.5, sub-modelo do C.....	28
<b>Figura 4</b> Modelo Century v.4.5, sub-modelo do N.....	29

### CAPÍTULO 1

<b>Figura 1</b> Distribuição média mensal da precipitação pluvial do período de 1995 a 2006, na RPPN da fazenda Tamanduá, Santa Teresinha, PB (barras negras) e na Estação Ecológica do Seridó, Serra Negra do Norte, RN (barras brancas).....	38
<b>Figura 2</b> Cronossequência da cobertura e uso do solo nas áreas de Caatinga em Santa Teresinha, PB utilizadas para a calibração do modelo Century para simulação da ciclagem de C e N.....	39
<b>Figura 3</b> Cronossequência cobertura e uso do solo nas áreas de Serra Negra do Norte, RN utilizadas para a validação do modelo Century para simulação da ciclagem de C e N em vegetação de caatinga.....	41
<b>Figura 4</b> Simulação de equilíbrio do modelo Century ao longo de 5.000 anos para estabilização: a) Carbono da biomassa aérea da vegetação arbórea; e b) das frações do carbono orgânico do solo (COS) (total, ativo, lento e passivo), no município de Santa Teresinha, PB.....	43
<b>Figura 5</b> Dinâmica do crescimento dos galhos grossos em relação à produção de folhas: a) no sub-modelo florestal (DEFAULT) do modelo Century (PARTON et al., 1987); e b) no sub-modelo florestal (Caatinga).....	46
<b>Figura 6</b> Comportamento do índice máximo da área foliar para os respectivos tipos de corte (CDQ e CR) com o valor da variável KLAJ em 300 (a:b), 100 (c:d) e 39,6 (e:f) no município de Santa Teresinha, PB.....	48
<b>Figura 7</b> Estoque de C da biomassa arbórea aérea em Santa Teresinha, PB: a) vegetação preservada (>50 anos); e b) vegetação em regeneração há 20 anos.....	50
<b>Figura 8</b> Estoque de C no solo: a) na área de vegetação preservada (> 50 anos); e b) na área com vegetação regenerando há 20 anos, no município de Santa Teresinha, PB.....	53

<b>Figura 9</b> Estoque de C da biomassa arbórea aérea: a) em vegetação preservada (> 50 anos); b) em vegetação em regeneração após o corte, destoca e queima (CDQ); e c) em vegetação em regeneração após o corte raso (CR) no município de Serra Negra do Norte, RN.....	55
<b>Figura 10</b> Regressão linear dos dados para validação da simulação pelo modelo Century da produção de biomassa aérea das arbóreas em áreas de caatinga com manejo de corte, destoca e queima (CDQ) e de corte raso (CR) no município de Serra Negra do Norte, RN.....	56
<b>Figura 11</b> Estoques de carbono orgânico no solo (COS) observados em campo (OBS) e simulados (SIM) com o modelo Century em áreas com: a) vegetação preservada (> 50 anos); b) vegetação em regeneração após corte, destoca e queima (CDQ 21 anos); c) vegetação em regeneração após corte raso (CR 21 anos), no município de Serra Negra do Norte, RN... ..	57
<b>Figura 12</b> Regressão linear (a:b) para validação da simulação pelo modelo Century do estoque de carbono orgânico do solo (COS) em áreas de caatinga em regeneração há 21 anos após o corte, queima e destoca (CDQ) e de corte raso (CR), no município de Serra Negra do Norte, RN.....	59

## CAPÍTULO 2

<b>Figura 1</b> Estoque de C da biomassa arbórea aérea em vegetação com 18 anos de regeneração após corte com destoca seguido de queima ou corte raso, ambos com pastoreio misto intensivo (CDQ+PMI e CR+PMI), no município de Serra Negra do Norte, RN.....	75
--	----

## CAPÍTULO 3

<b>Figura 1</b> Temperaturas máxima e mínima observadas, simuladas pelo modelo Eta/CPTEC e corrigidas (erros sistemáticos) para os membros HIGH, MIDI e LOW do cenário A1B no município de Santa Teresinha, PB, Brasil (a, b, e, f, i, j) e regressão linear para comparar as correções entre simulado e observado para cada membro (c, d, g, h, l, m).....	90
<b>Figura 2</b> Comparação entre as temperaturas máximas e mínimas observadas e simuladas pelo modelo Eta/CPTEC para cenários futuros para cada membro (HIGH, MIDI e LOW) do cenário A1B no município de Santa Teresinha, PB, Brasil (a, b, c, d,e, f.)... ..	92
<b>Figura 3</b> Distribuição das precipitações anuais observadas (1925-2011) e simuladas pelo modelo Eta/CPTEC para cada membro (HIGH, MIDI e LOW) do cenário climático A1B, no município de Santa Teresinha, PB.....	93

- Figura 4** Perda no acúmulo de C na vegetação arbórea nativa de caatinga e emissão do COS em áreas sem intervenção, apenas sob as condições climáticas observadas nos membros (LOW, MIDI, HIGH) do cenário A1B confrontados com o clima histórico local projetado, em Santa Teresinha, PB, Brasil... ..... 94
- Figura 5** Acúmulo de C na vegetação arbórea nativa da Caatinga, após corte raso, sem queima (SQ) e com queima (CQ), ao longo de 85 e a cada 10, 15 e 20 anos de regeneração sob as condições climáticas observadas para cada membro (LOW, MIDI, HIGH) do cenário A1B confrontados com o clima histórico local em Santa Teresinha, PB, Brasil... ..... 97
- Figura 6** Perda do COS após CR consecutivos (SQ e CQ) ao longo de 85 e a cada 10, 15 e 20 anos de regeneração sob as condições climáticas observadas nos membros do cenário A1B (LOW, MIDI, HIGH) confrontados com o clima histórico e estoque original local em Santa Teresinha, PB, Brasil..... 101

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO 1

<b>Tabela 1</b> Característica do solo na camada 0-20cm em áreas sob vegetação de caatinga, no município de Santa Teresinha, PB.....	39
<b>Tabela 2</b> Características do solo na camada 0-20 cm em áreas sob vegetação de caatinga em regeneração 21 anos após o corte raso (CR) ou corte, destoca e queima (CDQ) em Serra Negra, RN.....	42
<b>Tabela 3</b> Entradas de N em área de vegetação nativa da Caatinga preservada, Santa Teresinha, PB.....	44
<b>Tabela 4</b> Estoque de C da parte aérea e subterrânea do componente arbóreo da vegetação madura da Caatinga, em Santa Teresinha, PB.....	45
<b>Tabela 5</b> Entradas de N em área de vegetação nativa da Caatinga jovem, Santa Teresinha, PB.....	49
<b>Tabela 6</b> Estoque de C observados na biomassa aérea e subterrânea do componente arbóreo da vegetação jovem da Caatinga entre os anos de 2007 e 2010, em Santa Teresinha, PB e simulados pelo modelo Century.....	50
<b>Tabela 7</b> Acúmulo anual e estoque de C ao longo de 15 e 18 anos entre observado e simulado no município de Serra Negra do Norte, RN.....	55
<b>Tabela 8</b> Análise estatística para validação da adequação do modelo Century para a simulação do carbono orgânico do solo (COS) na camada de 0-20 cm em áreas com vegetação de caatinga em regeneração há 21 anos após o corte raso (CR) ou com corte, destoca e queima (CDQ), no município de Serra Negra do Norte, RN.....	58

### CAPÍTULO 2

<b>Tabela 1</b> Característica do solo, na camada 0-20cm, em áreas de caatinga submetido a diferentes tratamentos em Serra Negra do Norte, RN.....	71
<b>Tabela 2</b> Precipitação pluvial na área do experimento em Serra Negra do Norte, RN.....	72
<b>Tabela 3</b> Principais variáveis modificadas para parametrização do TREM.100 para calibração da vegetação arbórea no município de Serra Negra do Norte, RN.....	73
<b>Tabela 4</b> Acúmulo de C por ano ( $\text{Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) estoque de C ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) ao longo de 15 e 18 anos e desvio padrão (DVP) dos valores observados no município de Serra Negra do Norte, RN.....	76

### **CAPÍTULO 3**

<b>Tabela 1</b> Acúmulo de C na vegetação arbórea nativa da Caatinga com ciclos de corte raso sem queima a cada 10, 15 e 20 anos de acordo com os membros (HIGH, MIDI e LOW) do cenário A1B, confrontado ao clima do histórico local.....	99
---	----

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>15</b>
<b>REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>16</b>
Biomassa arbórea do semiárido brasileiro .....	16
Carbono Orgânico do solo (COS) .....	20
Ciclagem de carbono no sistema solo-planta-atmosfera .....	21
Modelagem de processos biológicos .....	22
Descrição do modelo Century 4.5 .....	24
Modelo Century - Submodelo Savana (TREE e CROP.100) .....	26
Submodelo Matéria Orgânica do solo (MOS) .....	26
Modelos climáticos .....	30
Modelo regional Eta/CPTEC .....	30
Estima T .....	31
<b>CAPÍTULO 1 .....</b>	<b>32</b>
Resumo.....	33
Introdução .....	35
Materiais e Métodos .....	36
Resultados e Discussão .....	42
Conclusão.....	59
<b>CAPÍTULO 2 .....</b>	<b>66</b>
Resumo.....	67
Introdução .....	69
Materiais e Métodos .....	70
Resultados e Discussão .....	74
Conclusão.....	77
<b>CAPÍTULO 3 .....</b>	<b>80</b>
Resumo.....	81
Introdução .....	83
Materiais e Métodos .....	84
Resultados e Discussão .....	89
Conclusão.....	102
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>107</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>108</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>117</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>120</b>

## INTRODUÇÃO GERAL

O semiárido brasileiro caracteriza-se por ser uma das maiores e mais densamente habitadas regiões semiáridas do mundo. O histórico de ocupação de suas terras mostra uma forte pressão desde os tempos coloniais. Desde o passado, o sistema de agricultura itinerante é predominante na região, porém o período de pousio era extenso, uma vez que a população humana era pequena. No decorrer dos anos, a demanda por alimentos e utilização da lenha aumentaram consideravelmente e, conseqüentemente, houve forte aumento da pressão sobre o solo e os recursos naturais (SAMPAIO et al., 2005). Deste modo, o ambiente natural foi se modificando, o que ocasionou um aumento na sua variabilidade sócio-econômica-ambiental (LIMA e SIDERSKY, 2002; SALCEDO e SAMPAIO et al. 2008).

A retirada de madeira e seu uso para fins energéticos (lenha) consiste em uma das principais atividades de uso da terra na região semiárida do Nordeste do Brasil (CAMPELLO et al. 1999). Cerca de 80% da madeira colhida é consumida como fonte de energia nos setores domiciliar, comercial e industrial (SAMPAIO e GAMARRA-ROJAS, 2002; MMA, 2007). A maior parte das áreas de vegetação nativa ainda existente, que na maioria dos casos constitui-se de vegetação secundária em recuperação, apresentam sinais de degradação, seja pelo esgotamento da capacidade de recuperação da fertilidade do solo causado por longos períodos de cultivo anteriores, ou pelo superpastoreio geralmente praticado (SAMPAIO et al., 2010).

A conservação da caatinga é importante para a manutenção dos padrões regionais e globais do clima, da disponibilidade de água e de solos agricultáveis. Contudo, a experimentação em campo sobre a dinâmica de sistemas florestais demanda períodos longos e enorme esforço amostral e analítico. Diante disso, os modelos matemáticos são ferramentas importantes para simular os efeitos de práticas de uso da terra sobre a produção vegetal e dinâmica da matéria orgânica (MO) e dos nutrientes do solo em cenários atuais e futuros. Assim, após validar o modelo Century para áreas de vegetação nativa da caatinga, possíveis cenários futuros em manejo e planos de corte florestal poderão ser simulados. Eles podem incentivar estudos de longo prazo no semiárido para obtenções de dados mais detalhados da complexidade do sistema, de forma a garantir a manutenção dos mesmos frente às possíveis mudanças climáticas.

Portanto, o objetivo do presente trabalho é adaptar o modelo Century para simular os fluxos e estoques de C e N no solo e na vegetação nativa da Caatinga

submetidas a diferentes planos de corte florestal sob o cenário climático A1B até o ano de 2100. Assim, os objetivos específicos são: 1) Validar o modelo Century para simulação dos estoques e fluxos de C e N solo-planta em sítios específicos na Caatinga; 2) Simular o impacto dos diferentes tipos de corte na vegetação nativa da Caatinga, com e sem queima, aliado à prática do pastoreio sobre a ciclagem de C; e 3) Avaliar os efeitos das interações entre as mudanças climáticas projetadas e aos diferentes períodos de corte raso aliado a queima sobre a ciclagem de C e N em áreas de vegetação nativa da Caatinga na região semiárida do Nordeste do Brasil. A investigação da dinâmica do C e N em áreas de vegetação nativa do semiárido brasileiro diante do conjunto de intervenções efetuadas frente às mudanças climáticas, evidencia uma diminuição na sua capacidade produtiva da biomassa arbórea e perdas sucessivas do C do solo para atmosfera.

## **REVISÃO DE LITERATURA**

### *Biomassa arbórea do semiárido brasileiro*

De acordo com a UNEP (1997), cerca de 47% da superfície terrestre podem ser classificadas como terras secas, que incluem áreas hiperáridas, áridas, semiáridas e subúmidas secas. Por volta de dois bilhões de pessoas vivem nessas áreas, muitas vezes em más condições. Com características semelhantes, a região semiárida do nordeste brasileiro apresenta alta densidade demográfica, que constitui cerca de um quarto da população nacional e apresenta diferenças significativas sob os aspectos sociais, econômicos e ambientais (IBGE, 2004).

O nordeste brasileiro, com área aproximada de 1,5 milhões de km<sup>2</sup>, equivale a 18% da superfície nacional e abrange nove estados: Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia (CIRILO et al., 2007). Grande parte da região nordeste e mais uma área do norte de Minas Gerais encontra-se um vasto ambiente semiárido, com cerca de 975.000 km<sup>2</sup> (BRASIL. MIN, 2005). A maior parte desta área é coberta pela vegetação de caatinga. Autores como Duque (1980) e Figueiredo (1983) caracterizaram-no como tendo formações xerófilas, lenhosas, decíduas, em geral espinhosas, com presença de plantas suculentas e estrato herbáceo estacional, além de uma ampla variação florística.

Na região, a grande variabilidade espacial e temporal da precipitação (300 a 800 mm ano<sup>-1</sup>) e a ocorrência de altas temperaturas (25 a 35<sup>0</sup>C) propiciam elevados déficits hídricos, com taxas de evaporação anual que chegam a ultrapassar 2500 mm (SÁ et al.,

2000). Segundo Ab'Saber (1974), além dessas marcantes condições termopluviométricas, as interações com os diferentes componentes abióticos, como as propriedades litoestruturais, posicionamento topográfico e heranças paleoclimáticas, criam uma diversidade de ambientes, segundo os quais se organizam diferentes formas adaptativas da vegetação. Então, além da variabilidade na composição e no arranjo dos componentes botânicos aos diversos fatores ambientais, são respostas também os processos de sucessão florestal, em que a densidade das plantas, a composição florística e o potencial do estrato herbáceo podem variar de acordo com as intervenções naturais ou antrópicas ocasionados para cada local ao longo do tempo (SILVA et al., 1993; SAMPAIO e RODAL, 2000).

A estimativa da biomassa é um instrumento útil na avaliação de ecossistemas, quanto à sua conversão de energia e ciclagem de nutrientes (GOLLEY et al., 1978). A floresta tem papel essencial na qualidade de vida da população pelos benefícios ambientais que proporciona, além de ser econômica e socialmente importante para o semiárido brasileiro. A extração de lenha da Caatinga tem grande importância na economia regional, pois a lenha e o carvão são responsáveis por fornecer 1/3 da demanda energética industrial e comercial do nordeste brasileiro. Dessa demanda, cerca de 92% são atendidas por biomassa oriunda do corte da Caatinga, havendo um consumo estimado em 25 milhões de  $\text{st ano}^{-1}$  de lenha (CAVALCANTI e ARAÚJO, 2008). Essa demanda tem contribuído para a redução das áreas cobertas com a vegetação nativa de caatinga. Segundo estimativas, resta ainda uma área aproximadamente de  $36.10^6$  de ha, de mata nativa, ou seja, 43% da cobertura original (PROBIO, 2007).

Na vegetação das caatingas, as proporções de massas de folhas são próximas de outras vegetações, variando de 10 a 30% em plantas menores (NORTHUP et al., 2005; PEICHL e ARAIN, 2007; PAUL et al., 2008), mas ficando usualmente na faixa de 2-5% em áreas maduras (REGINA, 20-00; SOARES e OLIVEIRA, 2002; SALIS et al., 2006). A biomassa aérea viva é a parte mais visível do ecossistema. Não há dúvida de que a parte aérea da vegetação é fundamental para geração e regulação da maioria dos processos que compõem o ciclo de C. Nas folhas, está a principal via de entrada de C para o sistema.

Uma das formas de acompanhar a produtividade das vegetações arbustivo-arbóreas é medir a queda de folhas e outras frações da planta, como os galhos finos e miscelâneas, por exemplo. Considerando que a vegetação já tenha atingido uma estabilização na formação e perda de biomassa, a medida da queda de folheto dá uma

idéia da capacidade de produção. Segundo Dantas (2003), as produções de folheto em uma caatinga arbórea de Remígio, na Paraíba, por dois anos consecutivos, foram de 5,3 e 2,9 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. No Ceará, Schacht et al. (1989) encontraram queda de folheto de 3 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, dos quais 80% eram folhas. O trabalho de Silva (1998) permitiu calcular a proporção da massa de folhas em relação à biomassa aérea total das caatingas. Em árvores e arbustos maiores a proporção fica em torno dos 5% e em plantas menores em cerca de 10%. Em uma área de vegetação nativa que tem uma mistura de plantas de vários tamanhos, a proporção deve ficar entre estes dois limites. A proporção em Serra Talhada foi de 9% (KAUFFMANN et al 1993).

Geralmente, a biomassa acima do solo é distribuída na seguinte ordem: madeira do fuste > galhos > casca > folhas (CALDEIRA, 2003; WATZLAWICK, 2003). Sampaio e Silva (2005) selecionaram nove espécies de árvores da Caatinga que têm distribuição mais ampla e maior contribuição para a área basal e, nas plantas a partir de 17,5 cm de DAP, cerca de 70% da biomassa era de caules e galhos maiores que 5 cm de diâmetro, 20% de galhos entre 1 e 5 cm, 5% de ramos < 1cm e 5% de folhas. A distribuição da biomassa nos diferentes órgãos da planta varia de espécie para espécie, e entre populações da mesma espécie (CALDEIRA, 2003).

Estima-se que a média de biomassa aérea total da vegetação de caatinga varia em média entre 30 e 50 Mg ha<sup>-1</sup> (SAMPAIO e COSTA, 2011). É conhecido que a variação espacial é muito grande e as estimativas foram feitas para pouco locais. Há áreas da vegetação com diferentes fitofisnomias, com variação estimada entre 2 e 156 Mg ha<sup>-1</sup>. Medida de 74 Mg ha<sup>-1</sup> foi feita em Serra Talhada, Pernambuco (KAUFFMANN et al. 1993). A princípio de comparação, as biomassas das florestas tropicais úmidas, que atingem alturas bem maiores que as da Caatinga e que, por conseguinte, têm árvores com caules bem mais grossos, estão na faixa de 200 a 400 Mg ha<sup>-1</sup>.

A biomassa constitui a massa total dos organismos por unidade de superfície ou de volume, capaz de ser aproveitada como insumo energético. No caso particular da biomassa florestal, ela está constituída pelos elementos aéreos e subterrâneos das árvores (troncos, galhos, folhas e raízes), bem como da vegetação herbácea e arbustiva, dos líquens e da serrapilheira (biomassa morta) (SERVICE CANADIEN DES FORÊTS, 2008).

Sabe-se que durante a fase inicial do desenvolvimento de uma floresta grande parte dos fotossintatos é canalizada para a produção de biomassa da copa. Com o passar

do tempo, as copas começam a competir entre si, aumentando a produção relativa do tronco e diminuindo gradativamente a relação entre a biomassa das folhas e dos ramos (ANDRADE, 1978; SCHUMACHER, 1996). Nesse sentido, Campos (1991) e Caldeira (1998) acrescentaram que esta acumulação é diferente de local para local, refletindo a variação dos diversos fatores ambientais e fatores inerentes à própria planta. O acúmulo da biomassa nos ecossistemas é afetado por todos os fatores relacionados com a fotossíntese e a respiração (KOZLOWSKI e PALLARDY, 1996).

A quantificação da biomassa tem recebido, nesses últimos anos, uma atenção especial na medida em que ela se relaciona diretamente com a fixação do C atmosférico, agindo, em consequência, como redutora das emissões de CO<sub>2</sub>, um dos grandes responsáveis pelo efeito estufa. Todavia, a metodologia utilizada na quantificação da biomassa não tem sido uniforme quanto aos procedimentos, tendo em vista que algumas delas não levam em consideração a biomassa morta (serrapilheira) e a subterrânea (HOUGHTON, 1994; WATZLAWICK, 2003).

A produção anual de raízes na caatinga é fator importante para a manutenção e ciclagem de nutrientes, inclusive nas camadas mais profundas do solo (MENEZES e SALCEDO, 1999). O crescimento das raízes finas ocorre de forma independente do crescimento da parte aérea e, em áreas de caatinga, é fortemente influenciado pelo conteúdo de água no solo (CUEVAS et al., 1991). A biomassa total de raízes em uma floresta tropical do semiárido foi estimada entre 31 e 45 Mg ha<sup>-1</sup> (CASTELLANOS et al., 1991), já em uma floresta tropical úmida na Amazônia Venezuelana, variou de 54 a 60 Mg ha<sup>-1</sup> (SANFORD Jr., 1989).

Em estudo realizado na região de Araripina, Pernambuco, na chapada do Araripe, Tissen et al. (1992) encontraram biomassas totais de raízes, até 1m de profundidade de 8 a 12 Mg ha<sup>-1</sup>. Em Chamela, região semiárida do México, Kummerow et al. (1990) encontraram mais de 50% das raízes finas na camada dos 10 cm superficiais, com uma produção de 4,23 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Se, por um lado, a maior proporção de raízes finas na camada de solo superficial é uma característica das florestas tropicais, por outro lado, o grau de profundidade de enraizamento varia de acordo com o tipo de solo, de floresta e de espécie (CUEVAS et al., 1991).

Costa et al. (2014) no município de Santa Teresinha, na Paraíba, e no sertão pernambucano, quantificaram a biomassa radicular em diferentes estádios sucessionais, profundidades e tipos de solo em trincheiras de 0,7 x 0,7m. O estudo realizado na Paraíba foi no mesmo local do presente trabalho e encontraram biomassas totais

subterrâneas em áreas de vegetação preservada e em processo de regeneração, uma com 40 e a outra em torno de 20 anos, de 34,2, 7,3 e 2,6 Mg ha<sup>-1</sup> em neossolo litólico. No sertão pernambucano, em diferentes tipos de solo e vegetação arbórea classificada em aberta e densa as biomassas foram 19,6 e 8,6 Mg ha<sup>-1</sup>.

Leite (1998) estudou a biomassa de raízes em uma área de caatinga hipoxerófila, em Caruaru, PE, e observou que a biomassa de raízes com diâmetro < 2mm, na profundidade de 0-15cm, variou de 2,08 a 2,61 Mg ha<sup>-1</sup> e, na profundidade de 15-30cm, variou de 1,19 a 1,33 Mg ha<sup>-1</sup>. Já a biomassa das raízes com diâmetro de 2 a 5mm na profundidade de 0-15cm, variou de 3,30 a 4,35 Mg ha<sup>-1</sup> e, na profundidade de 15-30cm, variou de 1,70 a 1,83 Mg ha<sup>-1</sup>. As raízes com diâmetro até 2mm representaram entre 60 e 70% do total de raízes.

De forma semelhante ao exemplo anterior, Silva (2003) mediu a produção da vegetação nativa de caatinga, em Petrolina, nas profundidades de 0-30 cm a cada 10cm, e observaram, que as biomassas das raízes finas diminuíram com as profundidades, apresentando os seguintes valores médios; 5,7 Mg ha<sup>-1</sup>; 2,3 Mg ha<sup>-1</sup>; e 2,1 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Do total de raízes até 30cm, 53% estavam na profundidade de 0-10cm. Em geral, há uma redução exponencial da biomassa das raízes com a profundidade. Este declínio com a profundidade pode ser controlado pela: a) reciclagem de nutrientes retornando ao solo via queda de serrapilheira; b) tropismo de matéria orgânica; c) estado sucessional das florestas; e d) aumento da toxicidade do alumínio com a profundidade (CAVELIER et al., 1996).

O acúmulo de biomassa abaixo do solo varia com a espécie e o espaçamento (REIS et al., 1993; SCHUMACHER, 1995; WATZLAWICK, 2003; CALDEIRA, 2003). Gonçalves e Mello (2000) acrescentaram que a contribuição do sistema radicular para a biomassa total da árvore varia em função da idade (SCHUMACHER, 1995; WATZLAWICK, 2003), devendo ser ressaltado que os percentuais maiores ocorrem na fase inicial do crescimento. Esta contribuição somente mudará após o fechamento da copa, quando o acúmulo de nutrientes passa a ser mais intenso nos troncos, uma vez que a formação da copa atingiu uma fase de relativa estabilidade, pois o auto-sombreamento impõe um limite da área foliar máxima.

#### *Carbono Orgânico do Solo (COS)*

O solo é o receptáculo final dos resíduos orgânicos de origem vegetal, animal e produtos das transformações destes. A vegetação é a principal responsável pela

deposição de materiais orgânicos no solo, especialmente através da queda de material morto. O tipo de vegetação e as condições ambientais são os fatores determinantes da quantidade e da qualidade do material depositado no solo, definindo a sua heterogeneidade e taxa de decomposição (MOREIRA e SIQUEIRA, 2002).

A quantidade de COS é muito variável, dependendo principalmente do tipo de solo e da vegetação explorada. Há relatos que o solo retém duas vezes mais C que a vegetação ou mesmo a atmosfera e que mudanças no índice de C do solo podem ter grande efeito no balanço global (BELLAMY et al., 2005). Em solos com cobertura vegetal natural, o C orgânico encontra-se em equilíbrio dinâmico, com teores praticamente constantes com o tempo. Essa condição é alterada quando o solo é submetido a qualquer outro uso, e um novo equilíbrio é atingido num nível que varia em razão das características do sistema de manejo adotado (STEVENSON, 1994).

Em caatingas mais preservadas, a média na camada de 0-20 cm fica em torno de 12 g C kg solo<sup>-1</sup> a 36 Mg C ha<sup>-1</sup>. A proporção de 70% nas lavouras foi adotada considerando-se a perda de 30% do C do solo de caatinga quando cultivado por alguns anos (TIESSSEN et al., 1992, 1998) e perdas semelhantes nos solos de cerrado 29% (RESCK et al., 2008) e da Amazônia 27% (CERRI et al., 2008). Como as perdas com o cultivo são maiores que com a formação de pastagens justificam que as proporções adotadas para pastagens tenham sido maiores que 70% do estoque da caatinga (SAMPAIO e COSTA, 2011).

A transformação de sistemas naturais em áreas agrícolas representa, nas regiões tropicais, uma importante causa do aumento da concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico, com efeitos sobre alterações climáticas (SCHOLLES e BREEMEN, 1997). Heath et al. (2005) explicaram que as florestas têm um papel chave na mitigação do efeito estufa pelas taxas de absorção e estoque de carbono, podendo contribuir para a redução dos danos causados pela emissão contínua de CO<sub>2</sub> na atmosfera.

### **Ciclagem de carbono no sistema solo-planta-atmosfera**

A capacidade dos ecossistemas emitirem gás carbônico ou sequestrarem C atmosférico é determinado por grande variedade de processos abióticos e bióticos. Para realmente entender o papel atual e futuro de um ecossistema no balanço de C atmosférico, seria necessário também conhecer e quantificar todos esses processos.

Como em muitos períodos da história do planeta, este ciclo não se encontra em equilíbrio. A queima de combustíveis fósseis (principalmente petróleo e carvão mineral)

e as mudanças do uso da terra, têm resultado em um incremento do C na atmosfera da ordem de 5,5 Pg anuais (1 peta grama (Pg) = 1 bilhão de toneladas). Dessas, apenas 3,5 Pg de C permanecem na atmosfera e passam a contribuir efetivamente para o efeito estufa, sendo o restante dissolvido nos oceanos ou sequestrado pela atividade fotossintética, ficando retido como biomassa viva ou como MOS (SCHLESINGER, 1997; GRACE, 2001). As fontes de C da atmosfera são bem conhecidas, como aquelas decorrentes das atividades humanas, que queimam combustíveis fósseis, e aquelas naturais, como o vulcanismo.

Diferentes tipos de floresta armazenam quantidades distintas de C na sua biomassa, e locais diferentes dentro de um mesmo tipo de floresta também variam muito com relação à quantidade de biomassa. Contudo, as florestas contêm de 20 a 100 vezes mais C por unidade de área que as plantações ou pastos. Com a mudança do uso do solo, o C originalmente contido na vegetação e nos solos é liberado para a atmosfera em forma de CO<sub>2</sub>. Por outro lado, é a fotossíntese terrestre que retira anualmente da atmosfera, em um processo natural, cerca de 100 Gt de C em forma de CO<sub>2</sub> (HOUGHTON e WOODWELL, 1989).

Caso mudanças climáticas ocorram decorrentes do aumento de CO<sub>2</sub> na atmosfera, sem dúvida alguma os ecossistemas terrestres serão afetados. Uma questão não deixa dúvidas: o homem provoca a liberação para a atmosfera de grandes quantidades de CO<sub>2</sub>. Descobrir como a terra vai reagir aos impactos da liberação excessiva deste gás é toda uma questão em aberto. Dentro deste contexto, torna-se imprescindível considerar o aumento crescente da concentração de dióxido de C (CO<sub>2</sub>) na atmosfera e as possíveis consequências sobre as plantas, principalmente em razão do aumento da temperatura, cuja previsão é aumentar de 1,5 a 4,5 °C até o ano 2050 (WATZLAWICK, 2003).

Há evidências de que ocorrerão mudanças climáticas globais, em função do aumento da concentração de gases de efeito estufa (gás carbônico, metano, óxido nitroso e outros), além do vapor d'água (SALATI et al., 2011; IPCC, 2013). O uso de energias renováveis é uma excelente alternativa do sistema energético tradicional, pelo seu menor impacto ambiental (GOLDEMBERG; LUCON, 2007).

### **Modelagem de processos biológicos**

A modelagem de processos biológicos tem por objetivos planejar o uso da terra, estabelecer padrões ambientais e estimar os riscos reais e potenciais das atividades

agrícolas e ambientais. Diversos modelos têm sido criados nos últimos 25 anos para estudos de dinâmica de MOS e nutrientes em ecossistemas no mundo. Smith et al. (1997; 1998) apresentaram uma comparação crítica de nove modelos de simulação de C e nutrientes em diferentes ecossistemas terrestres de clima temperado, por meio de sete experimentos de longa duração. Esses autores observaram que um grupo de seis modelos (RothC-26.3, CENTURY, DAISY, CANDY, NCSOIL, e DNDC) e deles, apenas dois foram capazes de simular o C em todos sistemas de uso da terra em cada experimento (RothC-26.3 e CENTURY).

O uso de modelos matemáticos tem sido proposto para estudar o comportamento de diferentes usos e práticas de manejo em relação à dinâmica do C, N, P e S do solo (WENDGLIN, 2007). Entre os modelos mais usados, está o Century (PARTON et al., 1987), que já tem sido usado em vários trabalhos conduzidos no Brasil em ecossistemas tropicais (CERRI et al., 2003; SILVA e PASQUAL, 1999) e subtropicais (BORTOLON et al., 2009; BORTOLON et al., 2011; DEBARBA, 2002; FERNANDES, 2002; LEITE et al., 2004a, b; LOPES et al., 2008; SILVEIRA et al., 2000; TORNQUIST et al., 2009; VEZZANI, 2001) apresentando boa capacidade para simular os efeitos de diferentes usos e manejos.

Na região semiárida do NE do Brasil, recentemente, foi desenvolvido um modelo, o EPIC SEAR, adaptado do modelo EPIC, que foi aplicado às condições de um Latossolo do Piauí, cultivado com milho e feijão, obtendo-se resultados satisfatórios (BARROS et al, 2004a,b). Outro modelo desenvolvido, o SALSA (PEINETTI et al., 2008) especificamente para ambientes semiáridos, foi capaz de simular a dinâmica da MOS, produtividade de biomassa do milho e dinâmica do nitrogênio (N) no solo. Entretanto, os modelos EPICSEAR e SALSA ainda estão em fase inicial de desenvolvimento, tendo sido testados em condições muito específicas de solo e clima na região semiárida do NE brasileiro. Sendo assim, é importante que sejam testados outros modelos já consolidados para avaliar seu potencial de uso na região.

A predição dos efeitos do clima, composição atmosférica e mudanças no uso da terra é essencial na formulação de políticas ambientais, agrícolas, sociais e econômicas. Modelos matemáticos otimizam o entendimento da dinâmica da MOS, testando cenários específicos e são instrumentos essenciais no prognóstico dos efeitos das mudanças ambientais. O COS é dividido em compartimentos ativo, lento e passivo, com diferentes tempos de reciclagens (10, 30 e 2000 anos, respectivamente). Esta abordagem tem sido usada em muitos modelos de MOS desenvolvidos mais recentemente (VAN VEEN e

PAUL, 1981; PARTON et al., 1987; JENKINSON, 1990; PARTON et al., 1998). Van Veen e Paul (1981) melhoraram o modelo de Jenkinson e Rayners (1977), incluindo conceitos de proteção química e física, e fatores como erosão e cultivo do solo. Parton et al. (1987) adicionaram o efeito da textura na dinâmica da MOS e desenvolveram submodelos de ciclagem de nutrientes, os quais simulam, simultaneamente, COS e dinâmicas de nitrogênio (N), fósforo (P) e enxofre (S). A última versão do RothC-26.3 também inclui a proteção física da MOS pela fração mineral (COLEMAN e JENKINSON, 1996).

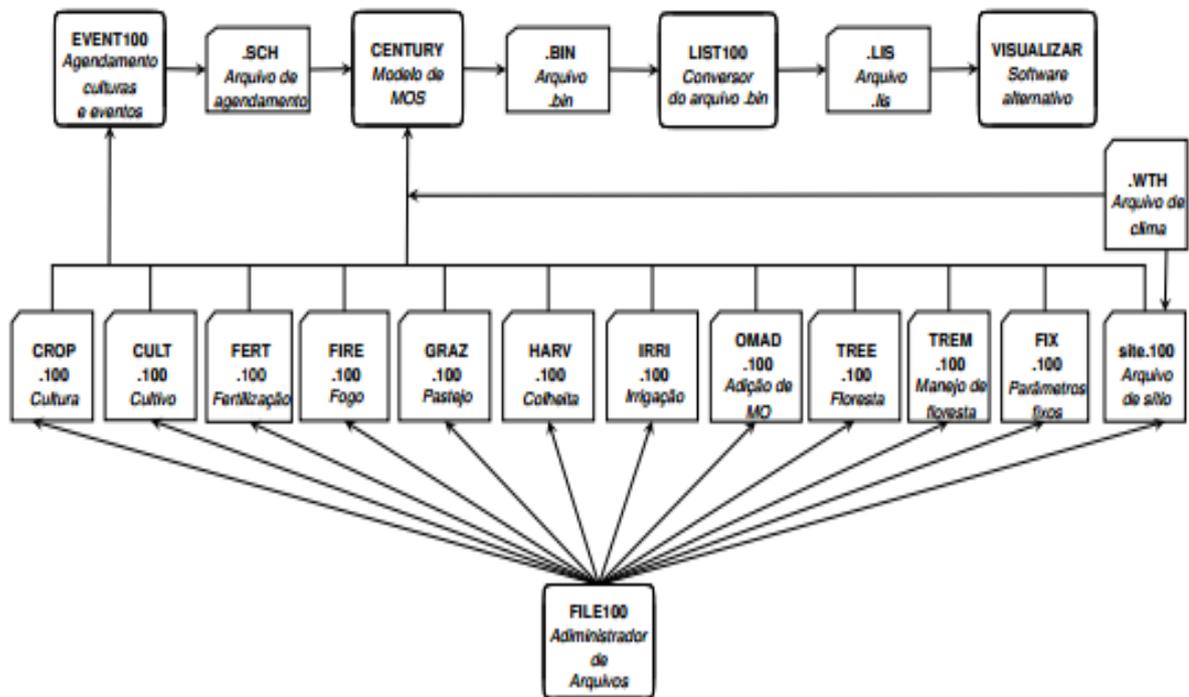
### **Descrição do modelo CENTURY 4.5**

O Century é um modelo mecanístico que analisa, em longo prazo, a dinâmica da matéria orgânica do solo e de nutrientes no sistema solo-planta em diversos agroecossistemas. Foi desenvolvido originalmente para simular a dinâmica da MOS em pastagens naturais nas planícies norte americanas (PARTON et al., 1987), porém tem sido utilizado em diversos biomas, tipos de solos e climas (PARTON et al., 1988; METHEREL et al., 1994). As principais variáveis de entrada do modelo Century são: temperatura do ar, precipitação mensal, conteúdo de lignina no material vegetal, teores de N, P e S do material vegetal, textura do solo, aporte de N no solo e teor inicial de C, N, P e S nos diferentes compartimentos do solo (LEITE et al., 2004).

A versão Century 4.5 com interface para o DOS, envolve um conjunto de arquivos e programas interligados. Dentre os arquivos destacam-se os chamados arquivo local (SITE.100), de clima (.WTH) e dos cenários de manejo (\*.SCH). No arquivo local são indicadas as informações iniciais de localização geográfica, média do clima e solo da área a ser estudada. No arquivo climático, há a opção de utilizar os dados reais e futuros. Já no arquivo do cenário de manejo são informadas as atividades realizadas na área, sendo organizadas de modo qualitativo, quantitativo e temporal o que possibilita dividir o cenário em blocos e reconstituir o histórico de manejo da área em um único arquivo.

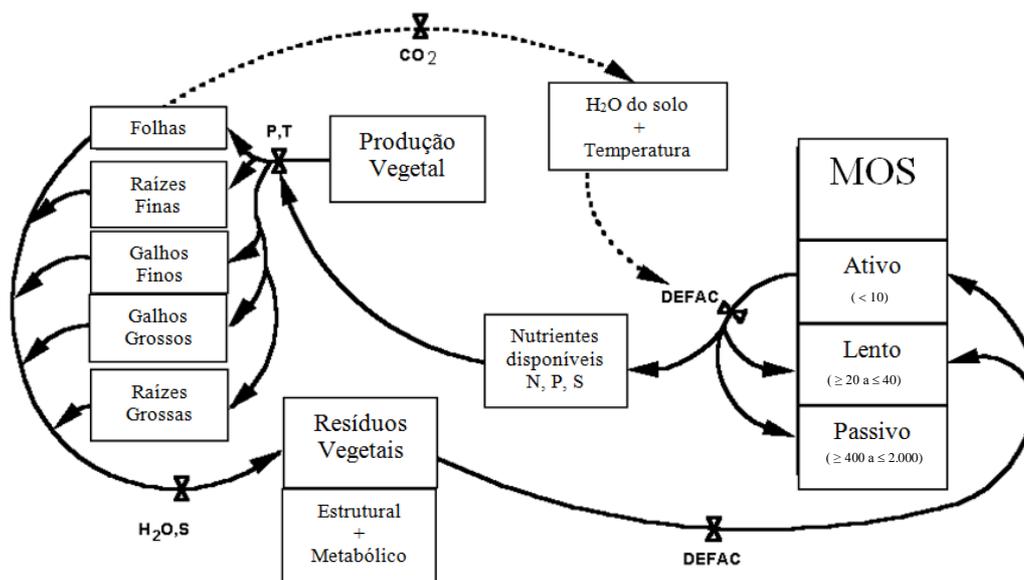
No arquivo \*.SCH podem ser listadas atividades que envolvem diferentes sistemas de cultivo, florestas, remoção de floresta, culturas, fertilização com N, P e S, irrigação, adubação orgânica, uso de fogo, colheita e pastejo. Em paralelo, as informações dos parâmetros destas atividades são consultadas nos arquivos acessórios, como: CULT.100, TREE.100, TREM.100, CROP.100, FERT.100, IRR.100,

OMAD.100, FIRE.100, HARV.100 e GRAZ.100, dependendo do tipo de uso do solo e de manejo adotado em cada sistema simulado (Figura 1).



**Figura 1:** Ambiente do modelo Century v.4.5 mostrando a relação entre programas e a estrutura dos arquivos (adaptado de Metherall et al. (1993)).

O fluxograma do Century para representar o submodelo da floresta (Figura 2) permite mostrar bem a dinâmica e estoques do C nos compartimentos, representado pelos parâmetros da biomassa foliar (rleave), galhos grossos (rlwodc), galhos finos (fbrhc), raízes grossas (crootc) e raízes finas (frootc), todas medidas em  $\text{g C m}^{-2}$ .



**Figura 2:** Fluxograma da dinâmica e estoques do carbono no modelo de simulação Century v.4.5 nos diferentes compartimentos da floresta. Fonte: Adaptado de Parton et al. (1987).

### **Modelo Century - Submodelo Savana (TREE e CROP.100)**

O submodelo savana representa o balanço de C e demais nutrientes em sistemas que agrupam os estratos arbóreos (TREE.100) e herbáceos (CROP.100), em um mesmo ambiente. A diferença fundamental no submodelo savana é a maneira pela qual se obtém a produção total do sistema, que é a soma da produção florestal como um todo. Os submodelos de produção primária possuem parâmetros estabelecidas para a maioria das principais culturas (milho, soja, trigo, sorgo e herbáceas nativas) (CROP.100), florestas (TREE.100) e savanas (TREE e CROP) no mundo (PARTON, 1994). Cada parâmetro do modelo é representado por dezenas de variáveis que integram nas simulações os fatores bióticos e abióticos para caracterizar distintos ecossistemas (METHERELL et al., 1993).

A remoção de cada estrato é realizada de forma independente, assumindo o arquivo TREM.100 para o corte e pastejo misto intensivo das arbóreas, o HARV.100 para retirada das herbáceas, com ou sem o uso do fogo intenso (FIRE.100) e para o pastejo das herbáceas o parâmetro GRAZ.100. A avaliação do parâmetro TREM.100 para fins silvipastoris é fundamental porque o modelo Century não traz um parâmetro pré-estabelecido para herbivoria do componente arbóreo, como acontece para o estrato herbáceo (GRAZ.100).

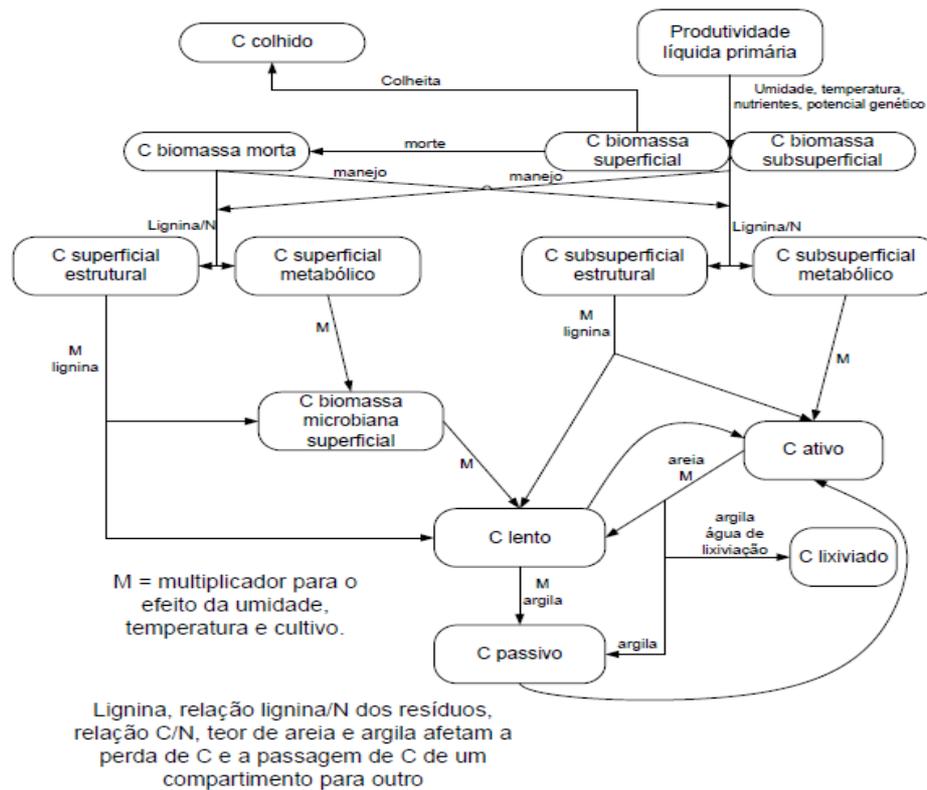
### **Submodelo Matéria Orgânica do Solo (MOS)**

Com a evolução dos métodos experimentais de longo prazo e o desenvolvimento dos modelos de simulação, a pesquisa foi acumulando informações importantes acerca da dinâmica do C no solo e, assim, melhorando o manejo da matéria orgânica do solo (SHAFFER et al., 2001). O conteúdo da matéria orgânica do solo encontra-se relativamente estável em solo sob vegetação natural. No entanto, com a conversão da vegetação nativa em áreas agrícolas, ocorre redução da MOS, especialmente quando se utilizam métodos de preparo que revolvem intensamente o solo e sistemas de culturas com baixa adição de resíduos vegetais (LOVATO, 2001; VEZZANI, 2001). Nesta situação, estabelece-se um processo de degradação das condições químicas, físicas e biológicas do solo, com perda da produtividade das culturas e da qualidade do solo (BAYER e MIELNICZUK, 1999; VEZZANI, 2001).

A MOS é um componente bastante sensível dos ciclos do C e do N total da Terra, às condições ambientais e às mudanças nas práticas de manejo do solo (SILVA et al., 2000). Assim, o uso de modelo de simulação para estimar as mudanças na dinâmica

do carbono orgânico total do solo e dos compartimentos de C tem sido importante. O submodelo da MOS é baseado em múltiplos compartimentos, separados pelo tempo de reciclagem, similar a outros modelos de dinâmica da MOS (VAN VEEN e PAUL, 1981; JENKINSON, 1990). A maior parte dos modelos inclui compartimentos de C de diferentes reatividades, tais como o compartimento ativo ou lábil, com um rápido tempo de ciclagem ( $< 10$  anos), geralmente representado pelo C da biomassa microbiana (PAUL, 1984). O compartimento lento ou intermediário ( $\geq 20$  e  $\leq 40$  anos), que tem sido representado pelo C da fração leve, fisicamente protegidos ou biologicamente resistentes à decomposição (MOTAVALLI et al., 1994), e o compartimento passivo, quimicamente recalcitrante ou também fisicamente protegido ( $> 400$  e  $\leq 2.000$  anos), que pode ser estimado pelas substâncias húmicas (WOOMER et al., 1994; LEITE et al., 2003) (Figura 3).

Equações de primeira ordem são usadas para modelar todos os compartimentos da matéria orgânica, temperatura e umidade do solo. Modificando as taxas de decomposição, a reciclagem do compartimento ativo e a formação do passivo são controladas pelo teor de areia e de argila do solo, respectivamente. Os resíduos vegetais são divididos em compartimentos dependendo dos teores de lignina e nitrogênio. Por meio do modelo, pode-se relacionar matéria orgânica aos níveis de fertilidade e ao manejo atual e futuro, otimizando o entendimento das transformações dos nutrientes em solos de diversos agroecossistemas (PARTON et al., 1987).



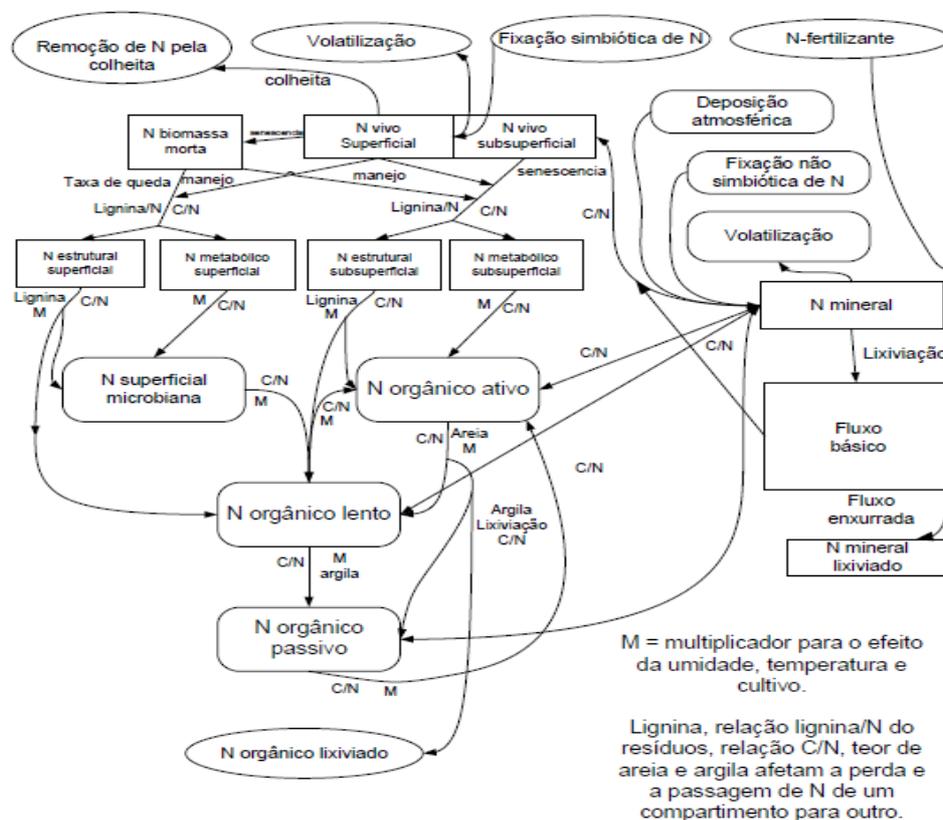
**Figura 3:** Modelo Century v.4.5, sub-modelo do C (PARTON et al., 1987 adaptado por METHEREL et al., 1994).

O submodelo de N (Figura 4) tem a mesma estrutura que o modelo de C no solo. Os fluxos de N são iguais ao produto do fluxo de C de cada variável que recebe o carbono. A relação C:N de estoques estruturais permanece fixo, enquanto o conteúdo de N dos estoques metabólicos podem variar em uma função do teor de entrada de N dos resíduos vegetais. A proporção de C:N da biomassa microbiana superficial recém formada é uma função do teor de N do material a ser decomposto. As razões C:N da matéria orgânica entram em cada um dos três conjuntos de solo que podem variar em funções lineares dependendo da textura e estoque de N mineral. Como o N mineral das camadas superficiais do solo aumenta de 0 a 2 g de N / m<sup>2</sup>, a C:N relação diminui 15-3 para o agrupamento ativo, 20-12 para o estoque lento e de 10 a 7, para a associação passiva. O N associado com C perdido na respiração (30 % a 80 % do fluxo de carbono é respirado) é assumido como sendo mineralizado. Dada a relação C:N das variáveis de estado e a perda da respiração microbiana para cada fluxo, decomposição de resíduos metabólicos, estoques ativos, lento e passivo geralmente resultam em mineralização líquida de N, enquanto a decomposição do resíduo estrutural imobiliza N.

O modelo utiliza equações simples para representar as entradas de N devido à deposição atmosférica e do solo e a fixação simbiótica de N. As entradas atmosféricas

de N (EPNFA(\*), <site>.100) é uma função linear da precipitação anual (PRCANN). O modelo tem a opção (NSNFIX) de cálculo das taxas de fixação do nitrogênio no solo como uma função linear (EPNFS (\*), <site> .100) da precipitação anual. A fixação simbiótica de N na planta (SNFXAC, crop.100) é assumida como ocorrendo somente quando há N mineral insuficiente para satisfazer a exigência da planta, tendo em conta todas as reduções de crescimento possíveis. A fixação simbiótica de N pode ocorrer até um nível máximo em função do nível de C fixo (SNFXMX, crop.100), especificado para cada tipo de cultura e é, portanto, relacionado com a taxa de crescimento da planta.

As perdas de N, devido à lixiviação de  $\text{NO}_3$ , estão relacionados com a textura do solo e da quantidade de água que se move através do perfil do solo. As perdas se acumulam abaixo da última camada de solo (MINERL (NLAYER +1,1)). A perda de N orgânico ocorre com a lixiviação de matéria orgânica. Perdas gasosas de compostos nitrogenados associados à mineralização/nitrificação (VOLGMA), desnitrificação (VOLEXA), volatilização de culturas ou pastagens senescentes (VOLPLA) são calculados. Perdas devido a remoção das culturas, a queima, a transferência de N em excrementos de animais e erosão do solo também são contabilizados.



**Figura 4:** Modelo Century v.4.5, sub-modelo de N (PARTON et al., 1987 adaptado por METHEREL et al., 1994).

## Modelos climáticos

O desenvolvimento de cenários de mudanças climáticas em escala regional é talvez um primeiro passo para a compreensão dos impactos climáticos em condições de aquecimento global, voltados à prestação de informação a ser utilizada para avaliações de vulnerabilidade, e para a concepção de medidas e estratégias de adaptação às alterações climáticas (MARENGO et al., 2011).

Os Modelos Climáticos Regionais (MCR) nada mais são que as informações geradas pelos Modelos Climáticos Globais (MCGA), com um maior detalhamento espacial e temporal das variáveis. A técnica usada para transferência de informação em larga escala, para escalas menores é chamada de “downscaling” (AMBRIZZI et al., 2007).

Segundo Marengo et al. (2011), projeções de mudanças climáticas derivadas do MCR podem ser úteis para estudos sobre os impactos climáticos por causa das melhorias nas projeções MCGA pelo aumento da resolução espacial, permitindo a simulação explícita dos processos de mesoescala e melhorias para a representação de topografia e do uso do solo.

Dentre os impactos e adaptações no sistema agrícola, a gestão de recursos hídricos e as projeções de mudanças climáticas regionais formam a principal componente de sistemas de apoio à decisão que visa reduzir vulnerabilidade.

### *Modelo regional Eta/CPTEC*

O modelo regional Eta/CPTEC, que gera cenários climáticos futuros, foi derivado do modelo Eta, desenvolvido pela Universidade de Belgrado, em parceria com o Instituto Hidrometeorológico da antiga Iugoslávia (MESINGER et al., 1988). Posteriormente, foi operacionalizado pelo *National Centers for Environmental Prediction* – NCEP (BLACK, 1994) e, em 1996, o modelo tornou-se operacional no Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC (CHOU et al., 2011; MARENGO et al., 2011).

O modelo Eta é designado para pesquisa ou uso operacional em meteorologia. Seu nome deriva da letra grega *eta*,  $\eta$ , que denota a coordenada vertical, uma das características do modelo (MESINGER et al., 1984). Segundo Chou et al. (2011) e Marengo et al. (2011), o sistema de coordenada vertical utilizado neste modelo é recomendado para uso na América do Sul, devido à presença da cordilheira dos Andes.

O modelo foi ajustado para realizar integrações de escala de décadas para estudos de mudanças climáticas relacionadas a diferentes níveis de concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico. A condição de contorno lateral e inferior são geradas pelo modelo HadCM3 do Hadley Centre (Eta-HadCM3), com projeções de cenário A1B do IPCC-AR4 e com resolução de 40 km na América do Sul (CHOU et al., 2011).

O cenário A1B (grupo) do IPCC-AR4 faz parte da família do cenário A1 e descreve um futuro de crescimento econômico muito rápido, com a população global atingindo um pico em meados do século. O Grupo A1B apresenta um equilíbrio entre todas as fontes de energia, em que o equilíbrio é definido como não dependendo muito de uma determinada fonte de energia, supondo-se que taxas similares de aperfeiçoamento apliquem-se a todas as tecnologias de oferta de energia e uso final (IPCC, 2007).

#### *Estima T*

Os dados mensais de temperatura do ar (máxima e mínima) foram estimados para as áreas de estudo pelo software Estima T (CAVALCANTI et al., 2006), desenvolvido pela Universidade Federal de Campina Grande para fazer estimativas na região Nordeste do Brasil. Com ele determinaram-se coeficientes da função quadrática para as temperaturas do ar média, máxima e mínima mensal, em função das coordenadas locais de longitude, latitude e altitude de Santa Teresinha, PB e de Serra Negra do Norte, RN.

O modelo Estima\_T foi desenvolvido em linguagem computacional Visual Basic, para ambiente Windows, podendo ser operado em Pentium PC, com 150 MHz ou superior e 32 Mb de memória RAM. A estimativa da temperatura do ar para a Região Nordeste do Brasil foi feita subdividindo-se a região em três áreas: 1: Maranhão e Piauí; 2: Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco, e 3: Alagoas; Sergipe e Bahia. Para cada uma dessas áreas determinaram-se os coeficientes da função quadrática para as temperaturas média, máxima e mínima mensal, em função das coordenadas locais (longitude, latitude e altitude), conforme proposto por Cavalcanti e Silva (1994).

## **CAPÍTULO I**

### **VALIDAÇÃO DO MODELO CENTURY PARA SIMULAÇÃO DA DINÂMICA DO CARBONO E NITROGÊNIO EM ÁREAS DE CAATINGA SOB PLANO DE CORTE**

**RESUMO** - A caatinga, floresta tropical seca nativa da região semiárida do Nordeste do Brasil, ocupava originalmente uma área de quase 1 milhão de km<sup>2</sup>. Devido à retirada de lenha e estabelecimento de campos agrícolas e pastagens, atualmente somente cerca de metade dessa área ainda é coberta pela vegetação arbustivo-arbórea nativa. A investigação dos impactos da retirada de lenha sobre a ciclagem biogeoquímica nesse ecossistema florestal é importante para melhor compreender seu funcionamento. Porém, dados sobre esse tema ainda são escassos em áreas de caatinga, em parte porque demandam atividades de acompanhamento de áreas por longos períodos. O uso de modelos de simulação da ciclagem biogeoquímica pode ser uma ferramenta útil para melhorar a compreensão e auxiliar em práticas de manejos e uso da terra mais compatíveis das características desse ecossistema. O modelo Century tem sido usado em vários ecossistemas, porém o modelo não foi adaptado ainda para simular ecossistemas de florestas tropicais secas, como a caatinga no Nordeste do Brasil. Assim, o objetivo do presente trabalho foi validar o modelo Century para simular os fluxos e estoques de carbono (C) e nitrogênio (N) em áreas de caatinga preservadas e em áreas em regeneração após o corte para extração de lenha. Mais especificamente, foi avaliada a dinâmica dos estoques de C e N na biomassa aérea (folhas, galhos grossos e finos), subterrânea (raízes grossas e finas) e na matéria orgânica do solo. Os dados utilizados para a calibração do modelo foram obtidos em parcelas de campo com vegetação preservada (> 50 anos sem distúrbio severo) e também em áreas em regeneração por 20 anos após o corte, no município de Santa Teresinha, PB. Para a validação foram dados provenientes de parcelas preservadas e outras em regeneração (15 e 18 anos) sob diferentes planos de cortes, em Serra Negra do Norte, RN. Foram avaliados dois tipos de cortes: o corte raso (CR) e o corte com destoca e queima (CDQ). A biomassa arbórea foi estimada por medições do diâmetro a altura do peito (DAP), a 1,3 m do solo. Dessa forma, foi possível simular a produção da biomassa aérea e o comportamento do estoque de C e N do solo sob os diferentes tratamentos. Nas áreas de vegetação nativa preservada os valores simulados dos estoques de C da biomassa arbórea (20,6 Mg ha<sup>-1</sup>), foram semelhantes à média dos valores observados em campo (20,3 Mg ha<sup>-1</sup>). O estoque de carbono orgânico do solo (COS) (30 Mg ha<sup>-1</sup>) e sua relação C:N (11) também foram simulados satisfatoriamente com o Century. Nas áreas em regeneração após o desmatamento para retirada da lenha o modelo também representou bem o acúmulo de C na biomassa florestal e a dinâmica do COS. Portanto, o modelo Century foi capaz de simular a ciclagem de C e N no sistema solo-planta em uma área de vegetação de caatinga na região semiárida do Brasil. Porém, são ainda necessários esforços adicionais para permitir a validação do Century e extrapolações para outras áreas de caatinga na região (com diferentes tipos de solo e de clima).

**Palavras-chave:** Biomassa, matéria orgânica do solo, modelagem, semiárido.

**ABSTRACT** - Caatinga, native tropical dry forest semiarid region of Northeast Brazil, originally occupied an area of nearly 1 million km<sup>2</sup>. Due to the withdrawal of wood and establishment of agricultural fields and pastures, currently only about half of this area is still covered by native tree-shrub vegetation. The investigation of wood removed from the impacts on biogeochemical cycling in forest ecosystem is important to better understand its functioning. However, data on this topic are scarce in areas of caatinga, in part because demand areas of monitoring activities for long periods. Use of simulation models of biogeochemical cycling can be a useful tool to improve understanding and assist in management practices and land use more compatible characteristics of this ecosystem. The Century model has been used in various ecosystems, but the model has not yet been adapted to simulate tropical dry forest ecosystems, such as the caatinga in the Northeast of Brazil. Thus, the aim of this study was to validate the Century model to simulate the flow and carbon stocks (C) and nitrogen (N) in preserved caatinga areas and in areas where regeneration after cutting for firewood extraction. In particular, we evaluated the dynamics of C and N stocks in aboveground biomass (leaves, coarse and fine branches), underground (coarse and fine roots) and soil organic matter. Data used for the calibration of the model were obtained in field plots with preserved vegetation (> 50 years without severe disorder) and also in areas where regeneration for 20 years after cutting, in Santa Teresinha, PB. For the validation data were from preserved parcels and other regenerating (15 and 18) under different plans cuts in Serra Negra do Norte, RN. We evaluated two types of cuts: clearcutting (CR) and the cut with stump removal and burning (CDQ). The tree biomass was estimated by measurements of the diameter at breast height (DBH), 1.3 m aboveground. Thus, it was possible to simulate the production of biomass and the stock behavior of C and N soil under different treatments. In the areas of native vegetation preserved the simulated values of C of tree biomass stocks (20.6 Mg ha<sup>-1</sup>) were similar to the average values observed in the field (20.3 Mg ha<sup>-1</sup>). The stock of soil organic carbon (SOC) (30 Mg ha<sup>-1</sup>) and its C:N (11) were also simulated satisfactorily with the Century model. In areas where regeneration after clearing to remove the firewood the model also well represented the C accumulation in forest biomass and the dynamics of SOC. Therefore, the Century model was able to simulate the cycling of C and N in the soil-plant system in a caatinga vegetation area in the semiarid region of Brazil. However, further efforts are still required to enable the validation of the Century and extrapolation to other areas of caatinga in the region (with different types of soil and climate).

**Keywords:** Biomass, soil organic matter, modeling, semi-arid.

## INTRODUÇÃO

A vegetação de caatinga, floresta tropical seca nativa da região semiárida do Nordeste do Brasil, vem sofrendo uma pressão antrópica crescente, principalmente devido ao corte da vegetação arbórea para retirada de lenha. Essa floresta tropical seca ocupava originalmente uma área de quase 1 milhão de km<sup>2</sup>, mas atualmente somente cerca de metade dessa área ainda é coberta pela vegetação arbustivo-arbórea nativa. A biomassa florestal é uma importante fonte de energia nessa região, seja na forma de lenha ou de carvão, seja no aproveitamento de seus resíduos (COUTO et al., 2000). Porém, o manejo ou o plano de corte da vegetação florestal deve ser baseado em práticas sustentáveis, para garantir a preservação dos recursos naturais ao longo do tempo e, ao mesmo tempo, contribuir na mitigação das emissões de gases de efeito estufa.

Devido à relativamente alta densidade demográfica (~25 habitantes/km<sup>2</sup>) e predominância de pequenas propriedades rurais, há forte pressão sobre os recursos naturais, principalmente sobre a vegetação nativa. Em muitos locais do Bioma Caatinga praticam-se cortes repetidos da vegetação florestal para extração de lenha em ciclos demasiado curtos e que podem afetar negativamente os ecossistemas. A retirada de lenha é comumente seguida do fogo para estabelecimento de campos agrícolas ou pastagens, o que intensifica os impactos sobre a ciclagem de carbono e nutrientes nesses ecossistemas. Fica evidente, portanto, que as práticas de extração de lenha precisam ser melhor estudadas e regulamentadas para garantir a exploração sustentável. A determinação do período necessário entre os cortes que permita a adequada recuperação da vegetação e dos estoques de carbono no solo ainda carece de estudos detalhados. De forma semelhante, o melhor entendimento do funcionamento da dinâmica de C e N nesses ecossistemas também irá melhorar as estimativas das emissões e remoções de gases de efeito estufa nessa região, a qual, por cobrir uma área tão grande, merece maior atenção. Porém, essas são lacunas difíceis de serem preenchidas, uma vez que as atividades de corte florestal compreendem ciclos relativamente longos, muitas vezes na escala de décadas.

Nesse contexto, o uso de modelos de simulação da ciclagem biogeoquímica são ferramentas importantes, pois podem melhorar a compreensão desses ecossistemas e, com isso, subsidiar decisões de forma mais imediata e auxiliar na definição de práticas de uso da terra mais adequadas e sustentáveis (PARTON et al, 1987). Dentre os vários

modelos utilizados para simulação da ciclagem biogeoquímica em ecossistemas terrestres, o modelo Century tem sido utilizado em diversos biomas, tipos de solos e climas (PARTON et al, 1988; METHEREL et al., 1994). As principais variáveis de entrada do modelo Century são: temperatura do ar, precipitação pluviométrica mensal, conteúdo de lignina e teores de N, P e S do material vegetal, textura do solo e teores de C, N, P e S nos diferentes compartimentos do solo (LEITE et al., 2004). Alguns trabalhos foram conduzidos no Brasil em ecossistemas tropicais (CERRI et al., 2003) e subtropicais (LEITE et al., 2004; LOPES et al., 2008; TORNQUIST et al., 2009; BORTOLON et al., 2011;) apresentando boa capacidade para simular os efeitos de diferentes manejos e usos da terra.

Entretanto, o modelo Century ainda não foi adaptado para representar a vegetação de caatinga, a floresta tropical seca nativa da região semiárida do Nordeste do Brasil. Portanto, o objetivo principal do presente trabalho foi de validar o modelo Century, versão 4.5, para simular a dinâmica dos estoques e fluxos de C e N no sistema solo-planta em áreas de vegetação nativa da Caatinga submetida a práticas de cortes, com e sem queima, na região semiárida do NE do Brasil.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### **Caracterização das áreas usada para calibração e validação**

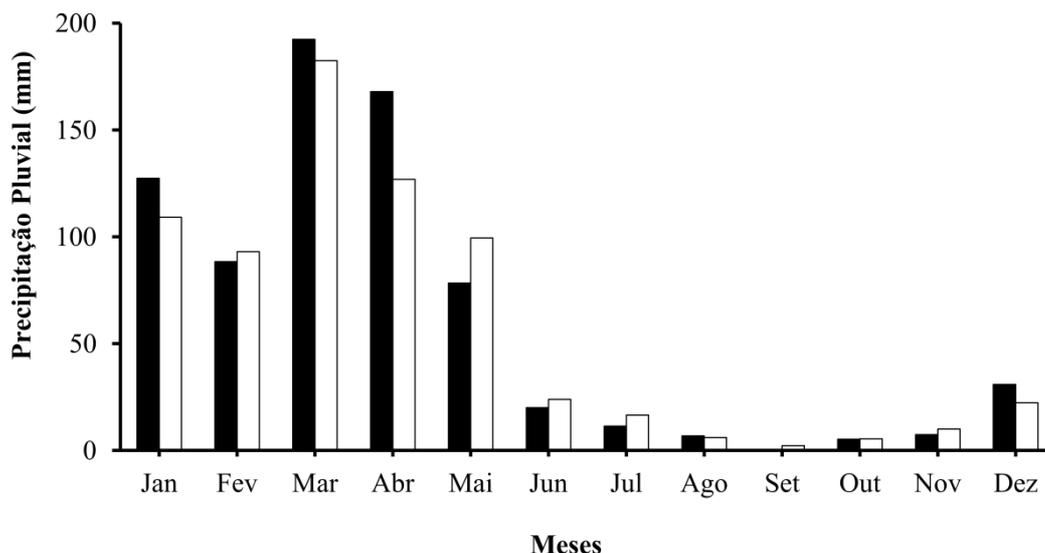
As áreas utilizadas para calibração e validação do modelo Century estão inseridas no semiárido brasileiro. A área escolhida para calibração está inserida na Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) da fazenda Tamanduá (06°59'13" e 07°00'14"S e 37°18'08" e 37°20'38"W), no município de Santa Teresinha, PB. A área para validação se encontra na Estação Ecológica do Seridó (ESEC) (06°35'35"S e 37°14' 19" W), em Serra Negra do Norte, RN, com uma distância entre elas de 70 km e condições edafoclimática semelhantes. O tipo de solo predominante nas áreas é o Neossolo Litólico, relativamente raso, com médias próximas aos 40 cm de profundidade e geralmente com baixa fertilidade, principalmente devido aos baixos níveis de matéria orgânica (EMBRAPA, 2006). E de acordo com o Ministério de Minas e Energia, as áreas experimentais fazem parte da mesma isoietta climática (MME, 2011).

A série histórica da precipitação pluviométrica mensal na área paraibana foi disponibilizada pela Fazenda Tamanduá, para o período de janeiro de 1911 até julho de 2013 (FAZENDA TAMANDUÁ, 2014). Já a série histórica da precipitação mensal da área para validação foi em um período de 11 anos, de 1995 à 2006, os dados foram

disponibilizados pela Associação Plantas do Nordeste (APNE). Dessa forma, na Figura 1 é mostrado a distribuição média mensal da precipitação pluvial apenas nesse intervalo de tempo de 11 anos (1995 a 2006).

Observou-se a semelhança do comportamento, o período chuvoso, em ambas as áreas, apresentaram maiores índices em dois meses do ano, geralmente de março a abril. Mas o acumulado da média anual da precipitação pluviométrica, baseada em mais de 100 anos de observação, foi de  $800 \text{ mm ano}^{-1}$  com alta variabilidade anual, de 238 a 1775 mm na área paraibana. Na região do RN, a média do acumulado anual da precipitação pluvial ficou em torno de  $700 \text{ mm ano}^{-1}$ . Vale destacar que além do período disponibilizado da precipitação pluvial no período do experimento em Serra Negra do Norte, foram adicionados os dados da série histórica de Santa Teresinha de 1911 até o ano de 1994 para complementar a precipitação da região do RN. A evapotranspiração potencial de uma forma geral em áreas de caatinga varia entre 1.600 e 2.000  $\text{mm ano}^{-1}$  (SOUZA et al., 2012).

Os dados mensais de temperatura do ar (máxima e mínima) foram estimados para as áreas de estudo pelo software Estima T (CAVALCANTI et al., 2006), desenvolvido pela Universidade Federal de Campina Grande para fazer estimativas na região Nordeste do Brasil. Com ele determinaram-se os coeficientes da função quadrática para as temperaturas do ar média da máxima e mínima mensal em função das coordenadas locais de longitude, latitude e altitude de Santa Teresinha e de Serra Negra do Norte. As temperaturas das áreas, a média da mínima e máxima anual foi em torno de 19 e 28°C.



**Figura 1.** Distribuição média mensal da precipitação pluvial do período de 1995 a 2006, na RPPN da fazenda Tamanduá, Santa Teresinha, PB (barras negras) e na Estação Ecológica do Seridó, Serra Negra do Norte, RN (barras brancas).

Em ambas vegetação é classificada como Caatinga arbóreo-arbustiva, hiperxerófila, com características próprias, com sua fisionomia caracterizada por árvores de pequeno porte, freqüentemente com altura inferior a 7 m e apresentando distribuição esparsa.

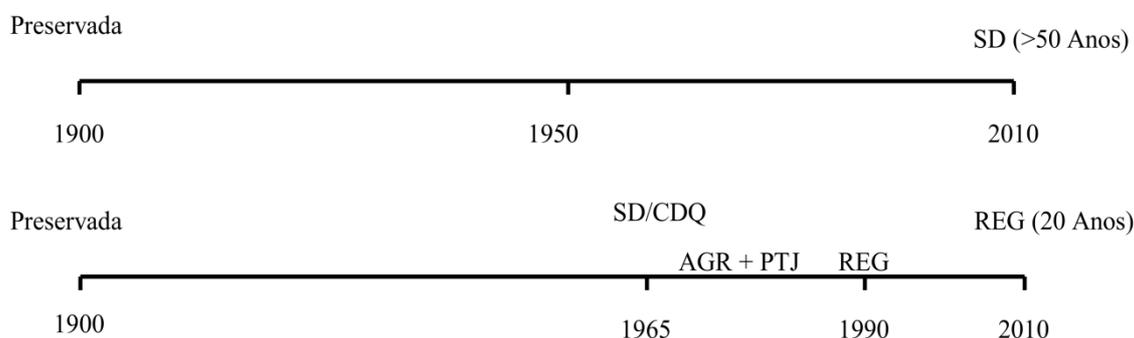
### Calibração do modelo

A área preservada, sem corte raso ou perturbações antrópicas significativas pelo menos nos últimos 50 anos, referida do presente estudo como “Sem Distúrbio” SD (>50 Anos). A segunda área, encontrava-se em processo de regeneração desde 1990, denominada como em “Regeneração há 20 anos” REG (20 Anos) na linha do tempo. Mais detalhadamente, em 1965, áreas sem distúrbios significativos sofreram um corte com destoca e queima dos resíduos vegetais para a plantação de algodão perene. No ano de 1970 o algodão foi substituído pelo capim búffel (*Cenchrus ciliaries*) para uso agropecuário (AGR) tendo que ser aliado ao pastejo (PTJ) até ser abandonada no ano de 1990. Na simulação, foi adotado apenas o evento do sistema agropecuário por representar um período mais longo na área de estudo (Figura 2).

Em cada tratamento foram estabelecidas três parcelas experimentais com 1000 m<sup>2</sup> (50 X 20m), foi quantificado o estoque de biomassa de lenha através de equações alométricas. Para isso, foi medido o DAP (diâmetro na altura do peito a 1,3 m do solo) de todas as plantas de espécies arbóreas com DAP  $\geq$  3cm (SAMPAIO e SILVA, 2005):

$$\text{Biomassa (Kg)} = 0,173 \text{ DAP(cm)}^{2,295}$$

Em geral, nos cálculos de estoque de C tem sido adotada a proporção de 50% (IPCC, 2003), mas há registros de 45 a 50% (CHAZDON, 2012), portanto, adotou-se o valor base de 45% no presente trabalho. Para a estimativa da alocação de C na biomassa arborea aérea na vegetação caatinga, assumiram-se as proporções de 2-5% para as folhas (REGINA, 2000; SOARES e OLIVEIRA, 2002; SALIS et al., 2006), 70-80% para os galhos grossos e 10-20% para os galhos finos (SAMPAIO e SILVA, 2005).



**Figura 2.** Cronossequência da cobertura e uso do solo nas áreas de Caatinga em Santa Teresinha, PB utilizadas para a calibração do modelo Century para simulação da ciclagem de C e N.

SD\* (Sem distúrbio), CDQ\* (Corte, destoca e queima), AGR\* (Agricultura), PTJ\* (Pastejo) e REG\* (Regeneração).

Freitas et al. (2012) conduziram experimentos na área paraibana do presente estudo e quantificaram a biomassa do estrato herbáceo e sua fixação biológica de N (FBN), como também a textura, o pH e os teores de C e N do solo na camada de 0-20 cm de profundidade (Tabela 1).

**Tabela 1.** Característica do solo na camada 0-20cm em áreas sob vegetação de caatinga, no município de Santa Teresinha, PB.

Tratamento	C	N	Areia	Silte	Argila	pH	Densidade
	-----g kg <sup>-1</sup> -----					Água	Mg m <sup>-3</sup>
REG (20 anos)	8,61	0,78	645	117	239	5,94	1,34
SD (>50 anos)	11,60	1,06	648	123	229	6,41	1,37

Os estoques de C em 20cm de profundidade, calculados pela expressão (VELDKAMP, 1994):

Est C = (CO x Ds x e)/10, em que:

Est C = estoque de C orgânico em determinada profundidade (Mg.ha<sup>-1</sup>);

CO = teor de C orgânico total na profundidade amostrada (g.kg<sup>-1</sup>);

Ds = densidade do solo da profundidade (kg.dm<sup>-3</sup>);

e = espessura da camada considerada (cm).

Antes do processo de calibração, o primeiro passo foi a criação do arquivo do local de estudo (SITE.100), onde são inseridos os dados que descrevem as características edafoclimáticas do local a ser simulado. Para isso, foram inseridos os dados de entrada dos atributos do solo, como densidade, pH e textura, como também os dados das médias mensais do clima. Em seguida, é executado a primeira simulação para avaliar a estabilização dos valores de C dos principais compartimentos da MOS e da vegetação nativa. A execução do equilíbrio é atingido quando os estoques de C na biomassa vegetal e na MOS assumem valores relativamente estáveis ao longo do tempo devido ao balanço equivalente de entradas através da fotossíntese e deposição da serapilheira e a perda de C do solo e da vegetação na forma de CO<sub>2</sub>.

Após a etapa da estabilização de C nos compartimentos solo-planta, iniciou o processo de calibração do modelo para as condições e período de interesse do estudo. Nessa etapa, os processos são representados através do uso dos arquivos ".100". Com a identificação dos parâmetros estabelecidos que representam o tipo de vegetação (TREE.100 e CROP.100) e os manejos (TREM.100 e FIRE.100) do presente trabalho para simular os primeiros cenários. O parâmetro TREM.100 que representa a retirada da biomassa arbórea para determinar distúrbios antrópicos com ou sem o uso do fogo (FIRE.100) (METHERELL et al.,1993).

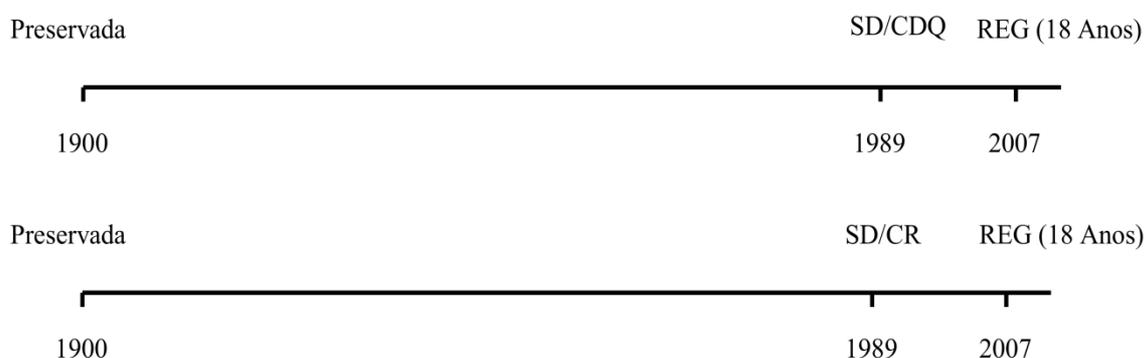
Os submodelos de produção primária possuem parâmetros pré-estabelecidos para a maioria das principais culturas (milho, soja, trigo, sorgo e herbáceas nativas) (CROP.100), florestas (TREE.100) e savanas (TREE.100 e CROP.100) ao redor do mundo (PARTON, 1994). No presente trabalho, foi utilizado o submodelo savana para simular a vegetação nativa do semiárido brasileiro pelo uso da vegetação arbórea (TREE.100) e herbácea (CROP.100) integrado no mesmo ambiente, que é adotado para representar o balanço de C e demais nutrientes em sistemas com os dois estratos funcionais de vegetação.

O modelo Century é composto por três programas principais, que se relacionam para gerar as simulações: File100, Event100 e o modelo propriamente dito, o programa Century. O programa faz a conexão entre os parâmetros definidos no File100 com os

eventos agendados no Event100 para calcular os estoques e fluxos de C e nutrientes no tempo requerido. Todo o processo da simulação pode ser representado pelo clima real por meio do arquivo clima (.WTH).

### Processo de validação do modelo

Os dados utilizados no presente estudo foram obtidos por técnicos da Associação Plantas do Nordeste (APNE), que vem conduzindo há várias décadas o monitoramento da produção de lenha em parcelas de campo. Mais especificamente, no ano de 1989 a APNE deu início a um experimento com diferentes tipos de cortes da vegetação caatinga, aliados ou não ao pastoreio, para avaliar o tempo de regeneração do estoque de lenha da Caatinga naquelas condições. No presente trabalho, foram considerados dois tipos de cortes para retirada de lenha sem o uso do pastoreio: 1) corte com destoca seguido da queima dos resíduos (CDQ); e 2) corte raso (CR). Após o período de regeneração (15 e 18 anos), em cada parcela foi quantificado o estoque de biomassa de lenha através de equações alométricas (Figura 3). Cada tratamento foi aplicado em parcelas com 1.600 m<sup>2</sup> (40x40m), as parcelas que receberam o corte com destoca e queima (CDQ) foram representadas por quatro repetições e três nas parcelas de corte raso (CR).



**Figura 3.** Cronossequência cobertura e uso do solo nas áreas de Serra Negra do Norte, RN utilizadas para a validação do modelo Century para simulação da ciclagem de C e N em vegetação de caatinga.

SD<sup>†</sup> (Sem distúrbio), CDQ<sup>‡</sup> (Corte, destoca e queima), CR<sup>§</sup> (Corte raso) e REG<sup>¶</sup> (Regeneração).

Esta etapa incluiu dados independentes daqueles empregados na parametrização do modelo para calibração. As mudanças realizadas nessa etapa compreenderam apenas às variáveis do parâmetro do sitio-específico (SITE.100) para representar as características edafoclimáticas da área em Serra Negra do Norte, RN. Na tabela 2 é mostrado as características do solo na camada até 20cm nas áreas de estudo.

**Tabela 2.** Características do solo na camada 0-20 cm em áreas sob vegetação de caatinga em regeneração 21 anos após o corte raso (CR) ou corte, destoca e queima (CDQ) em Serra Negra, RN.

Tratamento	C	Areia	Silte	Argila	Densidade
		-----g kg <sup>-1</sup> -----			Mg m <sup>-3</sup>
Preservada	10,65	673	135	192	1,41
CR	8,57	675	147	178	1,45
CDQ	9	712	115	173	1,47

Na avaliação dos resultados simulados pelo modelo Century em relação aos valores medidos em campo, realizou-se o teste estatístico por meio da planilha excel MODEVAL 2.0. A acurácia das simulações foi avaliada pelas análises estatísticas de *lack of fit* (LOFIT) e raiz quadrada do erro médio (RMSE), conforme recomendado Smith et al. (1997).

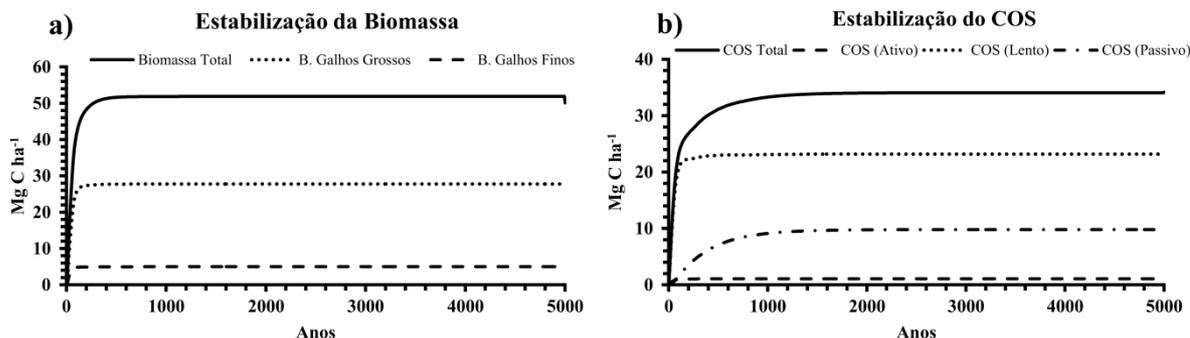
### **Análise de sensibilidade**

A análise de sensibilidade consistiu na mudança de  $\pm 10\%$  nos valores de algumas variáveis de entrada para avaliar a sensibilidade das variáveis de saída do modelo Century a essas mudanças. Foi dada ênfase aos parâmetros relacionados à biomassa aérea da vegetação e à MOS. Como exemplo dessas variáveis pode ser citada a variável PRDX (2) do parâmetro TREE.100, relacionada à produção potencial mensal da biomassa arbórea. Em relação a MOS, foi realizada a análise das variáveis DEC (taxa de decomposição máxima) e VARAT (relação C:N máxima e mínima) inseridas no parâmetro FIX.100.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **Execução de equilíbrio do modelo e calibração da vegetação nativa da Caatinga**

Na execução do equilíbrio dos estoques de C na vegetação arbórea e nos compartimentos do solo, a estabilização foi antes de 1.800 anos após a inicialização do modelo no semiárido paraibano (Figura 4 a-b).



**Figura 4.** Simulação de equilíbrio do modelo Century ao longo de 5.000 anos para estabilização: a) Carbono da biomassa aérea da vegetação arbórea; e b) das frações do carbono orgânico do solo (COS) (total, ativo, lento e passivo), no município de Santa Teresinha, PB.

Na maioria dos ecossistemas, o conteúdo da MOS encontra-se relativamente estável quando a vegetação natural está madura. No entanto, com a conversão da vegetação nativa em áreas agrícolas e as constantes retiradas de lenha, na maioria das situações ocorre redução da MOS (LOVATO, 2001; VEZZANI, 2001). Neste contexto, a serapilheira depositada sobre o solo das florestas tem papel fundamental na dinâmica desses ecossistemas, fornecendo bases para um manejo adequado solo-planta e para a avaliação de impactos decorrentes da atividade antrópica (CÉSAR, 1991). Dessa forma, o processo de calibração teve início nas áreas maduras para, posteriormente, serem avaliados os fluxos e estoques de C e N nas áreas em regeneração.

Um importante passo da calibração é iniciar a parametrização das entradas de N no sistema. A variável SNFXMX (2) avalia a entrada de N por meio da fixação biológica (FBN) pelo componente arbóreo florestal, que foi ajustada com base nos dados de SOUZA et al. (2012). Já, a variável SNFXMX (1) (CROP.100) corresponde à FBN do estrato herbáceo, foi ajustada de acordo com os dados de FREITAS et al. (2012). Apesar do modelo Century apresentar variáveis relacionadas a FBN, o modelo apresenta suas limitações em não tratar e quantificar as espécies fixadoras de N.

Além dessas entradas de N no modelo foram modificados as variáveis relacionadas à fixação não biológica e deposição atmosférica (EPNFN (1) e (2)) (SITE.100), que foram ajustadas conforme os dados apresentados (Tabela 3). Assumimos o valor observado local de 2 Kg N ha<sup>-1</sup> para à fixação não biológica de acordo com as estimativas em que o aporte total varia entre 1 a 5 Kg N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (BORING et al., 1988; CUSHON e FELLER, 1989; JEFFRIES et al., 1992). A deposição atmosférica, o valor observado foi adotado ao encontrado no semiárido paraibano por MARIN e MENEZES (2008).

**Tabela 3.** Entradas de N em área de vegetação nativa da Caatinga preservada, Santa Teresinha, PB.

Entradas de Nitrogênio	Observado	Simulado	Erro
	-----Kg N ha <sup>-1</sup> -----		%
Fixação não biológica	2	2	0%
Deposição atmosférica	5	5	0%
Fixação biológica herbácea	2,2	2,2	0%
Fixação biológica arbórea	6	6	0%
Total	15,2	15,2	0%

Com todas as entradas de N ajustadas, o processo de calibração do C na vegetação teve início através dos parâmetros no arquivo TREE.100, que controla o funcionamento da vegetação arbórea. As variáveis que se mostraram mais sensíveis para simulação das arbóreas na área do presente estudo foram PRDX (2), DECW (1, 2 e 3), MAXLAI e KLAI. A variável da produção potencial mensal da biomassa aérea das arbóreas (PRDX (2)) vem com seu valor original de 0,5. Contudo, o valor para simular a vegetação arbustiva-arbórea hiperxerófila da Caatinga ajustou-se melhor aos dados observados quando fixado em 0,2. Por outro lado, foram aumentados as taxas de decomposição dos galhos e raízes (finos e grossos) (DEC'S), cujos efeitos são controlados por vários fatores, uns dos principais pelas condições de temperatura e umidade (PARTON et al., 1987).

Estudos têm comprovado que algumas atividades relacionadas com a dinâmica dos ecossistemas do semiárido se dão em formas de “pulsos”, seja de chuvas, reservas de água no solo e produção primária da vegetação (NOY-MEIR, 1973). Do ponto de vista climático é caracterizada por um déficit hídrico acentuado, altas taxas de insolação e evapotranspiração. Juntamente com os parâmetros climáticos, a vegetação assume papel preponderante na caracterização do Bioma Caatinga. As árvores presentes nas florestas secas tropicais apresentam características peculiares que devem ser levadas em considerações, como a grande capacidade de rebrota de raízes e do tronco após o corte ou morte do caule, acarretando a ocorrência de árvores bifurcadas com vários fustes e galhos (SAMPAIO et al., 2010).

Diante disso, os ajustes das variáveis para calibração do C da vegetação preservada foram de acordo com o balanço entre os anos em que foram feitas as medidas de estoque de biomassa (2007 e 2010). Na tabela 4 é mostrada a média entre os anos dos valores observados e simulados dos estoques de C em cada fração do componente arbóreo aéreo (folhas, galhos finos e grossos) e subterrâneo (raízes finas e grossas).

**Tabela 4.** Estoque de C da parte aérea e subterrânea do componente arbóreo da vegetação madura da Caatinga, em Santa Teresinha, PB.

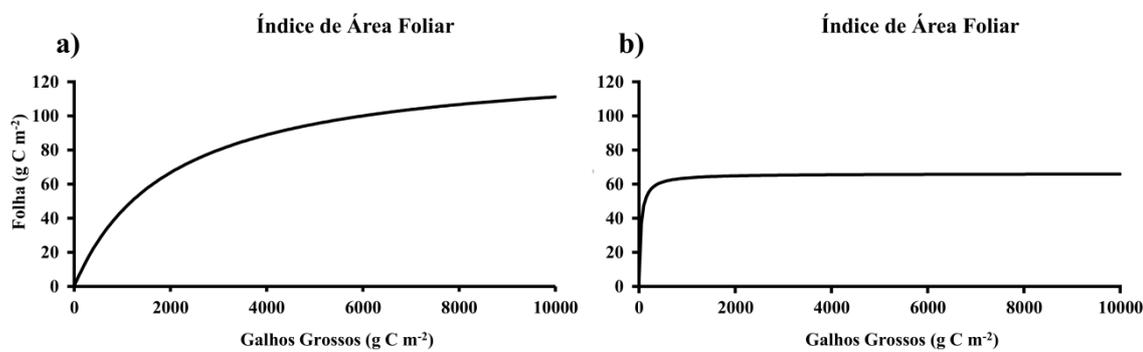
Fração Planta	Observado	Simulado	Erro
	-----Mg C ha <sup>-1</sup> -----		%
Folha	0,69	0,69	0%
Galhos finos	3,30	3,29	0%
Galhos grossos	18,00	18,02	0%
Raízes	14,27	14,27	0%
Estoque total	36,26	36,28	0%

Com a calibração da vegetação nativa preservada definida, seguimos com as simulações de remoção do estrato arbóreo (TREM.100) de acordo ao observado em campo. Dessa forma, foi criado o histórico do uso da terra no arquivo do modelo Century, EVENT.100, para a simulação representar o evento observado ao longo dos anos. Verificou-se que o comportamento da vegetação arbórea após os cortes, a produção da biomassa não se regenerava em uma escala de tempo medido em campo. Portanto, foi necessário avaliar o motivo da limitação na fase inicial da regeneração florestal para ajustar o comportamento do simulado com o observado em campo. A dinâmica da acumulação de fitomassa para a maioria das diferentes espécies da Caatinga é pouco conhecida. Sabe-se que as diferenças nas características funcionais de cada área dependem em grande parte do *status* sucessional e histórico de perturbações antrópicas, além de outros fatores importantes, como o clima (DIRZO et al. 2011).

No parâmetro que representa o estrato arbóreo (TREE.100), há uma variável denominada KLAJ que condiciona a relação entre o índice máximo da área foliar com a metade da produção de biomassa de galhos grossos. Ou seja, quando o índice máximo da área foliar é alcançado, a metade da produção dos galhos grossos é obtido. Observou-se que na medida que o valor original (2.000) diminuía, a produção dos galhos grossos das arbóreas era antecipado para os primeiros anos de regeneração. Esse valor no início da calibração já tinha sido diminuído em um valor bem inferior (300) ao original (2.000). Dessa forma, os ajustes para a simulação alcançar o valor da sua biomassa observada nos primeiros anos de regeneração após os distintos cortes para representar a realidade da fitofisionomia específica de vegetação hiperxerófila, o valor da variável ficou em 39,6.

Com isso, o comportamento da regeneração natural da vegetação caatinga só foi possível depois desses ajustes para representar o alcance do índice máximo da área foliar e o acúmulo da metade da biomassa de galhos grossos em um espaço de tempo mais curto. Segundo Dieckow et al. (2005), o estoque de C está diretamente relacionado

com a quantidade de resíduos produzidos pelo sistema. Na Figura 5 (a) é mostrado que a produção máxima da área foliar de  $12 \text{ Mg C ha}^{-1}$  (o valor do gráfico está em  $\text{g C m}^{-2}$ ), é alcançada quando os galhos grossos atingem a metade do seu valor ( $100 \text{ Mg C ha}^{-1}$ , equivalente aos  $10.000 \text{ g C m}^{-2}$ ), ou seja, valor bem superior ao índice máximo da área foliar de  $7 \text{ Mg C ha}^{-1}$ , encontrado da vegetação caatinga que está sendo simulado. O ajuste foi justamente para a metade da biomassa dos galhos grossos ( $10 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ) ser alcançado de acordo com o observado (Figura 5 b). Portanto, após os cortes (CDQ e CR), a simulação do acúmulo de C na biomassa aérea das arbóreas da vegetação nativa foi compatível com os dados observados em campo no intervalo de tempo considerado.

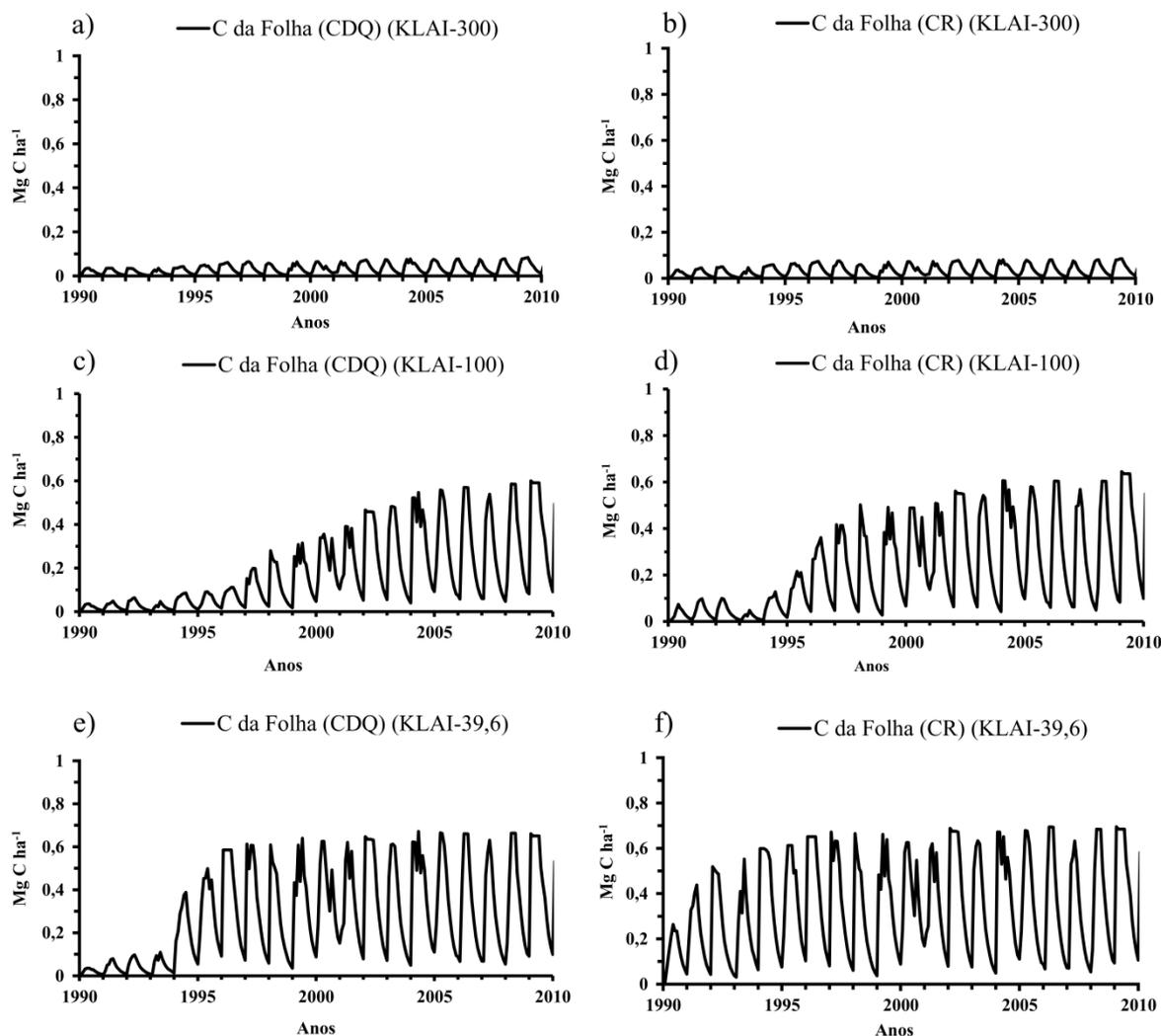


**Figura 5.** Dinâmica do crescimento dos galhos grossos em relação à produção de folhas: a) no sub-modelo florestal (DEFAULT) do modelo Century (PARTON et al., 1987); e b) no sub-modelo florestal (Caatinga).

Para melhor entendimento, foi avaliada o índice máximo da área foliar para cada tipo de corte (CDQ e CR), com distintos valores da variável KLAI (300; 100 e 39,6) para verificar o comportamento da produção da fase inicial da vegetação nativa do componente arbóreo (Figura 5-a:b; c:d; e:f). Especificamente, na figura 5 (a:b) é mostrado o comportamento do índice máximo foliar para os respectivos tipos de corte (CDQ e CR) com o valor da variável KLAI em 300. Observa-se que a produção foliar ao longo de 20 anos não alcança seu índice máximo próximo de  $0,7 \text{ Mg C ha}^{-1}$ , equivalente a  $1,45 \text{ Mg ha}^{-1}$  de biomassa foliar, e conseqüentemente, a metade da biomassa dos galhos grossos também não é atingido de acordo com o observado.

Em seguida, a Figura 6 (c:d) mostra com o valor de 100 na variável (KLAI), a produção da biomassa foliar atingiu seu índice máximo em um espaço de tempo menor, mas não suficiente para representar a tipologia da vegetação do presente trabalho. Já na Figura 6 (e:f), com valor estabelecido no trabalho de 39,6, a regeneração natural ficou compatível ao observado em campo para cada tipo de corte. Dessa forma, o valor foi

estabelecido para variável (KLAI) fornecer a ciclagem de C e nutrientes antecipada em relação aos demais valores (100 e 300). Todo esse exercício foi necessário para entender a curva da ascensão na regeneração da vegetação nativa de Caatinga após os tipos de corte. É interessante observar que na simulação da regeneração após o corte, com a retirada das raízes e a queima dos resíduos (CDQ) (Figura 6e), a simulação da regeneração inicial se comportou bem mais lenta quando comparado ao corte raso devido ao estabelecimento das raízes e em seguida a formação da parte aérea (Figura 6f).



**Figura 6.** Comportamento do índice máximo da área foliar para os respectivos tipos de corte (CDQ e CR) com o valor da variável KLAJ em 300 (a:b), 100 (c:d) e 39,6 (e:f) no município de Santa Teresinha, PB.

Após os ajustes para calibração da vegetação arbórea em regeneração natural com os diferentes tipos de cortes, foi aplicado o histórico da área de 20 anos de regeneração para observar os fluxos e estoques de C e N nas áreas de Santa Teresinha, PB. As entradas de N nas áreas jovens correspondentes à fixação não biológica e à deposição atmosférica foram semelhantes às encontradas na vegetação preservada (Tabela 5). Contudo, houve diferença entre o simulado e observado da fixação biológica de N (FBN) do estrato arbóreo. Souza et al. (2012) não constataram FBN na vegetação arbórea em recuperação e relataram que o resultado foi contrário à sua hipótese.

No presente trabalho, optou-se utilizar o valor de FBN simulado pelo modelo de 7,04 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> por não comprometer as demais variáveis já calibradas e simulando de forma satisfatória pelo modelo, por exemplo, relação C:N do solo e os estoques de C no sistema. Estudos já relataram que a remoção da cobertura florestal interrompe o

fluxo de nutrientes entre a serapilheira e o componente vegetal vivo, tornando o N um dos elementos mais limitantes para a regeneração natural (VITOUSEK e HOWARTH, 1991). Como a disponibilidade de N atua como um importante mecanismo no processo de sucessão natural, espécies como as leguminosas arbóreas, mostram-se como uma fonte primária de N capaz de permitir a recolonização vegetal e o aumento da biodiversidade (SIDDIQUE et al., 2008), contribuindo na recuperação do solo (NARDOTO et al., 2008) e atuando como agente formador e estabilizador da MOS (LAVELLE, 2000).

Cleveland et al. (1999) estimaram que a FBN para florestas xeromórficas brasileiras deve ser da mesma ordem de magnitude das florestas tropicais decíduas (entre 7,5 e 17,6 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>), considerando uma composição florística semelhante. Por outro lado, Freitas et al. (2010) estimaram que florestas secas em processo sucessional poderiam alcançar uma FBN em torno de 130 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

**Tabela 5.** Entradas de N em área de vegetação nativa da Caatinga jovem, Santa Teresinha, PB.

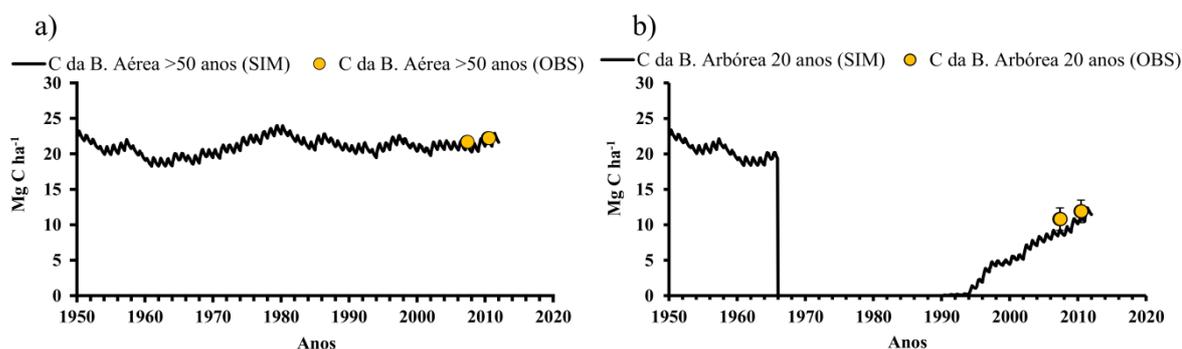
<b>Entradas de Nitrogênio</b>	Observado	Simulado	Erro
	-----Kg N ha <sup>-1</sup> -----		%
Fixação não biológica	2	2,16	8%
Deposição atmosférica	5	5,37	7%
Fixação biológica herbácea	0,22	0,22	0%
Fixação biológica arbórea	0,00	7,04	-
Fixação total	7,22	14,8	103%

Já na simulação do fluxo de C nas áreas jovens, subestimou o valor observado (Tabela 6). Possivelmente, um dos motivos pode ser a intensidade do uso do solo com o pasto antes do abandono da área em 1990. O histórico da área relata o uso da terra com algodão herbáceo ao longo de 5 anos após o corte, destoca e queima da vegetação nativa. No presente trabalho foi utilizado apenas o uso do pasto com ação intensiva do pastoreio devido ao maior período de uso (20 anos). Essa decisão seguiu a proposta de Bortolon e colaboradores (2011), simulando os eventos com maiores práticas ao longo dos anos. Os padrões de colonização e dominância de espécies após o abandono da terra afetam seriamente as mudanças sucessionais em termos de estrutura e composição da vegetação. Os estoques de C na vegetação e no solo dependem muito das formas de manejo da área (FELDPAUSCH et al. 2007; CHAZDON, 2008; DON et al., 2011).

**Tabela 6.** Estoque de C observados na biomassa aérea e subterrânea do componente arbóreo da vegetação jovem da Caatinga entre os anos de 2007 e 2010, em Santa Teresinha, PB e simulados pelo modelo Century.

Fração Planta	Observado	Simulado	Erro
	-----Mg C ha <sup>-1</sup> -----		%
Folha	0,65	0,65	0%
Galhos finos	2,44	2,24	8%
Galhos grossos	7,99	7,63	5%
Raízes	2,53	2,45	3%
Estoque total	13,61	12,97	4,7%

Após a parametrização das variáveis para calibração das áreas representativas (preservada e em regeneração), verificou-se a dinâmica do acúmulo de C na biomassa aérea da vegetação arbórea preservada que houve a intervenção do corte e do uso agropecuária da terra no município de Santa Teresinha, PB (Figura 7 a:b). No ano de 1990 a área foi abandonada, onde se encontra em processo de regeneração natural. Dessa forma, avaliou-se a simulação da vegetação arbórea nessas áreas em regeneração após seu uso agropecuário por 25 anos, e, que, por sua vez, o modelo subestimou o observado. O modelo pode ter intensificado ainda mais o uso do solo da prática agropecuária ao longo dos anos. Na figura 7 (b) pode-se observar o acúmulo discreto inicial de C ao longo dos primeiros 4 anos de regeneração, a partir do ano de 1990. Esse comportamento representa o período da formação radicular até o acúmulo mais expressivo dos galhos grossos da regeneração natural.



**Figura 7.** Estoque de C da biomassa arbórea aérea em Santa Teresinha, PB: a) vegetação preservada (>50 anos); e b) vegetação em regeneração há 20 anos.

Em 2007, o valor da biomassa aérea arbórea da área preservada teve uma diferença de 1,55% entre o valor simulado (21,35 Mg C ha<sup>-1</sup>) e o observado (21,7 Mg C ha<sup>-1</sup>). Na área jovem, o estoque de C em 18 anos de regeneração pela simulação ficou em torno de 9,5 e o observado com 11 Mg C ha<sup>-1</sup>, apresentando uma diferença de 14%.

Os acúmulos de C anual simulado e observado foram próximos, com 0,55 e 0,63 Mg C ha<sup>-1</sup>. Em 2010, a diferença entre os valores simulados e observados foi menor. Na área com a vegetação preservada, o estoque de C simulado foi de 22,15 Mg ha<sup>-1</sup>, o que representou uma diferença menor que 1% do valor observado (22,25 Mg C ha<sup>-1</sup>). Nas áreas jovens, a diferença entre o simulado e observado ficou em 5,35%, com o valor simulado de 11,25 e o observado de 12 Mg C ha<sup>-1</sup>. O acúmulo de C anual do simulado e observado foram de 0,56 e de 0,6 Mg C ha<sup>-1</sup> ao longo de 20 anos de regeneração.

### **Calibração da dinâmica da vegetação herbácea**

Quantidade crescente de estudos voltados ao conhecimento do estrato herbácea revela a diversificada flora vegetal desse ecossistema e essa diversidade de plantas sofrem a influência das condições ambientais do sítio no qual a comunidade vegetal está inserida e as constantes variações do regime climático nos diversos tipos vegetacionais da Caatinga, o que pode provocar mudanças que afetam a estrutura e moldam as relações entre as ervas e os demais componentes vegetacionais (SILVA, 2009; LIMA, 2011). Porém, observa-se ainda carência de informações sobre dinâmica de populações, processos de sucessão ecológica, regeneração natural e efeitos das variações sazonais.

Em áreas semiáridas, o sombreamento arbóreo parece provocar alterações das condições microclimáticas abaixo de sua copa, promovendo a redução da evaporação e o aumento da umidade e da fertilidade do solo. Por outro lado, em experimentos de campo Belay e Moe (2012) estudaram o efeito das interações entre espécies vegetais em uma área invadida por espécies arbóreas na região semiárida da Etiópia e concluíram que a competição por recursos entre árvores e ervas afeta a estrutura da comunidade, com impacto negativo para as ervas nativas, que podem até desaparecer da paisagem local. Isto porque, segundo os autores, em ambientes semiáridos, a competição pelos mesmos recursos, como água, tende a ser mais intensa, resultando na mortalidade das espécies mais sensíveis a escassez deste recursos.

Freitas e colaboradores (2012), observaram que a maior biomassa herbácea foi produzido no pasto recentemente abandonado, que ainda foi dominado por vegetação herbácea. Em áreas com períodos mais longo de regeneração, que foram cobertos por estrato arbustivo-arbóreo, a produção de biomassa herbácea parecia estabilizar em cerca de metade do nível observado nas parcelas de pasto que foram recentemente abandonadas. No estrato herbáceo nas áreas preservadas e em regeneração há 20 anos, os estoques de biomassa ficaram em torno de 3,35 e 3,95 Mg ha<sup>-1</sup>. Considerando 45%

em C, as áreas apresentaram estoques de 1,5 e de 1,75 Mg C ha<sup>-1</sup>, respectivamente. A diferença entre os valores simulados e observados ficaram em torno de 1% e 3%.

A dinâmica de competição em áreas com diferentes graus de perturbação e entre anos são importantes para o conhecimento dos mecanismos que regem essas interações e ajudam a melhorar a nossa capacidade de prever os impactos causados pelas atividades antrópicas. Foi constatado que a sazonalidade climática e o regime de distribuição das chuvas são os fatores com maior influência na dinâmica e na estrutura de populações e comunidades herbáceas (MAESTRE e CORTINA 2002).

O estrato herbáceo é conduzido no modelo Century pelo parâmetro CROP.100. Devido às diferenças nas condições ambientais e em sua composição de espécies entre as áreas preservadas e as de regeneração, foram criados dois tipos de vegetação herbácea. No ambiente preservado, onde apresenta árvores com a copa mais fechada, ocorre limitação do desenvolvimento do estrato herbáceo devido à maior competição por recursos como a água e a luz, por exemplo. Nas áreas em regeneração, o estrato herbáceo apresenta um desenvolvimento típico de campo aberto, com menos competição por luz, água e nutrientes, acumulando mais biomassa em seu crescimento.

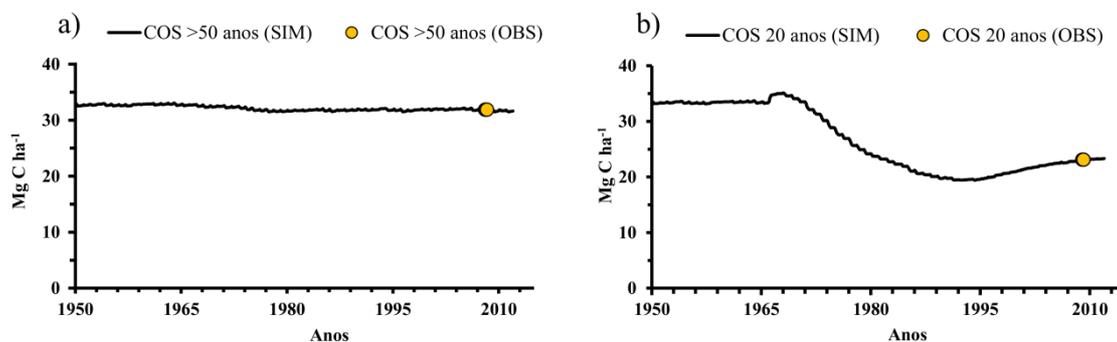
As principais variáveis no arquivo CROP.100 na parametrização foram o PRDX (1) e o RDR. A variável de entrada de N pelo componente herbáceo também foi ajustada. A variável PRDX (1) corresponde à produção potencial mensal da cultura e o RDR é relacionado à taxa máxima mensal de morte de raízes em solos secos, em relação à FBN das herbáceas. A variável SNFXMX (1) corresponde à máxima FBN. Por não ter sido possível validar a simulação dos estoques e fluxos de C no estrato herbáceo, por falta de dados no RN, utilizaram-se os mesmos parâmetros usados na calibração para simulação dos fluxos de C e N do estrato herbáceo nativo na área de Serra Negra do Norte, RN.

Em relação ao cultivo da pastagem, houve uma calibração prévia para representar uma biomassa próxima às médias da produção do capim búffel na região paraibana. Segundo Ayerza (1995) essa produtividade sem irrigação varia de acordo com às condições edafoclimáticas, indo de 2 a 4 Mg ha<sup>-1</sup> com pouca chuva, e até 12 Mg ha<sup>-1</sup> com alta pluviosidade. Foi adotada uma produtividade de 3,5 Mg ha<sup>-1</sup> devido às condições de baixa pluviosidade da região.

## Carbono Orgânico do Solo (COS)

Para estimativas do fluxo e estoque de C e N do solo, o parâmetro FIX.100 contém as equações referentes aos atributos da MOS, tais como as taxas de decomposição, relações C:N, fluxos entre os diferentes compartimentos (ativo, lento e passivo), frações de N perdidas por volatilização e lixiviação, efeito da fração argila sobre o fluxo de MOS, dentre outros. Para obter um melhor ajuste do solo, houve modificações nas variáveis DEC (taxa de decomposição máxima) e VARAT (relação C:N máxima e mínima).

As simulações do COS com essas modificações foram satisfatórias entre os valores simulados e medidos em campo. Na Figura 8 (a) representando as áreas preservadas (>50 Anos sem distúrbios severos) e ao aplicar o corte seguido da queima e mudança de uso do solo foi observada que o modelo simulou satisfatoriamente as áreas observadas com 20 anos de regeneração (Figura 8 b), representando bem o efeito da ação antrópica. Verificou-se um aumento inicial do COS devido à decomposição das raízes e o uso do fogo e diminuição posterior ao longo do tempo devido ao uso da terra com recuperação a partir do ano de abandono (1990).



**Figura 8.** Estoque de C no solo: a) na área de vegetação preservada (> 50 anos); e b) na área com vegetação regenerando há 20 anos, no município de Santa Teresinha, PB.

Com o estoque de C total em torno de 32 Mg ha<sup>-1</sup>, o modelo simulou as frações do solo (ativo, lento e passivo) em 3, 67 e 30% do COS da área preservada. A relação C:N em 11 está de acordo com os dados de Freitas et al. (2012). Após aplicação do corte com destoca e queima, e o abandono da área em 1990, o estoque do COS em 2010, ficou em 23 Mg ha<sup>-1</sup>. Na simulação das áreas jovens, as frações do C ativo, lento e passivo ficaram em 3, 54 e 43% do COS. Porém, a relação C:N nessa área em regeneração (9,3) foi 15% menor do que o observado por Freitas et al. (2012).

A agricultura itinerante é considerada econômica em termos de trabalho e ecológica em termos de manutenção da fertilidade do meio enquanto os períodos de pousio ficam mantidos por suficiente tempo. Porém, quando se usa a terra por mais tempo e o período de pousio diminui, há perda de fertilidade do solo (KAUFFMAN et al., 2009).

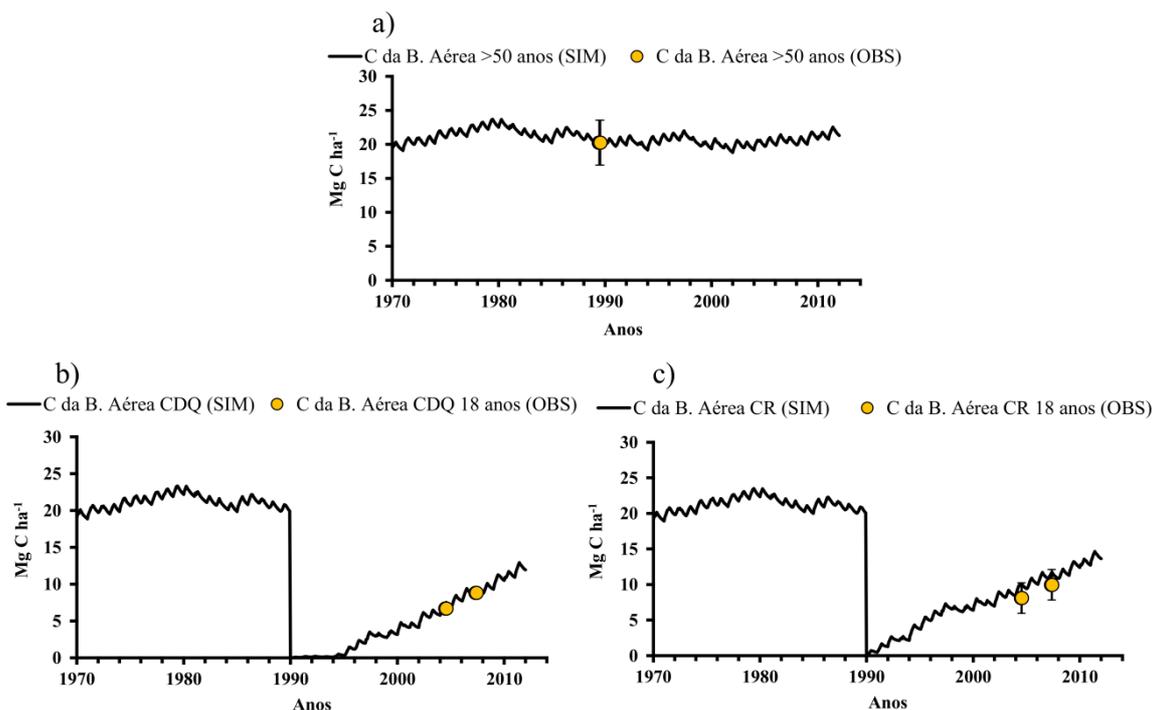
Diante disso, o modelo foi considerado calibrado para a simulação da ciclagem de C e N no sistema solo-planta com práticas de cortes para a vegetação semiárida da Caatinga para as condições edafoclimáticas da área de estudo. Em seguida, a versão calibrada do modelo foi utilizada para simular a dinâmica da ciclagem de C e N em áreas de caatinga da rede de manejo florestal no RN com o intuito de realizar a validação do modelo.

### **Validação do modelo para simulação da produção de biomassa aérea arbórea**

Os dados disponíveis nas parcelas do RN foram a biomassa aérea das arbóreas e COS. Com a validação da biomassa aérea arbórea das áreas preservadas (>50 anos sem distúrbios) (Figura 9a), o modelo representou bem o estoque de 45 Mg ha<sup>-1</sup> no município de Serra Negra do Norte, RN. A diferença entre simulado (21,5 Mg C ha<sup>-1</sup>) e observado (20,25 Mg C ha<sup>-1</sup>) foi menor do que 4%.

Nas áreas com o corte com destoca e queima (CDQ), em 2004, a diferença entre os valores observados e simulados foi de 6,3%, assumindo o valor observado do acúmulo da biomassa arbórea em 15 Mg ha<sup>-1</sup>, e o valor do simulado, em torno de 16 Mg ha<sup>-1</sup> (Figura 9 b:c) e (Tabela 7). Em 2007, a diferença foi de 5% entre os valores observados (19,5 Mg ha<sup>-1</sup>) e simulados (20,5 Mg ha<sup>-1</sup>). A prática do CDQ não é usual em manejo florestal, porém seu uso foi importante para observar a produtividade nos primeiros anos de regeneração e avaliar o comportamento da simulação do modelo entre os diferentes tipos de corte com a queima dos resíduos florestais.

Na avaliação do corte raso (CR), a diferença entre os valores simulados e observados foi maior. Em 2004, a diferença foi de 16%, e o valor simulado (21,5 Mg ha<sup>-1</sup>) superestimou o valor observado (18 Mg ha<sup>-1</sup>). Já em 2007 a diferença diminuiu para 12%, com o valor simulado ainda superestimando o observado (25 e 22 Mg ha<sup>-1</sup>), respectivamente.



**Figura 9.** Estoque de C da biomassa arbórea aérea: a) em vegetação preservada (> 50 anos); b) em vegetação em regeneração após o corte, destoca e queima (CDQ); e c) em vegetação em regeneração após o corte raso (CR) no município de Serra Negra do Norte, RN.

Com o corte raso a regeneração na fase inicial é mais produtiva que o corte com destoca e queima devido à permanência do sistema radicular. Muitas espécies de florestas maduras são capazes de rebrotamento a partir de raízes e/ou caules após corte e queima da floresta (KAMMESHEIDT, 1999) e essa característica é comum para grande parte das espécies da Caatinga (SAMPAIO et al, 1998). O crescimento vigoroso de brotos confere uma vantagem competitiva durante os primeiros estágios de uma sucessão florestal. O rebrotamento é um mecanismo de recrutamento particularmente importante em florestas tropicais secas, onde as taxas de estabelecimento de plântulas podem ser reduzidas por dessecação (ÁLVAREZ-YÉPIZ et al., 2008).

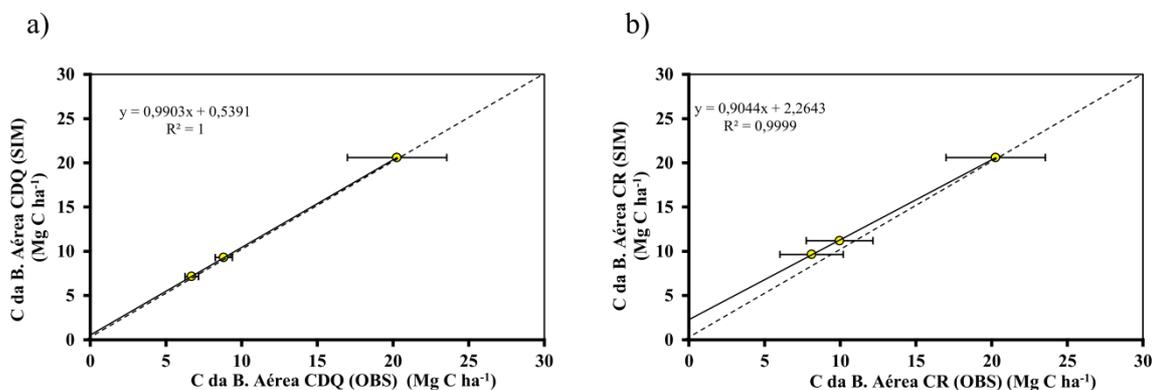
**Tabela 7.** Acúmulo anual e estoque de C ao longo de 15 e 18 anos entre observado e simulado no município de Serra Negra do Norte, RN.

	Observado	Simulado	Observado	Simulado
	15anos		18anos	
	-----Mg C ha <sup>-1</sup> -----			
	Corte, destoca e queima			
Acúmulo anual	0,45	0,47	0,48	0,51
Estoque de C	6,7 (±0,44)	7,15	8,8 (±0,56)	9,3
	Corte raso			
Acúmulo anual	0,54	0,64	0,55	0,62
Estoque de C	8,1 (±2,1)	9,65	9,95 (±2,2)	11,2

Segundo Araújo Filho e Crispim (2002) a média da produção de biomassa da região semiárida é de  $2 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . Contudo, sua produção varia de acordo com os diferentes tipos de solo e condições climáticas de cada ambiente. A produção de biomassa no tratamento CDQ foi menor no início da regeneração devido ao tempo necessário para o restabelecimento radicular e da parte aérea. Com isso, no ano de 2004, a produção dos galhos das arbóreas foi de  $1 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , enquanto que em 2007 a produtividade chegou a  $1,06 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . No tratamento com CR, o acúmulo de biomassa foi ligeiramente maior, com média, no período, de  $1,2 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ .

O teste F para significância do LOFIT indicou que o erro total dos valores simulados em todos os sistemas foi significativamente menor do que o erro inerente dos valores observados a campo. Na figura 10 (a:b) é mostrada a simulação do sistema com CDQ e CR em que se observa a semelhança entre os valores simulados e os observados.

O erro quadrático (RMSE) foi equivalente a 3,6% da diferença total entre os resultados observados e simulados. A falta de ajuste (LOFIT) não foi significativa entre os valores, com um valor de 2,2 e o coeficiente de correlação de Pearson (r) foi de 1 entre os dados. Todos esses resultados estatísticos indicam que as estimativas do Century descreveram as tendências dos dados observados para validação do modelo em estudo.



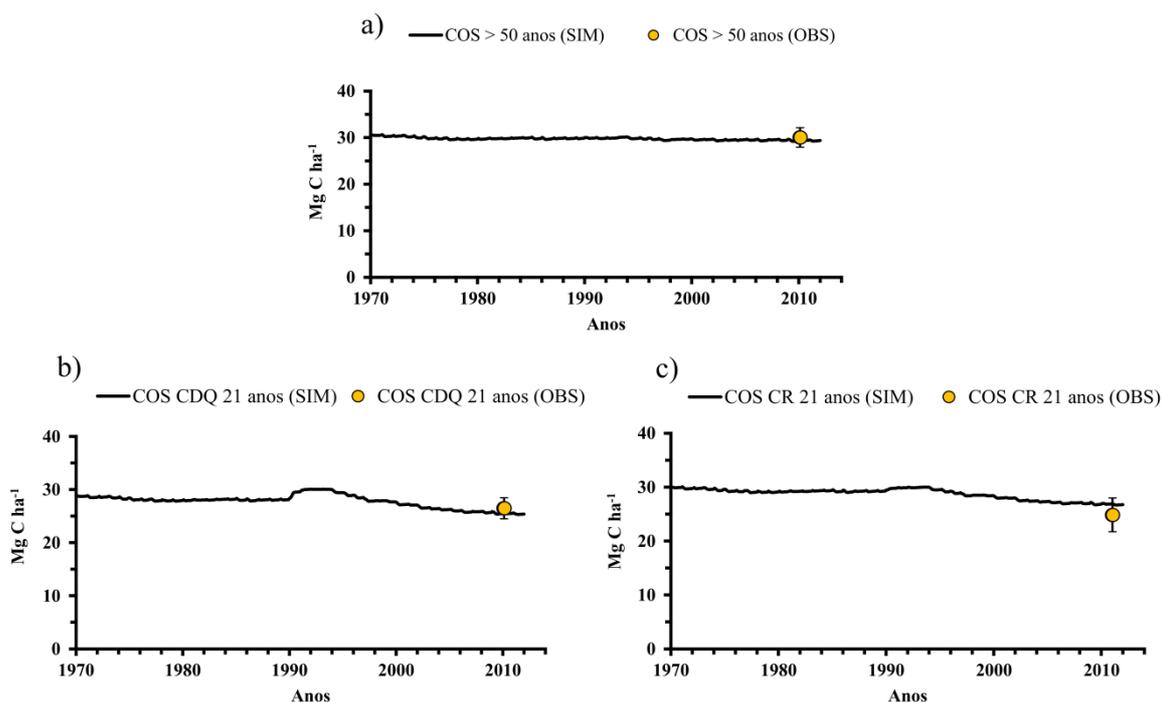
**Figura 10.** Regressão linear dos dados para validação da simulação pelo modelo Century da produção de biomassa aérea das arbóreas em áreas de caatinga com manejo de corte, destoca e queima (CDQ) e de corte raso (CR) no município de Serra Negra do Norte, RN.

No caso das simulações do CR, as associações e coincidências entre os valores observados e simulados foram maiores para alguns parâmetros de avaliação [( $r=1$ ); ( $r^2=0,99$ ); (RMSE = 9,11%) e (LOFIT = 12,3)]. Dessa forma, o modelo Century estimou adequadamente os valores no período de estudo (2004 e 2007).

## Validação do modelo para simulação da dinâmica do carbono orgânico do solo (COS)

O estoque do COS nas áreas de caatinga preservadas foi em média,  $30 \text{ Mg C ha}^{-1}$ , enquanto o estoque simulado pelo Century ficou em torno de  $29,5 \text{ Mg C ha}^{-1}$ , correspondendo a um bom desempenho do modelo, com diferença de 1,7% entre os valores (Figura 11a).

A MOS têm várias funções importantes, uma delas é o fluxo de gases de efeito estufa entre a superfície terrestre e a atmosfera, como também, na disponibilidade de nutrientes e a agregação do solo. Do mesmo modo, representa o principal compartimento de C na biosfera (FOLLET, 2001), atuando como fonte e dreno de C e nutrientes. Segundo Sampaio e Costa (2011), o COS em áreas de caatinga, na camada de 0-20 cm, tem estoque médio em torno de  $12 \text{ g C kg solo}^{-1}$ , o que equivale a  $36 \text{ Mg C ha}^{-1}$ .



**Figura 11.** Estoques de carbono orgânico no solo (COS) observados em campo (OBS) e simulados (SIM) com o modelo Century em áreas com: a) vegetação preservada (> 50 anos); b) vegetação em regeneração após corte, destoca e queima (CDQ 21 anos); c) vegetação em regeneração após corte raso (CR 21 anos), no município de Serra Negra do Norte, RN.

Na figura 11 (b) é apresentado os dados de estoque de COS no tratamento CDQ provenientes da simulação com o Century ( $25,55 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ) das medidas observadas ( $26,5 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ). Nas parcelas submetidas a corte raso (CR) (Figura 11c), os estoques

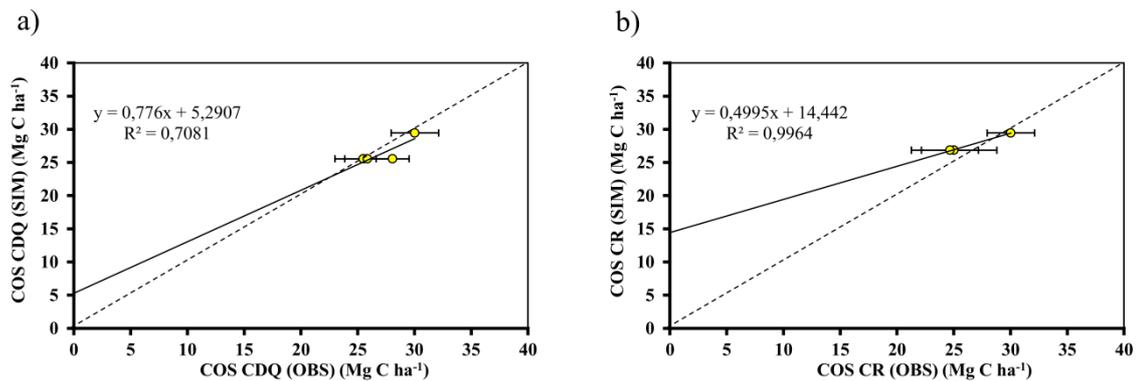
de COS simulados ( $26,85 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ) tiveram um erro de aproximadamente 7,5% comparados aos dados observados ( $24,85 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ). Portanto, todas as simulações do COS nesses sistemas situaram-se dentro de uma margem aceitável, que no presente estudo foi considerada como de 20%.

Observa-se que no sistema com CDQ há um incremento do COS após o corte da vegetação, provavelmente devido à decomposição das raízes após o corte e queima. Nas áreas do CR, a associação entre as amostras foi significativa, por outro lado, na Tabela 10 é mostrado que o intervalo de confiança do RMSE ficou acima dos 95%. Contudo, nas áreas representadas não houve erros significativos entre os valores observados e simulados, garantindo assim, uma boa avaliação da simulação COS para a validação do modelo (Tabela 8).

**Tabela 8.** Análise estatística para validação da adequação do modelo Century para a simulação do carbono orgânico do solo (COS) na camada de 0-20 cm em áreas com vegetação de caatinga em regeneração há 21 anos após o corte raso (CR) ou com corte, destoca e queima (CDQ), no município de Serra Negra do Norte, RN.

Análises Estatística do COS	CDQ	CR
r =	0,8415	0,9982
$F = ((n-2) r^2) / (1-r^2)$	4,85	280
F-valor a (P=0.05)	18,51	161,45
Associação significativa?	Não	Sim
RMSE = Raiz quadrada do erro do modelo	4,77%	6,31%
RMSE (95% Intervalo de confiança)	94,67%	137,6%
Erro total significativo?	Não	Não
E- erro relativo	3,01	-4,29
E (95% intervalo de confiança) = +/-	91,43	133,32
Desvio significativo?	Não	Não
LOFIT = Falta de ajustes	20,46	25,29
$F = MSLOFIT/MSE$	0,00	0,01
F (Critical at 5%)	4,1	5,59
Erro significativo entre observado e simulado?	Não	Não

A figura 12 (a:b) exhibe a regressão linear em que se observa a semelhança dos valores simulados pelo modelo Century e a média observada em campo, com o intuito de validar o modelo após aplicação do manejo com CDQ.



**Figura 12.** Regressão linear (a:b) para validação da simulação pelo modelo Century do estoque de carbono orgânico do solo (COS) em áreas de caatinga em regeneração há 21 anos após o corte, queima e destoca (CDQ) e de corte raso (CR), no município de Serra Negra do Norte, RN.

A análise da adequação também foi realizada para a simulação das áreas que foram submetidas ao CR conforme o programa estatístico MODEVAL.

## CONCLUSÃO

O modelo Century foi capaz de estimar de forma independente os estoques de C e N na biomassa aérea (folhas, galhos grossos e finos) e subterrânea (raízes) e na matéria orgânica do solo (MOS) em áreas sob vegetação de caatinga em regeneração após o corte, com e sem a ocorrência de fogo. Após essa etapa, o Century será utilizado para a investigação de cenários de manejo florestal em áreas com características edafoclimáticas semelhantes à área do presente estudo, o que será uma importante ferramenta para o desenvolvimento de práticas de manejo sustentável da Caatinga na região Nordeste do Brasil. Porém, serão necessários mais estudos para ajustar o modelo a outras tipologias de vegetação.

## REFERÊNCIAS

ÁLVAREZ-YÉPIZ, J. C., A. MARTINEZ-YRIZAR, A. BURQUEZ & C. LINDQUIST. Variation in vegetation structure and soil properties related to land use history of old-growth and secondary tropical dry forests in northwestern Mexico. **Forest Ecology and Management**. v. 3, p. 355-366, 2008.

ANDRADE, F. H. Ecologia florestal. **UFSM**. p. 230, 1978.

ARAÚJO FILHO, J.A.; CRISPIM, S.M.A. Pastoreio combinado de bovinos, caprinos e ovinos em áreas de caatinga no Nordeste do Brasil. In: **Conferência virtual global sobre produção orgânica de bovinos de corte**, 2002.

AYERZA, R. Capim-búfel : Utilidade e manejo de uma gramínea promissora. **João Pessoa: A União**, p. 128, 1995.

BELAY, T.A.; MOE, S.R. Woody dominance in a semi-arid savanna rangeland e Evidence for competitiveself-thinning. **Acta Oecologica**, v. 45, p. 98-105, 2012.

BORING, L. R., SWANK, W. T. WAIDE, J. B., and HENDERSON, G. S. Sources, fates, and impacts of nitrogen inputs to terrestrial ecosystems: Review and synthesis. **Biogeochemistry**. v. 6, p. 119-159, 1988.

BORTOLON, E.S.O.; MIELNICZUK, J.; TORNQUIST, C.G.; LOPES, F.; BERGAMASCHI, H. Validation of the Century model to estimate the impact of agriculture on soil organic carbon in Southern Brazil, **Geoderma**. p. 156-166, 2011.

CALDEIRA, M. V. W. Determinação de biomassa e nutrientes em uma Floresta Ombrófila Mista Montana em General Carneiro, Paraná. 176 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – **Universidade Federal do Paraná**, 2003.

CAVALCANTI, E. P.; SILVA, V. P. R.; SOUSA, F. A. S. Programa computacional para a estimativa da temperatura do ar para a região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 1, p. 140-147, 2006.

CESAR, O. Produção de serapilheira na mata mesófila semi decídua da fazenda Barreiro Rico, município de Anhembi, SP. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 53, n. 4, p. 671-681, 1991.

CERRI, C.E.P., COLEMAN, K., JENKINSON, D.S., BERNOUX, M., VECTORIA, R., CERRI, C.C. Modeling soil carbon from forest and pasture ecosystem of Amazon. Brazil. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 67, 1879–1887, 2003.

CHAZDON, R. L.. Regeneração de florestas tropicais. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais**. v. 3, p. 195-218, 2012.

CHAZDON, R. L., S. G. LETCHER, M. VAN BREUGEL, M. MARTÍNEZ-RAMOS, F. BONGERS & B. FINEGAN. Rates of change in tree communities of secondary

Neotropical forests following major disturbances. **Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological sciences**. v. 362, p. 273-289, 2007.

CHAZDON, R. L. Chance and determinism in tropical forest succession. In: W. CARSON & S. A. SCHNITZER (Eds.): *Tropical forest community ecology*: **Wiley-Blackwell Publishing, Oxford**, p. 384-408. 2008.

CHAZDON, R. L.. Regeneração de florestas tropicais. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais**. v. 3, p. 195-218, 2012.

CLEVELAND, C.C., TOWNSEND, A.R., SCHIMEL, D.S., FISHER, H., HOWARTH, R.W., HEDIN, L.O., PERAKIS, S.S., LATTY, E.F., VON FISCHER, J.C., ELSEROAD, A., WASSON, N.F. Global patterns of terrestrial biological nitrogen (N<sub>2</sub>) fixation in natural ecosystems. **Global Biogeochemical Cycles**. v. 13, p. 623-645, 1999.

COSTA, L.T.; SAMPAIO, E. V. S. B.; SALES, M. F.; ACCIOLY, L. J. O.; ALTHOFF, T. D.; PAREYN, F. G. C.; ALBUQUERQUE, E. R. G. M.; MENEZES, R. S. C. Root and shoot biomasses in the tropical dry forest of semi-arid Northeast Brazil, **Plant Soil**, 2014.

COUTO, L.; FONSECA, E.M.B.; MÜLLER, M.D. O estado da arte das plantações de florestas de rápido crescimento para produção de biomassa para energia em Minas Gerais: aspectos técnicos, econômicos sociais e ambientais. **Belo Horizonte: CEMIG**. p. 44, 2000.

CUSHON, G. H.; and FELLER, M. G. Asymbiotic nitrogen fixation and denitrification in a mature forest in coastal British Columbia. **Canadian Journal of Forest Research**. v. 19, p. 1194-1200, 1989.

DIECKOW, J.; MAETIN-NETO, L.; MILORI, D.M.B.P.; CONCEIÇÃO, P.C.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Sistemas de preparo do solo e características espectroscópicas da matéria orgânica em ambientes tropicais e subtropicais brasileiros. **EMBRAPA Instrumentação Agropecuária. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**. v. 12, 2005.

DIRZO, R.; YOUNG, H. S.; MOONEY, H. A.; CEBALLOS, G. Seasonally Dry Tropical Forests: Ecology and Conservation. Washington: Island Press, 1<sup>st</sup> Edition. P. 394, 2011.

DON, A.; SCHUMACHER, J.; FREIBAUER, A. Impact of tropical land-use change on soil organic carbon stocks - a meta-analysis. **Global Change Biology**, v.17, p.1658-1670, 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

FAZENDA TAMANDUÁ. Precipitação Pluviométrica <[www.fazendatamandua.com.br/clima.htm](http://www.fazendatamandua.com.br/clima.htm)> Acesso em 20/06/2014.

FELDPAUSCH, T. R., C. D. PRATES-CLARK, E. C. M. FERNANDES & S. J. RIHA. Secondary forest growth deviation from chronosequence predictions in central Amazonia. **Global Change Biology**. v. 5, p. 967-979, 2007.

FOLLET, R.F. Soil management concepts and carbon sequestration in croplands soils. **Soil & Tillage Research**, v. 61, p. 77-92, 2001.

FREITAS ADS, SAMPAIO EVSB, FERNANDES AR, SANTOS CERS. Biological nitrogen fixation in legume trees of the Brazilian caatinga. **J Arid Environ** v. 74, p. 344-349, 2010.

FREITAS, A.D.S.; SAMPAIO, E.V.S.B.; SILVA, B.L.R.; CORTEZ, J.S.A.; MENEZES, R.S.C. How much nitrogen is fixed by biological symbiosis in tropical dry forests? 2. Herbs. **Nutr Cyclo Agroecosyst**, 2012.

GONÇALVES, J. L. M.; MELLO, S. L. M. O sistema radicular das árvores. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Ed.). Nutrição e fertilização florestal. **Piracicaba: ESALQ/USP**, p. 221-267, 2000.

KAUFFMAN, J. B.; HUGHES, R. F.; HEIDER, C. Carbon pool and biomass dynamics associated with deforestation, land use, and agricultural abandonment in the neotropics. **Ecological Applications**, v. 19, p. 1211-1222, 2009.

KAMMESHEIDT, L. Forest recovery by root suckers and above-ground sprouts after slash-and-burn agriculture, fire and logging in Paraguay and Venezuela. **Journal of Tropical Ecology**. v. 15, p. 143-157, 1999.

IPCC. Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. PENMAN, J.; GYTARSKY, M.; HIRAISHI, T.; KRUGER, D.; PIPATTI, R.; BUENDIA, L.; MIWA, K.; NGARA, T.; TANABE, K.; WAGNER, F. (Eds.) **Cambridge, UK, Cambridge University Press, IPCC/IGES**, p. 632, 2003.

JEFFRIES, D. L.; KLOPATEK, J. M.; LINK S. O., and BOLTON, H. Acetylene reduction by cryptogamic crust from a blackbrush community as related to resaturation and dehydration. **Soil Biology and Biochemistry**. v. 24, p. 1101-1105, 1992.

LAVELLE, P. Ecological challenges for soil science. **Soil Science, New Brunswick**, v.165, n. 1, p. 73-86, 2000.

LEITE, L.F.C.; MENDONÇA, E.S.; MACHADO, P.L.O.A. Simulação pelo modelo Century da dinâmica da matéria orgânica de um argissolo sob adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 28, p. 347-358, 2004.

LETCHER, S. G. & R. L. CHAZDON, Rapid recovery of biomass, species richness, and species composition in a forest chronosequence in Northeastern Costa Rica. **Biotropica**. v. 41, p. 608-617, 2009.

LIMA, E.N. Influência do componente herbáceo da caatinga na regeneração natural de plantas lenhosas em uma área de vegetação preservada e uma área de agricultura

abandonada. **Tese (Doutorado em Botânica)** – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. 2011.

LOVATO, T. Dinâmica do carbono e nitrogênio do solo afetada por preparos do solo, sistemas de cultura e adubo nitrogenado. 133f. Tese (Doutorado) – **Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul**, 2001.

MAESTRE, F.T.; CORTINA, J. Spatial patterns of surface soil properties and vegetation in a Mediterranean semi-arid steppe. **Plant and Soil**, v. 241, p. 279-291, 2002.

MARIN, A.M. P.; MENEZES, R.S.C. Ciclagem de nutrientes via precipitação pluvial total. interna e escoamento pelo tronco em sistema agroflorestal com *Gliricidia sepium*, **Ver. Bras. Ciênc. Solo**, v. 32, pp. 2573–2579, 2008.

MENEZES, R.S.C.; SAMPAIO, E.V.S.B.; SALCEDO, I.H. Fertilidade do solo e produção de biomassa no semiárido. **1 ed. Recife: Editora Universitária UFPE**, p. 292, 2008.

MEUNIER, I. M. J.; CARVALHO, J. E. Crescimento da caatinga submetida a diferentes tipos de corte, na Região do Seridó do Rio Grande do Norte. **Projeto MMA/FAO/UTF/BRA/047**. n. 4, p. 28, 2000.

MME. Ministério de Minas e Energia Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Levantamento da Geodiversidade, **Projeto Atlas Pluviométrica do Brasil. Isoietas Médias Mensais, Período de 1977 a 2006**, 2011.

MOURA, P.M.; MENEZES, R.S.C.; SAMPAIO, E. V.S.B.; ARAUJO, L.B.; ARAÚJO, J.M.; SOUTO, J.S. Decomposição foliar de espécies arbóreas da caatinga. **In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 32. Fortaleza**, p.127-128, 2009.

METHERELL, A.K., L.A. HARDING, C.V. COLE, and W.J. PARTON, CENTURY soil organic matter model environment, technical documentation, agroecosystem version 4.0, Tech. Rep. 4., Great Plains Sys. Res. Unit, Agric. Res. Serv., U.S. Dep. Of Agric., **Fort Collins**, Colorado, 1993.

METHEREL, A.K.; HARVING, L.A.; COLE, C.V. & PARTON, W.J. Century: Soil organic matter model environment. Technical documentation agrossystem version 4.0. Tech. Rep., 4, Great Plains System Research Unit, **Fort Collins**, USDA-ARS, p.123, 1994.

NARDOTO, G.B.; OMETTO, J.P.H.B.; EHLERRINGER, J.R.; BASTAMANTE, M.M.C.; MARTINELLI, L.A. Understanding the influences of spatial patterns on N availability within the Brazilian Amazon Forest. **Ecosystems**, v. 11, n. 8, p. 1234-1246, 2008.

NOY-MEIR, I. Desert ecosystems: environment and producers. **Annual Reviews Ecology System**, v. 4, p. 25–41, 1973.

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

PARTON, W.J.; STEWART, J.W.B. & COLE, C.V. Dynamics of C, N, P e S in grassland soils: **A Model. Biogeochem.**, v. 5, p.109-131, 1988.

PARTON, W. J.; WOOMER, P. L. MARTIN, A. Modeling soil organic matter dynamics and plant productivity in tropical ecosystems. In: WOOMER, P.L.; SWIFT, M.J. (Eds). The biological management of tropical soil fertility. **Chichester: John Wiley & Sons**, p.171- 188, 1994.

REGINA, I. S. Biomass estimation and nutrient pools in four *Quercus pyrenaica* in Sierra de Gata Mounts, Salamanca, Spain. **Forest Ecology and Management**. v. 132, n. 2-3, p. 127-141, 2000.

SALIS, S. M.; ASSIS, M. A.; MATTOS, P. P.; PIÃO, A. C. S. Estimating the aboveground biomass and wood volume of savanna woodlands in Brazil's Pantanal wetlands based on allometric correlations. **Forest Ecology and Management**, v. 228, n. 1-3, p. 61-68, 2006.

SAMPAIO, E.V.S.B.; ARAÚJO, E.L.; SALCEDO, I.H. et al. Regeneração da vegetação de caatinga após corte e queima, em Serra Talhada, PE. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, n. 5, p. 621-632, 1998.

SAMPAIO EVSB, SILVA GC. Biomass equations for Brazilian semiarid Caatinga plants. **Acta Bot Bras**. v. 19, p. 935–943, 2005.

SAMPAIO, E.V.S.B. Características e potencialidades. In: Gariglio, M.A.; Sampaio, E.V.S.B.; Cestaro, L.A.; Kageyama, P. (Eds.) Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga. **2ª Ed. Brasília:Ministério do Meio Ambiente**, p. 29-48, 2010.

SCHUMACHER, M. V. Ciclagem de nutrientes como base da produção sustentada em ecossistemas florestais. In: Simpósio sobre Ecossistemas Naturais do Mercosul: O Ambiente da Floresta, **Santa Maria: UFSM/CEPEF**, p. 65-77, 1996.

SCOTT, N. A. et al. Soil textural control on decomposition and soil organic matter dynamics. **Soil Science Society America Journal**, v. 60, p. 1102-1109, 1996.

SIDDIQUE, I.; ENGEL, V.L.; PARROTTA, J.A.; LAMB, D.; NARDOTO, G.B.; OMETTO, J.P.H.B.; MARTINELLI, L.A.; SCHMIDT, S. Dominance of legumes trees alters nutrient relations in mixed species forest restoration plantings within seven years. **Biogeochemistry, Dordrecht**, v. 88, n. 1, p. 89-101, 2008.

SILVA, K.A.; ARAÚJO, E.L.; FERRAZ, E.M.N. Estudo florístico do componente herbáceo e relação com solos em áreas de caatinga do embasamento cristalino e bacia sedimentar, Petrolândia, PE, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 23, n. 1, p. 100-110, 2009.

SMITH, P., SMITH, J.U., POWLSON, D.S., MCGILL, W.B., ARAH, J.R.M., CHERTOV, O.G., COLEMAN, K., FRANKO, U., FROLKING, S., JENKINSON, D.S., JENSEN, L.S., KELLY, R.H., KLEIN-GUNNEWIEK, H., KOMAROV, A.S., MOLINA, J.A.E., MUELER, T., PARTON, W.J., THORNLEY, J.H.M., WHITMORE, A.P. A comparison of the performance of nine soil organic matter models using datasets from seven long-term experiments. **Geoderma**. v. 81, p. 153–225, 1997.

SOARES, C. P. B.; OLIVEIRA, M. L. R. Equações para estimar a quantidade de carbono na parte aérea de árvores de eucalipto em Viçosa, Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 26, n. 5, p. 533-539, 2002.

SOUZA, L.Q.; FREITAS, A.D.S.; SAMPAIO, E.V.S.B.; MOURA, P.M.; MENEZES, R.S.C. How much nitrogen is fixed by biological symbiosis in tropical dry forest? 1. Trees and shrubs. **Nutr Cyclo Agroecosyst**. v. 94, p. 171–179, 2012.

TORNQUIST, C.G., MIELNICZUK, J., CERRI, C.E.P. Modeling soil organic carbon dynamics in Oxisols of Ibirubá (Brazil) with the Century Model. **Soil Tillage Res**. v. 105, p. 33–43, 2009.

VELDKAMP, E. Organic Carbon Turnover in Three Tropical Soils under Pasture after Deforestation. **Soil Science Society of America Journal**, v.58, p.175-180, 1994.

VEZZANI, F.M. Qualidade do sistema solo na produção agrícola. 184f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, **Universidade Federal do Rio Grande do Sul**, 2001.

VITOUSEK, P.M.; HOWARTH, R.W. Nitrogen limitation on land and in the sea – how can it occur? **Biogeochemistry, Dordrech**, v. 3, p. 87-115, 1991.

WATZLAWICK, L. F. Estimativa de biomassa e carbono em Floresta Ombrófila Mista e plantações florestais a partir de dados de imagens do satélite IKONOS II. 120 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – **Universidade Federal do Paraná**, 2003.

WHITE, M.A., THORNTON, P.E., RUNNING, S.W., AND NEMANI, R. Parameterization and Sensitivity Analysis of the BIOME–BGC Terrestrial Ecosystem Model: Net Primary Production Controls. **Earth Interact**, v. 4, v.3, p. 1-85, 2000.

## **CAPÍTULO II**

### **CALIBRAÇÃO DO MODELO CENTURY PARA SIMULAÇÃO DA CICLAGEM DE CARBONO EM ÁREAS DE CAATINGA SUBMETIDA AO PASTOREIO E A DIFERENTES TIPOS DE CORTE**

**RESUMO** - Estudos sobre ciclagem biogeoquímica são importantes para o melhor entendimento das respostas da vegetação aos distúrbios naturais e antrópicos. A vegetação da Caatinga é geralmente submetida a intensas perturbações antrópicas, seja pelo corte para extração de lenha, queima dos resíduos para prática de agricultura ou uso para pastoreio por ruminantes. Há, portanto, a necessidade de estudos que avaliem, em longo prazo, o impacto de diferentes práticas de manejo sobre essas áreas. Nesse sentido, modelos matemáticos de simulação da ciclagem biogeoquímica podem contribuir para o melhor entendimento desses processos, pois podem estimar o impacto de diferentes práticas e cenários de manejo ao longo do tempo. Dentre os vários modelos de simulação da ciclagem biogeoquímica em ecossistemas terrestres, o Century tem sido usado com sucesso para simular a dinâmica do C e de N, P e S em vários agroecossistemas no mundo. O objetivo do presente trabalho foi calibrar o modelo Century para simular a dinâmica dos estoques e fluxos de C em áreas de vegetação caatinga submetidas a diferentes manejos de corte e pastoreio por ruminantes no sertão do Seridó, RN. As parcelas receberam dois tipos de corte: 1) destoca seguida da queima dos resíduos (CDQ); e 2) corte raso (CR). Em ambos os tratamentos de corte, as parcelas foram submetidas a pastejo misto intenso (PMI) por ruminantes (bovinos, caprinos e ovinos) ao longo de 15 a 18 anos de regeneração. A simulação dos tratamentos (CDQ+PMI e CR+PMI) foi a partir do corte da vegetação preservada de caatinga (> 50 anos de regeneração) para simular a produção florestal de acordo com o observado em campo, no primeiro caso, considerando 45% de C da biomassa arbórea, o estoque do simulado foi de  $6,5 \text{ Mg C ha}^{-1}$  em 18 anos, coincidiu com o valor observado de  $6 \text{ Mg C ha}^{-1}$ . Foi verificado também no tratamento que recebeu o CR+PMI, o simulado de  $7,8 \text{ Mg C ha}^{-1}$ , também foi semelhante ao valor observado de  $7,5 \text{ Mg C ha}^{-1}$ . Portanto, o modelo Century foi capaz de simular a regeneração da vegetação nativa da Caatinga após a retirada de lenha e pastejo intensivo por ruminantes. Por outro lado, ainda são necessários mais estudos para validar o modelo com essas práticas comuns na região, como também aplicar o modelo em outras fitofisiônias e cenários, incluindo os possíveis impactos futuros frente às mudanças climáticas.

**Palavras-chave:** Fitomassa, pecuária, manejo, floresta seca.

**ABSTRACT** - Studies on biogeochemical cycling are important for the best understanding of responses of vegetation to natural and anthropogenic disturbances. Vegetation of the Caatinga is generally subject to intense anthropogenic disturbances, either by cutting for firewood extraction, burning of waste to agricultural practice or use for grazing by ruminants. There is therefore a need for studies that evaluate in the long run, the impact of different management practices on these areas. In this sense, mathematical models simulating the biogeochemical cycling can contribute to a better understanding of these processes as they may estimate the impact of different practices and management scenarios over time. Among the various simulation models of biogeochemical cycling in terrestrial ecosystems, the Century has been successfully used to simulate the dynamics of C and N, P and S in various agro-ecosystems in the world. The aim of this study was to calibrate the Century model to simulate the dynamics of stocks and C flows in caatinga vegetation areas under different cutting and grazing managements to ruminants in Serra Negra do Norte, RN. The plots received two types of cutting: 1) followed stump removal from burning waste (CDQ); and 2) clear cut (CR). In both cutting treatments, the plots were subjected to intense mixed grazing (PMI) to ruminants (cattle, goats and sheep) over 15-18 years of regeneration. The simulation of the treatments (CDQ + CR + PMI and PMI) was cut from the preserved caatinga vegetation (> 50 years of regeneration) to simulate forest production according to performance on the field in the first case, considering 45% C tree biomass, the stock simulated was  $6.5 \text{ Mg C ha}^{-1}$  in 18 years coincided with the observed value of  $6 \text{ Mg C ha}^{-1}$ . It was also seen in treatments with the CR + PMI, the simulated  $7.8 \text{ Mg C ha}^{-1}$ , was also similar to the observed value of  $7.5 \text{ Mg C ha}^{-1}$ . Therefore, the Century model was able to simulate the regeneration of native vegetation of the Caatinga after removal of firewood and intensive grazing by ruminants. On the other hand, we still need more studies to validate the model with these common practices in the region, as well as apply the model in other vegetation types and scenarios, including possible future front impacts to climate change.

**Keywords:** Phytomass, livestock, management, dry forest.

## INTRODUÇÃO

A vegetação da Caatinga tem sido intensamente perturbada desde o início do processo de colonização da região, no século XVII. As causas desse processo estão associadas, principalmente, às práticas inadequadas de exploração de seus recursos naturais, destacando-se a atividade agropastoril extensiva, associada ao superpastejo por ruminantes. Cerca de 90% das propriedades na região têm criações de bovinos, caprinos e ovinos, em muitos casos, simultaneamente e tendo como a única fonte de alimento para os rebanhos a vegetação nativa. As perturbações têm modificado os ciclos de C e nutrientes nesse ambiente.

A produção média anual de fitomassa da parte aérea das espécies lenhosas e herbáceas da vegetação nativa da Caatinga é estimada em torno de 6 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, distribuídas em 2 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de madeira e 4 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de folhas, flores e frutos (ARAÚJO FILHO, 2013). Em áreas de caatinga arbórea-arbustiva, cerca de 90% da produção de folhagem, flores e frutos provêm das espécies lenhosas. Dentre as espécies lenhosas de caatinga, aproximadamente 70% tem potencial forrageiro. Em geral, a taxa de lotação animal na região está em torno ou acima da capacidade de suporte (MENEZES et al., 2014). Dessa forma, a remoção de fitomassa forrageira pelos animais pode ultrapassar 80%, o que pode diminuir significativamente o aporte de C e nutrientes ao solo e a cobertura da camada de serrapilheira. Sendo assim, o sobrepastejo em áreas da Caatinga tem frequentemente resultado em maiores taxas de erosão, com perdas de solo, C, nutrientes e água (ARAÚJO FILHO et al., 1998). A situação se agrava devido ao intenso uso da caatinga para extração de lenha (SAMPAIO et al., 2010).

Esses valores médios estão associados a grandes variações nas diferentes áreas da região, em virtude principalmente das mudanças das características da estação das chuvas, do tipo de solo, do estágio de sucessão secundária e também do manejo da vegetação (ARAÚJO FILHO e CRISPIM, 2002). Em geral, a retirada de lenha das áreas de caatinga é realizada de forma não planejada e frequentemente em intervalos que não são suficientes para permitir a recuperação da fertilidade do solo e a recomposição da estrutura da vegetação. Muitas vezes, o período de repouso entre os cortes está abaixo de 10 anos, o que compromete a sustentabilidade desse manejo em longo prazo. Na realidade, o intervalo ideal de repouso para garantir a conservação dos solos e da biodiversidade da vegetação depende das características de cada local e, na maioria dos locais não é conhecido.

Para garantir a sustentabilidade de sistemas de manejo da caatinga para produção de lenha é necessário conhecer bem as características edafoclimáticas de cada paisagem sertaneja e as práticas de uso da terra. Cada local pode ter um manejo diferenciado, visto que a região apresenta-se como um mosaico formado por um número de sítios ecológicos bastante diversificados (SAMPAIO et al., 2010). O estudo de processos em agroecossistemas tem como objetivos planejar o uso da terra, estabelecer padrões ambientais e estimar os riscos reais e potenciais das atividades agrícolas e ambientais em longo prazo. Nesse contexto, o uso de modelos de simulação da ciclagem biogeoquímica são ferramentas importantes para melhorar a compreensão e auxiliar nas práticas de uso da terra sobre a produção vegetal em cenários atuais e futuros.

Portanto, o objetivo principal do presente trabalho foi calibrar o modelo Century, versão 4.5 (PARTON et al., 1987), para simular o estoque de C na vegetação nativa arbórea em áreas da caatinga submetidas a diferentes tipos de cortes e pastoreio por ruminantes. Dessa forma, espera-se fornecer subsídios aos estudos de balanço de C no bioma Caatinga e à sustentabilidade de práticas de retirada da lenha em longo prazo.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### **Caracterização da área de estudo**

A área escolhida para o processo de calibração do modelo foi a Fazenda Pedro Cândido (Seridó) (06°35'35"S e 37°14' 19" W) no município de Serra Negra do Norte-RN. A área apresenta estação seca bem definida e precipitação irregular, com média nos anos do experimento em torno de 700 mm ano<sup>-1</sup>, e temperatura média de 28°C (Comunicação da ESEC com 11 anos de observação, de 1995 até 2006). Os solos predominantes são rasos e pedregosos, característicos dos Neossolos Litólicos (EMBRAPA, 2006).

### **Dados da biomassa aérea das arbóreas**

Os dados utilizados no presente estudo foram obtidos por técnicos da Associação Plantas do Nordeste (APNE), que, há várias décadas, vem conduzindo o monitoramento da produção de lenha em parcelas de campo nesse local. Mais especificamente, em 1989 a APNE deu início ao experimento com diferentes tipos de cortes da caatinga aliado ao pastoreio misto intensivo (PMI), para avaliar o tempo de regeneração e o estoque de lenha local. Após o levantamento fitossociológico nas áreas experimentais, em 1989, foram aplicados dois tipos de cortes para retirada de lenha: 1)

corde com destoca seguido da queima dos resíduos (CDQ); e 2) corte raso (CR). O corte com destoca significa que após a retirada da lenha, as raízes grossas abaixo da porção do caule das árvores ainda remanescente (“toco”) foram escavadas e retiradas do solo para garantir que as árvores não rebrotassem. Já o corte raso implica apenas no corte do caule em uma altura logo acima do nível do solo, porém sem a realização da destoca, o que permite a rebrota das árvores. Cada tratamento foi aplicado em quatro parcelas com 1.600 m<sup>2</sup> (40x40m). Maiores detalhes sobre o experimento e sobre os demais tratamentos podem ser obtidos em Meunier (2000) e Sampaio et al. (2010).

Após regeneração por 15 e 18 anos, foram quantificadas os estoques de biomassa de lenha através de equações alométricas. Para isso, foi medido o DAP (diâmetro na altura do peito, 1,3 m do solo) de todas as plantas com DAP ≥ 3cm. A biomassa acima do solo para cada planta foi estimada pelo método alométrico, usando o DAP na equação de determinação de biomassa das espécies arbóreas da Caatinga (SAMPAIO e SILVA, 2005):

$$\text{Biomassa (Kg)} = 0.173 \text{ DAP(cm)}^{2.295}$$

Para determinação do C, assumiu-se que correspondiam a 45% da biomassa. Em geral, nos cálculos de estoque de C tem sido adotada a proporção de 50% (IPCC, 2003), mas há registros de 45 a 50% (CHAZDON, 2012), portanto, adotou-se o valor base (45%) no presente trabalho.

### Dados do solo da área experimental

Em 2010, foi feita a coleta de amostras de solo na profundidade de 0-20 cm para determinação da textura e densidade (Tabela 1).

**Tabela 1.** Característica do solo, na camada 0-20cm, em áreas de caatinga submetido a diferentes tratamentos em Serra Negra do Norte, RN.

Tratamento	Areia	Silte	Argila	Densidade
		g kg <sup>-1</sup>		Mg m <sup>-3</sup>
Preservada	673	135	192	1,41
CR+PMI	660	183	157	1,46
CDQ+PMI	658	146	196	1,49

### Dados climáticos da área de estudo

As variáveis climáticas utilizadas para a inicialização do modelo Century 4.5 foram a precipitação pluviométrica acumulada mensal e as médias mensais máximas e mínimas da temperatura do ar. Esses dados foram usados para preencher o arquivo

WTH que descreve o clima. Os dados climáticos utilizados para calibração na região do RN foram disponibilizados pela APNE, no período de 1995 até o final de 2006 (Tabela 2).

Para a simulação dos demais períodos foram utilizados dados climáticos coletados em Santa Teresinha, PB, próximo à área do presente estudo, que contém uma série histórica de dados de precipitação de 1911 até 2013. De acordo com MME (2011), as áreas experimentais fazem parte da mesma isoietas, o que justifica o uso dos dados do clima de Santa Teresinha para complementar a série de dados de Serra Negra do Norte.

**Tabela 2.** Precipitação pluvial na área do experimento em Serra Negra do Norte, RN.

Anos	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Total
----- mm -----													
1995	3,0	118,0	144,0	96,0	336,0	11,0	23,0	0,0	0,0	0,0	7,2	18,0	756
1996	42,1	94,0	143,1	386,3	69,4	24,9	21,0	4,9	0,0	0,0	85,9	23,0	895
1997	92,9	46,2	173,4	189,1	72,4	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	39,6	615
1998	57,3	6,7	142,7	10,4	0,0	0,0	7,2	7,1	0,0	0,0	1,0	0,0	232
1999	55,1	56,0	144,8	27,5	241,9	4,6	16,4	0,0	0,0	8,5	18,0	66,0	640
2000	113,2	126	126,2	143,1	10	13	1,00	42	13,00	0,00	5,50	42,0	635
2001	6,2	28,6	159,9	87,2	4,2	33,6	8,0	1,2	6,2	57,0	0,00	7,6	400
2002	425,5	98,2	299,6	121,6	145,9	3,0	39,2	0,00	0,00	0,00	2,2	0,00	1135
2003	41,4	123,3	269	73,2	13,8	5,5	16,2	2,00	0,00	0,00	0,50	0,00	545
2004	436,3	204,3	158,4	75,3	24,7	59,3	56,3	8,0	4,70	0,00	0,00	20,0	1047
2005	33,3	102	228	117,5	79,6	63,7	7,40	1,20	0,00	0,00	0,00	47,8	680
2006	3,5	113,7	200,7	196	195	68,6	1,0	6,40	3,20	0,20	0,00	4,60	793

Os dados mensais de temperatura do ar (máxima e mínima) foram estimados pelo software Estima T, desenvolvido pela Universidade Federal de Campina Grande para fazer estimativas na região Nordeste do Brasil. A partir desse software, determinaram-se coeficientes da função quadrática para as temperaturas médias, máximas e mínimas mensais do ar em função das coordenadas locais de longitude, latitude e altitude (CAVALCANTI et al., 2006).

### Processo de calibração do modelo

As principais variáveis de entrada do modelo Century são: temperatura do ar, precipitação mensal, conteúdo de lignina no material vegetal, teores de N, P e S do material vegetal, textura do solo, aporte de N no solo e teor inicial de C, N, P e S nos diferentes compartimentos do solo (LEITE et al., 2004). Os dados edafoclimáticos da área de estudo foram inseridos no arquivo SITE.100 do modelo.

Os parâmetros da vegetação (TREE.100 e CROP.100) foram obtidos da versão do modelo calibrado e validado com a mesma tipologia da vegetação nativa da Caatinga

para simular a produtividade da vegetação após o uso de corte e fogo (ver Capítulo 1 da presente tese). O modelo foi ajustado para simular, além da remoção do componente arbóreo através dos diferentes tipos de cortes (CDQ e CR), a ação do pastoreio misto intensivo (PMI) por ruminantes. Para isso, foram utilizados os parâmetros no arquivo TREM.100, que representam a remoção (REMF) de cada componente do sistema arbóreo (folhas, galhos e raízes), como também o retorno (RETF) ao sistema após as intervenções. Esta etapa incluiu a parametrização desse arquivo TREM.100 para representar a ação do pastoreio misto intensivo (PMI). Assim, os parâmetros do TREM.100 foram ajustados para que o modelo representasse a remoção de forragem após o PMI. A variável de retirada da forragem arbórea para cada fração da parte aérea da planta REMF e RETF (1, 2, 3), como as folhas, os galhos finos e grossos do parâmetro TREM estão listados na Tabela 3.

**Tabela 3.** Principais variáveis modificadas para parametrização do TREM.100 para calibração da vegetação arbórea no município de Serra Negra do Norte, RN.

Variáveis	Valor utilizado
REMF (1)	0,1
REMF (2)	0,01
* REMF (3)	0,019
RETF (1,1)	0,5
RETF (2,1)	0,5
RETF (3,1)	1,0

\*Inserido apenas uma vez ao ano para representar a retirada dos galhos grossos

Para as variáveis de retorno, foram considerados estudos sobre rejeição, dejeção e inacessibilidade. Áreas rejeitadas pelos bovinos podem variar entre 10 e 50% da área total (NOLAN e CONNOLLY, 1988), dependendo da pressão de pastejo empregada. Contudo, segundo Nolan (1986), o principal efeito do pastejo misto com bovino e ovino seria através da utilização, por parte dos ovinos, da forragem rejeitada pelos bovinos nas áreas de dejeção, minimizando as áreas rejeitadas.

Willians e Haynes (1995), em pastagens de uso exclusivo com bovinos, encontraram 5% da área total sob as dejeções e 15% da área como rejeitada, tendo acúmulo de fitomassa em torno das dejeções. Esta pequena área não pastejada continha até 44% da forragem total disponível e a rejeição se daria inicialmente pelo odor das fezes e, posteriormente, devido à maturidade da planta. Apesar dos escassos dados sobre a pastagem nativa da caatinga foi adotado o valor de retorno ao sistema da massa foliar (RETF (1,1)) e a de galhos finos (RETF (2,1)) em 50% considerando boa parte desse material que não é consumido e outra é retonado via dejetos. A variável que simula o

retorno dos galhos grossos (RETF (3,1)) foi considerado uma deposição de 100% ao ambiente como matéria orgânica (MO) representando a morte das árvores caídas no solo.

A remoção de cada estrato é realizada de forma independente, assumindo o arquivo TREM.100 para o corte e pastejo misto intensivo das arbóreas, o HARV.100 para retirada das herbáceas, com ou sem o uso do fogo intenso (FIRE.100) e para o pastejo das herbáceas o parâmetro GRAZ.100. A avaliação do parâmetro TREM.100 para fins silvipastoris foi fundamental porque o modelo Century não traz um parâmetro pré-estabelecido para herbivoria do componente arbóreo, como acontece para o estrato herbáceo (GRAZ.100).

### **Análise de sensibilidade**

Para avaliar o efeito das variáveis do modelo Century na ciclagem de C em área de caatinga do presente estudo foi realizado um teste de sensibilidade, no qual os valores das principais variáveis do parâmetro TREM.100 foram alterados em - 10 % e + 10%.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **Calibração da simulação da regeneração da biomassa aérea da Caatinga**

A biomassa aérea do estrato arbóreo nas áreas preservadas (>50 anos) foi estimada em 45 Mg ha<sup>-1</sup>, com um estoque de C de 20,25 Mg ha<sup>-1</sup>. Nas outras duas áreas (CDQ+PMI e CR+PMI), as estimativas da biomassa aérea arbórea foram de 13,5 e 16,5 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, em 18 anos de regeneração, o que é equivalente a estoques de 7,5 e 6,5 Mg ha<sup>-1</sup> de C.

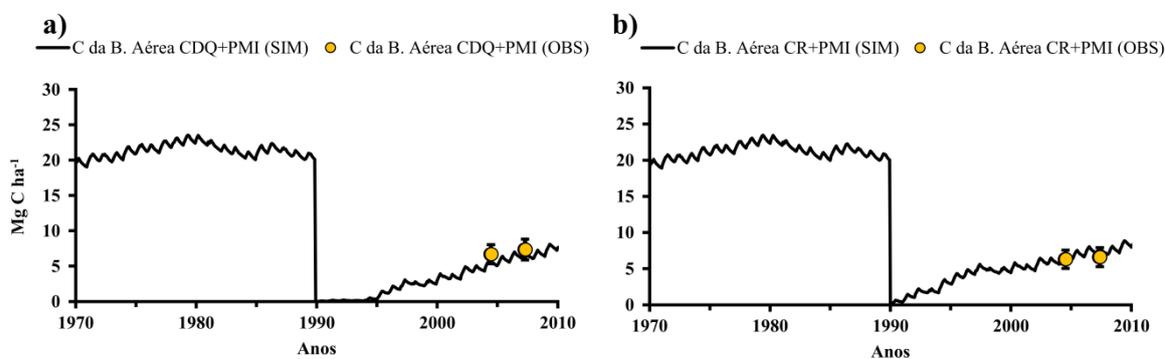
A remoção de biomassa pelos ruminantes em áreas de caatinga sob pastoreio pode ser muito elevada. Moreira e colaboradores (2006) verificaram remoção de 60% da massa de forragem após lotação intensiva de bovinos. Estudo semelhante e com a mesma taxa de lotação (0,16 UA/ ha), evidenciou redução de 89,7% (YDOYAGA SANTANA et al. 2011). Boswell e Cranshaw (1978) afirmaram que a utilização da pastagem foi de 52 % em sistema com bovinos e entre 55,5 e 65,4 % em pastejo misto e concluíram pela superioridade do pastejo misto, devido ao melhor aproveitamento da forragem.

É importante salientar que o pastoreio por ruminantes pode ter efeitos sobre a mortalidade da vegetação arbórea da Caatinga, o que deve, portanto, ser considerado

nas simulações. Albuquerque (1999) verificou, ao longo de quatro anos, a taxa de mortalidade anual do estrato arbóreo sob diferentes taxas de lotação bovina e, no manejo intensivo, a taxa de mortalidade foi 1,3% maior do que nas parcelas testemunhas. Dessa forma, o ajuste adicional no arquivo de remoção do estrato arbóreo do modelo (TREM.100) teve como objetivo representar uma retirada na fração de galhos finos e grossos devido à mortalidade, que, ao longo da calibração, resultou em taxa anual de retirada de 1,4%.

Após o processo de calibração, o modelo foi avaliado quanto à capacidade de simular a produtividade do estrato arbóreo da vegetação nativa em sistemas com pastejo misto intensivo após corte raso e corte com destoca e queima (Figura 1 a:b). O acúmulo médio anual da biomassa de galhos das arbóreas foi abaixo de  $2 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  na região semiárida (ARAÚJO FILHO e CRISPIM, 2002). A prática do pastejo misto intensivo após os diferentes tipos de cortes contribuiu para limitar sua produtividade para menos da metade da média na região semiárida. Entretanto, a produção varia com os diferentes tipos de solo e condições climáticas de cada ambiente.

Nas parcelas com CDQ+PMI (Figura 1a), o comportamento da simulação ao longo dos anos da regeneração do estrato arbóreo, após a destoca, foi inferior aos medidos em campo em 2004 e 2007. Assim, o acúmulo estimado da biomassa aérea em 15 anos ficou em torno de  $12,75 \text{ Mg ha}^{-1}$ , enquanto o valor observado chegou próximo de  $15 \text{ Mg ha}^{-1}$ , com diferença de 14%. Em 2007, com 18 anos de regeneração, a diferença foi de 5%, com um valor simulado de  $15,5 \text{ Mg ha}^{-1}$  e medido em campo de  $16 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Dessa forma, a simulação subestimou os valores observados, mas permaneceu dentro de uma margem de erro considerada aceitável de 20%.



**Figura 1:** Estoque de C da biomassa arbórea aérea em vegetação com 18 anos de regeneração após corte com destoca seguido de queima ou corte raso, ambos com pastoreio misto intensivo (CDQ+PMI e CR+PMI), no município de Serra Negra do Norte, RN.

O valor simulado da biomassa aérea sob o manejo de CR+PMI em 2004, ficou em torno de 15,5 Mg ha<sup>-1</sup>, próximo ao valor medido em campo de 14 Mg ha<sup>-1</sup>, com diferença de 10%. Em 2007, com 18 anos de regeneração, a biomassa arbórea simulada chegou a 17 Mg ha<sup>-1</sup> e a observado foi 14,5 Mg ha<sup>-1</sup>, 15% de diferença. Para melhor entendimento, a tabela 4 mostra os estoques anuais de C, seu acúmulo ao longo de 15 e 18 anos e o desvio padrão (DVP) dos tratamentos medidos em campo.

**Tabela 4.** Acúmulo de C por ano (Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) estoque de C (Mg ha<sup>-1</sup>) ao longo de 15 e 18 anos e desvio padrão (DVP) dos valores observados no município de Serra Negra do Norte, RN.

Tratamentos	Corte, destoca e queima + Pastoreio misto intensivo			
	Observado		Simulado	
	2004 (15 anos)		2007 (18 anos)	
Acúmulo anual	0,44	0,38	0,41	0,39
Estoque de C	6,7	5,75	7,35	7
DVP	(±1,45)		(±1)	
Tratamentos	Corte raso + Pastoreio misto intensivo			
	Observado		Simulado	
	2004 (15 anos)		2007 (18 anos)	
Acúmulo anual	0,42	0,47	0,36	0,43
Estoque de C	6,3	7	6,6	7,8
DVP	(±1,15)		(±1,3)	

A Associação de Plantas do Nordeste (APNE), vem conduzindo há várias décadas o monitoramento da produção de lenha em parcelas de campo no município de Serra Negra do Norte-RN. Foram realizados no mesmo período e tipologia semelhante na Estação Ecológica do Seridó (ESEC) para avaliar o tempo de regeneração do estoque de lenha da Caatinga com os mesmos tipos de cortes (CDQ e CR) sem a ação do pastoreio misto intensivo (PMI) (SAMPAIO et al., 2010). Essas parcelas, além de apresentar diferenças no estoque final de biomassa entre os tratamentos (CR > CDQ), apresentaram diferenças na produtividade ao longo da regeneração entre os tratamentos (Cap. 1 da presente tese). Porém, esse comportamento não foi visto nos tratamentos que receberam o PMI do presente trabalho, nesse caso não foi observado diferenças no acúmulo da biomassa aérea com os distintos tipos de cortes (CR e CDQ) aliado ao pastoreio intensivo misto (PMI).

Mais especificamente, o modelo Century foi capaz de simular de forma satisfatória os acúmulos de biomassa, representando bem o efeito da regeneração e o comportamento dos dados medidos em campo com o PMI que, nesse caso, os valores foram aproximados independente do tipo do corte (CR+PMI ≈ CDQ+PMI). Portanto, observou-se no presente estudo que, independente do tipo de corte, o pastoreio limitou a produção vegetal das arbóreas ao longo do período de 15 a 18 anos de regeneração após

os cortes. Assim, o PMI reduziu a capacidade da vegetação de remover C atmosférico e produzir biomassa.

## **CONCLUSÃO**

A calibração do modelo Century foi satisfatória em representar o efeito da remoção de lenha e pastoreio por ruminantes sobre a vegetação de caatinga. Os valores observados dos tratamentos com corte raso ou corte seguido de destoca e queima foram semelhantes, evidenciando o efeito da herbivoria ao longo dos anos, apesar da destoca ter limitado o crescimento da vegetação arbórea na fase inicial de regeneração.

## REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, S.G. de. Caatinga vegetation dynamics under various grazing intensities by steers in the Semi-Arid Northeast, Brazil. **Journal of Range Management**, v.52, p.241-248, 1999.

ARAÚJO FILHO, J. A. Manejo pastoril sustentável da caatinga / João Ambrósio de Araújo Filho. – Recife, PE: **Projeto Dom Helder Camara**, 2013.

ARAÚJO FILHO, J.A.; CRISPIM, S.M.A. Pastoreio combinado de bovinos, caprinos e ovinos em áreas de caatinga no Nordeste do Brasil. In: Conferência virtual global sobre produção orgânica de bovinos de corte, Concordia, SC. **Corumbá, MS: EMBRAPA pantanal**, p.1-7, 2002.

ARAÚJO FILHO, J.A.; LEITE, E.R.; SILVA, N.L. Contribution of woody species to the diet composition of goat and sheep in caatinga vegetation. **Pasturas Tropicales**, v. 20, n. 2, p. 41-45, 1998.

BOSWELL, C.C.; CRANSHAW, L.J. Mixed grazing of cattle and sheep. **Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production**, v. 38, p. 116-120, 1978.

CAVALCANTI, E. P.; SILVA, V. P. R.; SOUSA, F. A. S. Programa computacional para a estimativa da temperatura do ar para a região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 1, p. 140-147, 2006.

CHAZDON, R. L. Regeneração de florestas tropicais. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais**. n. 7, v. 3, p. 195-218, 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro). Sistema brasileiro de classificação de solos. **Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos**, 2006.

KIRMSE, R.D. Effects of an cutting on forage product in a quality and decomposition in the caatinga woodland of Northeast Brazil: application to goat and sheep nutrition. **Logan, Utah, Utah State a University**. p.15, 1984.

IPCC. Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. PENMAN, J.; GYTARSKY, M.; HIRAISHI, T.; KRUGER, D.; PIPATTI, R.; BUENDIA, L.; MIWA, K.; NGARA, T.; TANABE, K.; WAGNER, F. (Eds.) **Cambridge, UK, Cambridge University Press, IPCC/IGES**, 632p, 2003.

LEITE, L.F.C.; MENDONÇA, E.S.; MACHADO, P.L.O.A. Simulação pelo modelo Century da dinâmica da matéria orgânica de um argissolo sob adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 28, p. 347-358, 2004.

MEUNIER, I. M. J.; CARVALHO, J. E. Crescimento da caatinga submetida a diferentes tipos de corte, na Região do Seridó do Rio Grande do Norte. **Natal: Projeto MMA/FAO/UTF/BRA/047**, n. 4, p. 28, 2000.

MOREIRA, J. N.; LIRA, M. A.; SANTOS, M. V. F.; FERREIRA, M. A.; ARAÚJO, G. G. L.; FERREIRA, R. L. C.; SILVA, G.C. Caracterização da vegetação de Caatinga e da dieta de novilhos no Sertão de Pernambuco. **Pesq. agropec. bras., Brasília**, v.41, n.11, p.1643-1651, nov. 2006.

NOLAN, T., CONNOLLY, J. Les recherches irlandaises sur le pâturage mixte par des bovins et des ovins. I. Bilan de 15 années d'expérimentation. **Fourrages**. v. 113, p. 57-82, 1988.

NOLAN, T. et al. Animal/pasture relationships under mixed sheep/cattle grazing. Proc. XI GEN. MEET. **European grassland federation on "Grasslands Facing the Energy Crisis"**, Portugal. p.481-488, 1986.

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

PFISTER, J.A. Nutrition and feeding behavior of goat and sheep grazing deciduous shrub-woodland in northeastern Brazil. **Logan: Utah State University**, p. 130, 1983.

SAMPAIO E.V.S.B., SILVA G.C. Biomass equations for Brazilian semiarid Caatinga plants. **Acta Bot Bras.** v. 19, p. 935-943, 2005.

SAMPAIO, E.V.S.B. Características e potencialidades. In: Gariglio, M.A.; Sampaio, E.V.S.B.; Cestaro, L.A.; Kageyama, P. (Eds.) Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga. **2ª Ed. Brasília:Ministério do Meio Ambiente**, p. 29-48, 2010.

WILLIAMS, P.H., HAYNES, R.J. Effect of sheep, deer and cattle dung on herbage production and soil nutrient content. **Grass and Forage Science**. v. 50, p. 263-271, 1995.

YDOYAGA-SANTANA, D.F.; LIRA, M.A.; SANTOS, M.V.F. et al. Caracterização da caatinga e da dieta de novilhos fistulados, na época chuvosa, no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, n.1, p.69-78, 2011.

## **CAPÍTULO III**

### **SIMULAÇÃO DO IMPACTO DE CENÁRIOS CLIMÁTICOS SOBRE OS ESTOQUES DE CARBONO NA BIOMASSA AÉREA E NO SOLO EM ÁREAS DE CAATINGA**

**RESUMO** - A região semiárida brasileira é caracterizada pela elevada variabilidade espacial e temporal da precipitação pluviométrica, com alta temperatura e evapotranspiração, fatores que influenciam fortemente a produção agropecuária e florestal. A retirada de lenha da floresta tropical seca nativa da região, denominada “Caatinga”, é geralmente realizada de forma não planejada e não-sustentável, e pode impactar negativamente importantes serviços ecossistêmicos, como a conservação do solo, dos recursos hídricos, da biodiversidade e a captura de carbono (C) atmosférico. A maioria dos modelos climáticos globais indicam que no bioma Caatinga serão observados no futuro próximo aumentos de temperatura e diminuições nas chuvas. Essas projeções aumentam a dificuldade do planejamento futuro para o manejo sustentável desse ecossistema, incluindo o manejo sustentável da extração de lenha da vegetação florestal nativa. Nesse sentido, o uso de modelos de simulação da ciclagem biogeoquímica pode auxiliar o entendimento dessa complexidade e subsidiar a discussão sobre a sustentabilidade de práticas de manejo e planos de corte florestal para produção de lenha. Sendo assim, o objetivo do presente trabalho foi avaliar através de simulações com o modelo Century, o impacto de cenários climáticos sobre os fluxos e estoques de carbono orgânico no solo (COS) e na vegetação arbórea em áreas de caatinga sob diferentes períodos de regeneração e corte (10, 15 e 20 anos). Foram avaliados cenários que incluem o corte raso (CR) com (CQ) ou sem queima (SQ) dos resíduos florestais. O cenário climático utilizado nas simulações foi o SRES A1B, para o qual foi realizado o downscaling pelo modelo Eta/CPTEC para os períodos de 2010-2040, 2041-2070 e 2071-2100. Todos os cenários foram confrontados com o clima histórico, que também foi projetado nos intervalos futuros avaliados, para servir como referência dos efeitos climáticos sobre o manejo adotado. A produção potencial de lenha na Caatinga após um único corte (CQ e SQ) apresentou redução de 10 a 30% em um futuro próximo (2050) em relação à produção estimada com base no clima atual com o mesmo plano de corte. Em 2100, as reduções no acúmulo da biomassa arbórea em ambos os tratamentos chegam próximo a 50% e de 15% do COS. O impacto das mudanças climáticas sobre a biomassa arbórea e o COS poderão reduzir a capacidade de estocar C na biosfera no Bioma Caatinga ao longo do presente século. Essas estimativas sugerem que as práticas de manejo da vegetação nativa devem ser melhor estudadas para auxiliar na mitigação dos impactos potenciais das mudanças climáticas projetadas para a região.

**Palavras-chave:** Modelagem, planos de corte florestal, ciclagem biogeoquímica.

**ABSTRACT-** Brazilian semiarid region is characterized by high spatial and temporal variability of rainfall, high temperature and evapotranspiration, factors that strongly influence the agricultural and forestry production. The withdrawal of firewood of native tropical dry forest region, called "Caatinga" is usually performed in an unplanned and unsustainable, and can negatively impact important ecosystem services such as soil conservation, water resources, biodiversity, and capture atmospheric carbon (C). Most global climate models indicate that the Caatinga biome will be observed in the near future temperature increases and decreases in rainfall. These projections increase the difficulty of the future planning for the sustainable management of ecosystem, including the sustainable management of firewood extraction of native forest vegetation. In this sense, the use of simulation models of biogeochemical cycling can help the understanding of this complexity and support the discussion on the sustainability of forest management and cutting plans for production of firewood practices. Thus, the objective of this study was to evaluate through simulations with the Century model, the impact of climate scenarios on flows and organic carbon in the soil (SOC) and the woody vegetation in areas of savanna under different periods of regeneration and cut (10, 15 and 20 years). We evaluated scenarios that include clearcutting (CR) with (CQ) or without burning (SQ) of forest residues. Climate scenario used in the simulations was the SRES A1B, for which it was undertaken the downscaling by the Eta / CPTEC model for the periods 2010-2040, 2041-2070 and 2071-2100. All scenarios were compared with the historical climate, which is also designed in the evaluated future intervals to serve as reference of climate effects on the management adopted. The potential production of firewood in the Caatinga after a single cut (CQ and SQ) decreased 10-30% in the near future (2050) for the production estimated based on current climate with the same cutting plane. In 2100, the reduction in the accumulation of woody biomass in both treatments come close to 50% and 15% of SOC. The impact of climate change on tree biomass and the COS may reduce the capacity to store C in the biosphere in Caatinga throughout this century. These estimates suggest that the native vegetation management should be better studied to assist in mitigating the potential impacts of climate changes projected for the region.

**Keywords:** modeling, forest harvest plans, biogeochemical cycling.

## INTRODUÇÃO

A floresta tropical seca nativa da região semiárida do Nordeste do Brasil, denominada “Caatinga”, ocupava originalmente uma área de quase 1 milhão de km<sup>2</sup>. Devido à retirada de lenha e estabelecimento de campos agrícolas e pastagens, atualmente somente cerca de metade dessa área ainda é coberta pela vegetação arbustivo-arbórea nativa. A vegetação lenhosa da Caatinga é frequentemente submetida a cortes para extração e venda de lenha e produção de carvão. Na maioria das vezes, o corte da vegetação é seguido do plantio de culturas de subsistência ou pastos para o rebanho. Este sistema extrativista associado aos rigorosos fatores abióticos tem causado problemas socioeconômicos e ecológicos, resultando na degradação de vastas áreas da região semiárida do Nordeste do Brasil (SAMPAIO et al., 2003).

Alguns estudos indicam que as mudanças climáticas projetadas para o futuro poderão causar impactos significativos na América do Sul até o final do Século 21, e esses impactos serão mais intensos na região tropical, especificamente Amazônia e Nordeste do Brasil (BAETTIG et al., 2007). No interior da região Nordeste do Brasil, de clima semiárido, o aumento da variabilidade climática pode agravar ainda mais a degradação das áreas de caatinga e as atividades agropecuárias. Marengo et al. (2014) observaram que o ecossistema semiárido do Brasil é a região brasileira mais vulnerável frente às mudanças climáticas. Com as dificuldades de acesso à água, e a combinação das alterações do clima com competição por recursos hídricos pode levar a uma crise “potencialmente catastrófica” que será enfrentada, sobretudo, por agricultores pobres.

Estudos sobre ciclagem biogeoquímica são importantes para o melhor entendimento das respostas da vegetação aos distúrbios naturais e antrópicos. Conhecer o processo regenerativo da vegetação nativa da Caatinga (arbórea e herbácea) mediante esses distúrbios é essencial para estabelecer um manejo ou plano de corte da vegetação arbórea para venda de lenha. Além disso, esse manejo da vegetação deve ser adequado para cada tipologia de solo e condição climática. Esse entendimento detalhado pode contribuir para subsidiar o delineamento de estratégias sustentáveis de uso e conservação. Há, portanto, a necessidade de estudos que avaliem, em longo prazo, o impacto de diferentes práticas de manejo sobre essas áreas. Por exemplo, qual é o tempo necessário para regeneração do estoque de lenha em uma determinada área? Após a regeneração do estoque de lenha, o solo também recupera o estoque de matéria orgânica presente no momento do corte? Como a queima dos resíduos florestais após a retirada

da lenha interfere nesses processos? Com base nessas questões, pergunta-se então, qual o tempo mínimo para um determinado local, necessário para retirada da lenha de maneira a manter um manejo florestal sustentável? Finalmente, uma das perguntas mais importantes: como o clima projetado para o futuro poderá afetar todos esses processos?

Essas são questões difíceis de responder com base em dados experimentais, devido ao longo tempo e volume de recursos necessários para realizar estudos representativos em todo o bioma Caatinga. Um importante fator que dificulta essas respostas é a variabilidade climática intrínseca da Caatinga, tanto na escala intra-anual como em longo prazo, além da elevada variabilidade de tipos de solo, do relevo e de outros fatores ambientais. Essa elevada complexidade torna difícil o delineamento e monitoramento de sistemas sustentáveis de uso da terra na região. Com isso, há uma carência de estudos de longo prazo no semiárido que visem obter dados mais detalhados da complexidade do sistema e que possam contribuir para o uso adequado dos recursos naturais frente às mudanças climáticas. A predição dos efeitos do clima, composição atmosférica e manejo sustentável são essenciais na formulação de políticas ambientais, sociais e econômicas.

Entre os modelos mais usados, está o Century (PARTON et al., 1987), que já tem sido usado em vários trabalhos conduzidos no Brasil em ecossistemas tropicais (CERRI et al., 2003) e subtropicais (LEITE et al., 2004; TORNQUIST et al., 2009; BORTOLON et al., 2011;) apresentando boa capacidade para simular os efeitos de diferentes manejos e usos da terra. apresentando boa capacidade para simular os efeitos de diferentes usos e manejos. Dessa forma, o objetivo do presente trabalho foi avaliar, através de simulações com o modelo Century, o impacto de cenários climáticos sobre os estoques de C na vegetação e no solo em áreas de caatinga submetidas a diferentes períodos de corte (10,15 e 20 anos) com ou sem uso do fogo após o corte.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### **Caracterização da área de estudo**

A área utilizada para obtenção dos dados do presente estudo foi a Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) da Fazenda Tamanduá (06°59'13" e 07°00'14"S e 37°18'08" e 37°20'38"W) situada no município de Santa Teresinha, na região do semiárido paraibano. Nessa área, a temperatura média anual da mínima e máxima foram de 21 e 33°C e a precipitação pluviométrica apresenta média de 800 mm ano<sup>-1</sup> (média baseada em 100 anos de observação). O período chuvoso é restrito a três

meses do ano, geralmente de março a maio. A evapotranspiração varia entre 1.600 a 2.000 mm.ano<sup>-1</sup> (SOUZA et al., 2012). O tipo de solo predominante na área de estudo é o Neossolo Litólico, segundo a classificação da EMBRAPA (2006), relativamente raso, com profundidades em torno de 40 cm e baixa fertilidade.

### **Quantificação da biomassa de caatinga e dos estoques de C no solo**

Foram utilizados dados de campo de trabalhos previamente realizados (FREITAS et al., 2013; SOUZA et al., 2013; COSTA et al., 2014). Parte das áreas utilizadas para simulação do modelo se encontravam em estágio preservado, sem distúrbios significativos pelo menos nos últimos 50 anos. Outras áreas encontravam-se em regeneração por cerca de 20 após o corte da vegetação arbórea. O modelo foi calibrado e validado em parcelas preservadas e em áreas com 15 e 18 anos de regeneração após corte raso e corte com destoca mais o uso do fogo na região da Paraíba e do Rio Grande do Norte (ver Capítulo 1 da presente tese). As áreas da Paraíba foram selecionadas para o presente trabalho por apresentar em um maior conjunto de dados climáticos e de estoques de C e N em parcelas de vegetação de caatinga em vários estudos prévios (FREITAS et al., 2012; SOUZA et al., 2012; COSTA et al., 2014).

Em cada parcela foi quantificado o estoque de biomassa de lenha através de equações alométricas. Para isso, foi medido o diâmetro na altura do peito (DAP, 1,3 m do nível do solo) de todas as plantas com DAP  $\geq$  3cm. A biomassa acima do solo de cada planta foi estimada pelo método alométrico usando o DAP na equação de determinação de biomassa das espécies arbóreas da Caatinga, conforme descrito por SAMPAIO e SILVA (2005):

$$\text{Biomassa (Kg)} = 0.173 \text{ DAP(cm)}^{2.295}$$

Para determinação do C, assumiu-se que correspondiam a 45% da biomassa. Em geral, nos cálculos de estoque de C tem sido adotada a proporção de 50% (IPCC, 2003), mas há registros de 45 a 50% (CHAZDON, 2012), portanto, adotou-se o valor base (45%) no presente trabalho.

Para a estimativa da alocação de C na biomassa aéreas arbóreas de caatinga, assumiram-se as proporções de 2-5% de folhas (REGINA, 2000; SOARES e OLIVEIRA, 2002; SALIS et al., 2006), 70-80% de galhos grossos e 10-20% de galhos finos (SAMPALIO e SILVA, 2005).

Freitas e colaboradores (2012) conduziram experimentos na área do presente estudo e quantificaram a biomassa do estrato herbáceo e sua fixação simbiótica de N, como também a textura, o pH e os teores de C e N do solo até 20 cm de profundidade. Os estoques de C para cada camada, em todas as áreas estudadas, foram calculados pela expressão (VELDKAMP 1994):

$$\text{Est C} = (\text{CO} \times \text{Ds} \times \text{e})/10, \text{ onde:}$$

Est C = estoque de C orgânico em determinada profundidade ( $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ );

CO = teor de C orgânico total na profundidade amostrada ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ );

Ds = densidade do solo da profundidade ( $\text{kg} \cdot \text{dm}^{-3}$ );

e = espessura da camada considerada (cm).

### **Clima local**

O arquivo \*.WTH do modelo Century contém os dados mensais do clima da área de estudo (precipitação pluviométrica total mensal e temperaturas máxima e mínima médias mensais do ar). A série histórica da precipitação mensal foi obtida da fazenda Tamanduá, para o período de janeiro de 1911 até julho de 2013 (FAZENDA TAMANDUÁ, 2014).

Os dados mensais de temperatura do ar (máxima e mínima) foram estimados pelo software Estima T, desenvolvido pela Universidade Federal de Campina Grande para fazer estimativas na região nordeste. Com ele determinaram-se coeficientes da função quadrática para as temperaturas do ar média, máxima e mínima mensal em função das coordenadas locais de longitude, latitude e altitude (CAVALCANTI et al., 2006).

### **Cenários Climáticos**

A simulação da produtividade da vegetação nativa na área de estudo foi feita utilizando-se o cenário climático SRES A1B, gerado pelo modelo regional Eta/CPTEC, através de *downscaling* dinâmico do modelo global HadCM3 (MARENGO et al., 2007). O modelo regional Eta/CPTEC possui alta resolução (40 km lat-lon) com 20 camadas verticais sobre a América do Sul. O cenário climático utilizado foi o A1B de emissões de gases de efeito estufa (GEE), porém no presente estudo foram considerados três membros compostos para avaliação de amplitude do cenário: LOW, MIDI e HIGH todas pertencentes ao cenário A1B.

## Correção de erros sistemáticos dos dados do modelo Eta/CPTEC

### *Temperatura do ar*

As previsões dos modelos numéricos de tempo possuem erros sistemáticos que ocorrem em função de processos físicos atuantes e das condições iniciais e de contorno representadas nos modelos. Por isso, é necessário realizar comparações de análises com os dados do modelo Eta/CPTEC e com dados observados para verificar a magnitude dos erros sistemáticos.

Para os dados de temperatura do ar, a correção dos erros sistemáticos (°C) ocorreu subtraindo-se as médias mensais dos dados observados das médias mensais geradas no modelo Eta/CPTEC.

$$\text{ERRO SISTEMÁTICO (BIAS)} = \text{TEMP}_{\text{ETA/CPTEC}} - \text{TEMP}_{\text{OBS}}$$

em que:  $\text{TEMP}_{\text{ETA/CPTEC}}$  corresponde a temperatura do ar (°C) simulada pelo modelo Eta/CPTEC e  $\text{TEMP}_{\text{OBS}}$  corresponde a temperatura do ar (°C) observada, ambas referindo-se ao período de 1961-1990.

Assim, foi criado um valor médio mensal ( $\text{BIAS}_{\text{jan}}$ ,  $\text{BIAS}_{\text{fev}}$ ... $\text{BIAS}_{\text{dez}}$ ), que foi subtraído do segundo período (1985-1990). A intenção foi verificar o quanto os dados gerados pelo modelo diferenciam-se dos dados observados, justificando assim a correção desses erros, e aproximar as simulações do que seria esperado, tendo como base a série histórica medida. A série de trinta anos de dados do modelo e observados, referente ao período do clima presente (1961-1990), foi dividida em outros dois períodos: uma série para a correção dos erros sistemáticos (1961-1985) e a outra para verificar a eficiência da correção (1986-1990). O primeiro período serviu para calcular o erro sistemático que foi utilizado para corrigir os dados do modelo referentes ao segundo período e assim, verificar a eficiência da correção ao comparar com os dados observados (RESENDE, 2011; RODRIGUES, 2011). Depois de verificado o desempenho, a correção foi estendida para os dados simulados (2010-2100).

### *Precipitação pluviométrica*

A abordagem de correções de erros sistemáticos utilizados nos dados de temperatura não é apropriada para os dados de precipitação. A correção dessa variável foi realizada através de um fator de multiplicação (c) (HEMPEL et al., 2013), definido como:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^{m=30} P_i^{\text{OBS}}}{\sum_{i=1}^{m=30} P_i^{\text{Eta/CPTEC}}}$$

em que:  $P_i^{\text{OBS}}$  refere-se aos valores mensais da série de dados de precipitação observada e  $P_i^{\text{Eta/CPTEC}}$  refere-se aos valores mensais da série de dados de precipitação do modelo Eta/CPTEC, ambos para o período do clima presente (1961-1990).

Para isso, foi criado um fator multiplicativo  $C$  para cada mês. No entanto, ele teve um limite superior de 10, a fim de evitar valores elevados de precipitação. Isso é justificado pelo fato de que um alto valor de  $C$  causa discrepância entre o valor simulado pelo modelo e o observado. Depois de terminados os fatores multiplicativos mensais, eles foram usados para corrigir os valores simulados pelo modelo.

O fator de multiplicação foi aplicado à série de precipitação mensal referente ao clima futuro (2010-2040; 2041-2070; 2071-2100), ajustando a média de 30 anos dos dados do modelo Eta/CPTEC aos dados observados:

$$\tilde{P}_{ij}^{\text{Eta/CPTEC}} = C \cdot P_{ij}^{\text{Eta/CPTEC}}$$

### **Modelagem das interações entre projeções climáticas e manejo da vegetação**

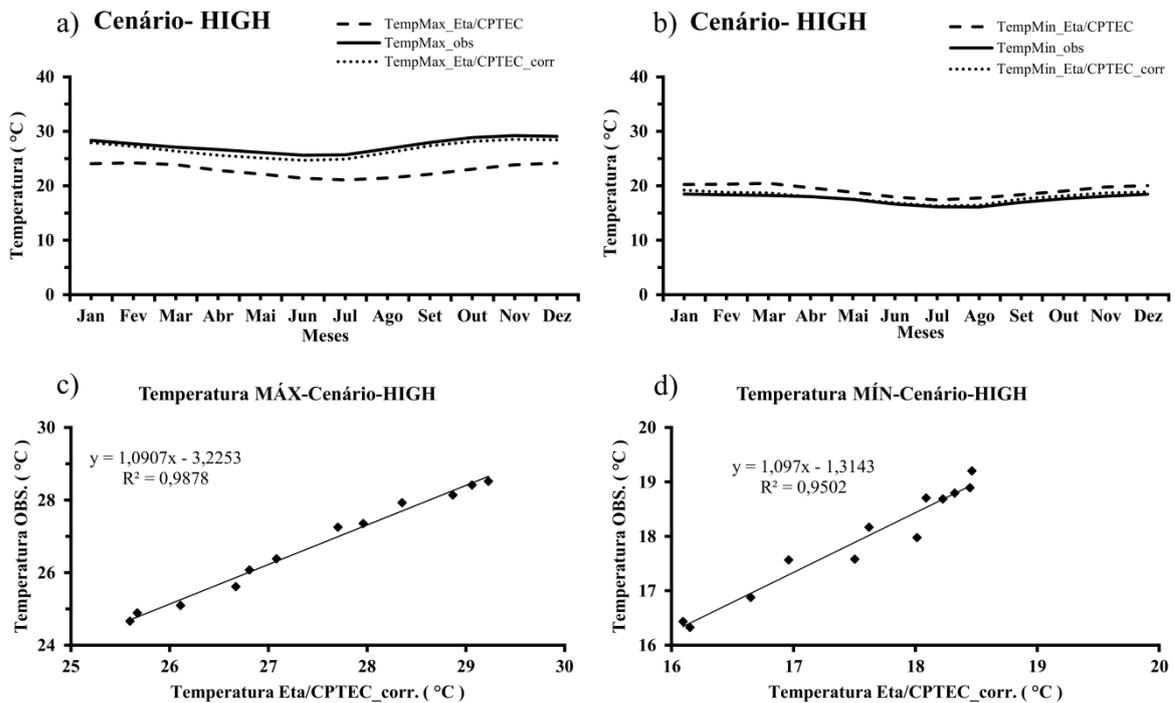
As projeções de avaliação da dinâmica de produção de biomassa pela vegetação arbórea nativa e dos estoques de COS, foram feitas com dois cenários climáticos: 1) clima atual, ou seja, repetindo-se os dados climáticos observados nos últimos 86 anos para suprir os anos projetados de 2014 a 2100 (período de 1925 a 2011; ou 2) Cenário A1B (após as correções dos erros sistemáticos). Foram utilizados os últimos 86 anos dos dados observados para representar o mesmo tempo da série de dados dos membros do cenário A1B a partir do primeiro ano de corte para projeções (2015 a 2100). Apesar dos dados apresentarem um período de 90 anos (2010-2100), o primeiro corte para todos os cenários foi ajustado para o ano de 2015.

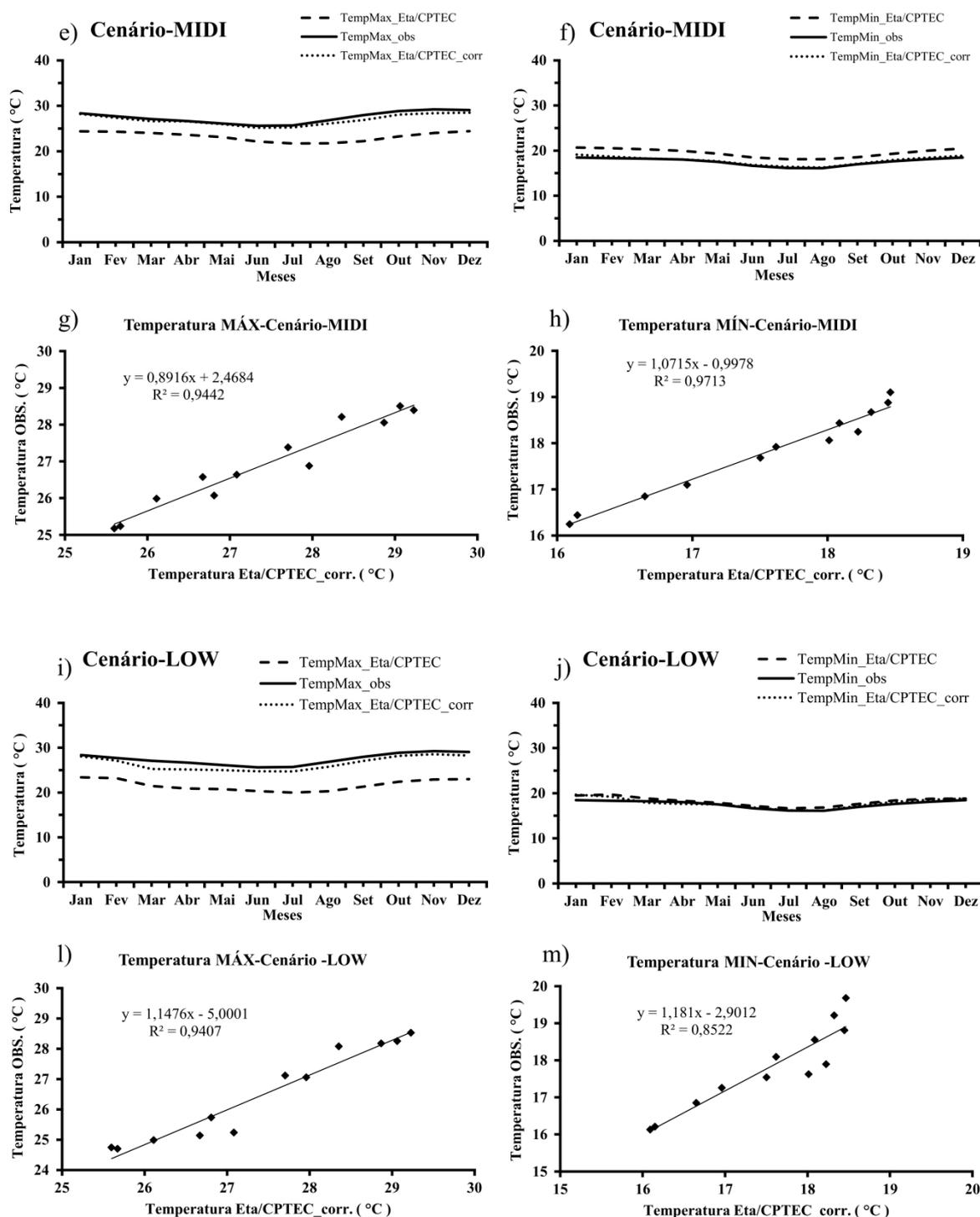
Em primeiro lugar, foram avaliados os impactos dos cenários climáticos sobre a produtividade da vegetação arbórea e sobre os estoques de C no solo após um único corte raso (CR) com (CQ) e sem (SQ) queima dos resíduos florestais. Em seguida, as simulações avaliaram os impactos dos cenários climáticos sobre a produção de caatinga e o estoque de C no solo com corte repetido em intervalos de 10, 15 ou 20 anos com e sem o uso do fogo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Correção dos dados de temperatura do ar

O modelo Eta/CPTEC representou bem a variação sazonal da temperatura do ar do clima presente (1961-1990) para cada membro (HIGH, MIDI e LOW) do cenário A1B (Figura 1 a:b; e:f; i:j). O modelo subestimou a temperatura máxima e superestimou a temperatura mínima do ar para todos os membros que representam o cenário A1B. A temperatura máxima teve maiores erros sistemáticos que a temperatura mínima. Contudo, a correção utilizada foi eficiente, aproximando os valores simulados pelo modelo aos observados. A comparação entre os valores simulados pelo modelo e observados após a correção possibilitou o uso dos fatores de correção para aplicar nas projeções da temperatura para os anos de 2010 até 2100 (Figura 1 c:d; g:h: l:m).



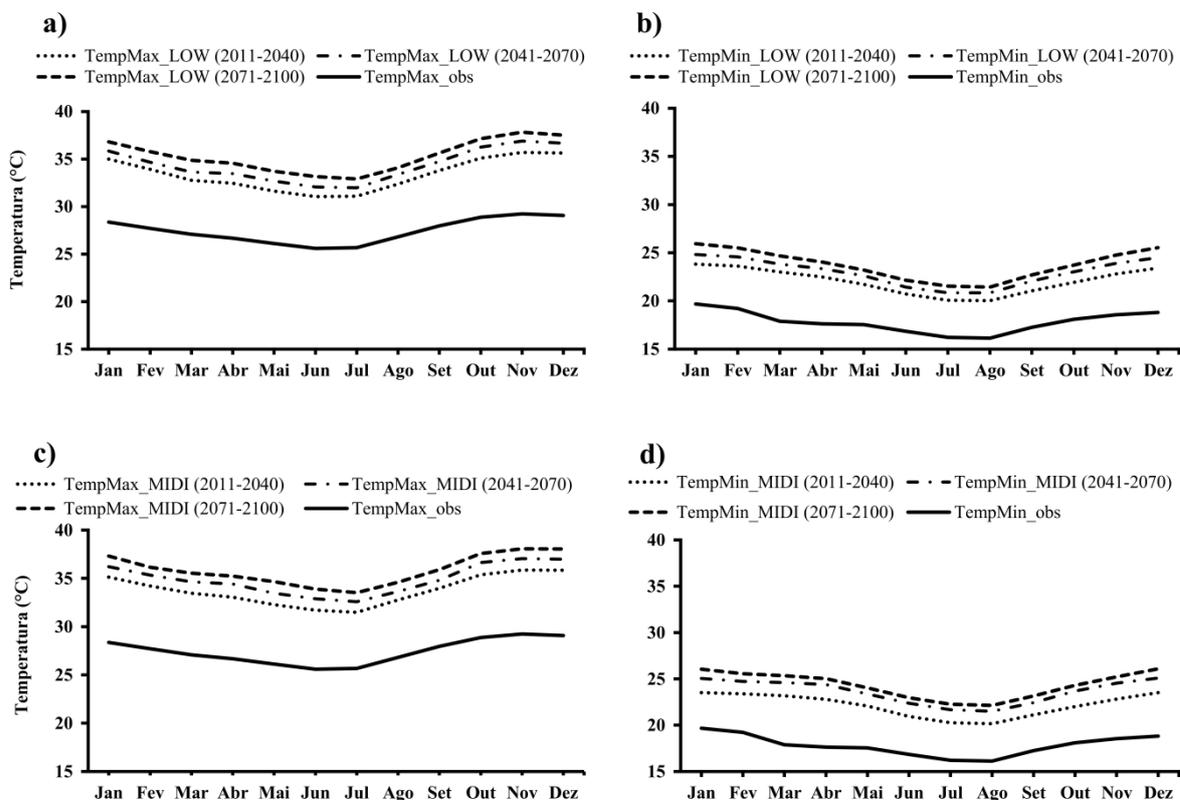


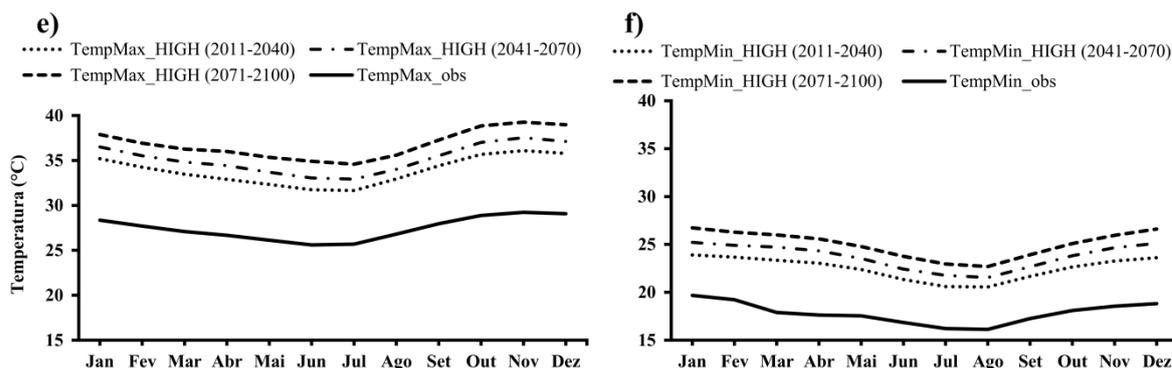
**Figura 1.** Temperaturas máxima e mínima observadas, simuladas pelo modelo Eta/CPTEC e corrigidas (erros sistemáticos) para os membros HIGH, MIDI e LOW do cenário A1B no município de Santa Teresinha, PB, Brasil (a, b, e, f, i, j) e regressão linear para comparar as correções entre simulado e observado para cada membro (c, d, g, h, l, m).

A média anual do valor observado de temperatura mínima em trinta anos foi de 18°C e as médias anuais ao longo de trinta anos para cada período das projeções (2010-2040, 2040-2070, 2070-2100) para o membro LOW foram de 22, 23 e 24°C,

representando uma diferença entre o valor observado e os projetados em torno de 20, 22 e 25% de aumento de temperatura nos três períodos, respectivamente. No membro MIDI, as médias de temperatura mínima dos três períodos de trinta anos projetados foram de 22, 23,5 e 24°C, ou seja, um aumento de 20, 24,5 e 27% na temperatura nos três períodos, respectivamente. Para o membro HIGH, os aumentos estimados da temperatura mínima foram de 21; 25 e 30% nos três períodos estudados, respectivamente. Dessa forma, foram estimados aumentos em torno de 4, 5 e 6 °C na temperatura mínima média para os períodos de 2010-2040, 2040-2070 e 2070-2100.

O valor observado da temperatura máxima em trinta anos teve uma média de 27,5°C. No membro LOW, as médias de temperatura máxima para os períodos de 2010-2040, 2040-2070 e 2070-2100 foram de 33, 34 e 35°C, representando diferenças entre o valor observado e os projetados em torno de 18, 20 e 22%. Para o membro MIDI, as médias projetadas ficaram em torno de 34, 35 e 36°C. Por fim, para o membro HIGH, foram verificados aumentos em torno de 6, 7 e 8°C nas médias de temperaturas máximas para os períodos de 2010-2040, 2040-2070 e 2070-2100 (Figura 2 a;b; c;d; e:f).



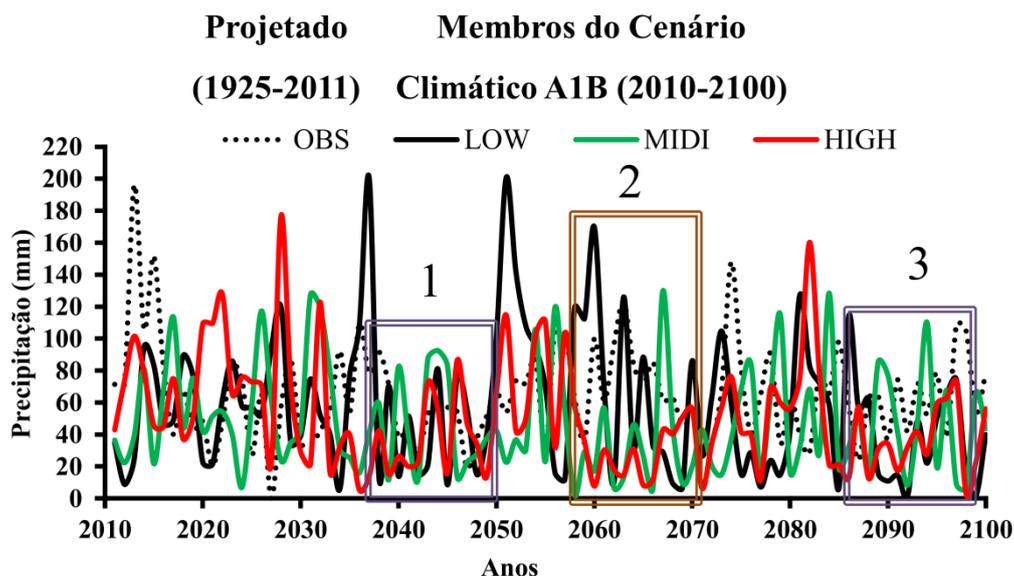


**Figura 2.** Comparação entre as temperaturas máximas e mínimas observadas e simuladas pelo modelo Eta/CPTEC para cenários futuros para cada membro (HIGH, MIDI e LOW) do cenário A1B no município de Santa Teresinha, PB, Brasil (a, b, c, d,e, f).

### Correção dos dados de precipitação

A precipitação pluviométrica média simulada pelo modelo Eta/CPTEC para o clima presente ficou abaixo da média climatológica da região de estudo, influenciando também as séries futuras. O modelo subestimou a chuva em praticamente todos os meses de cada membro, com exceção dos meses que compõem a estação seca. Após a correção, a precipitação média simulada pelo modelo foi ajustada aos dados observados, apresentando as estações secas e chuvosas bem definidas

Após aplicada a correção, os dados de precipitação pluviométrica estimados pelo modelo Eta/CPTEC representaram bem a variação sazonal da chuva observada no clima presente (1961-1990), nos cenários de cada membro (LOW, MIDI e HIGH) para o município de Santa Teresinha, PB. O fator de multiplicação foi aplicado às séries futuras dos dados de precipitação simuladas pelo modelo Eta/CPTEC (2010-40; 41-70; 71-2100) para cada membro (HIGH, MIDI e LOW) do cenário climático A1B. O valor observado médio da precipitação ao longo de cem anos de registro foi de  $800 \text{ mm ano}^{-1}$ . As médias de todos os membros projetados ao longo de 90 anos, apontaram uma redução da precipitação para valores em torno de 610; 575 e  $640 \text{ mm ano}^{-1}$ , significando diminuições em torno de 25; 28 e 20% na precipitação pluviométrica estimada para esses cenários futuros, respectivamente (Fig. 3). Observe na Figura 3 o comportamento da precipitação pluviométrica de cada membro em relação a precipitação pluviométrica observada no período de 1925 a 2011 que foi projetado para servir como uma referência.



**Figura 3.** Distribuição das precipitações anuais observadas (1925-2011) e simuladas pelo modelo Eta/CPTEC para cada membro (HIGH, MIDI e LOW) do cenário climático A1B, no município de Santa Teresinha, PB.

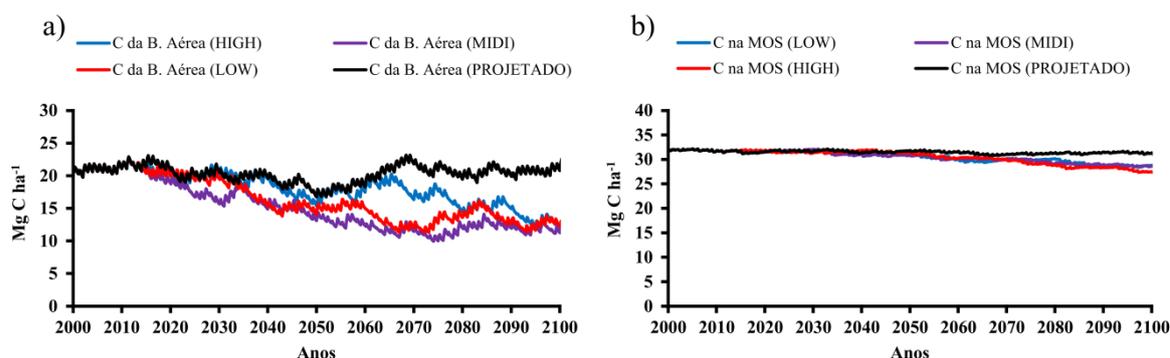
O primeiro e terceiro quadro identificam um período em torno de 15 anos de seca em todos os cenários climáticos (2035-2050 e 2085-2100). Já o segundo quadro mostra períodos mais secos para os membros MIDI e HIGH e mais chuvosos nos cenários de clima observado e LOW no intervalo de 2055 a 2070.

Historicamente, a região sempre foi afetada por grandes secas ou cheias. Essas secas estão associadas às características climáticas da região, além do aquecimento dos Oceanos Pacífico e Atlântico Tropical, as maiores secas sendo atribuídas o El Nino (NOBRE et al., 2006). Por outro lado, há ocorrências de chuvas intensas em toda a Região. Dessa forma, as projeções de clima futuro, liberadas pelo Quarto Relatório do IPCC AR4 (IPCC, 2007 a, b), e pelo Relatório de Clima do Inpe (MARENGO et al., 2007 a e b; AMBRIZZI et al., 2007) têm mostrado cenários de secas e eventos extremos de chuva em grandes áreas do planeta. No Brasil, a região mais vulnerável, do ponto de vista social à mudança de clima, seria o semiárido.

Com as projeções climáticas definidas para o cenário A1B do município de Santa Teresinha, foram realizadas simulações para avaliação da dinâmica do C na vegetação nativa da Caatinga e na MOS para cada membro do cenário A1B confrontado a vegetação preservada com média em torno de 20 Mg C ha<sup>-1</sup> conduzido pelo clima histórico ao longo de 86 anos (1925-2011) para representar a simulação projetado a partir do ano de 2014 até o ano de 2100. O acúmulo de C na biomassa arbórea em um

futuro próximo (2050) foram menores em até 20% no membro MIDI, 15% no HIGH e de 7% no membro LOW.

Na MOS, a emissão é menos expressiva, com uma amplitude de 1 a 3% entre os membros, porém agrava-se ao longo do tempo. Dessa forma, no final do século, a perda da produção na biomassa aérea do componente arbóreo chegaram a 45% no membro MIDI, e nos demais membros (HIGH e LOW) ficaram em torno de 40%. O comportamento do estoque de C da MOS comportou-se com perdas em torno de 13% no membro HIGH e de 10% nos membros LOW e MIDI (Figura 4 a:b).



**Figura 4.** Perda no acúmulo de C na vegetação arbórea nativa de caatinga e emissão do COS em áreas sem intervenção, apenas sob as condições climáticas observadas nos membros (LOW, MIDI, HIGH) do cenário A1B confrontados com o clima histórico local projetado, em Santa Teresinha, PB, Brasil.

### Produtividade da vegetação arbórea de caatinga submetida à diferentes ciclos de corte e cenários climáticos

Em ecossistemas ocorrentes em regiões de clima árido e semiárido, os fatores ambientais têm o potencial para limitar o recrutamento de plântulas, com implicações na diversidade e na densidade das populações, exercendo influência sobre o tamanho das populações vegetais (IACONA et al., 2010). Dessa forma, após a etapa dos ajustes climáticos, foi simulado a dinâmica de C na biomassa do estrato arbóreo e na MOS ao longo de 85 anos (2015 a 2100) e também em ciclos sucessivos de corte raso (CR) a cada 10, 15 ou 20 anos com (CQ) e sem a queima (SQ) dos resíduos florestais, utilizando-se o clima histórico (1925-2011) projetado e cada membro (HIGH, MIDI e LOW) do cenário de mudança climática A1B. A produção de lenha sob o cenário climático projetado, para todos os membros avaliados, foi inferior à produtividade sob o clima histórico (Figura 5).

As perdas estimadas de C e nutrientes dos compartimentos do ecossistema florestal após o corte e queima da floresta seriam gradualmente revertidas durante a

regeneração da floresta. Em geral, o crescimento vigoroso de brotos confere uma vantagem competitiva durante os primeiros estágios de uma sucessão florestal e a reciclagem é capaz de suprir as quantidades relativamente pequenas que as plantas requerem para seu crescimento limitado. A matéria orgânica perdida do solo é restaurada devido à decomposição da liteira e a produção de biomassa radicular. Assim, as florestas se regeneram rapidamente, acumulando nutrientes na vegetação, liteira e solo, particularmente durante os primeiros 20 anos (BROWN e LUGO, 1990).

Segundo Araújo Filho (2013), a tipologia da vegetação caatinga de uma forma geral é caracterizada como um estrato arbóreo-arbustivo que em sua fase de clímax apresenta dominância de espécies arbóreas e que alcança o equilíbrio por volta dos 45 a 50 anos após o início da regeneração da vegetação após o corte. Todavia, esses valores podem variar bastante em função de fatores locais, flutuações climáticas e exaustão do banco natural de sementes, principalmente das arbóreas. Nas florestas tropicais secas da Península de Yucatán, no México, a biomassa aérea é capaz de alcançar níveis de floresta primária dentro de 65 a 120 anos de sucessão (READ e LAWRENCE, 2003). Então, um período mínimo de repouso tem que ser respeitado para recuperação do solo e da vegetação nas áreas utilizadas.

A vegetação de caatinga do presente trabalho com o uso do clima histórico projetado quando teve sua regeneração simulada após um único corte atingiu o equilíbrio do estoque de biomassa, próximo ao estoque original, cerca de 50 anos após o início da regeneração (Figura 5 a:b). Por outro lado, quando submetida ao clima dos membros do cenário A1B, os estoques de C na vegetação estabilizaram-se em cerca de duas décadas em um nível inferior aos estoques originais. Em 2100, nos membros HIGH, MIDI e LOW o acúmulo de C na vegetação arbórea de caatinga foi equivalente a apenas 46, 50 e 45% do estoque original. Para Tews e colaboradores (2006), as interações entre vegetação e fatores ambientais são dinâmicas e podem ser ao mesmo tempo positivas e negativas a depender do componente e do tipo de fator considerado. Entre os fatores ambientais que afetam a diversidade e a densidade das populações, a variação nos totais pluviométricos é apontada como fator que, direta ou indiretamente, mais influencia a estrutura da vegetação (BROOKER et al., 2012).

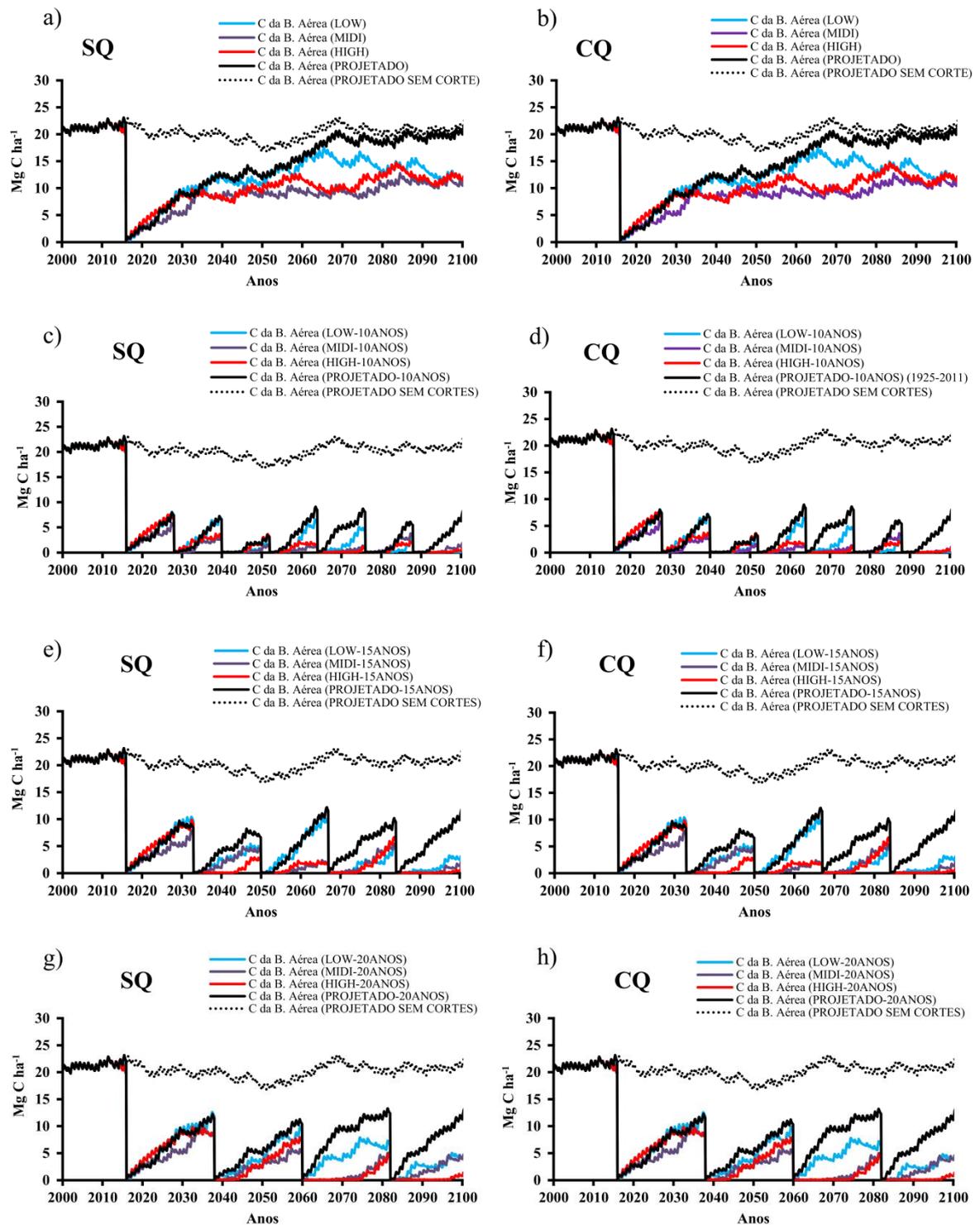
O tratamento que inclui o corte a cada 10 anos representa uma prática de manejo comum na Caatinga, apesar de ser claramente uma perturbação muito intensa do ecossistema, por não permitir a regeneração da vegetação e do COS em alguns casos. Na realidade, extensas áreas dos sertões nordestinos são submetidas atualmente a

períodos de repouso de menos de 10 anos, quando a vegetação ainda é predominantemente de porte arbustivo (ARAÚJO et al., 2013).

Em uma sequência de sete corte raso consecutivos (figura 6 c:d), com e sem o uso do fogo, o impacto sobre a produção de biomassa aérea foi maior com a simulação do membro MIDI. Com cortes a cada 10 anos a produção da biomassa em todos os membros do cenário A1B sofreram reduções comparada com as simulações com o clima histórico projetado. No primeiro ciclo de todos os cenários a biomassa chegou próximo a  $18 \text{ Mg ha}^{-1}$ , no segundo ciclo, a produtividade da biomassa foi menor nas projeções com os membros HIGH e MIDI; e terceiro ciclo, houve queda na produtividade em todos os cenários devido a um longo período de seca. Ao longo da projeção, apenas o cenário do clima histórico apresentou produtividade da biomassa semelhante à do primeiro ciclo, o que sugere um impacto negativo das possíveis mudanças climáticas sobre a produção de biomassa de caatinga (tabela 3).

Estudos de longo prazo sobre o impacto das variações das condições climáticas entre anos na dinâmica e na estrutura da comunidade vegetal em áreas de pradaria em ambiente semiárido (MATESANZ et al., 2009) apontam que as variações interanuais de precipitação e de temperatura desempenham um papel importante na dinâmica das ervas, sendo o primeiro fator o principal responsável pelas mudanças na dinâmica das espécies de ciclo de vida anual e na estrutura da comunidade herbácea, afetando as interações entre espécies anuais e perenes.

Comportamentos semelhantes, ou seja, diminuições gradativas na produtividade de biomassa ao longo do período simulado foram também observadas para os intervalos de corte com 15 anos com e sem o fogo (Figura 5 e:f) e também para os intervalos de corte de 20 anos (Figura 5 g:h). É interessante observar que as simulações com o uso do fogo após o corte raso causaram apenas um pequeno impacto (reduções de menos de 1%) sobre a produtividade vegetal em todos os cenários e ciclos de corte comparadas com as simulações sem uso do fogo. Bond e Midgley (2001) observaram que muitas plantas lenhosas podem rebrotar, e muitos ecossistemas estão dominados por espécies com capacidade de persistir após eventos de fogo. Estudos realizados no semiárido brasileiro verificaram que o fogo não afeta a velocidade média de crescimento, que depende muito mais das condições do sítio e do estoque original de biomassa na vegetação (SAMPAIO et al., 2010).



**Figura 5.** Acúmulo de C na vegetação arbórea nativa da Caatinga, após corte raso, sem queima (SQ) e com queima (CQ), ao longo de 85 e a cada 10, 15 e 20 anos de regeneração sob as condições climáticas observadas para cada membro (LOW, MIDI, HIGH) do cenário A1B confrontados com o clima histórico local em Santa Teresinha, PB, Brasil.

Diante das simulações realizadas com a projeção futura do clima histórico ao longo dos ciclos de corte raso a cada 10, 15 e 20 anos, foi visto que a biomassa aérea das arbóreas não ultrapassou 60% da recuperação total da biomassa original de caatinga estudada, que encontrava-se sem distúrbios há pelo menos 50 anos. Portanto, a simulação indica que a recuperação dos estoques de biomassa da vegetação preservada exige um período de pelo menos 50 anos de regeneração com as condições do clima histórico que foi projetada (Figura 5 a:b). Já a produção de biomassa aérea arbórea em todas as simulações utilizando os membros do cenário A1B, independente dos ciclos de corte (10, 15 ou 20 anos) apresentaram redução significativa em relação às projeções do clima histórico (Tabela 1). Isto ocorre porque, nestes ambientes, a fertilidade do solo e a composição das espécies estão diretamente relacionadas a este fator e uma diminuição brusca nos totais pluviométricos de determinadas áreas de altas temperaturas e baixa umidade relativa pode provocar até mesmo a extinção das populações de espécies menos resistentes (TEWS e JELTSCH, 2004; SWEMMER et al., 2007).

Essa influência não só afeta a estrutura das populações como induz a criação de estratégias de ajuste e favorece a adaptação de algumas espécies sob determinadas condições de déficit hídrico. Reis e colaboradores (2006), em um estudo sobre variações na estrutura de populações herbáceas entre anos, observaram que as ervas adotavam uma estratégia de ajuste ao déficit hídrico reduzindo o diâmetro do caule e a altura em anos mais secos e que as variações de precipitação entre anos causavam redução severa no tamanho de suas populações, podendo levar ao desaparecimento local de algumas espécies.

**Tabela 1:** Acúmulo de C na vegetação arbórea nativa da Caatinga com ciclos de corte raso sem queima a cada 10, 15 e 20 anos de acordo com os membros (HIGH, MIDI e LOW) do cenário A1B, confrontado ao clima do histórico local.

Clima Simulado	Ciclos de corte						
	1	2	3	4	5	6	7
	<b>Regeneração por 10 anos</b>						
	-----Mg C ha <sup>-1</sup> -----						
Clima histórico	8,0	7,2	3,5	9,1	8,7	6,1	6,2
HIGH	7,6	3,7	3,7	1,8	1,2	2,2	0,4
MIDI	5,8	2,9	1,6	1,2	1,4	3,8	0,9
LOW	8,1	7,2	3,3	6,6	4,9	2,8	0,1
	1	2	3	4	5		
	<b>Regeneração por 15 anos</b>						
	-----Mg C ha <sup>-1</sup> -----						
Clima histórico	9,1	7,2	12,2	10,2	10,6		
HIGH	9,9	2,9	2,0	6,7	0,6		
MIDI	7,9	4,6	2,1	5,5	1,7		
LOW	10,4	5,0	10,1	5,0	3,1		
	1	2	3	4			
	<b>Regeneração por 20 anos</b>						
	-----Mg C ha <sup>-1</sup> -----						
Clima histórico	12,3	11,3	13,3	13,2			
HIGH	8,7	7,9	4,9	1,4			
MIDI	8,8	5,7	5,1	4,7			
LOW	12,6	9,9	7,3	4,6			

### Impactos dos ciclos de corte e cenários climáticos sobre os estoques de carbono orgânico do solo (COS)

Na Figura 6 (a:b), representando apenas um único corte, aliado ou não à queima, é mostrado que, no cenário do clima histórico, a recuperação do COS para seu valor original tem início depois de 25 anos a partir do corte, ficando ainda 2% menor do valor original. Já para cada membro do cenário A1B, o COS ao longo das projeções de 85 anos não atingiram seus respectivos estoques iniciais. Na medida em que o COS se recupera no cenário do clima histórico, o comportamento do COS em cada membro do cenário A1B mostra perdas em seu acúmulo no final da projeção em torno de 11, 12 e 15%, o que revela o impacto do cenário climático A1B no estoque de COS.

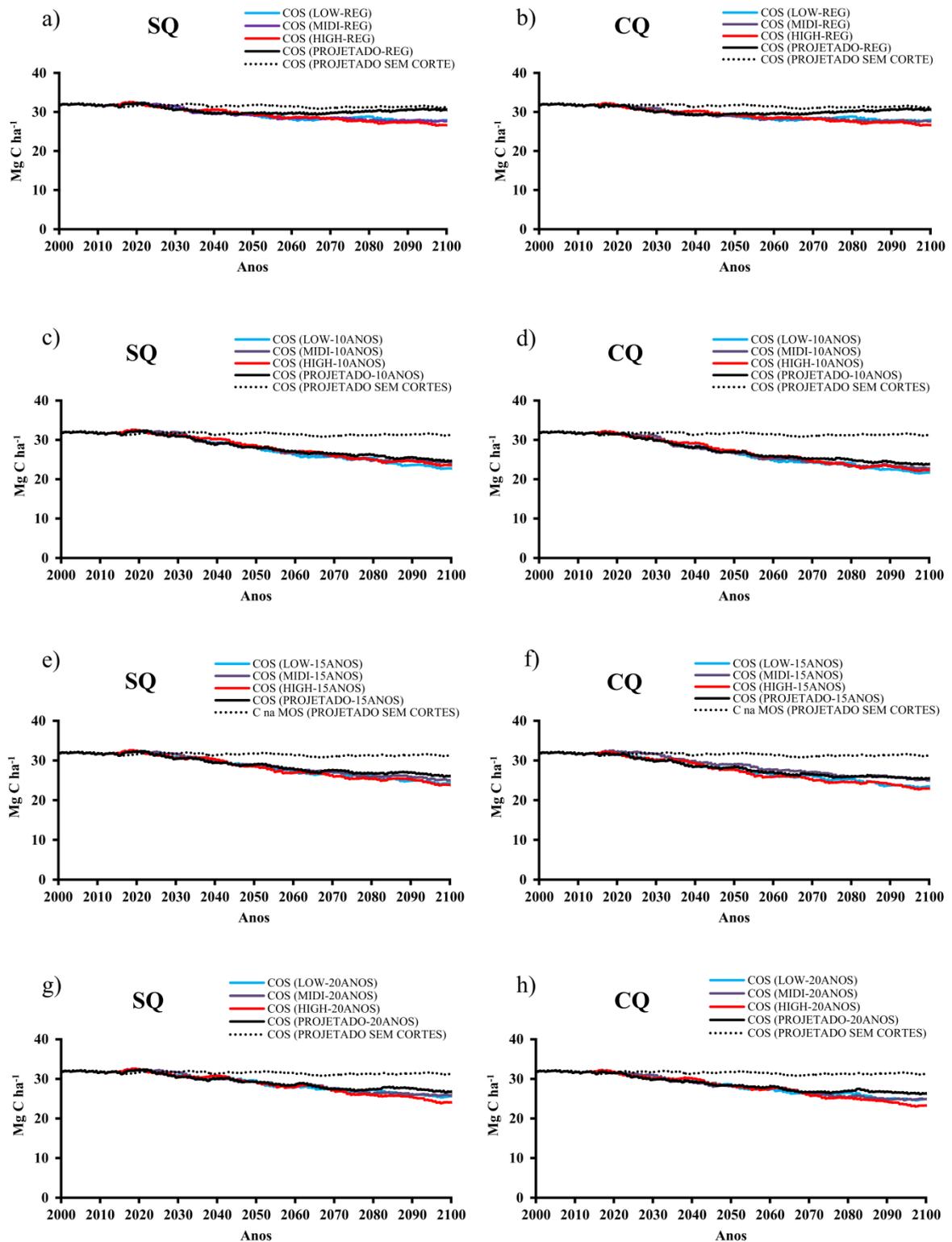
Em seguida, avaliamos as perdas no estoque de COS diante o CR consecutivos (SQ e CQ) a cada período de ciclo de 10, 15 e 20 anos para observar os impactos dos cortes e do cenário A1B gerados ao longo das projeções (Figura 6 c:d; e:f; g:h). Para o CR (SQ e CQ) a cada 10 anos tiveram 7 cortes consecutivos para observação dos impactos (Figura 6 c:d). Observou-se perdas de COS em relação as projeções diante do estoque em equilíbrio (31 Mg C ha<sup>-1</sup>). Portanto, comparado ao cenário da vegetação sem

corte e clima histórico, o cenário com o mesmo ciclo de cortes com o clima histórico foi observado uma redução de 20% para o tratamento SQ, e de 25% CQ, no final das projeções. Contudo, os membros HIGH, MIDI e LOW, as perdas foram maiores, em torno de 27, 22 e 25% (SQ) e de 30% para os membros LOW e HIGH e de 27% para o membro MIDI (CQ).

Os ciclos de CR consecutivos (SQ e CQ) a cada 15 anos o impacto com o uso do fogo mostra seu comportamento com uma redução do estoque do COS para todos os cenários em relação aos que não receberam a queima (Figura 6 e:f). As reduções foram contínuas sem tempo de recuperação do COS para todos os cenários. Nas projeções do clima histórico, a redução foi menor diante dos membros do cenário A1B. Diante disso, a redução do clima histórico em relação ao estoque estabilizado ( $31 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ) foram em torno de 16% para o tratamentos SQ e de 18% para o experimento CQ. Os membros LOW, MIDI e HIGH, a redução do COS foi maior, em torno de 22, 20 e 24% (SQ) e de 25, 20 e 27% (CQ).

Por fim, o cenário com CR (SQ e CQ) a cada 20 anos, foi observado uma redução menos acentuada do COS em relação ao tempo de cortes anterior devido ao tempo maior de pousio, mas continuou com uma queda bastante significativa. Para o clima histórico, a redução chegou a 15% (SQ) e de 16% (CQ), diminuindo o impacto da queima devido ao tempo maior de pousio. Já o membro HIGH foi observado uma queda em torno de 23% e para os membros LOW e MIDI ficaram em torno de 18% (SQ). Nos tratamentos que receberam a queima, os impactos intensificaram em 2% a mais para os respectivos membros, ficando em 25% no membro HIGH e de 20% (CQ) para os demais membros (Figura 6 g:h). Os intervalos de pousio repetidos em 10, 15 e 20 anos de corte com o uso do fogo ocasionaram as perdas de C em 5, 3 e 2%, respectivamente.

Conforme observado no presente estudo, o estabelecimento e crescimento do componente arbóreo poderão sofrer grande influencia das condições ambientais do sítio no qual a comunidade vegetal está inserida e as constantes variações do regime climático estimaram mudanças que podem afetar a estrutura da vegetação nativa de caatinga. A variação das condições hídricas, que pode ser causada pelo regime irregular de distribuição das chuvas ou pela sua disponibilidade no solo, tende a ocasionar modificações fisionômicas nessas áreas de Caatinga.



**Figura 6.** Perda do COS após CR consecutivos (SQ e CQ) ao longo de 85 e a cada 10, 15 e 20 anos de regeneração sob as condições climáticas observadas nos membros do cenário A1B (LOW, MIDI, HIGH) confrontados com o clima histórico e estoque original local em Santa Teresinha, PB, Brasil.

## CONCLUSÃO

As simulações do modelo Century sugerem que as mudanças climáticas projetadas no cenário A1B poderão causar diminuições na produtividade de biomassa da vegetação nativa da Caatinga e no estoque do carbono orgânico do solo ao longo desse século. Como consequência, pode haver diminuições na remoção de C da atmosfera, na geração de renda pela diminuição da oferta de lenha e no potencial de mitigação das emissões de gases de efeito estufa. As simulações indicam que o uso do fogo para queima dos resíduos florestais após o corte da lenha tem pouco efeito sobre os estoques de C do solo e a produtividade da vegetação florestal, porém deveria ser evitado pois causa uma pequena diminuição dos estoques sem nenhuma vantagem do ponto de vista do uso e manutenção do sistema.

## REFERÊNCIAS

- AMBRIZZI, T. et al. Cenários regionalizados de clima no Brasil para o século XXI: projeções de clima usando três modelos regionais: **Relatório 3. Brasília: MMA**, 2007.
- ARAÚJO FILHO, J. A. Manejo pastoril sustentável da caatinga / João Ambrósio de Araújo Filho. – Recife, PE: **Projeto Dom Helder Camara**, 2013.
- BAETTIG, M., WILD, M., IMBODEN, M., A climate change index: Where st climate change may be more proiminent in the 21 century. *Geophys. Res. Letters*, L01705, 2007
- BOND, W.J. & MIDGLEY, J.J. Ecology of sprouting in woody plants: the persistence niche. *Trends in Ecology and Evolution*, v. 16, p. 45–51, 2001.
- BORTOLON, E.S.O.; MIELNICZUK, J.; TORNQUIST, C.G.; LOPES, F.; BERGAMASCHI, H. Validation of the Century model to estimate the impact of agriculture on soil organic carbon in Southern Brazil, **Geoderma**. p. 156-166, 2011.
- BROOKER, R.W.; MATESANZ, S.; VALLADARES, F.; KLOTZ, S. Long-term spatial pattern change in a semi-arid plant community: The role of climate and composition. **Acta Oecologica**, v. 45, p. 8-15, 2012.
- BROWN, S. & LUGO, A. E. Tropical secondary forests. **Journal of Tropical Ecology**. v. 6, p. 1-32, 1990.
- CAVALCANTI, E. P.; SILVA, V. P. R.; SOUSA, F. A. S. Programa computacional para a estimativa da temperatura do ar para a região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 1, p. 140-147, 2006.
- CERRI, C.E.P., COLEMAN, K., JENKINSON, D.S., BERNOUX, M., VECTORIA, R., CERRI, C.C. Modeling soil carbon from forest and pasture ecosystem of Amazon. Brazil. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 67, 1879–1887, 2003.
- CHAZDON, R. L., 2012. Regeneração de florestas tropicais. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais**. v. 7, p. 195-218, 2012.
- CHOU, S. C.; MARENGO, J. A.; LYRA, A. A.; SUEIRO, G.; PESQUERO, J. F.; ALVES, L. M.; KAY, G.; BETTS, R.; CHAGAS, D. J.; GOMES, J. L.; BUSTAMANTE, J. F.; TAVARES, P. Downscaling of South America present climate driven 4-member HadCM3 runs. **Climate Dynamics**, v.38, 635-653, 2012.
- COSTA, L.T.; SAMPAIO, E. V. S. B.; SALES, M. F.; ACCIOLY, L. J. O.; ALTHOFF, T. D.; PAREYN, F. G. C.; ALBUQUERQUE, E. R. G. M.; MENEZES, R. S. C. Root and shoot biomasses in the tropical dry forest of semi-arid Northeast Brazil, **Plant Soil**, 2014.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro). Sistema brasileiro de classificação de solos. **Brasília: EMBRAPA Produção de Informação; Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos**, 2006.

FAZENDA TAMANDUÁ. Precipitação Pluviométrica  
<[www.fazendatamandua.com.br/clima.htm](http://www.fazendatamandua.com.br/clima.htm)> Acesso em 20/06/2014.

FREITAS, A.D.S.; SAMPAIO, E.V.S.B.; SILVA, B.L.R.; CORTEZ, J.S.A.; MENEZES, R.S.C. How much nitrogen is fixed by biological symbiosis in tropical dry forests? 2. Herbs, *Nutr Cyclo Agroecosyst*, 2012.

HEMPEL, S.; FRIELER, K.; WARSZAWSKI, L.; SCHEWE, J.; PIONTEK, F. A trend-preserving bias correction – the ISI-MIP approach, *Earth System. Dynamics Discuss*, v.4, p.49-92, 2013.

IACONA, G.D.; KIRKMAN, K.L.; BRUNA, E.M. Effects of resource availability on seedling recruitment in a fire-maintained savanna. *Oecologia*, v. 163, p. 171-180, 2010.

IPCC. Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. PENMAN, J.; GYTARSKY, M.; HIRAISHI, T.; KRUGER, D.; PIPATTI, R.; BUENDIA, L.; MIWA, K.; NGARA, T.; TANABE, K.; WAGNER, F. (Eds.) **Cambridge, UK, Cambridge University Press, IPCC/IGES**, 632p, 2003.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. Climate change 2007: the physical science basis summary for policymakers. [S.l.], **Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, 2007a.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC (2007) impacts, adaptation and vulnerability summary for policymakers. [S.l.], **Working Group II Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report Climate Change**, 2007b.

LEITE, L.F.C.; MENDONÇA, E.S.; MACHADO, P.L.O.A. Simulação pelo modelo Century da dinâmica da matéria orgânica de um argissolo sob adubação mineral e orgânica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. v. 28, p. 347-358, 2004.

MARENGO, J. A.; AMBRIZZI, T; NOBRE, C. A.; ALVES, L. M.; PISNITCHENKO, I. Eventos extremos em cenários regionalizados de clima no Brasil e América do Sul para o século XXI: projeções de clima futuro usando três modelos regionais: **Relatório 5. Brasília: MMA**, 2007a.

MARENGO, J. A.; AMBRIZZI, T; NOBRE, C. A.; ALVES, L. M.; PISNITCHENKO, I. Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. **International Journal of Climatology**, 2007b.

MARENGO, J. A.; CHOU, S. C.; KAY, G.; ALVES, L.; PESQUERO, J. F.; SOARES, W. R.; SANTOS, D. C.; LYRA, A. A.; SUEIRO, G.; BETTS, R.; CHAGAS, D. J.; GOMES, J. L.; BUSTAMANTE, J. F.; TAVARES, P. Development of regional future climate change scenarios in South America using the Eta CPTEC/HadCM3 climate

change projections: climatology and regional analyses for the Amazon, São Francisco and the Paraná River basins. **Climate Dynamics**, v.38, p.1829-1848, 2012.

MARENGO, J.A.; CHOU, S.C.; TORRES, R.R.; GIAROLLA, A.; ALVES LM.; LYRA, A. Climate Change in Central and South America: Recent Trends, Future Projections, and Impacts on Regional Agriculture. **CCAFS Working Paper CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS)**. Available online at: [www.ccafs.cgiar.org](http://www.ccafs.cgiar.org). n. 73, 2014.

MATESANZ, S.; BROOKER, R.W.; VALLADARES, F.; KLOTZ, S. Temporal dynamics of marginal steppic vegetation over a 26-year period of substantial environmental change. **Journal of Vegetation Science**, v. 20, p. 299-310, 2009.

NOBRE, P. et al. Seasonal-to-decadal predictability and prediction of South American climate. **Journal of Climate**, v. 19, p. 5988-6004, 2006.

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

PESQUERO, J. F.; CHOU, S. C.; NOBRE, C. A.; MARENGO, J. A. Climate downscaling over South America for 1961–1970 using the Eta Model. **Theoretical and Applied Climatology**, v.99, p.75–93, 2009.

READ, L. & D. LAWRENCE, 2003. Recovery of biomass following shifting cultivation in dry tropical forests of the Yucatan. **Ecological Applications**. v. 13, p. 85-97, 2003.

REGINA, I. S. Biomass estimation and nutrient pools in four *Quercus pyrenaica* in Sierra de Gata Mounts, Salamanca, Spain. **Forest Ecology and Management**. v. 132, n. 2-3, p. 127-141, 2000.

REIS, A.M., ARAÚJO, E.L., FERRAZ, E.M.N., MOURA, A.N. Inter-annual variations in the floristic and population structure of an herbaceous community of “Caatinga” vegetation in Pernambuco, Brazil. **Revista Brasileira de Botânica**. n. 29, v. 3, p. 497-508, 2006.

RESENDE, N. C. Ocorrência da ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix*) e qualidade do café em regiões de São Paulo, baseadas em projeções climáticas. Lavras. 64 f. Monografia (Curso de Engenharia Agrícola), **Universidade Federal de Lavras**, 2011.

RODRIGUES, D. C. Avaliação da produtividade e da qualidade do café (*coffea arabica* L.) em algumas regiões do Estado de São Paulo Segundo o modelo Eta/CPTEC 40km sob o cenário de mudanças climáticas A1B. Lavras, 51 f. Monografia (Curso de Engenharia Agrícola), **Universidade Federal de Lavras**, 2011.

SALIS, S. M.; ASSIS, M. A.; MATTOS, P. P.; PIÃO, A. C. S. Estimating the aboveground biomass and wood volume of savanna woodlands in Brazil’s Pantanal wetlands based on allometric correlations. **Forest Ecology and Management**, v. 228, n. 1-3, p. 61-68, 2006.

SAMPAIO E.V.S.B.; SILVA, G.C., Biomass equations for Brazilian semiarid caatinga plants. **Acta Botânica Brasílica**, v. 19, p. 935-943, 2005.

SAMPAIO, E. V. S. B. Caracterização da caatinga e fatores ambientais que afetam a ecologia das plantas lenhosas. In: SALES, V. C. (Org.). **Ecosistemas brasileiros: manejo e conservação**. Fortaleza: Expressão Gráfica e Editora. p. 129-142, 2003.

SAMPAIO, E.V.S.B. Características e potencialidades. In: Gariglio, M.A.; Sampaio, E.V.S.B.; Cestaro, L.A.; Kageyama, P. (Eds.) **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga. 2ª Ed. Brasília:Ministério do Meio Ambiente**, p. 29-48, 2010.

SOARES, C. P. B.; OLIVEIRA, M. L. R. Equações para estimar a quantidade de carbono na parte aérea de árvores de eucalipto em Viçosa, Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 26, n. 5, p. 533-539, 2002.

SOUZA, L.Q.; FREITAS, A.D.S.; SAMPAIO, E.V.S.B.; MOURA, P.M.; MENEZES, R.S.C. How much nitrogen is fixed by biological symbiosis in tropical dry forest? 1. Trees and shrubs. **Nutr Cyclo Agroecosyst**. v. 94, p. 171–179, 2012.

SWEMMER, A.M.; KNAPP, A.K.; SNYMAN, H.A. Intra-seasonal precipitation patterns and above-ground productivity in three perennial grasslands. **Journal of Ecology**, v. 95, p. 780-788, 2007.

TEWS, J.; JELTSCH, F. Modelling the impact of climate change on woody plant population dynamics in South African savanna. **Ecology**, v. 4, p. 17, 2004.

TEWS, J.; ESTHER, A.; MILTON, S. J.; JELTSCH, F. Linking a population model with an ecosystem model: Assessing the impact of land use and climate change on savanna shrub cover dynamics. **Ecological Modelling**, v. 195, p. 219-228, 2006.

TORNQUIST, C.G., MIELNICZUK, J., CERRI, C.E.P. Modeling soil organic carbon dynamics in Oxisols of Ibirubá (Brazil) with the Century Model. **Soil Tillage Res**. v. 105, p. 33–43, 2009.

VELDKAMP, E. Organic Carbon Turnover in Three Tropical Soils under Pasture after Deforestation. **Soil Science Society of America Journal**, v.58, p.175-180, 1994.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O modelo Century simulou de forma satisfatória os estoques e fluxos do C e N solo-planta em locais com condições edafoclimáticas semelhantes no semiárido brasileiro. As simulações consistiram nos diferentes planos de corte do estrato preservado da vegetação nativa de caatinga para avaliar a produção da biomassa arbórea em regeneração e a dinâmica do carbono orgânico do solo. Dessa forma, foi possível simular projeções do cenário climático A1B com diferentes períodos (10, 15 e 20 anos) de corte raso aliado ou não à queima dos restos vegetais. Verificou-se que até mesmo no período de corte mais conservador (20 anos) a biomassa do componente arbóreo haverá reduções na capacidade de produção em um futuro próximo (2040), como também haverá perdas sucessivas do carbono orgânico do solo na medida em que acontecem os planos de corte da vegetação nativa frente às possíveis mudanças climáticas.

## REFERÊNCIAS

- AB'SÁBER, A N. **O domínio morfoclimático das caatingas brasileiras**. São Paulo, IGEOG/USP, 1974
- AMBRIZZI, T.; ROCHA, R.P.; MARENGO, J.A.; PISNITCHENCO, I.; NUNES, L.A.; FERNANDEZ, J.P.R. Cenários regionalizados de clima no Brasil e América do Sul para o Século XXI: Projeções de clima futuro usando três modelos regionais. Relatório 3. Brasília: **CPTEC/INPE; IAG/ USP; FBDS. Ministério do Meio Ambiente**. Secretaria de Biodiversidade e Florestas. Diretoria de Conservação da Biodiversidade, p. 108, 2007.
- BARROS, I.; WILLIAMS, J.R.; GAISER, T. Modelling soil nutrient limitations to crop production in semi-arid NE of Brazil with a modified EPIC version I. Changes in the source code of the model. **Ecological Modelling**, v. 178, p. 441-456, 2004a.
- BARROS, I.; WILLIAMS, J.R.; GAISER, T. Modelling soil nutrient limitations to crop production in semi-arid NE of Brazil with a modified EPIC version II. Field test of the model. **Ecological Modelling**, v. 181, p. 567-580, 2004b.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: GENESIS, p. 9-23, 1999.
- BELLAMY, P. H.; LOVELAND, P. J.; BRADLY, R. I.; LARK, R. M.; KIRK, G. J. D. Carbon losses from all soils across England and Wales 1978-2003. **Nature London**. n. 7056, v. 437, p. 245-248, 2005.
- BLACK, T. L. The new NMC mesoscale Eta model: Description and forecast examples. **Weather and Forecasting**, v. 9, p. 265-278, 1994.
- BORTOLON, E.S.O., MIELNICZUK, J., TORNQUIST, C.G., LOPES, F., FERNANDES, F.F. Simulação da dinâmica do carbono e nitrogênio em um Argissolo do Rio Grande do Sul usando o modelo Century. **R. Bras. Ci. Solo** v. 33, p. 1635-1646, 2009.
- BORTOLON, E.S.O.; MIELNICZUK, J.; TORNQUIST, C.G.; LOPES, F.; BERGAMASCHI, H. Validation of the Century model to estimate the impact of agriculture on soil organic carbon in Southern Brazil, **Geoderma**. p. 156-166, 2011.
- BRASIL, Ministério da Integração Nacional/SDR. **Relatório final do Grupo de Trabalho Interministerial para Redelimitação do Semiárido Nordeste e do Polígono das Secas**. Brasília, DF, p.33, 2005.
- CALDEIRA, M. V. W. Determinação de biomassa e nutrientes em uma Floresta Ombrófila Mista Montana em General Carneiro, Paraná. 2003. 176 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – **Universidade Federal do Paraná, Curitiba**, 2003.

CALDEIRA, M. V. W. Quantificação da biomassa e do conteúdo de nutrientes em diferentes procedências de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.). 1998. 96 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – **Universidade Federal de Maria, Santa Maria**, 1998.

CAMPELLO, F. B. et al. Diagnóstico florestal da Região Nordeste. Projeto IBAMA/PNUD/BRA/93/033. **Desenvolvimento florestal para o nordeste do Brasil**. 1999.

CAMPOS, M. A. A. Balanço de biomassa e nutrientes em povoamentos de *Ilex paraguariensis*. Avaliação na safra e na safrinha. 1991. 106 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – **Universidade Federal do Paraná, Curitiba**, 1991.

CASTELLANOS, A. Introdução à geobotânica. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 22, p.585-617, 1991.

CAVALCANTI, E. P.; SILVA, E. D. V. Estimativa da temperatura do ar em função das coordenadas locais. In: **Congresso Brasileiro de Meteorologia, 7, Congresso Latino-Americano e Ibérico de Meteorologia, Belo Horizonte**. Anais. SBM, p.154-157. 1994.

CAVALCANTI, E.R; ARAÚJO, N.C.F; O uso da energia de biomassa no Bioma Caatinga. **V Semana do Meio Ambiente – Recife, PE**. Fundação Joaquim Nabuco 3 a 5 de junho de 2008.

CAVALCANTI, E. P.; SILVA, V. P. R.; SOUSA, F. A. S. Programa computacional para a estimativa da temperatura do ar para a região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 1, p. 140-147, 2006.

CAVELIER, J.; ESTEVEZ, J.; ARJONA, B. Fine root biomass in three successional stages of an Andean cloud Forest in Colombia. **Biotropica**, v.28, n. 4, p. 728-736, 1996.

CERRI, C.E.P., COLEMAN, K., JENKINSON, D.S., BERNOUX, M., VECTORIA, R., CERRI, C.C. Modeling soil carbon from forest and pasture ecosystem of Amazon. Brazil. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 67, 1879–1887, 2003.

CHOU S. C.; MARENGO J. A.; LYRA A. A.; SUEIRO G.; PESQUERO J. F.; ALVES L. M.; KAY G.; BETTS R. A.; CHAGAS D. J.; GOMES J. L.; BUSTAMANTE J. F.; TAVARES P. Downscaling of South America present climate driven by 4-member HadCM3 runs, **Climate Dynamics**, v. 38, p. 635-65, 2011.

CIRILO, J. A. et al . Integração das águas superficiais e subterrâneas. In: CIRILO, J. A. et al. (Org.) O uso sustentável dos recursos hídricos em regiões semiáridos. Recife: ABRH – **Editora Universitária UFPE**, p.508, 2007.

COLLEMAN, K.; JENKINSON, D.S. RothC 26.3- a model for the turnover of carbon in soil. In: POLWSON, T.S.; SMITH, P.; SMITH, J.U. (Eds.). Evaluation of soil organic matter models using existing longterm datasets. **Heidelberg: Springer-Verlag (NATO ASI, Series I)**, v. 38, p. 237-246, 1996.

CUEVAS, E.; BROWN, N.; LUGO, A. Above and belowground organic matter storage and production in a tropical pine plantation and a paired broadleaf secondary forest. **Plant and Soil**, v. 135, p. 257-268, 1991.

DANTAS, J.S. Dinâmica da produção e decomposição de folheto e ciclagem de nutrientes em um ecossistema de caatinga arbórea no agreste da Paraíba. Areia: UFPB, 53f. Monografia de Graduação em Agronomia. **Universidade Federal da Paraíba**, 2003.

DEBARBA, L. Simulação pelo modelo Century do impacto da agricultura sobre o estoque de carbono orgânico em solos do Planalto Rio Grandense. Tese de doutorado. Departamento de Solos, **Universidade Federal do Rio Grande do Sul**. p. 172, 2002.

DUQUE, J.G. O Nordeste e as lavouras xerófilas. **Mossoró: ESAM**, p. 76, 1980.

FIGUEIREDO, M.A. A região dos Inhamuns-CE no domínio das caatingas. **Mossoró: ESAM**, p. 34, 1983.

FOLLET, R.F. Soil management concepts and carbon sequestration in croplands soils. **Soil & Tillage Research**, v. 61, p. 77-92, 2001.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. Energia e meio ambiente no Brasil. **Estudos Avançados**, v.21, p.07-20, 2007.

GOLLEY, F.B., MCGINNIS, J. T., CLEMENTS, R. G., CHILD, I.; DUEVER, J. Ciclagem de minerais em um ecossistema de floresta tropical úmida. **EPU-EDUSP**. p. 256, 1978.

GONÇALVES, J. L. M.; MELLO, S. L. M. O sistema radicular das árvores. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Ed.). Nutrição e fertilização florestal. Piracicaba: **ESALQ/USP**, p. 221-267, 2000.

GRACE, J. Carbon cycle. **Encyclopedia of Biodiversity**, v. 1, p. 609-629, 2001.

HEATH, J.; AYRES, E.; POSSEL, M.; BARDGETT, R. D.; BLACK, H. I. J.; GRANT, H.; INESON, P.; KERSTIENS, G. Rising atmospheric CO<sub>2</sub> reduces sequestration of root-derived soil carbon. **Science - Washington**, v. 309, n. 5741. p. 1711-1713, 2005.

HOUGHTON, R. A. & WOODWELL, G. M. Global climatic change. **Scientific American**, v. 260; n. 4, 1989.

HOUGHTON, R. A. As florestas e o ciclo de carbono global: armazenamento e emissões atuais. In: Emissão X Sequestro de CO<sub>2</sub> – **Uma nova oportunidade de negócios para o Brasil, Rio de Janeiro. Anais**, p. 38-76, 1994.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE.. Mapa de Biomas do Brasil: primeira aproximação. **Brasília: Diretoria de Geociências**, 2004.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate change 2007: The physical science basis.** Disponível em: <[http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/publications\\_and\\_data\\_reports.shtml](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.shtml)> Acesso em: setembro de 2013.

IPCC. Working Group I: **The Scientific Basis.** Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/ipccreports/tar/wg1/029.htm>>. Acesso em: dezembro, 2013.

JENKINSON, D.S.; RAYNERS, J.H. The turnover of soil organic matter in some of the Rothamsted classical experiments. **Soil Science**, v. 123, p. 298-305, 1977.

JENKINSON, D.S. The turnover of organic carbon and nitrogen. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, v. 329, p. 361-368, 1990.

LIMA, M.; SIDERSKY, P. O papel das plantas nativas nos sistemas agrícolas familiares no Agreste da Paraíba. In: SILVEIRA, L.M.; PETERSEN, P.; SABOURIN, E. (Org.). **Agricultura familiar e agroecologia no semi-árido: avanços a partir do Agreste da Paraíba.** p. 201-218, 2002.

LEITE, L.F.C.; MENDONÇA, E.S.; MACHADO, P.L.O.A. & MATOS, E.S. Total C and N storage and organic C pools of a Red-Yellow Podzolic under conventional and no tillage at the Atlantic Forest Zone, Southeastern Brazil. **Austr. J. Soil Res.** v. 41, p. 717-730, 2003.

LEITE, L.F.C., MENDONÇA, E.S., MACHADO, P.L.O.A. Simulação pelo modelo Century da dinâmica da matéria orgânica de um argissolo sob adubação mineral e orgânica. **R. Bras. Ci. Solo.** 28, 347-358, 2004a.

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 discplow systems using the Century model. **Geoderma** 120, 283-295, 2004b.

KAUFFMAN, J. B.; SANFORD JR., R. L.; CUMMINGS, D. L.; SALCEDO, I. H.; SAMPAIO, E. V. S. B. Biomass and nutrient dynamics associated with slash fires in neotropical dry forests. **Ecology**, v. 74, n. 1, p. 140-151, 1993.

KOZLOWSKI, T. T.; PALLARDY, S. G. Physiology of woody. 2ed. **San Diego: Academic**, p. 432, 1996.

KUMMEROW, J.; KUMMEROW, M.; TRABAUD, L. Root biomass, root distribution and fine-root growth dynamics of *Quercus coccifera* L. in the garrigue of southern France. **Vegetation**, p. 37-44, 1990.

LEITE, L. F. C. Biomassa de raízes finas e fertilidade do solo, sob vegetação de caatinga em Caruaru-PE. 72f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo). **Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, Recife, PE**, 1998.

LOPES, F., MERTEN, G.H., MIELNICZUK, J., TORNQUIST, C.G., OLIVEIRA, E.S. Simulação da dinâmica do carbono do solo numa microbacia rural pelo modelo Century. **Revista PAB**. 43, 745–753, 2008.

LOVATO, T. Dinâmica do carbono e nitrogênio do solo afetada por preparos do solo, sistemas de cultura e adubo nitrogenado. 2001. 133f. **Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul**, 2001.

MARENGO J. A. et al. Development of regional future climate change scenarios in south America using the eta Cptec/hadcm3 climate change projections: climatology and regional analyses for the Amazon, São Francisco and the Paraná river basins. **Climate Dynamics**, v. 38, p. 1829-1848, 2011.

MENEZES, R.S.C. e SALCEDO, I.H. Influences of tree species on microclimate, litter and soil nutrient dynamics in a silvopastoral system of semi-arid NE Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, p.817-826, 1999.

MESINGER, F.; Z. I. JANJIC, S.; NICKOVIC, D.; GAVRILOV, E. D. G.; DEAVEN. The step-mountain coordinate: Model description and performance for cases of Alpine lee cyclogenesis and for a case of Appalachian redevelopment. **Monthly Weather Review**, v. 116, p. 1493-1518, 1988.

METHERELL, A.K., L.A. HARDING, C.V. COLE, and W.J. PARTON, CENTURY soil organic matter model environment, technical documentation, agroecosystem version 4.0, Tech. Rep. 4., Great Plains Sys. Res. Unit, Agric. Res. Serv., U.S. Dep. Of Agric., **Fort Collins**, Colorado, 1993.

METHEREL, A.K.; HARVING, L.A.; COLE, C.V. & PARTON, W.J. Century: Soil organic matter model environment. Technical documentation agrossystem version 4.0. Tech. Rep., 4, Great Plains System Research Unit, **Fort Collins**, USDA-ARS, p.123, 1994.

MMA. Região do Araripe, Pernambuco. **Diagnóstico florestal**. Brasília, 2007.

MOLINA, J.A.; SMITH P. Modeling C and N processes in soil. **Advance in Agronomy**, v. 62, p. 253-287, 1998.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Microbiologia e bioquímica do solo. Lavras: **Universidade Federal de Lavras**, p. 625, 2002.

MOTAVALLI, P.P.; PALM, P.C.A.; PARTON, W.J.; ELLIOT, E.T. & FREYS, S.D. Comparison of laboratory and modeling simulation methods for estimating soil carbon pools in tropical forest soils. **Soil Biol. Biochem.**, v. 26, p. 935-944, 1994.

NORTHUP, B. K.; ZITZER, S. F.; MCMURTRY, C. R.; BOUTTON, T. W. Aboveground biomass and carbon and nitrogen content of wood species in a subtropical thornscrub parkland. **Journal of Arid Environments**, v. 62, n. 1, p. 23-43, 2005.

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

PARTON, W.J.; STEWART, J.W.B.; COLE C.V. Dynamics of C, N, P and S in grassland soils: **A model. Biogeochemistry**, v. 5, p. 109-131, 1988.

PARTON, W.J. DAYCENT: its land surface submodel: description and testing. **Global Planetary Change**, v. 19, p. 35-48, 1998.

PAUL, E.A. Dynamics of organic matter in soils. **Plant Soil**, v. 76, p. 275-285, 1984.

PAUL, K. I.; JACOBSEN, K.; KOUL, V.; LEPPERT, P.; SMITH, J. Predicting growth and sequestration of carbon by plantations growing in regions of low rainfall in southern Australia. **Forest Ecology and Management**, v. 254, n.2, p. 205-216, 2008.

PEICHL, M.; ARAIN, M. A. Allometry and partitioning of above and belowground tree biomass in an age-sequence of white pine forests. **Forest Ecology and Management**, v. 253, n.1-3, p. 68-80, 2007.

PEINETTI, H, R.; MENEZES, R.S.C.; TIESSEN, H. & MARIN, A.M.P. Simulating plant productivity under different organic fertilization practices in a maize/native pasture rotation system in semi-arid NE Brazil. **Science Direct**, v. 62, p. 204-222, 2008.

PROBIO - Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira. Subprojeto – **Levantamento da Cobertura Vegetal e do Uso do solo do Bioma Caatinga**. [http://mapas.mma.gov.br/geodados/brasil/vegetacao/vegetacao2002/caatinga/documentos/relatorio\\_final.pdf](http://mapas.mma.gov.br/geodados/brasil/vegetacao/vegetacao2002/caatinga/documentos/relatorio_final.pdf), 2007.

REIS, G. G. et al. Relações entre a densidade populacional e o uso de água, luz e nutrientes na região do Cerrado, Minas Gerais – resultados preliminares. Viçosa: **Sociedade de Investigações Florestais**, p.53, 1993.

REGINA, I. S. Biomass estimation and nutrient pools in four *Quercus pyrenaica* in Sierra de Gata Mounts, Salamanca, Spain. **Forest Ecology and Management**, v. 132, n. 2-3, p. 127-141, 2000.

SÁ, I.B.; CORREA, R.C.; SOUZA, R.A.; RICHÉ, G.R.; FOTIUS, G.A. Bioma Caatinga: Fatores abióticos. GT Fatores abióticos. Seminário sobre Avaliação e Identificação de Ações Prioritárias para a Conservação, Utilização Sustentável e Repartição de Benefícios da Biodiversidade do Bioma Caatinga. Petrolina: **CPATSA/EMBRAPA**, p. 32, 2000

SALATI, E.; SANTOS, A. A.; NOBRE, C. As mudanças climáticas globais e seus efeitos nos ecossistemas brasileiros. **Disponível em: <<http://www.comciencia.br/reportagens/clima14.htm#2>>**. Acesso em: maio, 2011.

SALCEDO, I. H.; SAMPAIO, E. V. S. B. Materia orgânica do solo no bioma caatinga. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Metropole. p. 419-441, 2008.

SALIS, S. M.; ASSIS, M. A.; MATTOS, P. P.; PIÃO, A. C. S. Estimating the aboveground biomass and wood volume of savanna woodlands in Brazil's Pantanal wetlands based on allometric correlations. **Forest Ecology and Management**, v. 228, n. 1-3, p. 61-68, 2006.

SAMPAIO E.V.S.B.; SILVA, G.C., Biomass equations for Brazilian semiarid caatinga plants. **Acta Botanica Brasilica**, v. 19, p. 935-943, 2005.

SAMPAIO E.V.S.B.; COSTA, T.L., Estoques e Fluxos de Carbono no Semi-Árido Nordeste: Estimativas Preliminares. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.06, p. 1275-1291, 2011.

SAMPAIO, E.V.S.B; RODAL, M.J. Fitofisionomias da caatinga. GT Estratégias para o uso sustentável da biodiversidade da caatinga. Seminário sobre Avaliação e Identificação de Ações Prioritárias para a Conservação, Utilização Sustentável e Repartição de Benefícios da Biodiversidade do Bioma Caatinga. Petrolina: **CPATSA/EMBRAPA**, p. 14, 2000.

SAMPAIO, E. V. S. B.; GAMARRA-ROJAS, C. F. L. Uso das plantas em Pernambuco. In TABARELLI, M. & SILVA, J. M. C. (orgs.) Diagnóstico da biodiversidade de Pernambuco. Recife: **Editora Massangana**, vol. 2. P-633-660, 2002.

SAMPAIO, E.V.S.B.; ARAÚJO, M.S.B.; SAMPAIO, Y.S.B. Impactos ambientais da agricultura no processo de desertificação no Nordeste do Brasil. **Revista de Geografia** (Recife), Recife, v. 22, n. 1, p. 93-113, 2005.

SANFORD Jr., R. L. Root systems of three adjacent, old growth Amazon Forest and associated transition zones. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 1, n. 3, p. 268-279, 1989.

SHAFFER, M.J.; MA, L. & HANSEN, S. Introduction to simulation of carbon and nitrogen dynamics in soils In: SHAFFER, M.J.; MA, L. & HANSEN, S., eds. Modeling carbon and nitrogen dynamics for soil management. **Boca Raton, Lewis Publishers**, p. 11-26, 2001.

SCHLESINGER, W.H. Biochemistry: analysis of global change. **2<sup>nd</sup>. Ed. San Diego: Academic Press**, p. 588, 1997.

SCHUMACHER, M. V. Nährstoffkreislauf in verschiedenen Beständen von *Eucalyptus saligna* (Smith), *Eucalyptus dunnii* (Maiden) and *Eucalyptus globulus* (Labillardière) in Rio Grande do Sul, Brasilien. 167 f. Tese (Doutorado em Ecologia e Nutrição Florestal) – **Universität für Bodenkultur, Wien**, 1995.

SCHUMACHER, M. V. Ciclagem de nutrientes como base da produção sustentada em ecossistemas florestais. In: Simpósio sobre Ecossistemas Naturais do Mercosul: O Ambiente da Floresta, 1, Santa Maria. Anais. **Santa Maria: UFSM/CEPEF**, p. 65-77, 1996.

SERVICE CANADIEN DES FORÊTS. Comptabilisation du carbone forestier. Définitions. Disponível em: <[http://carbon.cf.s.nrcan.gc.ca/definitions\\_f.html](http://carbon.cf.s.nrcan.gc.ca/definitions_f.html)>. Acesso em: 15 fev. 2013.

SCHACHT, W.H.; MESQUITA, R.C.M.; MALECHEK, J.C.; KIRMSE, R.D. Response of Caatinga vegetation to decreasing levels of canopy cover. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 24, p. 1421-1426, 1989.

SCHOLES, R.J.; BREEMEN, N. van. The effects of global change on tropical ecosystems. **Geoderma**, v. 79, p. 9-24, 1997.

SILVA, F.B.R.; RICHÉ, G.R.; TONNEAU, J.P.; SOUZA NETO, N.C.; BRITO, L.T.L.; CORREIA, R.C.; CAVALCANTI, A.C.; SILVA, F.H.B.B.; ARAUJO FILHO, J.C.; LEITE, A.P. Zoneamento agroecológico do nordeste: Diagnóstico do quadro natural e agrossocioeconômico. Petrolina, **EMBRAPACPATSA/CNPS**, v. 2, 1993.

SILVA, G. A. Atividade microbiana e decomposição de serrapilheira no semiárido da Paraíba. 2003. 34 f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Florestal) - **Universidade Federal de Campina Grande, Patos, PB**, 2003.

SILVA, G. C. Relações alométricas de dez espécies vegetais e estimativas de biomassas aéreas da caatinga. 1998. 163 f. Tese (Doutorado em Botânica) – **Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife**. 1998.

SILVA, L.M.V., PASQUAL, A.. Dinâmica da matéria orgânica do solo com ênfase ao ecossistema tropical. **Energia na Agricultura**. v. 14, p. 13–24, 1999.

SILVA, L.S.; CAMARGO, F.A.O.; CERETTA, C.A. Composição da fase sólida orgânica dos solos. In: MEURER, E.J. **Fundamentos de química do solo: Gênese**, p.174, 2000.

SILVEIRA, A.M., VICTORIA, R.L., BALLESTER, M.V., CAMARGO, P.B., MARTINELLI, L.A., PICCOLO, M.C. Simulação dos efeitos das mudanças de uso da terra na dinâmica do carbono do solo na bacia do rio Piracicaba. **Revista PAB**. v. 35, p. 389–399, 2000.

SMITH, P., SMITH, J.U., POWLSON, D.S., MCGILL, W.B., ARAH, J.R.M., CHERTOV, O.G., COLEMAN, K., FRANKO, U., FROLKING, S., JENKINSON, D.S., JENSEN, L.S., KELLY, R.H., KLEIN-GUNNEWIEK, H., KOMAROV, A.S., MOLINA, J.A.E., MUELER, T., PARTON, W.J., THORNLEY, J.H.M., WHITMORE, A.P. A comparison of the performance of nine soil organic matter models using datasets from seven long-term experiments. **Geoderma**. v. 81, p. 153–225, 1997.

SOARES, C. P. B.; OLIVEIRA, M. L. R. Equações para estimar a quantidade de carbono na parte aérea de árvores de eucalipto em Viçosa, Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 26, n. 5, p. 533-539, 2002.

STENVENSON, F.J. Humus chemistry. New York: **John Wiley & Sons**. p. 496, 1994.

TISSSEN, H.; SALCEDO, I. H.; SAMPAIO, E.V.S.B. Nutrient and soil organic matter dynamics under shifting cultivation in semi-arid northeastern Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, p. 139-151, 1992.

TIESSEN, H.; FELLER, C.; SAMPAIO, E.V.S.B.; GARIN, P. Carbon sequestration and turnover in semiarid savannas and dry forests. **Climatic Change**, v.40, p.105-117, 1998.

TORNQUIST, C.G., MIELNICZUK, J., CERRI, C.E.P. Modeling soil organic carbon dynamics in Oxisols of Ibirubá (Brazil) with the Century Model. **Soil Tillage Res.** v. 105, p. 33–43, 2009a.

UNEP. World atlas of desertification (2<sup>nd</sup> edition). **United Nations Environmental Programme**, 1997.

VAN VEEN, J.; PAUL, E. A. Organic C dynamics in grassland soil. I Background information e computer simulation. **Canadian Journal Soil Science**, v. 61, p. 185-201, 1981.

WATSON, R.T.; NOBLE, I.R.; BOLIN B.; RAVINDRANATH, N.H.; VERARDO, D.J. & DOKKEN, D.J. Land use, land use change and forestry: a special report of the IPCC. **Cambridge: Cambridge, University Press**, p. 377, 2000.

VEZZANI, F.M. Qualidade do sistema solo na produção agrícola. 2001. 184f. Tese (Doutorado) – **Programa de Pós-Graduação em ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul**, 2001.

WATZLAWICK, L. F. Estimativa de biomassa e carbono em Floresta Ombrófila Mista e plantações florestais a partir de dados de imagens do satélite IKONOS II. 120 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) –**Universidade Federal do Paraná, Curitiba**, 2003.

WENDLING, B.; Carbono e nitrogênio no solo sob diferentes usos e manejos e sua modelagem pelo Century. **Tese (DS). UFV**, p. 122, 2007

WOOMER P.L.; MARTIM, A.; ALBRECHT, A.; RESCK, D.V.S. & SCHARPENSEEL, H.W. The importance and management of soil organic matter in the tropics. In: WOOMER, P.L. & SWIFT, M.J., eds. **The biological management of tropical soil fertility**. Chichester, John Wiley & Sons, p. 47-80, 1994.

## APÊNDICES

### APÊNDICE 1. Parâmetros do arquivo TREE.100.

DECID Se a floresta é sempre verde ou decídua

PRDX(2) Produção máxima bruta da floresta (g de biomassa  $m^{-2} \text{mês}^{-1}$ ).

CERFOR(1,1,1) Relação C:N mínima para o compartimento folha da florestas.

CERFOR(1,2,1) Relação C:N mínima para o compartimento raiz fina da floresta.

CERFOR(1,3,1) Relação C:N mínima para o compartimento galho fino da floresta.

CERFOR(1,4,1) Relação C:N mínima para o compartimento madeira grossa da floresta.

CERFOR(1,5,1) Relação C:N mínima para o compartimento raiz grossa da floresta.

CERFOR(2,1,1) Relação C:N máxima para o compartimento folha da floresta.

CERFOR(2,2,1) Relação C:N máxima para o compartimento raiz fina da floresta.

CERFOR(3,1,1) Relação C:N inicial para o compartimento folha da floresta.

CERFOR(3,2,1) Relação C:N inicial para o compartimento raiz fina da floresta.

CERFOR(3,3,1) Relação C:N inicial para o compartimento galho fino da floresta.

CERFOR(3,4,1) Relação C:N inicial para o compartimento madeira grossa da floresta.

CERFOR(3,5,1) Relação C:N inicial para o compartimento raiz grossa da floresta.

FCFRAC(1,1) Fração de alocação de carbono da nova produção de folhas para florestas juvenis.

FCFRAC(3,1) Fração de alocação de carbono da nova produção de galhos finos para florestas juvenis.

FCFRAC(4,1) Fração de alocação de carbono da nova produção de madeira grossa para florestas juvenis.

FCFRAC(5,1) Fração de alocação de carbono da nova produção de raízes grossas para florestas juvenis.

FCFRAC(1,2) Fração de alocação de carbono da nova produção de folhas para florestas maduras.

FCFRAC(3,2) Fração de alocação de carbono da nova produção de galhos finos para florestas maduras.

FCFRAC(4,2) Fração de alocação de carbono da nova produção de madeira grossa para florestas maduras.

BTOLAI Fator de conversão de índice de área foliar (IAF) para biomassa para árvores.

LAITOP Parâmetro de determinação da relação entre índice de área foliar (IAF) e produção florestal.

MAXLAI Índice de área foliar máximo teórico alcançado em uma floresta madura.

KLAI Índice em que os galhos grossos alcança a metade do teórico máximo ( $\text{g C m}^{-2}$ ) quando a biomassa de área foliar (maxlai) é conseguida

WOODDR(1) Frações de taxa de morte mensal de folhas em florestas.

WOODDR(2) Frações de taxa de morte mensal de raízes finas em florestas.

SNFXMX(2) Fixação simbiótica máxima de nitrogênio para florestas.

### **APÊNDICE 2. Parâmetros do arquivo FIX.100.**

DEC3(2) Taxa de decomposição máxima da matéria orgânica do solo no compartimento ativo

DEC4 Taxa de decomposição máxima da matéria orgânica do solo no compartimento lento

DEC5 Taxa de decomposição máxima da matéria orgânica do solo no compartimento passivo.

### **APÊNDICE 3. Parâmetros do arquivo CROP.100.**

PRDX(1) Produção potencial mensal da biomassa aérea das herbáceas.

CFRTCN(1) Fração máxima de carbono alocado para as raízes sob máximo stress de nutrientes.

CFRTCN(2) Fração mínima de carbono alocado para as raízes sem stress de nutrientes.

PRBMN(1,1) Parâmetros para calcular índice mínimo C/N para a matéria abaixo do solo como uma função linear da precipitação anual.

RDR Taxa máxima de morte de raiz sob condições de solo muito seco.

CRPRTF(1) Fração de nitrogênio retranslocado das folhas na morte.

SNFXMX(1) Fixação simbiótica de nitrogênio máxima da cultura.

### **APÊNDICE 4. Parâmetros do arquivo FIRE.100.**

FLFREM Fração da parte aérea viva removida por um evento de fogo.

FDFREM(1) Fração do material vegetal morto em pe removido por um evento de fogo.

FDFREM(2) Fração da liteira da superfície removida por um evento de fogo.

FRET(1) Fração de nitrogênio na biomassa aérea queimada removida por um evento de fogo.

FRTSH Efeito aditivo da queima sobre a relação parte aérea / raiz.

FNUE(1) Efeito do fogo sobre o aumento da relação C/N máxima da parte aérea.

FNUE(2) Efeito do fogo sobre o aumento da relação C/N máxima das raízes.

#### **APÊNDICE 5. Parâmetros do arquivo FIX.100.**

ANEREF(3) Valor mínimo do impacto das condições anaeróbicas do solo em decomposição.

DEC4 Taxa máxima de decomposição da matéria orgânica do solo com rotação lenta.

DEC5(1) Taxa máxima de decomposição da matéria orgânica do solo com rotação intermediária.

DECK5 Conteúdo de água no solo disponível no qual as taxas de mortalidade parte aérea / raiz são a metade do valor máximo.

PMCO2(2) Controla o fluxo do metabólico ao CO<sub>2</sub>.

STRMAX(1) Quantidade máxima do material estrutural na camada superficial que irá se decompor.

STRMAX(2) Quantidade máxima do material estrutural abaixo do solo que irá se decompor.

VARAT1(1,1) Taxa máxima de C/N para o material entrando no compartimento ativo da matéria orgânica do solo.

VARAT1(2,1) Taxa mínima de C/N para o material entrando no compartimento lento da matéria orgânica do solo.

VARAT1(3,1) Quantidade de nitrogênio presente quando se aplica índice mínimo.

VARAT2(1,1) Taxa máxima de C/N para o material entrando no compartimento ativo da matéria orgânica do solo.

VARAT2(3,1) Taxa mínima de C/N para o material entrando no compartimento lento da matéria orgânica do solo.

## ANEXOS

### ANEXO 1: SITE.100 (Área preservada)

#### CAT caatinga

##### \*\*\* Climate parameters

8.6055 'PRECIP(1)'  
 14.4313 'PRECIP(2)'  
 23.4096 'PRECIP(3)'  
 18.2316 'PRECIP(4)'  
 7.8805 'PRECIP(5)'  
 2.0096 'PRECIP(6)'  
 1.0694 'PRECIP(7)'  
 0.3442 'PRECIP(8)'  
 0.1091 'PRECIP(9)'  
 0.5467 'PRECIP(10)'  
 1.2500 'PRECIP(11)'  
 2.6325 'PRECIP(12)'  
 9.7373 'PRCSTD(1)'  
 12.1862 'PRCSTD(2)'  
 15.3015 'PRCSTD(3)'  
 15.7837 'PRCSTD(4)'  
 8.2236 'PRCSTD(5)'  
 2.4862 'PRCSTD(6)'  
 1.6359 'PRCSTD(7)'  
 0.9851 'PRCSTD(8)'  
 0.3364 'PRCSTD(9)'  
 1.3310 'PRCSTD(10)'  
 3.2245 'PRCSTD(11)'  
 3.6987 'PRCSTD(12)'  
 1.9128 'PRCSKW(1)'  
 1.0019 'PRCSKW(2)'  
 1.0915 'PRCSKW(3)'  
 1.6973 'PRCSKW(4)'  
 2.3582 'PRCSKW(5)'  
 1.8360 'PRCSKW(6)'  
 2.9821 'PRCSKW(7)'  
 4.6733 'PRCSKW(8)'  
 4.6611 'PRCSKW(9)'  
 2.9199 'PRCSKW(10)'  
 5.0583 'PRCSKW(11)'  
 2.2222 'PRCSKW(12)'  
 22.0474 'TMN2M(1)'  
 21.8449 'TMN2M(2)'  
 21.6828 'TMN2M(3)'  
 21.4827 'TMN2M(4)'  
 20.8904 'TMN2M(5)'  
 19.9177 'TMN2M(6)'  
 19.3205 'TMN2M(7)'  
 19.1909 'TMN2M(8)'  
 20.1489 'TMN2M(9)'  
 20.9381 'TMN2M(10)'  
 21.4780 'TMN2M(11)'  
 21.9362 'TMN2M(12)'  
 33.9879 'TMX2M(1)'  
 33.1672 'TMX2M(2)'

32.4533 'TMX2M(3)'  
 32.0146 'TMX2M(4)'  
 31.3411 'TMX2M(5)'  
 30.6584 'TMX2M(6)'  
 30.7746 'TMX2M(7)'  
 32.0821 'TMX2M(8)'  
 33.4333 'TMX2M(9)'  
 34.5198 'TMX2M(10)'  
 34.9981 'TMX2M(11)'  
 34.7873 'TMX2M(12)'

##### \*\*\* Site and control parameters

0.00000 'IVAUTO'  
 1.00000 'NELEM'  
 -7.0200 'SITLAT'  
 -37.260 'SITLNG'  
 0.64800 'SAND'  
 0.12300 'SILT'  
 0.22900 'CLAY'  
 0.26000 'ROCK'  
 1.37000 'BULKD'  
 4.00000 'NLAYER'  
 4.00000 'NLAYPG'  
 1.00000 'DRAIN'  
 0.30000 'BASEF'  
 0.60000 'STORMF'  
 8.00000 'PRECRO'  
 0.15000 'FRACRO'  
 1.00000 'SWFLAG'  
 0.20000 'AWILT(1)'  
 0.20000 'AWILT(2)'  
 0.20000 'AWILT(3)'  
 0.20000 'AWILT(4)'  
 0.20000 'AWILT(5)'  
 0.20000 'AWILT(6)'  
 0.20000 'AWILT(7)'  
 0.20000 'AWILT(8)'  
 0.20000 'AWILT(9)'  
 0.30000 'AWILT(10)'  
 0.30000 'AFIEL(1)'  
 0.30000 'AFIEL(2)'  
 0.30000 'AFIEL(3)'  
 0.30000 'AFIEL(4)'  
 0.30000 'AFIEL(5)'  
 0.30000 'AFIEL(6)'  
 0.30000 'AFIEL(7)'  
 0.30000 'AFIEL(8)'  
 0.30000 'AFIEL(9)'  
 0.00000 'AFIEL(10)'  
 6.41000 'PH'  
 1.00000 'PSLSRB'  
 10.00000 'SORPMX'  
 \*\*\* External nutrient input parameters  
 0.05000 'EPNFA(1)'  
 0.00630 'EPNFA(2)'  
 30.0000 'EPNFS(1)'

0.00700	'EPNFS(2)'	0.00000	'RLEAVE(3)'
0.00000	'SATMOS(1)'	0.00000	'FBRCIS(1)'
0.00000	'SATMOS(2)'	0.00000	'FBRCIS(2)'
0.00000	'SIRRI'	0.00000	'FBRCHE(1)'
*** Organic matter initial values			
0.000000	'SOM1CI(1,1)'	0.00000	'FBRCHE(2)'
0.00000	'SOM1CI(1,2)'	0.00000	'FBRCHE(3)'
0.0000000	'SOM1CI(2,1)'	0.00000	'RLWCIS(1)'
0.00000	'SOM1CI(2,2)'	0.00000	'RLWCIS(2)'
0.00000000	'SOM2CI(1)'	0.00000	'RLWODE(1)'
0.00000	'SOM2CI(2)'	0.00000	'RLWODE(2)'
0.00000000	'SOM3CI(1)'	0.00000	'RLWODE(3)'
0.00000	'SOM3CI(2)'	0.00000	'FRTCIS(1)'
0.000000	'RCES1(1,1)'	0.00000	'FRTCIS(2)'
0.000000	'RCES1(1,2)'	0.00000	'FROOTE(1)'
0.000000	'RCES1(1,3)'	0.00000	'FROOTE(2)'
0.000000	'RCES1(2,1)'	0.00000	'FROOTE(3)'
0.000000	'RCES1(2,2)'	0.00000	'CRTCIS(1)'
0.000000	'RCES1(2,3)'	0.00000	'CRTCIS(2)'
0.000000	'RCES2(1)'	0.00000	'CROOTE(1)'
0.0000000	'RCES2(2)'	0.00000	'CROOTE(2)'
0.0000000	'RCES2(3)'	0.00000	'CROOTE(3)'
0.00000	'RCES3(1)'	0.00000	'WD1CIS(1)'
0.000000	'RCES3(2)'	0.00000	'WD1CIS(2)'
0.000000	'RCES3(3)'	0.00000	'WD2CIS(1)'
100.00000	'CLITTR(1,1)'	0.00000	'WD2CIS(2)'
0.00000	'CLITTR(1,2)'	0.00000	'WD3CIS(1)'
100.00000	'CLITTR(2,1)'	0.00000	'WD3CIS(2)'
0.00000	'CLITTR(2,2)'	*** Mineral initial parameters	
88.00000	'RCELIT(1,1)'	0.25000	'MINERL(1,1)'
300.00000	'RCELIT(1,2)'	0.00000	'MINERL(2,1)'
300.00000	'RCELIT(1,3)'	0.00000	'MINERL(3,1)'
66.00000	'RCELIT(2,1)'	0.00000	'MINERL(4,1)'
300.00000	'RCELIT(2,2)'	0.00000	'MINERL(5,1)'
300.00000	'RCELIT(2,3)'	0.00000	'MINERL(6,1)'
0.00000	'AGLCIS(1)'	0.00000	'MINERL(7,1)'
0.00000	'AGLCIS(2)'	0.00000	'MINERL(8,1)'
0.00000	'AGLIVE(1)'	0.00000	'MINERL(9,1)'
0.00000	'AGLIVE(2)'	0.00000	'MINERL(10,1)'
0.00000	'AGLIVE(3)'	0.50000	'MINERL(1,2)'
200.00000	'BGLCIS(1)'	0.00000	'MINERL(2,2)'
0.00000	'BGLCIS(2)'	0.00000	'MINERL(3,2)'
1.50000	'BGLIVE(1)'	0.00000	'MINERL(4,2)'
0.45000	'BGLIVE(2)'	0.00000	'MINERL(5,2)'
0.45000	'BGLIVE(3)'	0.00000	'MINERL(6,2)'
50.00000	'STDCIS(1)'	0.00000	'MINERL(7,2)'
0.00000	'STDCIS(2)'	0.00000	'MINERL(8,2)'
0.80000	'STDEDE(1)'	0.00000	'MINERL(9,2)'
0.20000	'STDEDE(2)'	0.00000	'MINERL(10,2)'
0.20000	'STDEDE(3)'	0.50000	'MINERL(1,3)'
*** Forest organic matter initial parameters			
0.00000	'RLVCIS(1)'	0.00000	'MINERL(2,3)'
0.00000	'RLVCIS(2)'	0.00000	'MINERL(3,3)'
0.00000	'RLEAVE(1)'	0.00000	'MINERL(4,3)'
0.00000	'RLEAVE(2)'	0.00000	'MINERL(5,3)'
		0.00000	'MINERL(6,3)'
		0.00000	'MINERL(7,3)'

0.00000	'MINERL(8,3)'	70.00000	'CERFOR(2,3,3)'
0.00000	'MINERL(9,3)'	120.00000	'CERFOR(2,4,1)'
0.00000	'MINERL(10,3)'	479.00000	'CERFOR(2,4,2)'
0.00000	'PARENT(1)'	131.00000	'CERFOR(2,4,3)'
50.00000	'PARENT(2)'	90.00000	'CERFOR(2,5,1)'
50.00000	'PARENT(3)'	833.00000	'CERFOR(2,5,2)'
0.00000	'SECNDY(1)'	100.00000	'CERFOR(2,5,3)'
15.00000	'SECNDY(2)'	30.00000	'CERFOR(3,1,1)'
2.00000	'SECNDY(3)'	396.00000	'CERFOR(3,1,2)'
0.00000	'OCCLUD'	40.00000	'CERFOR(3,1,3)'
*** Water initial parameters			
0.00000	'RWCF(1)'	60.00000	'CERFOR(3,2,1)'
0.00000	'RWCF(2)'	500.00000	'CERFOR(3,2,2)'
0.00000	'RWCF(3)'	83.00000	'CERFOR(3,2,3)'
0.00000	'RWCF(4)'	95.00000	'CERFOR(3,3,1)'
0.00000	'RWCF(5)'	500.00000	'CERFOR(3,3,2)'
0.00000	'RWCF(6)'	70.00000	'CERFOR(3,3,3)'
0.00000	'RWCF(7)'	150.00000	'CERFOR(3,4,1)'
0.00000	'RWCF(8)'	479.00000	'CERFOR(3,4,2)'
0.00000	'RWCF(9)'	131.00000	'CERFOR(3,4,3)'
0.00000	'RWCF(10)'	80.00000	'CERFOR(3,5,1)'
0.00000	'SNLQ'	833.00000	'CERFOR(3,5,2)'
0.00000	'SNOW'	100.00000	'CERFOR(3,5,3)'
<b>ANEXO 2: TREE.100</b>			
<b>REG caatinga</b>			
2.00000	'DECID'	4.50000	'DECW1'
0.20000	'PRDX(2)'	3.80000	'DECW2'
30.00000	'PPDF(1)'	4.00000	'DECW3'
45.00000	'PPDF(2)'	0.34000	'FCFRAC(1,1)'
1.00000	'PPDF(3)'	0.40000	'FCFRAC(2,1)'
2.50000	'PPDF(4)'	0.09000	'FCFRAC(3,1)'
15.00000	'CERFOR(1,1,1)'	0.15000	'FCFRAC(4,1)'
396.00000	'CERFOR(1,1,2)'	0.02000	'FCFRAC(5,1)'
40.00000	'CERFOR(1,1,3)'	0.24000	'FCFRAC(1,2)'
40.00000	'CERFOR(1,2,1)'	0.26000	'FCFRAC(2,2)'
500.00000	'CERFOR(1,2,2)'	0.13000	'FCFRAC(3,2)'
83.00000	'CERFOR(1,2,3)'	0.32000	'FCFRAC(4,2)'
85.00000	'CERFOR(1,3,1)'	0.05000	'FCFRAC(5,2)'
500.00000	'CERFOR(1,3,2)'	0.40000	'TFRTCW(1)'
70.00000	'CERFOR(1,3,3)'	0.25000	'TFRTCW(2)'
100.00000	'CERFOR(1,4,1)'	0.02000	'LEAFDR(1)'
479.00000	'CERFOR(1,4,2)'	0.09000	'LEAFDR(2)'
131.00000	'CERFOR(1,4,3)'	0.02000	'LEAFDR(3)'
80.00000	'CERFOR(1,5,1)'	0.03000	'LEAFDR(4)'
833.00000	'CERFOR(1,5,2)'	0.05000	'LEAFDR(5)'
100.00000	'CERFOR(1,5,3)'	0.21000	'LEAFDR(6)'
70.00000	'CERFOR(2,1,1)'	0.22000	'LEAFDR(7)'
396.00000	'CERFOR(2,1,2)'	0.21000	'LEAFDR(8)'
40.00000	'CERFOR(2,1,3)'	0.09000	'LEAFDR(9)'
40.00000	'CERFOR(2,2,1)'	0.01000	'LEAFDR(10)'
500.00000	'CERFOR(2,2,2)'	0.01000	'LEAFDR(11)'
83.00000	'CERFOR(2,2,3)'	0.05000	'LEAFDR(12)'
85.00000	'CERFOR(2,3,1)'	0.01150	'BTOLAI'
500.00000	'CERFOR(2,3,2)'	39.60000	'KLAI'
		-0.40000	'LAITOP'
		1.90000	'MAXLAI'

1.00000	'MAXLDR'	0.20000	'FRTC(2)'
0.40000	'FORRTF(1)'	0.00000	'FRTC(3)'
0.00000	'FORRTF(2)'	0.20000	'FRTC(4)'
0.00000	'FORRTF(3)'	0.10000	'FRTC(5)'
1.00000	'SAPK'	0.40000	'CFRTCN(1)'
8.00000	'SWOLD'	0.25000	'CFRTCN(2)'
0.15000	'WDLIG(1)'	0.60000	'CFRTCW(1)'
0.20000	'WDLIG(2)'	0.20000	'CFRTCW(2)'
0.20000	'WDLIG(3)'	400.00000	'BIOMAX'
0.30000	'WDLIG(4)'	20.00000	'PRAMN(1,1)'
0.30000	'WDLIG(5)'	390.00000	'PRAMN(2,1)'
0.30000	'WOODDR(1)'	340.00000	'PRAMN(3,1)'
0.11700	'WOODDR(2)'	30.00000	'PRAMN(1,2)'
0.00793	'WOODDR(3)'	390.00000	'PRAMN(2,2)'
0.00347	'WOODDR(4)'	340.00000	'PRAMN(3,2)'
0.00086	'WOODDR(5)'	50.00000	'PRAMX(1,1)'
0.00435	'SNFXMX(2)'	440.00000	'PRAMX(2,1)'
0.00000	'DEL13C'	440.00000	'PRAMX(3,1)'
1.20000	'CO2IPR(2)'	99.00000	'PRAMX(1,2)'
0.80000	'CO2ITR(2)'	440.00000	'PRAMX(2,2)'
1.20000	'CO2ICE(2,1,1)'	440.00000	'PRAMX(3,2)'
1.00000	'CO2ICE(2,1,2)'	60.00000	'PRBMN(1,1)'
1.00000	'CO2ICE(2,1,3)'	390.00000	'PRBMN(2,1)'
1.20000	'CO2ICE(2,2,1)'	340.00000	'PRBMN(3,1)'
1.00000	'CO2ICE(2,2,2)'	0.00000	'PRBMN(1,2)'
1.00000	'CO2ICE(2,2,3)'	0.00000	'PRBMN(2,2)'
1.00000	'CO2IRS(2)'	0.00000	'PRBMN(3,2)'
0.50000	'BASFC2'	80.00000	'PRBMX(1,1)'
400.000	'BASFCT'	420.00000	'PRBMX(2,1)'
2400.00	'SITPOT'	420.00000	'PRBMX(3,1)'
13.5000	'MAXNP'	0.00000	'PRBMX(1,2)'
0.00000	'KMRSP(2)'	0.00000	'PRBMX(2,2)'
0.00000	'FKMRSPMX(1)'	0.00000	'PRBMX(3,2)'
0.00000	'FKMRSPMX(2)'	0.02000	'FLIGNI(1,1)'
0.00000	'FKMRSPMX(3)'	0.00120	'FLIGNI(2,1)'
0.00000	'FKMRSPMX(4)'	0.26000	'FLIGNI(1,2)'
0.00000	'FKMRSPMX(5)'	-0.00150	'FLIGNI(2,2)'
0.50000	'NO3PREF(2)'	0.00000	'HIMAX'
4.00000	'TLAYPG'	0.00000	'HIWSF'
7.00000	'TMPLFF'	0.00000	'HIMON(1)'
10.0000	'TMPLFS'	0.00000	'HIMON(2)'
		0.50000	'EFRGRN(1)'
		0.50000	'EFRGRN(2)'
		0.50000	'EFRGRN(3)'
		0.04000	'VLOSSP'
		0.20000	'FSDETH(1)'
		0.95000	'FSDETH(2)'
		0.20000	'FSDETH(3)'
		150.00000	'FSDETH(4)'
		0.15000	'FALLRT'
		0.72000	'RDR'
		2.00000	'RTDTMP'
		0.50000	'CRPRTF(1)'
		0.00000	'CRPRTF(2)'
		0.00000	'CRPRTF(3)'
<b>ANEXO 3: CROP.100</b>			
<b>HER caatinga</b>			
0.41800	'PRDX(1)'		
30.00000	'PPDF(1)'		
45.00000	'PPDF(2)'		
1.00000	'PPDF(3)'		
2.50000	'PPDF(4)'		
1.00000	'BIOFLG'		
60.00000	'BIOK5'		
1.00000	'PLTMRF'		
100.00000	'FULCAN'		
0.00000	'FRTCINDX'		
0.60000	'FRTC(1)'		

0.00077	'SNFXMX(1)'	0.00000	'CO2RMP'
27.00000	'DEL13C'	0.00000	'DAMR(1,1)'
1.20000	'CO2IPR(1)'	0.00000	'DAMR(1,2)'
0.80000	'CO2ITR(1)'	0.01000	'DAMR(1,3)'
1.20000	'CO2ICE(1,1,1)'	0.02000	'DAMR(2,1)'
1.00000	'CO2ICE(1,1,2)'	0.02000	'DAMR(2,2)'
1.00000	'CO2ICE(1,1,3)'	0.04000	'DAMR(2,3)'
1.20000	'CO2ICE(1,2,1)'	15.00000	'DAMRMN(1)'
1.00000	'CO2ICE(1,2,2)'	150.00000	'DAMRMN(2)'
1.00000	'CO2ICE(1,2,3)'	150.00000	'DAMRMN(3)'
1.00000	'CO2IRS(1)'	3.90000	'DEC1(1)'
0.00000	'KMRSP(1)'	4.90000	'DEC1(2)'
0.00000	'CKMRSPMX(1)'	14.80000	'DEC2(1)'
0.00000	'CKMRSPMX(2)'	18.50000	'DEC2(2)'
0.25000	'NO3PREF(1)'	7.00000	'DEC3(1)'
4.00000	'CLAYPG'	06.5000	'DEC3(2)'
10.0000	'TMPGERM'	0.00700	'DEC4'
900.000	'DDBASE'	0.25000	'DEC5'
7.00000	'TMPKILL'	5.00000	'DECK5'
10.0000	'BASETEMP'	-4.00000	'DLIGDF'
100.000	'MNDDHRV'	0.99900	'DRESP'
200.000	'MXDDHRV'	0.20000	'EDEPTH'

**ANEXO 4: FIX.100****X Fixed\_values**

10.00000	'ADEP(1)'	0.90000	'FAVAIL(1)'
10.00000	'ADEP(2)'	0.50000	'FAVAIL(3)'
10.00000	'ADEP(3)'	0.20000	'FAVAIL(4)'
10.00000	'ADEP(4)'	0.40000	'FAVAIL(5)'
0.000000	'ADEP(5)'	2.00000	'FAVAIL(6)'
0.000000	'ADEP(6)'	0.20000	'FLEACH(1)'
0.000000	'ADEP(7)'	0.70000	'FLEACH(2)'
0.000000	'ADEP(8)'	1.00000	'FLEACH(3)'
0.000000	'ADEP(9)'	0.00000	'FLEACH(4)'
0.000000	'ADEP(10)'	0.10000	'FLEACH(5)'
-40.00000	'AGPPA'	0.80000	'FWLOSS(1)'
7.70000	'AGPPB'	0.80000	'FWLOSS(2)'
1.50000	'ANEREF(1)'	0.65000	'FWLOSS(3)'
3.00000	'ANEREF(2)'	0.80000	'FWLOSS(4)'
0.30000	'ANEREF(3)'	-0.12500	'FXMCA'
5.00000	'ANIMPT'	0.00500	'FXMCB'
0.80000	'AWTL(1)'	0.35000	'FXMXS'
0.60000	'AWTL(2)'	7.00000	'FXNPB'
0.40000	'AWTL(3)'	0.00000	'GREMB'
0.30000	'AWTL(4)'	2.00000	'IDEF'
0.20000	'AWTL(5)'	0.20000	'LHZF(1)'
0.20000	'AWTL(6)'	0.40000	'LHZF(2)'
0.20000	'AWTL(7)'	0.80000	'LHZF(3)'
0.20000	'AWTL(8)'	18.00000	'MINLCH'
0.00000	'AWTL(9)'	0.00000	'NSNFIK'
0.00000	'AWTL(10)'	4.00000	'NTSPM'
100.00000	'BGPPA'	0.01000	'OMLECH(1)'
7.00000	'BGPPB'	0.25000	'OMLECH(2)'
350.00000	'CO2PPM(1)'	10.00000	'OMLECH(3)'
700.00000	'CO2PPM(2)'	0.60000	'PICO2A(1)'
		0.17000	'PICO2A(2)'

0.00000	'P1CO2B(1)'	100.00000	'RAD1P(3,3)'
0.68000	'P1CO2B(2)'	200.00000	'RCESTR(1)'
0.55000	'P2CO2'	500.00000	'RCESTR(2)'
0.55000	'P3CO2'	500.00000	'RCESTR(3)'
100.00000	'PABRES'	0.01500	'RICTRL'
16.00000	'PCEMIC(1,1)'	0.80000	'RIINT'
200.00000	'PCEMIC(1,2)'	0.30000	'RSPLIG'
150.00000	'PCEMIC(1,3)'	-1.00000	'SEED'
10.00000	'PCEMIC(2,1)'	0.85000	'SPL(1)'
99.00000	'PCEMIC(2,2)'	0.01300	'SPL(2)'
50.00000	'PCEMIC(2,3)'	5000.00000	'STRMAX(1)'
0.03000	'PCEMIC(3,1)'	5000.00000	'STRMAX(2)'
0.00150	'PCEMIC(3,2)'	1.00000	'TEXEPP(1)'
0.00150	'PCEMIC(3,3)'	0.70000	'TEXEPP(2)'
0.25000	'PEFTXA'	0.00010	'TEXEPP(3)'
0.75000	'PEFTXB'	0.00016	'TEXEPP(4)'
6.00000	'PHESP(1)'	2.00000	'TEXEPP(5)'
0.00080	'PHESP(2)'	1.00000	'TEXESP(1)'
7.60000	'PHESP(3)'	0.00400	'TEXESP(3)'
0.01500	'PHESP(4)'	15.4000	'TEFF(1)'
5.00000	'PLIGST(1)'	11.7500	'TEFF(2)'
5.00000	'PLIGST(2)'	29.7000	'TEFF(3)'
0.55000	'PMCO2(1)'	0.03100	'TEFF(4)'
0.55000	'PMCO2(2)'	0.00000	'TMELT(1)'
0.00000	'PMNSEC(1)'	0.00000	'TMELT(2)'
0.00000	'PMNSEC(2)'	13.00000	'VARAT1(1,1)'
2.00000	'PMNSEC(3)'	3.00000	'VARAT1(2,1)'
0.00400	'PMNTMP'	2.50000	'VARAT1(3,1)'
600.0000	'PMXBIO'	150.0000	'VARAT1(1,2)'
-0.00350	'PMXTMP'	30.00000	'VARAT1(2,2)'
0.00000	'PPARMN(1)'	2.00000	'VARAT1(3,2)'
0.00010	'PPARMN(2)'	200.0000	'VARAT1(1,3)'
0.00050	'PPARMN(3)'	50.00000	'VARAT1(2,3)'
0.00000	'PPRPTS(1)'	2.00000	'VARAT1(3,3)'
1.00000	'PPRPTS(2)'	23.00000	'VARAT2(1,1)'
0.80000	'PPRPTS(3)'	16.00000	'VARAT2(2,1)'
0.45000	'PS1CO2(1)'	4.50000	'VARAT2(3,1)'
0.55000	'PS1CO2(2)'	400.00000	'VARAT2(1,2)'
0.00300	'PS1S3(1)'	100.0000	'VARAT2(2,2)'
0.03200	'PS1S3(2)'	2.00000	'VARAT2(3,2)'
0.00100	'PS2S3(1)'	400.00000	'VARAT2(1,3)'
0.00400	'PS2S3(2)'	100.0000	'VARAT2(2,3)'
0.00000	'PSECMN(1)'	2.00000	'VARAT2(3,3)'
0.00220	'PSECMN(2)'	7.00000	'VARAT3(1,1)'
0.20000	'PSECMN(3)'	4.50000	'VARAT3(2,1)'
0.00000	'PSECOC1'	1.50000	'VARAT3(3,1)'
0.00000	'PSECOC2'	200.00000	'VARAT3(1,2)'
12.00000	'RAD1P(1,1)'	50.00000	'VARAT3(2,2)'
3.00000	'RAD1P(2,1)'	2.00000	'VARAT3(3,2)'
5.00000	'RAD1P(3,1)'	200.00000	'VARAT3(1,3)'
220.0000	'RAD1P(1,2)'	50.00000	'VARAT3(2,3)'
5.00000	'RAD1P(2,2)'	2.00000	'VARAT3(3,3)'
100.0000	'RAD1P(3,2)'	0.02000	'VLOSSE'
220.0000	'RAD1P(1,3)'	1.00000	'VLOSSG'
5.00000	'RAD1P(2,3)'		

**ANEXO 5: SCH.100 (Preservada)**

1 Starting year  
 2011 Last year  
 caat.100 Site file name  
 0 Labeling type  
 -1 Labeling year  
 -1.00 Microcosm  
 -1 CO2 Systems  
 -1 pH shift  
 -1 Soil warming  
 0 N input scalar option  
 0 OMAD scalar option  
 0 Climate scalar option  
 3 Initial system  
 HER Initial crop  
 REG Initial tree

## Year Month Option

1 Block # tropical savana  
 1910 Last year  
 1 Repeats # years  
 1905 Output starting year  
 1 Output month  
 1 Output interval  
 M Weather choice

1 1 CROP

HER

1 1 FRST

1 1 TREE

REG

1 1 TFST

1 9 LAST

1 9 TLST

-999 -999 X

2 Block # tropical savana

2011 Last year

1 Repeats # years

1911 Output starting year

1 Output month

1 Output interval

F Weather choice

clima.wth

1 1 CROP

HER

1 1 FRST

1 1 TREE

REG

1 1 TFST

1 9 LAST

1 9 TLST

-999 -999 X

**ANEXO 6: SCH.100 (Jovem)**

1 Starting year  
 2011 Last year  
 caate.100 Site file name  
 0 Labeling type  
 -1 Labeling year  
 -1.00 Microcosm  
 -1 CO2 Systems  
 -1 pH shift  
 -1 Soil warming  
 0 N input scalar option  
 0 OMAD scalar option  
 0 Climate scalar option  
 3 Initial system  
 HER Initial crop  
 REG Initial tree

## Year Month Option

1 Block # tropical savana  
 1910 Last year  
 1 Repeats # years  
 1905 Output starting year  
 1 Output month  
 1 Output interval  
 M Weather choice

1 1 CROP

HER

1 1 FRST

1 1 TREE

REG

1 1 TFST

1 9 LAST

1 9 TLST

-999 -999 X

2 Block # tropical savana

1964 Last year

1 Repeats # years

1911 Output starting year

1 Output month

1 Output interval

F Weather choice

clima.wth

1 1 CROP

HER

1 1 FRST

1 1 TREE

REG

1 1 TFST

1 9 LAST

1 9 TLST

-999 -999 X

3 Block # tropical savana

1965 Last year

1 Repeats # years

```

1965      Output starting year
1         Output month
1         Output interval
C         Weather choice
  1  1 CROP
HER
  1  1 FRST
  1  1 TREE
REG
  1  1 TFST
  1  9 LAST
  1  9 TLST
  1 12TREM
CDC
  1 12FIRE
H
-999 -999 X
4         Block #  tropical savana
1967      Last year
1         Repeats # years
1966      Output starting year
1         Output month
1         Output interval
C         Weather choice
  1  2 CROP
BRAC
  1  2 PLTM
  1  2 FRST
  1 10 LAST
  1 10 SENM
-999 -999 X
5         Block #  tropical savana
1989      Last year
1         Repeats # years
1968      Output starting year
1         Output month
1         Output interval
C         Weather choice
  1  2 CROP
BRAC
  1  2 PLTM
  1  2 FRST
  1  4 GRAZ
GCS
  1  5 GRAZ
GCS
  1  6 GRAZ
GCS
  1 10 LAST
  1 10 SENM
-999 -999 X
6         Block #  tropical savana
2011      Last year
1         Repeats # years
1990      Output starting year

```

```

1         Output month
1         Output interval
C         Weather choice
  1  1 CROP
HRB
  1  1 FRST
  1  1 TREE
REG
  1  1 TFST
  1  9 LAST
  1  9 TLST
-999 -999 X

```