



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
DEPARTAMENTO DE ECOLOGIA



JENISSON RIBEIRO DOS SANTOS

Simulação do potencial de sequestro de carbono
em área de reflorestamento no nordeste do Brasil

São Cristóvão

2025.1



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
DEPARTAMENTO DE ECOLOGIA



JENISSON RIBEIRO DOS SANTOS

Simulação do potencial de sequestro de carbono
em área de reflorestamento no nordeste do Brasil

Prof Dr ALEXANDRE DE SIQUEIRA PINTO

Monografia apresentada ao
Departamento de Ecologia da
Universidade Federal de Sergipe
como parte dos requisitos para
obtenção do título de Bacharel em
Ecologia

São Cristóvão
2025.1

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiramente a Deus por tudo em minha vida. Agradeço profundamente ao meu orientador por toda a orientação e pela paciência comigo. Estar aqui, cursando uma universidade, sempre foi um sonho, não só meu, mas também do meu pai. Gostaria muito que ele estivesse vivo para ver essa realização em minha vida.

Agradeço imensamente, e não tenho palavras para descrever, a minha prima Camila Roberta, pois, se hoje estou cursando uma universidade, foi graças a ela, que me deu todo o apoio e suporte para que eu pudesse estudar.

Sou grato a todos do laboratório ECOSYS (Mayara, Jennifer e Francine), assim como ao Vitor Batista. Agradeço também às minhas amigas de turma: Anny, Ruanny, Débora, Ivana, e Ester, por todo apoio e amizade ao longo da minha jornada acadêmica. Vocês foram essenciais para tornar essa experiência mais leve e divertida, e levo cada uma de vocês no meu coração.

Agradeço à minha mãe, que é meu porto seguro e metade de mim. Te amo, mãe! Também agradeço à minha prima Luana, à minha tia Ninha, aos meus melhores amigos Tony e Ruan, e à Ivanice, por sempre me incentivar nos estudos. Sou grato ainda às minhas amigas Anne e Aise, à minha tia Josi, às minhas avós, ao meu avô Elias, aos meus sobrinhos e aos meus irmãos Jefferson e Joanderson.

Se por acaso eu esqueci de mencionar alguém, peço perdão. Por fim, agradeço a mim mesmo, por nunca desistir, mesmo quando não tinha forças, mas ainda assim segui em frente.

SUMÁRIO

RESUMO.....	4
1. INTRODUÇÃO.....	5
2. OBJETIVO.....	7
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	7
3.1 Levantamento de dados de referência para modelagem ambiental.....	7
3.2 Simulações da dinâmica temporal do carbono.....	7
3.3 Análises estatísticas.....	8
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	8
4.1. Simulação para estabelecimentos dos estoques iniciais de carbono.....	8
4.2. Simulação da dinâmica de carbono nas pastagens.....	10
4.3. Simulação do reflorestamento.....	11
4.4. Aplicação dos resultados para políticas públicas ambientais.....	14
5. CONCLUSÕES.....	15
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	15

RESUMO

O enfrentamento ao aquecimento global intensificou a busca por estratégias para estabilizar a concentração de gases do efeito estufa na atmosfera, sendo o reflorestamento uma alternativa para promover o sequestro de carbono. No Brasil, grande parte das áreas antrópicas é ocupada por pastagens, das quais cerca de metade apresenta características de degradação. Este cenário contribui para a perda de carbono no solo, compartimento este que estoca mais carbono em comparação a biomassa e a atmosfera. A Mata Atlântica, um dos biomas mais devastados do país, representa uma área prioritária para ações de reflorestamento. Este estudo avaliou, por meio de simulações computacionais utilizando o modelo *Century*, o potencial de acúmulo de carbono no solo e na biomassa aérea decorrente do reflorestamento a partir de pastagens. Parâmetros padrão do modelo para caracterização do pasto foram utilizados nas simulações da dinâmica de carbono em cinco sítios: Areia-PB (dois sítios, denominados como s1 e s2), Eunápolis-BA, Itambé-PE e Uruçuca-BA distribuídos pela região nordeste do Brasil. A partir do sítio com menor desvio Areia-PB (s1) (4%), entre os valores simulado e observado de estoque de C no solo, foi simulado o reflorestamento por 100 anos. A análise temporal da variação nos estoques de C indicou que, após 100 anos, o acúmulo total de carbono atingiu 41,4 Mg C ha⁻¹, sendo 10 Mg C ha⁻¹ no solo e 31 Mg C ha⁻¹ na biomassa aérea. Os resultados mostram que o reflorestamento a partir de áreas de pastagem pode ser utilizado nos esforços para captura de carbono da atmosfera, contribuindo para as metas do governo brasileiro de estabilização das concentrações de carbono na atmosfera nas próximas décadas.

Palavras-chave: Modelo *Century*, solo, biomassa aérea, Mata Atlântica, pastagem.

1. INTRODUÇÃO

O enfrentamento ao aquecimento global intensificou a busca por estratégias para estabilizar a concentração de gases do efeito estufa (GEE) na atmosfera. Esse efeito ocorre quando a energia solar penetra a atmosfera e aquece a superfície terrestre, e libera energia sob a forma de radiação infravermelha. Parte dessa energia é absorvida pelos gases, impedindo que todo o calor retorne ao espaço e mantendo condições adequadas para a vida na Terra (Campos, 2001). Entretanto, o aumento das emissões antrópicas de GEE desde a Revolução Industrial tem alterado substancialmente o balanço energético do planeta, resultando no aquecimento global, definido como o aumento gradual da temperatura média da superfície terrestre (IPCC, 2021).

Segundo Oliveira (2008), a permanência desses gases na atmosfera faz com que seus efeitos no clima se estabilizem por séculos após sua emissão. Dentre eles, o dióxido de carbono (CO_2) destaca-se como o principal responsável pelo efeito estufa, devido à sua maior concentração atmosférica em relação a outros gases, como o metano (CH_4) e o óxido nitroso (N_2O). No Brasil, os setores de mudanças no uso da terra e agropecuária representam mais de 70% das emissões de gases de efeito estufa (SEEG, 2021).

Em resposta a esse cenário, o país assumiu compromissos internacionais no âmbito do Acordo de Paris, firmado na 21ª Conferência das Partes (COP21) da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC). Nesse acordo, o Brasil comprometeu-se a reduzir suas emissões em 37% até 2025 e em 43% até 2030, em relação aos níveis de 2005. Assim, tornou-se ainda mais urgente o desenvolvimento de estudos voltados à dinâmica do carbono, seus impactos e estratégias de mitigação.

A agropecuária ocupa papel relevante entre as principais responsáveis pelas emissões de GEE no Brasil, logo após as alterações no uso da terra, sobretudo em razão da conversão de florestas em áreas agrícolas e pastagens (Cardoso et al., 2012; Pavão et al., 2023). No Brasil, grande parte das áreas antrópicas é ocupada por pastagens. Estima-se que metade das pastagens brasileiras apresenta algum grau de degradação, cenário que contribui para a redução dos estoques de carbono no solo, compartimento que, em condições naturais, armazenam mais carbono do que a biomassa vegetal e a própria atmosfera (Watson, 2001).

A matéria orgânica do solo desempenha papel central nesse processo, pois regula a ciclagem e a retenção de nutrientes, promove a agregação do solo e serve como fonte de energia para organismos edáficos (Roscoe et al., 2006). Entretanto, em áreas de pastagens

onde se tem práticas convencionais de manejo, como aração e gradagem, podem romper agregados e expor a matéria orgânica, favorecendo a decomposição microbiana e liberando CO₂ para a atmosfera.

De acordo com o Mapbiomas (2025), anteriormente grande parte do território brasileiro era formado por vegetação nativa. Já no início de mil novecentos e noventa e quatro, houve uma expansão de 36 milhões de hectares de áreas convertidas, em sua maior parte em pastagens. Nesse contexto, o reflorestamento aparece como uma alternativa valiosa para mitigar essas emissões, já que o crescimento das árvores promove a captura de CO₂ e o armazena na sua biomassa. (Brown, 1997). Estima-se que grande parte do carbono do planeta esteja nos ecossistemas terrestres, principalmente na vegetação florestal, que acumulam em suas estruturas e no solo uma quantidade maior de carbono em comparação a atmosfera (Dixon et al., 1994; Grace, 2004).

No Brasil, a Mata Atlântica, se encontra bastante fragmentada ao longo de anos de desmatamento. O bioma cobre apenas 15% do território brasileiro e é conhecido como um dos cinco principais *hotspots* de biodiversidade do mundo (Myers et al., 2000). Apesar da sua relevância, a sua área original foi reduzida a 24%, destes 12,4% equivalem a florestas antigas e preservadas (SOS MATA ATLÂNTICA, 2025). Mesmo reduzida, a Mata Atlântica cumpre funções ecológicas fundamentais, como a proteção de encostas e manutenção hídrica e serviços ecológicos relevantes para o país (Varjabedian, 2010).

Nesse contexto, os modelos de simulação como *Century* torna-se uma ferramenta importante para avaliação na dinâmica da matéria orgânica nos compartimentos vegetais e no solo, podendo ser aplicado em várias situações na dinâmica do manejo nestes compartimentos. O modelo *Century* foi desenvolvido com o propósito de representar, de forma adequada, processos ecossistêmicos na dinâmica de C, P, S e N. A matéria orgânica do solo foi o foco central do desenvolvimento do *Century*, devido à sua importância nos processos ecossistêmicos e nas respostas às mudanças ambientais.

O *Century* é composto por três submodelos: o da produção vegetal, o da água e o da dinâmica da matéria orgânica. A biomassa é produzida no modelo através de variáveis precipitação e temperatura. O carbono é distribuído nas diferentes partes da planta, gerando material morto que, posteriormente, será reciclado no solo. Nesse processo, o solo é dividido em três frações: passiva, lenta e ativa, cada uma com diferentes tempos de reciclagem. Essa reciclagem está condicionada a um fator de decomposição, modulado pela temperatura e pela água no solo, tornando os elementos disponíveis e interagindo novamente.

2. OBJETIVO

O objetivo deste estudo foi avaliar, por meio de simulações computacionais utilizando o modelo *Century*, o potencial de acúmulo de carbono no solo e na biomassa aérea decorrente do reflorestamento a partir de pastagens na região Nordeste do Brasil, no bioma Mata Atlântica.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Levantamento de dados de referência para modelagem ambiental

A fase inicial do trabalho constitui no levantamento bibliográfico realizado nas bases Google Acadêmico, SciELO, Periódicos Capes e Science Direct para obtenção de variáveis edáficas de entrada para a modelagem ambiental (silte, areia, argila, pH e densidade do solo) e para a comparação entre os estoques de carbono do solo e na biomassa aérea observados (dados secundários) e as saídas das simulações computacionais. Os dados climáticos relacionados a precipitação e temperatura foram obtidos no site: www.climatempo.com.br.

3.2 Simulações da dinâmica temporal do carbono

As simulações da dinâmica temporal do carbono foram conduzidas utilizando o modelo *Century* (versão 4.5) com o suporte de *scripts* desenvolvidos para a plataforma R. Este modelo é composto por dois submodelos (solo e planta), sendo que no primeiro é estimado o estoque de carbono na camada de 0 a 20 cm de profundidade. Foram elaboradas simulações a partir da vegetação nativa (Mata Atlântica) para definir os valores iniciais de carbono antes do início do cultivo na área. Em grande parte do território brasileiro, o uso do solo mais frequente após o desmatamento é a implantação de pastagens. Por isso, as simulações envolvendo reflorestamento foram antecedidas pelo cultivo de pastagem.

O modelo foi rodado pela quantidade de tempo suficiente (10000 anos) para obter a estabilização dos estoques de carbono no solo e na biomassa da vegetação nativa (Mata Atlântica na região nordeste do Brasil) utilizando os parâmetros ajustados por Batista (2025). Esta etapa da modelagem é essencial para o estabelecimento dos estoques de carbono prévios à mudança no uso da terra. Portanto, quaisquer variações nos estoques a partir do desmatamento ocorram em função do manejo.

Uma vez que a instalação de pastagem é o uso da terra mais comum após o desmatamento, realizou-se a simulação desta mudança no uso da terra. Os parâmetros utilizados para pastagem foram retirados do manual do modelo *Century* (tipo G4). Posteriormente, seguiu-se a simulação de reflorestamento, utilizando os mesmos parâmetros que caracterizam a mata nativa e a dinâmica de carbono foi monitorada até 100 anos.

O cálculo do acúmulo de carbono em função do reflorestamento foi feito subtraindo o estoque de carbono do solo aos 30 anos e aos 100 anos da conversão em relação aos estoques presente na cobertura vegetal anterior (pastagem). Para estimar o acúmulo total de carbono com o reflorestamento, este valor foi somado ao incremento de carbono simulado para a biomassa aérea nas mesmas idades.

3.3 Análises estatísticas

A avaliação da performance do modelo foi conduzida por meio de duas abordagens matemáticas. A primeira consistiu no cálculo do desvio relativo entre valores simulados e observados, conforme apresentado na equação 1. A segunda abordagem baseou-se na aplicação de regressão linear entre os valores observados e simulados dos estoques de carbono no solo em áreas de pastagem, incluindo a estimativa da inclinação e da intercepção da reta.

$$(1) DPR = \frac{(V_s - V_o)}{V_o} \times 100$$

Em que: V_s é o valor simulado e V_o é o valor observado.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Simulação para estabelecimentos dos estoques iniciais de carbono (mata nativa)

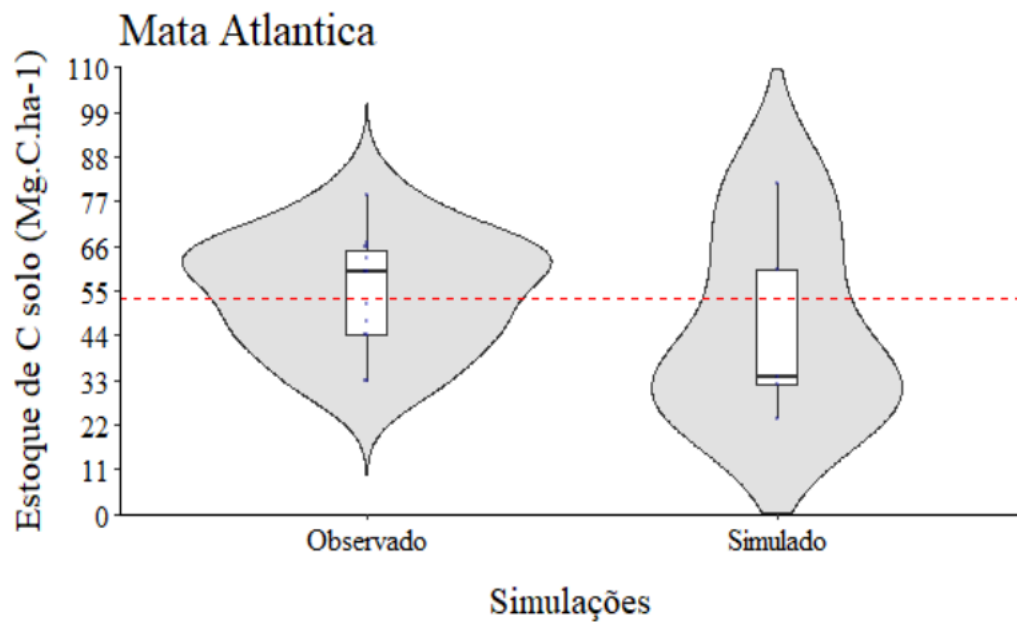
Entre os estudos que continham as informações necessárias para modelagem (textura, densidade, pH e estoque de carbono orgânico do solo), foram identificados cinco sítios em quatro trabalhos sobre pastagens na região Nordeste do Brasil (Figura 1). Os sítios localizavam-se em Areia-PB (dois sítios, denominados como s1 e s2), Eunápolis-BA, Itambé-PE e Uruçuca-BA

Figura 1. Municípios, códigos dos sítios e respectivos autores de referência utilizados no estudo.

Municípios	▼	Código	▼	Autores
Areia-PB		ARPB (s1)		Brito et al. (2023)
Areia-PB		ARPB (s2)		Brito et al. (2023)
Eunápolis-BA		EUNBA		Silva (2008)
Itambé-PE		ITAPE		Saraiva et al. (2014)
Uruçuca-BA		URBA		Monroe et al. (2016)

Os parâmetros utilizados na simulação da mata nativa resultaram em estimativas de estoques de carbono no solo similares aos observados na literatura, evidenciando que o modelo foi capaz de reproduzir de forma satisfatória a dinâmica de crescimento da vegetação nativa (Figura 2).

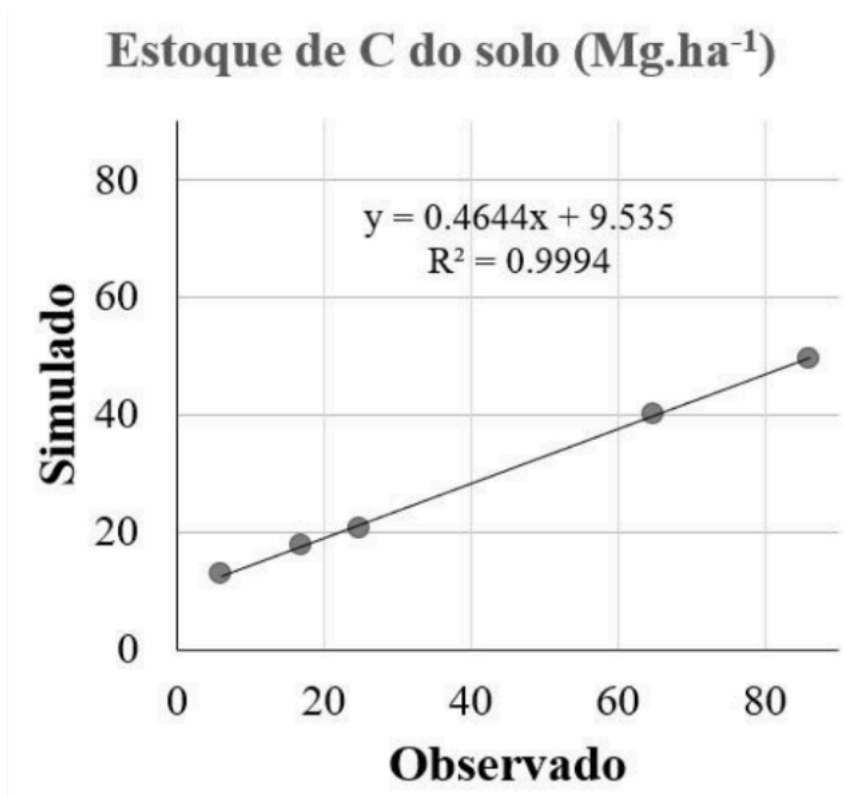
Figura 2. Distribuição do estoque de carbono no solo da vegetação nativa (Mg C ha^{-1}) para a Mata Atlântica, comparando valores observados em campo e valores simulados pelo modelo.



4.2. Simulação da dinâmica de carbono nas pastagens

A relação entre os estoques de carbono simulados e observados em solos sob pastagem na região da Mata Atlântica no Nordeste do Brasil apresentou um coeficiente de determinação (R^2) de 0,9994. Os parâmetros que determinam a reta de regressão linear, inclinação e interceptação, foram de 0.46 e 9.5 Mg C ha^{-1} , respectivamente (Figura 3). Esses valores indicam que os parâmetros utilizados para a simulação dos estoques de carbono em solos sob pastagens foram adequados. A observação dos desvios entre os valores simulados e observados por sítio de estudo trouxe uma melhor percepção sobre as localidades onde o modelo foi mais acurado.

Figura 3. Regressão linear entre os estoques de carbono no solo simulados pelo modelo *Century* e os valores de referência.



Nota-se que tanto o maior quanto o menor valor de desvio foram observados no município de Areia-PB (4% e 108%), enquanto desvios intermediários foram observados em Eunápolis (-18%), Itambé-PE (-39%) e Uruçuca-BA (-43%) (Figura 4). Portanto, mais da metade dos sítios apresenta valores subestimados pelo modelo, algo preconizado pelo valor da inclinação da curva de regressão linear. Diante desses resultados, optou-se por realizar a

simulação do reflorestamento apenas no sítio que apresentou o menor desvio, correspondente ao ponto localizado em Areia-PB (s1).

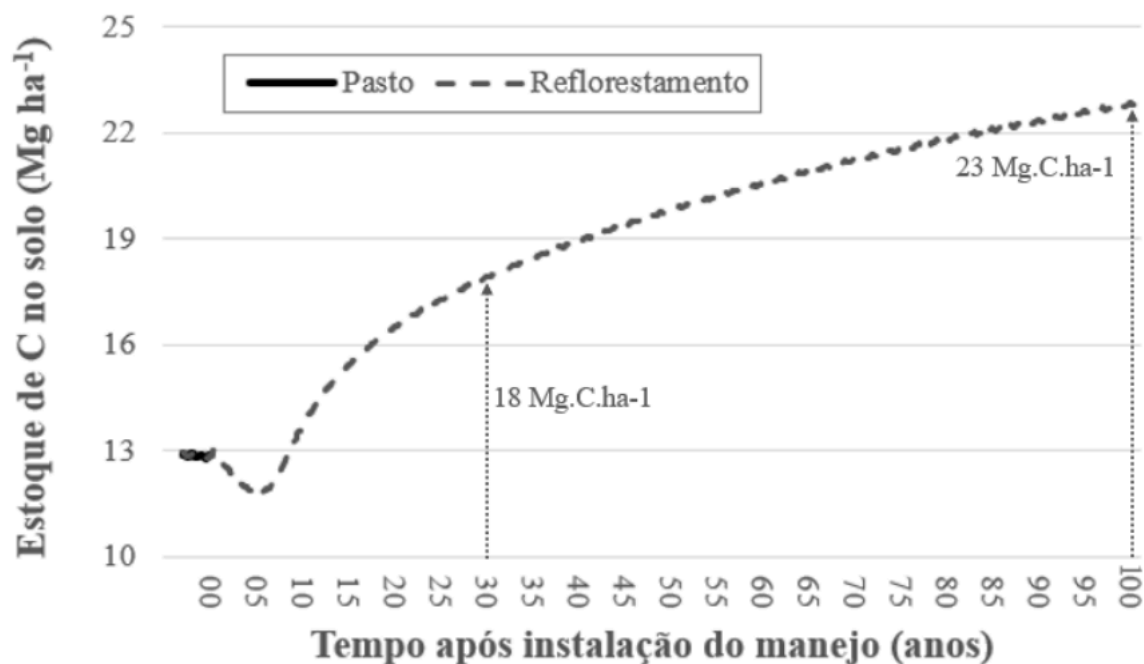
Figura 4. Desvio dos valores simulados e observados em simulações com pastagem.



4.3. Simulação do reflorestamento

A análise da dinâmica temporal do reflorestamento possibilitou o cálculo do acúmulo potencial do reflorestamento a partir de uma cobertura prévia de pastagem. Partindo de 13 Mg.C.ha⁻¹ na pastagem (antes do reflorestamento), o estoque de carbono no solo apresentou incremento progressivo, passando para 18 Mg.C.ha⁻¹ aos 30 anos e para 23 Mg.C.ha⁻¹ aos 100 anos (Figura 5).

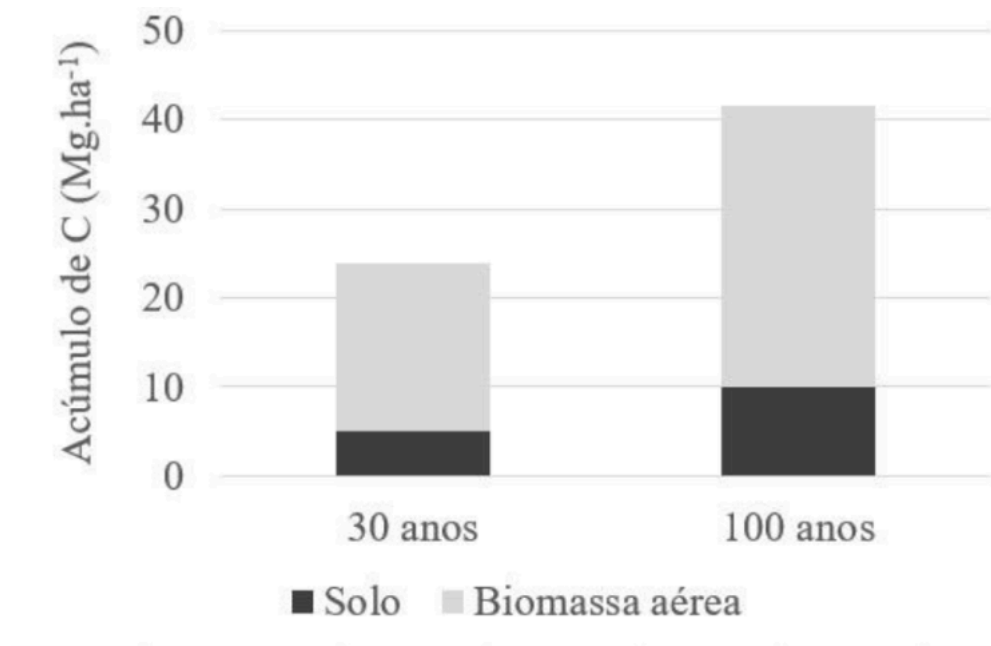
Figura 5. Estoque de carbono no solo (Mg C ha^{-1}) ao longo do tempo, obtido por simulação de reflorestamento a partir de área de pastagem.



Estudos anteriores também relataram que em períodos mais longos o carbono tende-se acumular no solo com ganhos expressivos como verificado por Neumann-Cosel et al. (2011) ao medirem os estoques de carbono orgânico do solo em um gradiente sucessional no Panamá, observaram que não houve diferenças significativas entre pastagens e florestas secundárias aos 15 anos, mas que florestas após 100 anos obtiveram valores significativamente maiores, semelhantes aos de florestas maduras. Smith (2004) aponta que a variabilidade temporal do carbono no solo acontece de forma lenta e difícil de detectar em períodos curtos, pela sua elevada heterogeneidade espacial.

Em 30 anos de reflorestamento, o acúmulo no solo foi de 5 Mg C ha^{-1} e de 18 Mg C ha^{-1} na biomassa aérea. Ao final de 100 anos de simulação, o solo acumulou 10 Mg C ha^{-1} , enquanto a biomassa aérea apresentou incremento de 31 Mg C ha^{-1} . Portanto, considerando ambos os compartimentos, o ganho total de carbono foi de $23,9 \text{ Mg C ha}^{-1}$ em 30 anos e de $41,4 \text{ Mg C ha}^{-1}$ em 100 anos (Figura 6).

Figura 6. Valores totais de estoque de carbono (Mg C ha^{-1}) acumulado na biomassa e no solo para simulação de reflorestamento 30 e 100 anos após instalação.



Este resultado confirma a importância que a biomassa arbórea tem como principal reservatório do carbono em processos de restauração florestal, fato esse destacado por Quartucci et al. (2023), que apontaram resultados rápidos do carbono na biomassa acima do solo, embora advertiram que para camadas do solo acima de 40 cm gerem eventuais perdas. A relação entre o tempo do reflorestamento nos estoques de C também foi apontado por Azevedo et al. (2018) onde verificaram o crescimento constante do carbono estocado na biomassa à medida que a floresta prossegue ao longo do tempo. Cappellessio et al. (2020), por sua vez, destacaram a idade da floresta como aspecto fundamental para o carbono acumulado, superando outras variáveis ambientais.

O ganho total de $41,4 \text{ Mg C ha}^{-1}$ em 100 anos encontrado neste estudo se assemelha com os valores citados em outros estudos na Mata Atlântica. Asselta (2023) avaliou áreas de pastagens de baixo vigor, onde antes era vegetação nativa, e observou que após o reflorestamento houve acúmulo de 14 Mg ha^{-1} e 28 Mg ha^{-1} em 8 e 15 anos respectivamente. Isso mostra a capacidade da floresta em recuperar os estoques de carbono em pastagens degradadas. Melo e Durigan (2006) confirmaram valores semelhantes em florestas com 30 anos, enquanto Ribeiro et al. (2010), em uma floresta regenerada em Minas Gerais, com 30 anos, reportaram $19,5 \text{ Mg C ha}^{-1}$ somente na biomassa aérea, resultado semelhante ao acúmulo de 18 Mg C ha^{-1} obtido em 30 anos de simulação. Diniz et al. (2015), por sua vez, demonstraram mudanças expressivas dos estoques de carbono atribuído ao estágio

sucessional, que variou de 44,3 Mg C ha⁻¹ em florestas secundárias com pouca idade para 131,6 Mg C ha⁻¹ em florestas maduras.

Ainda que a biomassa aérea se destaque como o compartimento de maior acúmulo no período inicial, é importante ressaltar que o solo representa um reservatório estratégico para o sequestro de carbono a longo prazo (Zanini et al., 2021). Zhang et al. (2019), avaliando áreas degradadas após 56 anos de restauração, confirmaram que a recuperação do carbono do solo ocorre de forma lenta, mas tende a convergir para níveis equivalentes aos de florestas não perturbadas.

Quando comparados os reflorestamentos com espécies comerciais, observa-se um padrão distinto. Zanatta et al. (2020) em seu estudo verificou que a conversão de pastagens para plantações de eucalipto promoveu um acúmulo de cerca de 11% no estoque de carbono do solo na camada de 0–20 cm. Esses valores superam os obtidos no nesse estudo, o que evidencia o potencial de sistemas comerciais como eucalipto para o armazenamento de carbono no solo e biomassa. Entretanto, do ponto de vista ecológico, esses sistemas de monocultura perdem em termo de biodiversidade e funções ecossistêmicas comparado com a vegetação nativa.

4.4. Aplicação dos resultados para políticas públicas ambientais

De acordo com o Plano de Adaptação e Baixa Emissão de Carbono na Agricultura (ABC+) para a mitigação das emissões de GEE no setor agropecuário, a meta do programa para reflorestamento é de 4,0 milhões de hectares, com a meta de mitigação de cerca de 510 milhões de Mg CO₂eq até 2030 (MAPA, 2023). Considerando que a região Nordeste apresenta 5,6 milhões de hectares de pastagem no bioma Mata Atlântica, de acordo com consulta direta à plataforma MapBioma e aplicando o valor de acúmulo de carbono estimado neste estudo de 23,9 Mg C ha⁻¹ até 2030, podemos estimar que se fosse convertido 10% dessa área de pastagem em reflorestamento poderia resultar na captura de aproximadamente 49,1 milhões de Mg CO₂eq, correspondendo a cerca de 9,6% da meta de mitigação do plano. Esse valor obtido implicaria no cumprimento das metas de baixo carbono e poderia auxiliar em planos de restauração de pastagens degradadas, considerando que grande parte das pastagens no Brasil apresenta algum nível de degradação.

5. CONCLUSÕES

O modelo *Century* apresentou desempenho satisfatório na simulação dos estoques de carbono em áreas de pastagem no Nordeste do Brasil e na previsão da dinâmica do carbono após o reflorestamento. As simulações mostraram um aumento gradual nos estoques totais de carbono durante um período de 100 anos de reflorestamento a partir de pastagem.

Observou-se que os maiores acúmulos ocorreram na biomassa aérea, que funciona como um sumidouro rápido de carbono, enquanto o solo teve um crescimento mais lento, porém relevante, estabelecendo-se como um reservatório de longo prazo. Os resultados mostram que o reflorestamento a partir de áreas de pastagem pode ser utilizado nos esforços para captura de carbono da atmosfera, contribuindo para as metas do governo brasileiro de estabilização das concentrações de carbono na atmosfera nas próximas décadas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSELTA, F. O. Perspectivas do micro e macro ecossistema em uma região sob recuperação florestal da Mata Atlântica. 2023. Tese (Doutorado em Ecologia) – Universidade de São Paulo, São Paulo.

AZEVEDO, A. D.; SANTOS, F. L.; SILVA, M. A. & OLIVEIRA, R. P. Estoque de carbono em áreas de restauração florestal da Mata Atlântica. *Floresta*, v. 48, n. 2, p. 183–194, 2018. <https://doi.org/10.5380/rf.v48i2.54447>

BRITO SILVA, Joalison et al. Impacto nos Atributos do Solo sob Conversão de Floresta para Áreas de Pastagem em Áreas de Mata Atlântica, Areia, PB. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 16, n. 3, p. 1407-1418, 2023.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Metas do ABC+. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/planoabc-abcmais/abc/metas-do-abc> . Atualizado em: 28 nov. 2023. Acesso em: 4 set. 2025.

BROWN. S. Estimating biomass and biomass change of tropical forests. *FAO Forestry Paper*, v. 134, 1997.

CAMPOS, C. P. A conservação das florestas no Brasil, mudança do clima e o Mecanismo de

Desenvolvimento Limpo do Protocolo de Kyoto. 2001. 169 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

CAPELLESSO, E. S.; FONSECA, R. T.; SOUZA, A. L. & LIMA, C. R. Temporal and environmental correlates of carbon stocks in a regenerating tropical forest. *Applied Vegetation Science*, v. 23, n. 3, p. 353-362, 2020.

CARDOSO, A. S.; SILVA, J. M.; COSTA, R. A. & OLIVEIRA, V. Avaliação das emissões de gases de efeito estufa em diferentes cenários de intensificação de uso das pastagens no Brasil Central. 2012.

DINIZ, A. R.; CASTRO, F. S.; BARROS, R. M. & FREITAS, J. P. Biomassa, estoques de carbono e de nutrientes em estádios sucessionais da Floresta Atlântica, RJ. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 10, n. 3, p. 443–451, 2015.

DIXON, R. K.; BROWN, S.; HOUGHTON, R. A.; SOLOMON, A. M.; TREXLER, M. C. & WISNIEWSKI, J. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science*, v. 263, n. 5144, p. 185-190, 1994.

GRACE, J. Understanding and managing the global carbon cycle. *Journal of Ecology*, v. 92, n. 2, p. 189-202, 2004.

IPCC. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Cambridge: Cambridge University Press, 2021.

LEITE, L. F. C. & MENDONÇA, E. S. Modelo Century de dinâmica da matéria orgânica do solo: Equações e pressupostos. *Ciência Rural*, v. 33, n. 4, p. 679-686, 2003.

MAPBIOMAS. Projeto MapBiomass – Mapeamento Anual de Cobertura e Uso da Terra no Brasil. Coleção 10. 2025. Disponível em: https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2025/08/Fact_Colecao10_22.08.2025_v9.pdf. Acesso em: 5 set. 2025.

MELO, A. C. G. & DURIGAN, G. Fixação de carbono em reflorestamentos de matas ciliares no Vale do Paranapanema, SP, Brasil. *Scientia Forestalis*, v. 71, p. 149-157, 2006.

MONROE, PAULO HENRIQUE MARQUES et al. Soil carbon stocks and origin under different cacao agroforestry systems in Southern Bahia, Brazil. *Agriculture, Ecosystems &*

Environment, v. 221, p. 99-108, 2016.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B. & KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, v. 403, n. 6772, p. 853-858, 2000.

NEUMANN-COSEL, L.; LUIZAO, F. J.; ARAUJO, A. C. & SCHUMACHER, M. V. Soil carbon dynamics under young tropical secondary forests on former pastures—A case study from Panama. *Forest Ecology and Management*, v. 261, n. 10, p. 1625-1633, 2011.

OLIVEIRA, S. M. B. Base científica para a compreensão do aquecimento global. In: VEIGA, J. E. (org.). *Aquecimento global: frias contendas científicas*. 2. ed. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2008. p. 17-54.

PAVÃO, E. M.; SANTOS, R. C.; LIMA, J. F. & SOUZA, P. Quantificação das emissões de GEE no setor agropecuário. *AgroANALYSIS*, v. 43, n. 11, p. 30-37, 2023.

QUARTUCCI, F.; ALVES, J. C.; ROSA, T. S. & MENDONÇA, R. Deep soil carbon loss offsets rapid aboveground carbon accumulation after reforestation. *Forest Ecology and Management*, v. 548, p. 121403, 2023.

RIBEIRO, S. C.; SOARES, C. P. B.; OLIVEIRA, A. D. & NETO, F. C. Quantificação de biomassa e estimativa de estoque de carbono em uma capoeira da Zona da Mata Mineira. *Revista Árvore*, v. 34, p. 495-504, 2010.

ROSCOE, R.; BODDEY, R. M. & SALTON, J. C. Sistemas de manejo e Matéria orgânica do solo. In: ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M. & SALTON, J. C. *Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas*. Dourados, MS: EMBRAPA Agropecuária Oeste, 2006. p. 17-42.

SARAIVA, FELIPE M. et al. Root development and soil carbon stocks of tropical pastures managed under different grazing intensities. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*, v. 2, n. 3, p. 254-261, 2014.

SEEG – Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa. Estimativas de emissões de GEE no Brasil. 2021. Disponível em: <https://seeg.eco.br> . Acesso em: 7 ago. 2025.

SILVA, EULENE FRANCISCO DA. Frações da matéria orgânica e decomposição de

resíduos da colheita de eucalipto em solos de tabuleiros costeiros da Bahia. 2008.

SMITH, P. How long before a change in soil organic carbon can be detected?. *Global Change Biology*, v. 10, n. 11, p. 1878-1883, 2004.

SOS MATA ATLÂNTICA. A Mata Atlântica é a floresta mais devastada do Brasil. Fundação SOS Mata Atlântica, 2025. Disponível em: <https://www.sosma.org.br/causas/mata-atlantica/> . Acesso em: 5 set. 2025.

VARJABEDIAN, R. Lei da Mata Atlântica: retrocesso ambiental. *Estudos Avançados*, v. 24, n. 68, p. 147-160, 2010.

WATSON, Robert T. *Climate Change 2001: Synthesis Report. Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. 2001.

ZANATTA, J. A.; LIMA, J. S.; RIBEIRO, R. T. & SOUZA, M. Índice de alteração do carbono no solo em conversões de uso do solo envolvendo plantações florestais no Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 44, e0190125, 2020. <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20190125>

ZANINI, A. M.; BARBOSA, F. S.; NOGUEIRA, R. M. & CASTRO, A. The effect of ecological restoration methods on carbon stocks in the Brazilian Atlantic Forest. *Forest Ecology and Management*, v. 481, p. 118734, 2021.

ZHANG, H.; LI, Y.; WANG, J.; ZHOU, Y. & CHEN, L. Recovery in soil carbon stock but reduction in carbon stabilization after 56-year forest restoration in degraded tropical lands. *Forest Ecology and Management*, v. 441, p. 1-8, 2019.