

## Métodos de identificação, calibração e avaliação de modelos aplicados à dinâmica de carbono do solo

Beatriz Aria Valladão<sup>1</sup>, Kelly Cristina Poldi<sup>2</sup>

IMECC/UNICAMP, Campinas, SP

Luís Gustavo Barioni<sup>3</sup>

Embrapa Agricultura Digital, Campinas, SP

Práticas agrícolas conservacionistas podem potencializar a capacidade de armazenamento de carbono orgânico do solo (COS), mitigando as emissões de gases de efeito estufa e aumentando a disponibilidade de nutrientes no solo, tornando-o mais fértil para o crescimento vegetal. Com isso, nota-se a importância do estudo acerca da quantidade de COS. O modelo Century [5] simula o ciclo biogeoquímico das plantas, que inclui a dinâmica de matéria orgânica do solo (ciclo de carbono e nutrientes), da água e das plantas. No modelo Century, os compostos de carbono são considerados divididos em oito estoques diferentes, que somados representam o total de carbono no solo; além disso, a taxa de decomposição de cada compartimento é um parâmetro do modelo.

Para que o modelo simule com precisão o ecossistema de interesse, seus parâmetros precisam ser estimados, utilizando um conjunto de dados observacionais. Porém, o monitoramento dos estoques é realizado a partir da medição da quantidade total de carbono no solo. A estrutura multi-compartimento do modelo Century dificulta uma estimação direta dos parâmetros, fazendo-se necessária a aplicação de técnicas de identificação de parâmetros, calibração e avaliação de modelos, visando encontrar a maneira mais eficiente de encontrar os parâmetros de um modelo.

O processo de identificação de parâmetros foi efetuado a partir de uma análise de sensibilidade local e análise de colinearidade [4]; a calibração dos modelos foi realizada através dos métodos de otimização Nelder-Mead [3] e Levenberg-Marquardt [2]; e a métrica utilizada para avaliação da precisão foi o Erro Quadrático Médio (MSE) e do viés foi o Erro de Viés Médio (MBE). Além disso, buscando contornar os problemas computacionais e de monitoramento citados acima, um estudo está sendo feito utilizando um metamodelo [1] baseado no modelo Century contendo um único estoque. Os mesmos procedimentos são aplicados a esse metamodelo e deseja-se entender se há vantagens em sua utilização, comparando a capacidade preditiva do metamodelo com o modelo Century original.

Com isso, podemos estudar a hipótese de que o metamodelo é uma alternativa eficiente como modelo de projeção, se comparado ao Century. Devido a sua estruturação mono-compartimental, assume-se que é possível produzir erros de previsão menores com relação à estimação da quantidade de carbono total do solo, e também garantir um custo computacional menor nos processos de identificação e calibração do modelo. Além de compreender como a quantidade de dados utilizados para estimação dos parâmetros afeta a qualidade de previsão dos modelos.

Para testar as hipóteses, foi efetuada a calibração de ambos modelos utilizando diversos cenários, e avaliado o erro produzido pelas curvas ajustadas na previsão de um conjunto de dados de teste com replicações. Utilizando cinco conjuntos de dados de treino, os modelos foram calibrados usando 1 e 5 replicações. Para cada configuração de 1 replicação, uma estimativa foi gerada para cada

---

<sup>1</sup>bia.aria@gmail.com

<sup>2</sup>kelly@ime.unicamp.br

<sup>3</sup>luis.barioni@embrapa.br

dado de treino usado; já para a configuração de 5 replicações, uma única estimativa foi gerada, usando as informações dos 5 conjuntos. A Figura 1 mostra a estimação de alguns parâmetros feita para o modelo Century, usando 5 replicações e 6 anos de dados longitudinais.

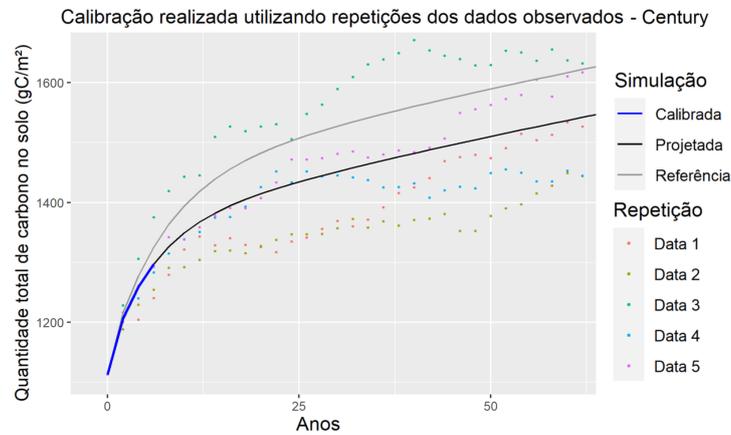


Figura 1: Calibração do modelo Century utilizando 6 anos de 5 dados medidos.

Ao comparar as curvas calibradas com dados de teste, um dos resultados obtidos mostrou que o metamodelo apresentou erros (MSE) menores que o modelo Century para quase todas as calibrações de 1 replicação e para a calibração feita com 5 replicações. Além disso, apesar de ambos modelos superestimarem (MBE) as projeções, o metamodelo obteve um resultado melhor também para a calibração com 5 replicações.

Pretende-se efetuar mais testes estatísticos com replicações, além de uma análise de sensibilidade global com ambos modelos e a calibração a partir de métodos Bayesianos.

## Agradecimentos

Agradeço ao IMECC-UNICAMP pela oportunidade de realizar o mestrado, e à Embrapa Agricultura Digital pelo financiamento do projeto.

## Referências

- [1] T. F. De Abreu. “Metamodelos de dinâmica de carbono orgânico do solo”. Em: (2021).
- [2] D. W. Marquardt. “An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters”. Em: **Journal of the society for Industrial and Applied Mathematics** 11.2 (1963), pp. 431–441. DOI: 10.1137/0111030.
- [3] J. A. Nelder e R. Mead. “A simplex method for function minimization”. Em: **The computer journal** 7.4 (1965), pp. 308–313. DOI: 10.1093/comjnl/7.4.308.
- [4] M. Omlin, R. Brun e P. Reichert. “Biogeochemical model of Lake Zürich: sensitivity, identifiability and uncertainty analysis”. Em: **Ecological Modelling** 141.1-3 (2001), pp. 105–123. DOI: 10.1016/S0304-3800(01)00257-5.
- [5] B. Parton, D. Ojima, S. Del Grosso e C. Keough. “CENTURY tutorial”. Em: **Supplement to Century User’s manual** (2001).