

Modificador de fertilidade do 3-PG em função dos teores de nutrientes do solo

3-PG fertility modifier as a function of soil nutrient content

Jorge Delgado Nunes*, Susana Barreiro, Nuno Cortez¹ & Margarida Tomé

Centro de Estudos Florestais (CEF), Instituto Superior de Agronomia (ISA), Universidade de Lisboa (UL), Tapada da Ajuda, 1349-017 Lisbon, Portugal
(*E-mail: jorgednunes@isa.ulisboa.pt)
<https://doi.org/10.19084/rca.33401>

Recebido/received: 2023.07.31
Aceite/accepted: 2023.10.16

RESUMO

O 3-PG é um modelo de base fisiológica que tem sido extensamente usado e testado para prever a produtividade primária de povoamento florestais em todo o mundo. A fertilidade do solo é considerada por meio de um índice de fertilidade, valor que varia entre 0 e 1. Este parâmetro de fertilidade tem sido inserido pelo utilizador do modelo baseando-se na sua intuição ou experiência. Tentativas para desenvolver um modelo matemático para obter o valor do índice de fertilidade a partir das características do solo, têm tido resultados contraditórios. O presente estudo procura propor um modificador de fertilidade (fN) para o 3-PG, considerando os valores limitantes dos nutrientes no solo em ensaios de acompanhamento de *Eucalyptus globulus*. Os resultados preliminares indicam uma boa relação, entre o volume de madeira dos povoamentos estudados e os teores de carbono e de boro do solo das diferentes parcelas. Antes de se propor um modificador generalizável para Portugal, será necessário ampliar o número de povoamentos, bem como a sua distribuição regional.

Palavras-chave: 3-PG, índice de fertilidade, nutrientes, *E. globulus*.

ABSTRACT

The 3-PG is a physiologically based model that has been extensively used and tested to predict the primary productivity of forest stands around the world. Soil fertility is considered by means of a fertility index, so-called fertility rating, a value that varies between 0 and 1. This fertility parameter has been inserted by the model user based on his intuition or experience. Attempts to develop a mathematical model to obtain the fertility rating value from soil characteristics have had contradictory results. The present study seeks to propose a fertility modifier (fN) for 3-PG, considering the limiting values of nutrients in soil in *Eucalyptus globulus* follow-up trials. Preliminary results seem to indicate a good relationship between the wood volume of the studied stands and the carbon and boron contents of the soil in the different plots. Before proposing a generalizable modifier for Portugal, it will be necessary to expand the number of settlements, as well as their regional distribution.

Keywords: 3-PG, fertility rating, soil nutrients, *E. globulus*.

INTRODUÇÃO

Landsberg *et al.* (2003) sugerem o uso de estudos dos solos para estimar o *fertility rating* (FR), mas esta metodologia coloca problemas de execução significativos. Embora haja um conhecimento bastante limitado da relação entre o FR e as propriedades do solo (Landsberg *et al.*, 2003), têm sido feitos esforços importantes para ligar os ciclos de nutrientes com o modelo *Physiological Principles in Predicting Growth* (3-PG), bem como avanços no desenvolvimento de funções empíricas entre o FR e as características do solo.

Almeida *et al.* (2010) apresentaram um modelo de FR em função da fertilidade do solo e da água disponível, considerando também outros fatores como o declive e os efeitos da gestão do povoamento. No trabalho de Vega-Nieva *et al.* (2013), foram selecionadas várias parcelas de eucalipto, nas quais foram estudadas as características do solo, incluindo uma descrição completa do respetivo perfil, a textura, o pH, a matéria orgânica e realizada a inerente análise química. Para cada parcela, o valor da água disponível no solo foi calculado, e o valor do FR foi determinado, minimizando as diferenças entre os valores de biomassa observados e os estimados. Foi desenvolvido um modelo para prever o valor de FR a partir da quantidade de água disponível no solo e alguns nutrientes com efeitos significativos na fertilidade, no caso, fósforo, potássio, cálcio e magnésio. Oliveira (2015), igualmente em eucalipto, estabeleceu modelos ao nível da estação, com uma razoável capacidade preditiva do FR em função das características do solo, mas sem revelarem qualquer padrão comum. Ao procurar estabelecer um modelo global usando a totalidade dos dados das diferentes estações, a capacidade preditiva dos modelos obtidos foi bastante menor do que a dos modelos locais. Nunes *et al.* (2022) e Nunes (2023) procuraram encontrar o valor de FR que correspondia a uma melhor estimativa da evolução da biomassa, usando uma função de penalização Ef com base nas biomassas lenhosa (tronco e ramos) e de folhas, designadas respetivamente por W_{wy} e W_l :

$$Ef = \frac{\sum_{i=1}^{nobs} (W_{wy} - \overline{W_{wy}})^2}{\sum_{i=1}^{nobs} W_{wy}^2} + \frac{\sum_{i=1}^{nobs} (W_l - \overline{W_l})^2}{\sum_{i=1}^{nobs} W_l^2}$$

e, de seguida, tentou desenvolver um modelo matemático para obter o valor de FR a partir das características do solo, nomeadamente o teor de nutrientes. Este objetivo saiu frustrado, uma vez que foi observada uma tendência para o FR “absorver” os erros da simulação: quando os valores da biomassa aérea são estimados por defeito, o valor ótimo de FR tende para 1 de modo a diminuir a alocação para as raízes e aumentar, assim, o valor estimado da biomassa aérea; pelo contrário, quando a biomassa aérea é estimada por excesso, o valor ótimo de FR tende para zero.

Bown *et al.* (2013) propuseram uma visão alternativa, substituindo o FR baseado tradicionalmente na intuição ou na experiência por um modificador nutricional determinado a partir da % de azoto (N) e da razão C/N na camada 0-10 cm do solo. Alerta, no entanto, para a possibilidade de, noutros locais, as limitações ao crescimento das árvores estarem relacionadas com outros nutrientes que não o carbono e o azoto.

Uma primeira aproximação a esta metodologia consistiu em avaliar a possível existência de uma relação entre o volume das árvores e o teor em nutrientes do solo.

Com os dados disponibilizados para situações em que existem medições biométricas e resultados analíticos de diferentes nutrientes do solo, neste caso de eucalipto, procurou-se ajuizar da viabilidade desta hipótese.

MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente, utilizaram-se os ensaios realizados pela empresa ALTRI, para avaliar o efeito de diferentes esquemas de adubação no crescimento da *Eucalyptus globulus*. Para um maior detalhe sobre estes ensaios de fertilização e respetivos resultados, consultar Nunes *et al.* (2022) e Nunes (2023). Os resultados apresentados referem-se, apenas, ao ensaio realizado na propriedade designada por Belgão, do concelho de S. Pedro do Sul, distrito de Viseu. Devido aos problemas de mortalidade verificados nos ensaios das restantes propriedades, optou-se por não os considerar no presente trabalho, uma vez que o volume por ha das árvores se encontrar grandemente afetado por este fator. Determinou-se

o volume das árvores ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) aos 10 anos de idade e verificou-se a sua relação com os diferentes nutrientes do solo analisados (kg ha^{-1}) para cada uma das 24 parcelas que constituíam o ensaio.

Considerando a reduzida representatividade à escala do país (apenas 4 locais) dos resultados obtidos com os ensaios de fertilização anteriores, procurou-se junto da ALTRI a disponibilização de dados que conjugassem a avaliação biométrica das árvores com análises dos solos das respetivas parcelas. Foi possível encontrar um conjunto 153 parcelas permanentes acompanhadas das respetivas análises ao solo, mas com poucas medições de biometria das árvores, em resultado da descontinuação deste tipo de avaliação. Destas 153, selecionou-se um conjunto de 80 parcelas permanentes para as quais era possível calcular, pelo menos, o volume das árvores aos 5 anos de idade. Verificou-se, de seguida, a relação entre o volume das árvores ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) aos 5 anos de idade e o teor dos diferentes nutrientes do solo analisados, uma vez que não estava disponível a informação sobre a massa volúmica aparente do solo das diferentes parcelas. As 80 parcelas foram divididas em 5 conjuntos em que se procurou conseguir obter um número equilibrado de parcelas. Em 3 destes conjuntos foi possível incluir apenas parcelas de um único distrito (Aveiro, Lisboa ou Santarém), enquanto nos 2 restantes conjuntos, foi necessário incluir parcelas de diferentes distritos (Braga, Porto e Viseu no conjunto 4 e Coimbra e Leiria no conjunto 5).

As determinações analíticas dos solos nas duas situações avaliadas foram as seguintes: percentagem de areia, limo e argila para cada parcela e ainda os seguintes parâmetros químicos - pH (H_2O e KCl), % de M, O, P e K pelo método Egner-Riehm; catiões não ácidos (Ca, Mg, K e Na); acidez de troca; Al de troca e a CTC a pH 7. Foram, igualmente, determinados o Cu, o Fe, o Mn, e o Zn, pelo método de Lakanen e o B, por extracção com H_2O .

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas parcelas do ensaio de Belgão, S. Pedro do Sul, observou-se uma tendência para o volume das árvores aos 10 anos, terem uma relação crescente com a quantidade de carbono do solo (Figura 1) e com a quantidade de boro (Figura 2), embora

pouco significativa. Esta tendência parece estar de acordo com o observado por Bown *et al.* (2013) para o *Pinus radiata*, e o impacto que a acessibilidade de Boro no solo tem para a produção de biomassa de *E. globulus* (Junior *et al.*, 2021).

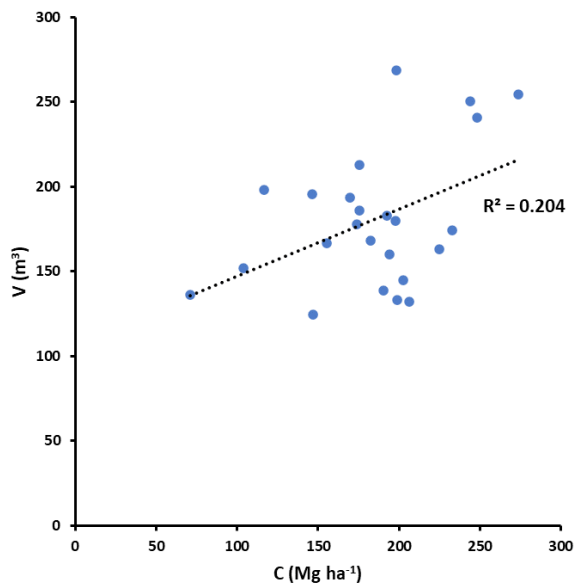


Figura 1 - Relação entre o volume das árvores aos 10 anos de idade e a quantidade de carbono no solo. Ensaios Fertilização ALTRI - Belgão, S. Pedro do Sul, Viseu.

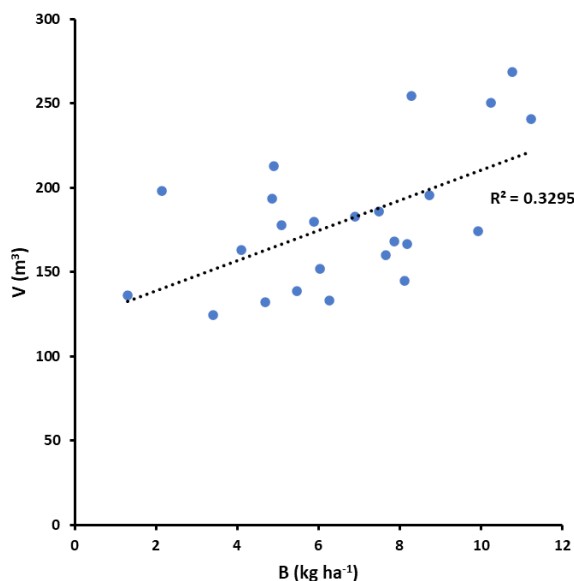


Figura 2 - Relação entre o volume das árvores aos 10 anos de idade e a quantidade de boro no solo. Ensaios Fertilização ALTRI - Belgão, S. Pedro do Sul, Viseu.

Tendência semelhante foi observada quanto ao teor de carbono nas parcelas do distrito de Aveiro (Figura 3) e quanto ao teor de boro das parcelas do distrito de Lisboa e do distrito de Santarém (Figura 4). Nas parcelas deste último parece existir uma forte relação entre os valores da CTC a pH7 e o volume das árvores (Figura 5), o que poderá indicar um papel significativo deste parâmetro nos solos das referidas parcelas na disponibilização de nutrientes.

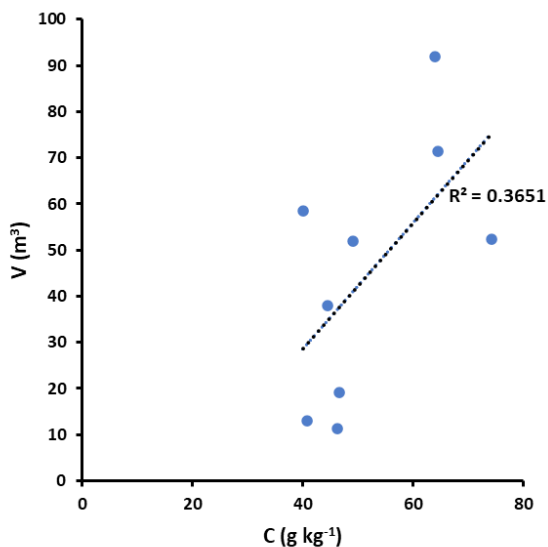


Figura 3 - Relação entre o volume das árvores aos 5 anos de idade e o teor de carbono no solo. Parcelas permanentes – Distrito de Aveiro.

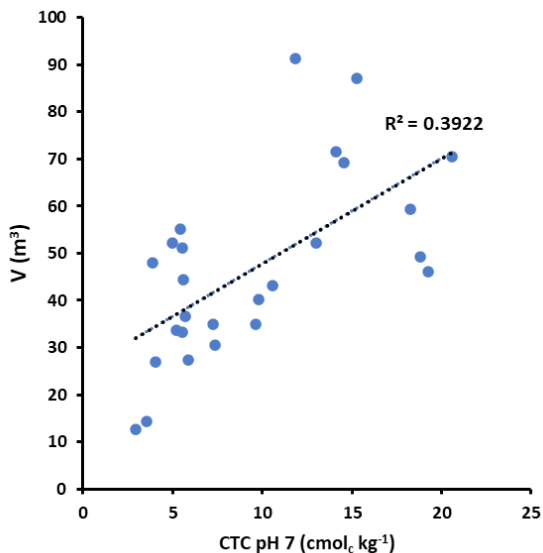


Figura 5 - Relação entre o volume das árvores aos 5 anos de idade e o valor da CTC do solo a pH 7. Parcelas permanentes – Distrito de Santarém.

Nos conjuntos resultantes da junção de parcelas com mais do que um distrito de origem (4 e 5), de modo a obter-se um número mínimo de parcelas coerente com os restantes, não se observaram tendências significativas entre o acréscimo de volume das árvores e o acréscimo do teor em nutrientes no solo. A opção de agrupar parcelas pertencentes a mais do que um distrito, poderá ter criado conjuntos de parcelas em que o impacto das eventuais diferenças da meteorologia dos locais, terá sido superior à influência do teor dos vários nutrientes do solo, no volume das árvores (Nunes, 2023).

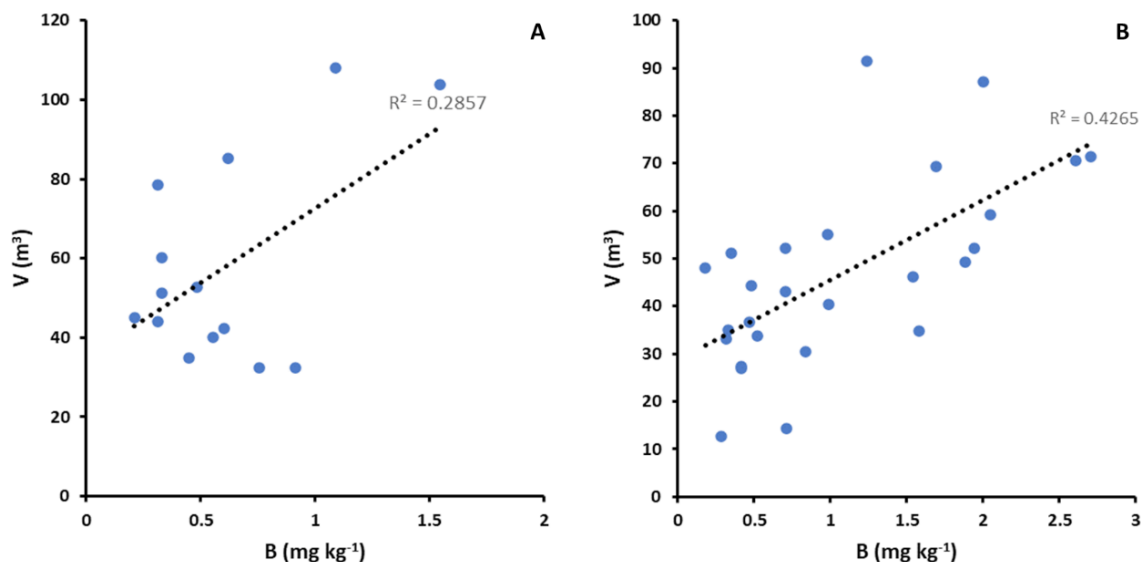


Figura 4 - Relação entre o volume das árvores aos 5 anos de idade e o teor de boro no solo. Parcelas permanentes – Distritos de Lisboa (A) e de Santarém (B).

CONCLUSÕES

A existência de uma possível relação entre o volume das árvores e o teor em nutrientes do solo parece confirmar-se, como uma linha de trabalho a explorar.

Constata-se, igualmente, a necessidade de recorrer a dados biométricos de árvores de parcelas que tenham sido medidas ao longo de várias rotações, por forma a garantir períodos temporais de medições mais dilatados, possibilitando assim o cálculo do volume das parcelas com idades mais

consentâneas com o abate dos eucaliptos (10 a 12 anos). Esta opção irá implicar novas caracterizações dos solos dessas parcelas, que incluam também parâmetros físicos, como por exemplo a massa volúmica aparente, permitindo assim a expressão dos nutrientes em quantidades por hectare.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à empresa ALTRI a disponibilização dos dados que permitiram a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, A.C.; Siggins, A.; Batista, T.R.; Beadle, C.; Fonseca, S. & Loos, R. (2010) - Mapping the effect of spatial and temporal variation in climate and soils on *Eucalyptus* plantation production with 3-PG, a process-based growth model. *Forest Ecology and Management*, vol. 259, n. 9, p. 1730–1740.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.10.008>
- Bown, H.E.; Mason, E.G.; Watt, M.S. & Cliton, P.W. (2013) – A potential nutritional modifier for predicting primary productivity of *Pinus radiata* in New Zealand using a simplified radiation-use efficiency model. *Ciencia e Investigación Agrária*, vol. 40, p. 361-374.
- Junior, C.A.S.; Teodoro, P.E.; Teodoro, L.P.R.; Della-Silva, J.L.; Shiratsuchi, L.S.; Baio, F.H.R.; Boechat, C.L. & Capristo-Silva, G.F. (2021) - Is it possible to detect boron deficiency in eucalyptus using hyper and multispectral sensors? *Infrared Physics & Technology*, vol. 116, art. 103810.
<https://doi.org/10.1016/j.infrared.2021.103810>
- Landsberg, J.J.; Waring, R.H. & Coops, N.C. (2003) - Performance of the forest productivity model 3-PG applied to a wide range of forest types. *Forest Ecology and Management*, vol. 172, n. 2-3, p. 199-214.
[https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(01\)00804-0](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00804-0)
- Nunes, J.D.; Oliveira, T.S.; Cortez, N. & Tomé, M. (2022) - Modelação do índice de fertilidade do 3-PG em função de características físicas e químicas do solo. *Revista de Ciências Agrárias*, vol. 45, n. 4, p. 487-491.
<https://doi.org/10.19084/rca.28574>
- Nunes, J.M.S.D.N. (2023) - *Análise da capacidade do modelo 3PG para apoiar as decisões sobre a necessidade de aplicação de fertilizantes em plantações de eucalipto em Portugal*. Dissertação de Mestrado. Lisboa, ISA, 82 p.
- Oliveira, T.S.M.P.A. (2015) - *Models to support eucalyptus plantations management under a changing environment*. Tese de Doutoramento. Lisboa, ISA, 169 p.
- Vega-Nieva, D.J.; Tomé, M.; Tomé, J.; Fontes, L.; Soares, P.; Ortiz, L.; Basurco, F. & Rodríguez-Soalleiro, R. (2013) - Developing a general method for the estimation of the fertility rating parameter of the 3-PG model: application in *Eucalyptus globulus* plantations in northwestern Spain. *Canadian Journal Forest Research*, vol. 43, n. 7, p. 627–636. <https://doi.org/10.1139/CJFR-2012-0491>