



QUANTIFICAÇÃO DOS EXCEDENTES ANTRÓPICOS DE AZOTO NA SUB-BACIA DO BAIXO MONDEGO

João MARQUES¹, Maria CUNHA²

1. INESC Coimbra, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra, Polo 2, 3030-788 Coimbra, Portugal, jmarques@dec.uc.pt.
2. INESC Coimbra, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra, Polo 2, 3030-788 Coimbra, Portugal, mccunha@dec.uc.pt.

RESUMO

A agricultura intensiva e a pecuária são dos setores que mais contribuem para o aumento das cargas difusas de nutrientes que poluem corpos de água superficiais e subterrâneos. Este trabalho apresenta a quantificação das cargas excessivas de azoto (N) na sub-bacia do baixo Mondego ao longo de trinta anos. Os resultados demonstram que nos últimos anos, as cargas de N têm vindo a diminuir, principalmente devido à redução das áreas de solo usadas para a agricultura e também pela redução do número de explorações pecuárias.

Palavras-Chave: carga excessiva de azoto; poluição de corpos de água; agricultura; fertilizantes, pecuária.

1. INTRODUÇÃO

As cargas excessivas de nutrientes degradam a qualidade das águas e geram problemas como a eutrofização das águas superficiais ou a limitação do uso da água para fins como o consumo humano, regadio ou atividades de lazer. A agricultura tem sido um dos setores com maior contributo para a poluição de azoto (N) nos corpos de água. A aplicação massiva de fertilizantes químicos levou a um excedente de N nos solos que em parte é lixiviado. Trata-se de um tipo de poluição difusa que afeta entre 30 e 50% das águas superficiais em toda a União Europeia (Cruz *et al.*, 2019). O projeto LEAP (LEgacies of Agricultural Pollutants) pretende desenvolver estratégias para a gestão de legados de nutrientes usados na agricultura intensiva com o objetivo de proteger os corpos de água de cargas excessivas. Para a quantificação do legado de nutrientes proveniente de práticas de agricultura intensiva, este projeto faz uso do modelo ELEM_ENT (Exploration of Long-tErM Nutrient Trajectories) desenvolvido por Van Meter *et al.* (2017). Este modelo permite determinar o impacto de diferentes fontes de N, com particular importância dada aos fertilizantes usados na agricultura no passado e o seu efeito na atual carga poluente nos cursos de água. A determinação dos legados existentes devido à acumulação de nutrientes nos solos permite quantificar o desfazamento temporal entre a aplicação de medidas corretivas que permitam melhorar a qualidade da água e o tempo necessário para que o resultado destas medidas seja observado. Para aplicação deste modelo, é necessário calcular para um horizonte temporal, as cargas de N que entram na bacia hidrográfica devido a contribuições antrópicas de diversos tipos. Este trabalho apresenta os valores para as cargas de N para o baixo Mondego (sub-bacia do rio Mondego), pois é nesta parte da bacia que existe atividade agrícola (essencialmente milho e arroz) e pecuária com alguma relevância.

2. METODOLOGIA

Os excedentes anuais de N podem ser calculados de acordo com a abordagem proposta por Van Meter *et al.* (2017) que considera as entradas e as saídas de N subdividindo-as em tipos de uso do solo em áreas agrícolas (Eq. 1), pastagens (Eq. 2) e outras áreas (Eq. 3) da seguinte forma:

$$N_{s_a} = BNF_a + FERT_a + MAN_a + DEP - CULT \quad [Eq. 1]$$

$$N_{s_p} = BNF_p + FERT_p + MAN_p + DEP - PAST \quad [Eq. 2]$$

$$Ns_o = BNF_o + DEP \quad [Eq. 3]$$

Os termos Ns_a , Ns_p , Ns_o representam os excedentes de N calculados para as áreas agrícolas (a), pastagens (p) e outras áreas (o) respetivamente; os termos BNF_a , BNF_p e BNF_o consideram a fixação biológica de N atmosférico nas áreas a , p e o respetivamente, através de microrganismos que permitem relação simbiótica com alguns tipos de plantas leguminosas; $FERT_a$ e $FERT_p$ incluem a aplicação de N via fertilizante inorgânico nas áreas a e p ; MAN_a , MAN_p consideram o estrume aplicado nas áreas agrícolas e a excreção dos animais nas pastagens em p ; DEP considera a deposição atmosférica; $CULT$ trata a parte do N incorporado nas culturas que sai do sistema e o termo $PAST$ inclui a quantidade de N consumido pelos animais durante a pastagem.

Para o cálculo do excedente total para toda a bacia (Eq. 4), é necessário somar o contributo das áreas agrícolas, pastagens e outras áreas e somar a contribuição de N por via das águas residuais produzidas pelos habitantes (WH_b) da bacia:

$$Ns_T = Ns_a + Ns_p + Ns_o + WH_b \quad [Eq. 4]$$

O termo Ns_T representam o excedente de N para toda a área da bacia em estudo. Todos estes termos estão definidos nas mesmas unidades de Kg N/ha/ano.

3. APLICAÇÃO E RESULTADOS

3.1. Estudo de caso

A metodologia proposta é aplicada a uma área em Portugal designada como Baixo Mondego apresentada na Fig. 1(a) e que corresponde à parte final da bacia hidrográfica do rio Mondego a jusante de Coimbra (área a verde). A bacia do Mondego tem uma área de 6659 Km² e a sub-bacia do baixo Mondego tem uma área de 1740 Km². O baixo Mondego é dividido em sub-bacias (Fig. 1 b) que correspondem aos principais afluentes do rio.

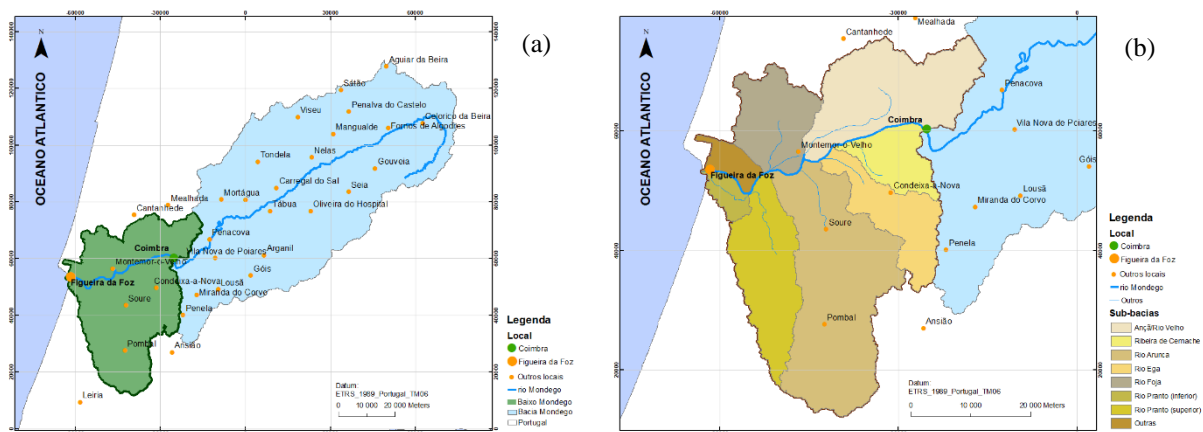


Fig. 1. (a) bacia do Mondego e do baixo Mondego (b) sub-bacias do baixo Mondego

3.2. Bases de dados

Os valores de fixação biológica BNF_a são calculados com base nas áreas de culturas leguminosas (feijão, grão de bico, fava e ervilhas) com capacidade de fixação de azoto multiplicadas pelos coeficientes de fixação biológica de cada tipo de cultura. As áreas das culturas constam dos recenseamentos agrícolas e das estatísticas da produção vegetal do INE (www.ine.pt) e os coeficientes de fixação biológica baseiam-se em valores médios do Código de Boas Práticas Agrícolas (CBPA, 2018). BNF_p é determinado considerando as áreas das pastagens, referidas nos recenseamentos agrícolas e nas estatísticas da produção vegetal do INE (www.ine.pt),

multiplicadas pelo coeficiente de fixação biológica para pastagens proposto por Boyer *et al.* (2002). O termo BNF_o é definido com base na área remanescente da bacia multiplicada por um coeficiente proposto por Van Meter *et al.* (2017). A aplicação de fertilizante inorgânico na agricultura $FERT_a$ é calculado com base na área ocupada pelas culturas e tendo em conta os dados da União Europeia sobre aplicação de N (<https://water.jrc.ec.europa.eu/>). Não é considerada a aplicação de fertilizante inorgânico nas pastagens ($FERT_p$). Os termos MAN_a e MAN_p são obtidos através do número de animais de diferentes categorias (Bovinos, Suínos, Caprinos, Ovinos, Equídeos, Aves e Coelhos) multiplicados pelos coeficientes de excreção dos animais dessas mesmas categorias do Código de Boas Práticas Agrícolas (CBPA, 2018). O valor de DEP é determinado pela multiplicação da área da bacia e dos coeficientes de deposição de azoto disponíveis no projeto *European Monitoring and Evaluation Program* (EMEP) (www.emep.int). Os valores de $CULT$ são obtidos pela multiplicação das quantidades de culturas colhidas em cada ano (baseados em dados do INE (www.ine.pt) e ARH Centro (2012)) e pela percentagem de N incorporado nas culturas. Os valores de N incorporados têm por base os trabalhos desenvolvidos por Bouwman *et al.* (2005) e Hong *et al.* (2012). O termo $PAST$, é definido em função das áreas de pastagem existentes conforme a metodologia proposta por Van Meter *et al.* (2017). Por fim, o valor de WH_b é calculado com base no número de habitantes da bacia dados pelos censos realizados pelo INE (www.ine.pt) e com base num coeficiente humano de N baseado em Van Meter *et al.* (2017). Os excedentes totais de N são calculados para diferentes períodos de tempo e para cada uma das sub-bacias do baixo Mondego.

3.3. Resultados

Os valores calculados para os excedentes de N correspondem a médias anuais para os períodos: 1986/1989, 1990/1999, 2000/2009 e 2010/2018. A Figura 2 apresenta os resultados dos excedentes de N para cada um dos períodos e para cada uma das sub-bacias.

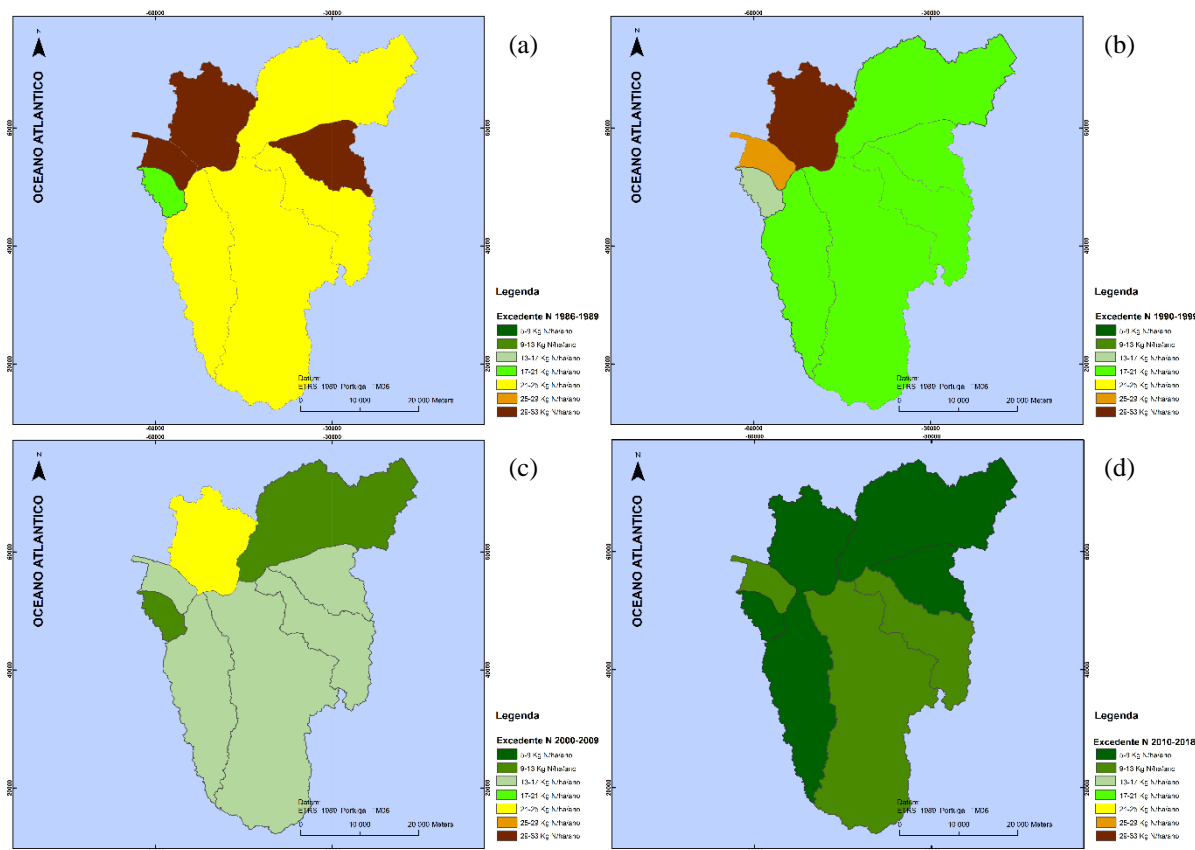


Fig. 2. Excedente de N para os períodos (a) 1986-1989 (b) 1990-1999; (c) 2000-2009 e (d) 2010-2018

Os maiores valores de excedente de N ocorrem no período 1986-1989. A redução dos valores de N é observável na Fig. 2 desde o primeiro período em análise, para todas as sub-bacias, e ao longo dos períodos de tempo. No último intervalo de tempo (2010-2018) todas as sub-bacias incluem valores baixos (entre 9 e 13 N/ha/ano) para os excedentes de N. Na bacia do Foja, são obtidos os maiores valores de excedente de N (29-33 Kg N/ha/ano) que estão relacionados principalmente com o uso de fertilizantes na agricultura e com o número de animais (principalmente o número de bovinos) existentes nesta bacia. Porém nos últimos anos, a bacia do Foja assistiu uma redução muito intensa na área agrícola e do número de explorações animais o que permitiu uma redução muito acentuada da carga de N. No último período de análise, (Fig 2d) a bacia do Foja apresenta valores de N de 5-9 Kg N/ha/ano.

Ao nível global para todo o baixo Mondego, os valores calculados para as cargas de N são de 23.9 Kg N/ha/ano em 1986/1989, 20.6 Kg N/ha/ano 1990/1999, 14.5 Kg N/ha/ano em 2000/2009 e 8.7 Kg N/ha/ano 2010/2018. Estes valores atestam a redução pronunciada dos valores de excedentes de N principalmente associada à redução da área agrícola e também ao número de explorações pecuárias. Este tipo de resultados permite caracterizar a evolução da trajetória de balanço de N no baixo Mondego e por isso perceber o tipo de tendência e pressões antropogénicas existentes. Além disso, estes valores podem ser comparados com os resultados obtidos para Portugal continental no trabalho de Cruz *et al.* (2019) que apresenta um excedente de N de 15 a 30 Kg N/ha/ano entre 1995 e 2005. A bacia do Mondego nas décadas de 80, 90 apresentava valores dentro dessa ordem de grandeza, mas nas últimas duas décadas os excedentes de N da bacia do baixo Mondego são inferiores aos valores calculados por Cruz *et al.* (2019) para todo o continente.

4. CONCLUSÕES

Os resultados apresentados neste trabalho indicam uma redução durante as últimas décadas das cargas de azoto com origem antropogénica na sub-bacia do baixo Mondego. Esta diminuição está maioritariamente associada a uma redução da agricultura e da pecuária. Estes resultados podem ser usados para relacionar as cargas de N aplicadas na área com os fluxos de N presentes nas linhas de água da bacia.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado pelo projeto LEAP (LEgacies of Agricultural Pollutants) (WaterJPI/005/2015) - Fundação para a Ciência e a Tecnologia. Agradecemos o apoio da ARH Centro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARH Centro (2012). 1º Plano de Gestão das Bacias Hidrográficas dos rios Vouga, Mondego e Lis Integrados na Região Hidrográfica 4. Parte 2 - Caracterização Geral e Diagnóstico, 2.2 Poluição Difusa. *Administração de Região Hidrográfica do Centro (ARH Centro)*, 64p.
- Bouwman, A. F., G. Van Drecht, & K. W. Van der Hoek (2005), Global and regional surface nitrogen balance in intensive agricultural production systems for the period 1970-2030, *Pedosphere*, 15(2), 137-155.
- Boyer, E. W., Goodale, C. L., Norbert, A., & Howarth, R. W. (2002). Anthropogenic nitrogen sources and relationships to riverine nitrogen export in the northeastern U.S.A. *Biogeochemistry*, 57/58, 137-169.
- CBPA - Código de Boas Práticas Agrícolas (2018). Despacho nº1230/2018 de 5 de fevereiro de 2018 do Ministérios do Ambiente e Agricultura, Florestas e Desenvolvimento Rural. Diário da República, 2ª série, nº 25.
- Cruz, S., Cordovil, C. M. d. S., Pinto, R., Brito, A. G., Cameira, M. R., Gonçalves, G., ... May, L. (2019). Nitrogen in Water-Portugal and Denmark: Two Contrasting Realities. *Water*, 11(6), 1114.
- Hong, B., Swaney, D. P., & Howarth, R. W. (2011). A toolbox for calculating net anthropogenic nitrogen inputs (NANI). *Environmental Modelling and Software*, 26(5), 623-633.
- Hong, B., Swaney, D. P., Mörth, C.-M., Smedberg, E., Eriksson Hägg, H., Humborg, C., ... Bouraoui, F. (2012). Evaluating regional variation of net anthropogenic nitrogen and phosphorus inputs (NANI/NAPI), major drivers, nutrient retention pattern and management implications in the multinational areas of Baltic Sea basin. *Ecological Modelling*, 227, 117-135.
- Van Meter, K. J., Basu, N. B., & Van Cappellen, P. (2017). Two centuries of nitrogen dynamics: Legacy sources and sinks in the Mississippi and Susquehanna River Basins. *Global Biogeochemical Cycles*, 31(1), 2-23.