

USO DA REGRESSÃO NÃO LINEAR NO ESTUDO DAS PERDAS DE NITROGÊNIO POR VOLATILIZAÇÃO DA AMÔNIA EM DOIS SOLOS DE VÁRZEA

Marcos Lima Campos do Vale¹; Rogério Oliveira de Sousa²; Walkyria Bueno Scivittaro³.

Palavras Chave: Volatilização, sigmóide, parâmetros, multivariada.

INTRODUÇÃO

A volatilização da amônia é uma das principais causas da redução da eficiência da ureia como fonte de nitrogênio para o arroz irrigado. Além disso, a amônia liberada na atmosfera pode produzir um material particulado com alta residência, o qual, em quantidades excessivas, pode ocasionar riscos à saúde humana e ao meio ambiente (FÉLIX; CARDOSO, 2004).

A dinâmica da volatilização da amônia é influenciada por diversos fatores ambientais, tornando complexa sua investigação. Além disso, a contradição observada entre os resultados obtidos em estudos semelhantes pode ser um indicativo de que as estratégias de análise predominantemente adotadas podem não ser as mais adequadas, além do que fornecem poucos detalhes acerca da dinâmica do processo.

Uma alternativa para o estudo mais detalhado do comportamento de variáveis é a investigação de suas curvas características, onde a avaliação pode ser realizada com base no ajuste de um modelo por regressão.

Modelos lineares têm sido amplamente utilizados para o estudo da evolução da volatilização da amônia em função do tempo, pela facilidade de estimação dos parâmetros, melhor qualidade do ajuste e maior precisão das previsões. Entretanto, dependendo do tipo de variável resposta utilizada, o comportamento apresentado pode não ser linear, sendo melhor representado por uma função curvilínea assintótica (REGAZZI, 2003).

Uma das variáveis mais indicadas para caracterizar a volatilização da amônia é a perda acumulada de nitrogênio na forma de amônia, pela facilidade de interpretação dos resultados. A variável tende a um crescimento monotônico em função do tempo, até um ponto de inflexão, a partir do qual sua taxa de crescimento é gradativamente reduzida até alcançar o ponto máximo, semelhante ao comportamento descrito por Gallant (1987) para fenômenos explicados por funções sigmóides.

A volatilização da amônia poderia ser avaliada por comparações entre curvas ajustadas a partir de um modelo sigmóide para condições diferentes. Outra estratégia seria a comparação dos parâmetros obtidos no ajuste, como variável resposta indireta, através da análise da variância e testes de médias uni e multivariados. Estas estratégias podem fornecer detalhes sobre a dinâmica do processo, que subsidiem a elaboração de técnicas adequadas para a redução das perdas de nitrogênio da ureia por volatilização da amônia.

Desta forma, o objetivo deste estudo foi avaliar a curva característica das perdas acumuladas de nitrogênio por volatilização da amônia da ureia em duas classes de solo predominantes em áreas de cultivo de arroz irrigado no RS, através da análise dos parâmetros ajustados de um modelo sigmóide.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado em casa de vegetação da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS. Foram utilizadas amostras de Planossolo Háplico e Chernossolo Ebânico, coletadas da camada de 0-10 cm. As amostras foram destorroadas, secas em estufa de

¹Doutorando do PPGA FAEM/UFPeL. Departamento de Solos, FAEM, Campus Universitário Capão do Leão, s/n, Capão do Leão - RS. CEP: 96900-010. email: marcoscvale@yahoo.com.br.

²Professor Dr. do Departamento de Solos FAEM/UFPeL, email: rosousa@ufpel.edu.br.

³Pesquisadora Dra. da Embrapa Clima Temperado, email: wbscivit@cpact.embrapa.br.

ventilação forçada à temperatura de 40° C, e peneiradas em malha de 2 mm, sendo retiradas amostras para caracterização química e física, e determinação da umidade gravimétrica, cujos resultados são apresentados no quadro 1.

Quadro 1. Atributos químicos, granulométricos e umidade gravimétrica das classes de solo envolvidas no estudo.

Solo	MO %	pH	V %	Ug kg kg ⁻¹	Areia	Silte %	Argila
Chernossolo	5.1	6.1	91	0.22	32	24	44
Planossolo	1.8	5.6	39	0.12	56	25	16

Os tratamentos consistiram na variação de três diferentes doses de uréia para as duas classes de solo, em um esquema fatorial 3x2. O delineamento experimental foi completamente casualizado com quatro repetições. Adicionalmente incluiu-se um tratamento sem a aplicação de ureia, para a quantificação da amônia naturalmente volatilizada.

Para avaliação da amônia volatilizada utilizou-se o método estático fechado descrito por Dal Canton (2005). As doses de ureia foram equivalentes em área às doses de 50, 100 e 150 kg ha⁻¹ de N, aplicadas em superfície. As leituras da quantidade de amônia volatilizada foram realizadas a 0, 1, 4, 7, 10, 12, 15, 17, 20, 24 e 31 dias após a aplicação da ureia, para o Planossolo, e 1, 2, 4, 6, 8, 10, 14, 17, 21 e 31 dias após a aplicação da ureia, para o Chernossolo.

Para os testes de hipóteses, foram utilizados os valores dos parâmetros estimados pelo método iterativo de Marquardt, para cada uma das unidades de observação, utilizando-se o modelo logístico descrito pela equação 1.

$$y = \frac{A}{1 + e^{(B - \text{tempo}) \cdot C}} \quad \text{Equação 1.}$$

Onde A é a assíntota superior, B é o ponto de inflexão, tempo é o tempo em dias após a aplicação da ureia e C é a inclinação da curva.

As hipóteses foram testadas através de análises uni e multivariadas da variância e, quando verificadas diferenças significativas, procederam-se as comparações uni e multivariadas de médias por contrastes ortogonais das hipóteses de interesse.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No quadro 2 estão descritos os resultados das análises uni e multivariada da variância. Para o caso multivariado, observou-se significância para o efeito da interação classe de solo*dose de N. Para o caso univariado, observou-se significância para interação classe de solo*dose de N para os parâmetros A e C. Para o parâmetro B, foi observado apenas o efeito principal de solo.

Quadro 2. Estatística Lambda de Wilk's e probabilidade p das análises uni e multivariada da variância.

Efeito	Manova		Anova		
			A	B	C
	Lambda de Wilk's	p	p		
Solo	0.06229600	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
Dose	0.09244450	<.0001	<.0001	0.8874	0.1195
Solo*Dose	0.22474693	0.0003	<.0001	0.1831	0.0597

No quadro 3, encontram-se descritos os resultados dos testes multivariados de médias para as hipóteses de interesse. Na comparação das médias do fator dose de N, para o Chernossolo, observou-se diferença significativa apenas para a comparação entre as doses 50 e 150 kg ha⁻¹ de N. Para o Planossolo, foram observadas diferenças significativas entre todas as doses. A comparação entre as classes de solo foi significativa para todos os níveis do fator dose de N.

Quadro 3. Estatística Lambda de Wilk's e probabilidade p dos testes de média multivariados para as hipóteses de interesse.

Contraste	Média 1*			Média 2**			Lambda de Wilk's	p (aproximado)
	A	B	C	A	B	C		
Cher 50 vs Cher 100	0.35	12.4	0.427	0.60	13.4	0.342	0.921240680	0.7168
Cher 50 vs Cher 150	0.35	12.4	0.427	1.87	13.1	0.388	0.576892260	0.0285
Cher 100 vs Cher 150	0.60	13.4	0.342	1.87	13.1	0.388	0.686221600	0.1022
Plan 50 vs Plan 100	0.83	5.2	0.965	2.75	3.5	1.878	0.423963365	0.0027
Plan 50 vs Plan 150	0.83	5.2	0.965	6.24	4.1	1.082	0.106334680	<.0001
Plan 100 vs Plan 150	2.75	3.5	1.878	6.24	4.1	1.082	0.186347000	<.0001
Cher 50 vs Plan 50	0.35	12.4	0.427	0.83	5.2	0.965	0.259122030	<.0001
Cher 100 vs Plan 100	0.60	13.4	0.342	2.75	3.5	1.878	0.148423310	<.0001
Cher 150 vs Plan 150	1.87	13.1	0.388	6.24	4.1	1.082	0.099321000	<.0001

* Médias dos parâmetros do nível à esquerda no contraste.

** Médias dos parâmetros do nível à direita no contraste.

Para o parâmetro A, observou-se que não houve diferença significativa entre as menores doses para o Chernossolo. Para o Planossolo houve diferença significativa entre todas as doses. A comparação entre solos não foi significativa apenas para a dose equivalente à 50 kg ha⁻¹ de N (Quadro 4). Para o parâmetro B, observou-se média superior para a classe Chernossolo. Já para o parâmetro C observou-se média superior para a classe Planossolo.

Quadro 4. Probabilidade p dos testes de média univariados das hipóteses de interesse para o parâmetro A.

Contraste	Média 1*	Média 2**	p
Cher 50 vs Cher 100	0.35	0.60	0.5754
Cher 50 vs Cher 150	0.35	1.87	0.0030
Cher 100 vs Cher 150	0.60	1.87	0.0106
Plan 50 vs Plan 100	0.83	2.75	0.0004
Plan 50 vs Plan 150	0.83	6.24	<.0001
Plan 100 vs Plan 150	2.75	6.24	<.0001
Cher 50 vs Plan 50	0.35	0.83	0.2903
Cher 100 vs Plan 100	0.60	2.75	0.0001
Cher 150 vs Plan 150	1.87	6.24	<.0001

* Médias do parâmetro do nível à esquerda no contraste.

** Médias do parâmetro do nível à direita no contraste.

Os resultados observados para os testes multivariados revelam um efeito destacado do fator classe solo sobre as perdas de nitrogênio por volatilização da amônia, demonstrando a importância do efeito das interações entre colóides do solo e o amônio sobre o processo.

Os resultados observados na análise univariada do parâmetro assintótico A indicam que o comportamento da variável parece seguir o mesmo princípio físico dos vasos comunicantes, sendo mais sensível ao efeito dos fenômenos de adsorção até certo limite de concentração de amônio, a partir do qual, o efeito da concentração de N é mais relevante.

O efeito da capacidade de adsorção de cátions sobre as perdas totais também foi verificado em estudo realizado por Costa et al. (2004), onde os autores observaram que a composição mineralógica do solo foi determinante para o volume total de perdas por volatilização da amônia.

Shi-chao et. al. (2011) observaram efeitos da dose de N, aplicada em solos com diferentes propriedades texturais, sobre as perdas por volatilização da amônia e produtividade da cultura do arroz. Segundo os autores, o aumento da dose reduziu a eficiência de utilização do nitrogênio pela cultura, sendo este efeito mais pronunciado em solos arenosos.

Em relação aos parâmetros B e C, relacionados respectivamente à taxa das perdas e ativação do processo, observou-se apenas o efeito principal de classe de solo. Para solos de alta CTC, mesmo que uma grande quantidade de amônio seja liberada na solução, os íons são rapidamente adsorvidos pelos colóides do solo, sendo liberados mais lentamente para a solução.

Os efeitos observados nos testes multivariados foram semelhantes àqueles observados para o parâmetro A, indicando que maior atenção deve ser dada aos fatores que exercem influência sobre tal parâmetro, quando da avaliação de mudanças no comportamento das perdas por volatilização da amônia.

Os resultados apresentados neste trabalho concordam com àqueles obtidos por outros autores, o que confirma a viabilidade do método proposto para análise dos dados. A avaliação das perdas por volatilização da amônia através dos parâmetros do modelo permitiu tanto a percepção dos efeitos específicos dos fatores estudados, através da análise univariada, como a avaliação da importância destes efeitos para o comportamento da variável, através da análise multivariada.

CONCLUSÕES

A avaliação das perdas por volatilização da amônia através dos parâmetros do modelo permite o entendimento exato dos efeitos dos fatores de interesse, configurando-se como uma importante ferramenta para o estudo do comportamento da variável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FÉLIX, E. P.; CARDOSO, A. A. **Amônia atmosférica: fontes, transformações, sorvedouros e métodos de análise**. Química Nova, Vol. 27, nº 1, p. 123-130, 2004.
- REGAZZI, J. A. **Teste para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não linear**. Revista Ceres, v. 50, n. 287, p. 9-26, 2003.
- DAL CANTON, D. **Volatilização da amônia proveniente da uréia e do sulfato de amônio em solo alagado**. Pelotas, 2005. 55f. Dissertação (Mestrado). Solos. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Universidade Federal de Pelotas.
- GALLANT, A. R. **Nonlinear statistical models**. Canada: Wiley & Sons, 1987. 610p.
- COSTA, A. C. S. da; FERREIRA, J. C.; SEIDEL, E. P.; TORMENA, C. A.; PINTRO, J. C. **Perdas de nitrogênio por volatilização da amônia em três solos argilosos tratados com uréia**. Acta Scientiarum., v. 26, n. 4, p. 467-473, 2004.
- SHI-CHAO, Y.; ZHONG-CHENG, L.; QI-GEN, D.; YU-SHU, J.; HAI-YAN, G.; JING-DOU, C.; LU-SHENG, X.; FU-GUAN, W.; HONG-SHENG, Z.; ZHONG-YANG, H.; KE, X.; HAI-YAN, W. **Effects of nitrogen application rate on ammonia volatilization and nitrogen utilization in rice grow season**. Chinese Journal of Rice Science, v. 25, n. 1, p. 71-79, 2011.