

## MODELO MATEMÁTICO PARA ESTIMAR A PRODUÇÃO DE DEJETOS, NITROGÊNIO TOTAL E FÓSFORO, NA PRODUÇÃO DE SUÍNOS

PAULO ARMANDO V. DE OLIVEIRA<sup>1</sup>, JORGE MANUEL R. TAVARES<sup>2</sup>, ARLEI COLDEBELLA<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Eng. Agrícola, Dr. Pesq. Embrapa Suínos e Aves, Concórdia, (49) 3441-0400, Paulo.Armando@embrapa.br

<sup>2</sup> Eng. Zootéc., PPGEA-ENS, UFSC – Centro Tecnológico, Campus Universitário, Florianópolis, jorgemrtavares@gmail.com

<sup>3</sup> Méd. Vet., Dr. Pesq. Embrapa Suínos e Aves, Concórdia, (49) 3441-0400, Arlei.Coldebella@embrapa.br

Apresentado no

XLII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2013  
04 a 08 de Agosto de 2013 - Fortaleza - CE, Brasil

**RESUMO:** Na agricultura de precisão é de grande importância a geração de modelos. O objetivo do trabalho foi o desenvolvimento e validação de modelo matemático, adaptados dos modelos descritos por OLIVEIRA (2003) e DOURMAD et al. (2003), para estimar o volume de dejetos e dos nutrientes nitrogênio e fósforo, na produção de suínos. O trabalho foi executado em 15 granjas de produção de suínos, no Oeste de Santa Catarina, na fase de crescimento/terminação (110 dias), de abril a dezembro de 2011, envolvendo 6.500 animais. Foram avaliadas diariamente as temperaturas interna e externa, das unidades de produção, o consumo de água, ração e a produção de dejetos e semanalmente a composição físico-química dos dejetos e das rações (Nitrogênio Total ( $N_T$ ) e Fósforo Total ( $P_T$ )). As médias observadas para o consumo de água foi de  $7,62 \pm 1,15$  L·suíno<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>, produção de dejetos de  $4,58 \pm 0,82$  L·suíno<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>,  $N_T$  ( $5,69$  g·L<sup>-1</sup>) e  $P_T$  ( $1,19$  g·L<sup>-1</sup>). O uso do modelo gerou erro médio de  $0,47$  L·suíno<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup> (13,10%), para a estimativa da produção de dejetos ( $R^2=0,81$ ), quando comparado com o valor médio observado. O modelo proposto permite estimar o volume de dejetos,  $N_T$  e  $P_T$ , na produção de suínos.

**PALAVRAS-CHAVE:** suínos, modelagem, dejetos

## MATHEMATICAL MODEL FOR ESTIMATING THE MANURE PRODUCTION, NITROGEN TOTAL AND PHOSPHORUS, IN SWINE PRODUCTION

**ABSTRACT:** In precision agriculture is of great importance to generation of models. The objective of the study was the development and validation of mathematical model, adapted from models described by OLIVEIRA (2003) and DOURMAD et al. (2003) to estimate the volume of manure and the nitrogen et phosphorus, in swine production. The experiment was conducted in 15 pig farms in western Santa Catarina, in the phase of growing / finishing (110 days), april to december 2011, involving 6,500 animals. The temperatures were measured daily internal and external, of swine farms, water consumption, manure production and feed and weekly physical-chemical composition of slurry and the feed (Total Nitrogen (TN) and Total Phosphorus (TP)). The averages for water consumption was  $7.62 \pm 1.15$  L.pig<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup>, production of manure from  $4.58 \pm 0.82$  L.pig<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup>, TN ( $5.69$  g.L<sup>-1</sup>) and TP ( $1.19$  g.L<sup>-1</sup>). The model generated using average error of  $0.47$  L.pig<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup> (13.10%), for the estimation of the production of waste ( $R^2$  0.81) compared with the mean value observed. The proposed model allows us to estimate the volume of manure, TN and TP, in swine production.

**KEYWORDS:** swine, mathematical model, manure

## INTRODUÇÃO

O conhecimento dos volumes produzidos e das características dos dejetos suínos é fundamental para a definição do tipo de sistema de manejo e gestão (OLIVEIRA, 1993; BABOT et al., 2011). Na agricultura de precisão é de grande importância a geração e validação de modelos matemáticos para estimar o volume de dejetos e dos nutrientes nitrogênio e fósforo, na produção de suínos (OLIVEIRA, 2003 e DOURMAD et al., 2003). Alguns modelos matemáticos foram desenvolvidos para estimar o volume de dejetos produzidos na produção de suínos, nas fases de crescimento e terminação. Dentre os modelos existe podemos citar os desenvolvidos por AARNINK (1992); OLIVEIRA (199); DOURMAD et al. (1992); DOURMAD et al., (2003); OLIVEIRA (2003) que estimam os volume de dejetos produzidos e alguns parâmetros físico-químicos, como nitrogênio e fósforo.

No Brasil são poucos os trabalhos desenvolvidos para a validação ou geração de modelos para estimar o consumo de água e geração de dejetos suínos em sistemas de produção. NARDI (2009) estudou a produção de dejetos suínos em granjas comerciais no oeste do estado do Paraná, bem como o uso do modelo de OLIVEIRA (2003) para a estimar a produção de dejetos, com resultados satisfatórios.

Em estudo desenvolvido por TAVARES (2011) com objetivo de medir o consumo de água e a produção de dejetos em 15 unidades de produção de suínos no oeste catarinense, nas fases de crescimento e terminação, envolvendo 33 ciclos produtivos e aproximadamente 13.000 animais, determinou com precisão estes parâmetros.

O objetivos deste trabalho foi de validar e adaptar os modelos matemáticos desenvolvidos por OLIVEIRA (2003) e DOURMAD et al. (1999; 2002) para estimar o volume de dejetos, o nitrogênio e o fósforo em unidades comerciais de produção de suínos nas fases de crescimento e terminação.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido em 15 unidades comerciais de produção de suínos, localizadas na microrregião de Concórdia, no meio oeste catarinense. As granjas de produção de suínos estudadas eram unidades de crescimento e terminação com capacidades de alojamentos entre 450 a 1.200 animais, caracterizadas unidades de agricultura familiar. O consumo de água e a produção de dejetos foram avaliadas diariamente, sendo que suas características físico-químicas foram medidas semanalmente utilizando-se a metodologia proposta por TAVARES (2012) e analisadas no laboratório físico-químico da Embrapa Suínos e Aves segundo metodologia recomendada pelo *Standard Methods* (APHA, AWWA, WPCF, 2005). Foram envolvidos no experimento 6.928 suínos distribuídos entre Abril e Dezembro de 2011 (17 ciclos de produção). Todos os animais possuíam genética Large White × Landrace (materno) e Duroc × Pietrain (paterno). No final da creche, machos e fêmeas foram transportados para as unidades de crescimento e terminação, entrando com aproximadamente 9 semanas de idade e média de 24,5 kg de peso vivo, permanecendo separados em grupos de 10 animais por baia até ao final do ciclo de produção de aproximadamente 25 semanas de idade e 119 kg de peso vivo. Os animais foram pesados na entrada das granjas, duas medições intermediárias e na saída da granja. Nas granjas estudadas eram utilizados bebedouros tipo chupeta, bite ball e taça/concha ecológica, na análise de variância o teste F com  $P \geq 0,05$  não mostrou diferença significativa entre os tipos de bebedouros para as variáveis consumo de água e volume de dejetos.

A temperatura e a umidade relativa do ar foram obtidas com o uso de “*data-logger*”, da marca Testo<sup>®</sup> 174H, instalados no interior e exterior das edificação de suínos, sendo quatro equipamentos, dois no interior instalados na altura de 1,60 m do piso e dois no exterior a 2,50 m do solo. Esses equipamentos foram configurados para registrarem medidas de temperatura e umidade a cada 60 minutos diariamente.

O consumo de água foi medido com a instalação de hidrômetros nas redes de abastecimento de água dos bebedouros e nas redes de água de limpeza e nebulização, nas granjas, sendo usadas as

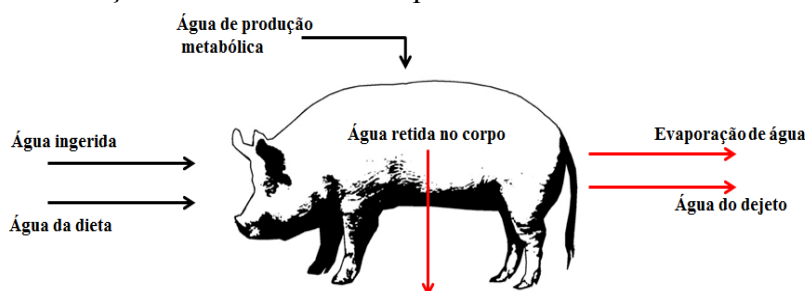
marcas ACTARIS, modelo UNIMAG TU III HV e ITRÓN, modelo UNIMAG CYBLE PN 10, ambos do tipo turbina com diâmetro médio de uma polegada (3/4”).

A medição de dejetos produzidos diariamente pelos suínos, nas unidades de produção, foi realizada pela observação dos volumes de dejetos produzidos pelos animais depositados no interior de caixas de fibra de vidro de 5 m<sup>3</sup>, marca **FIBRATEC**<sup>®</sup> e **FORTLEV**<sup>®</sup>. As caixas foram instaladas entre o edifício de alojamento dos animais e o sistema de armazenamento de dejetos.

A amostragem dos dejetos produzidos nas unidades de produção de suínos foram semanais e realizadas diretamente nas canaletas de manejo, procedendo-se uma homogeneização dos dejetos nas canaletas e retirada varias amostras, ao logo das canaletas, até completar um volume de 20 litros. Após nova homogeneização, coletou-se uma amostra de um litro que era encaminhada para análise imediatamente após a coleta, depois de acondicionada em caixas térmicas de isopor com gelo.

A modelagem dos dados de consumo de água e produção de dejetos em função do tempo de alojamento dos animais foi realizada utilizando o procedimento NLIN do SAS (2008). O modelo estatístico foi ajustado aos dados médios semanais de todas as granjas avaliadas. Foram comparados os dados de produção de dejetos observados com os valores gerados pelo modelo desenvolvido e os dados foram submetidos à análise de variância (procedimento GLM do SAS, 2008) e a comparação das médias pelo teste de Tukey.

Modelo de balanço de água nos suínos utilizado no trabalho, sendo os dejetos convertidos em água em função de sua densidade específica:



As equações utilizadas na modelagem para a estimativa da produção dos dejetos são descritas, com base, nos trabalhos e pesquisas desenvolvidas por OLIVEIRA (1999; 2003); DOURMAD et al. (2002; 2003). Para se estimar a quantidade de água presente nos dejetos determinou-se o balanço de água nos suínos e nas edificações, bem como a quantidade de água gasta na limpeza das unidades. A Equação **Error! Reference source not found.** apresenta a expressão para o cálculo das quantidades de água presente nos dejetos.

$$H_2O_{Dej} = H_2O_{Bal} \cdot d_d + H_2O_{Lim} \quad (1)$$

em que:

$H_2O_{Dej}$  – Quantidade de água nos dejetos (kg·suíno<sup>-1</sup>);

$H_2O_{Bal}$  – Quantidade de água do balanço dos suínos (kg·suíno<sup>-1</sup>);

$d_d$  – duração do ciclo de produção (dias);

$H_2O_{Lim}$  – Quantidade de água de limpeza (kg·suíno<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>).

O balanço geral de água no sistema de produção de suínos foi calculado pela diferença do somatório das entradas de água (ingerida nos equipamentos, na ração, e produção de água metabólica) e o somatório das saídas (água retida no corpo e a água evaporada) nos suínos. A Equação **Error! Reference source not found.** mostra a expressão usada na determinação do balanço geral de água nos suínos.

$$H_2O_{Bal} = H_2O_{Ing} + H_2O_{Raç} + H_2O_{Met} - H_2O_{Cor} - H_2O_{Evap} \quad (2)$$

em que:

$H_2O_{Bal}$  – Quantidade de água do balanço dos suínos (kg·suíno<sup>-1</sup>);

$H_2O_{Ing}$  – Quantidade de água ingerida no bebedouro pelo suíno (kg·suíno<sup>-1</sup>);

$H_2O_{Raç}$  – Quantidade de água ingerida via ração (kg·suíno<sup>-1</sup>);

$H_2O_{Met}$  – Produção de água metabólica pelo suíno (kg·suíno<sup>-1</sup>);

$H_2O_{Cor}$  – Quantidade de água retida no corpo dos suínos ( $kg \cdot suíno^{-1}$ );

$H_2O_{Evap}$  – Quantidade de água evaporada do corpo dos suínos ( $kg \cdot suíno^{-1}$ ).

A água ingerida pelo suíno no bebedouro (consumo do próprio animal + desperdício) pode ser determinado diretamente pela leitura dos hidrômetros ou por cálculo direto. Nesta pesquisa, ajustou-se o volume de ingestão, como representado na Equação (3).

$$H_2O_{Ing} = Ração \cdot T_d \quad (3)$$

em que:

$H_2O_{Ing}$  – Água ingerida no bebedouro ( $kg \cdot suíno^{-1}$ );

Ração – Alimento ingerido pelo suíno ( $kg \cdot d^{-1}$ );

$T_d$  – Taxa de diluição.

A Equação **Error! Reference source not found.** mostra a expressão utilizada para se estimar a quantidade de água ingerida pelos animais na ração, em função do teor de matéria seca presente.

$$H_2O_{Raç} = Ração \cdot (1 - MS_{Raç}) \cdot 100^{-1} \quad (4)$$

em que:

$H_2O_{Raç}$  – Quantidade de água ingerida na ração ( $kg \cdot suíno^{-1}$ );

Ração – Alimento ingerido pelo suíno ( $kg \cdot d^{-1}$ ); e,

$MS_{Raç}$  – Teor de matéria seca na ração (%).

O cálculo da quantidade de água produzida no animal pelo metabolismo oxidativo animal baseou-se no pressuposto de que para se produzir uma molécula de  $CO_2$  é necessário a existência de uma molécula de água (para um volume molar de 22,41 L de  $CO_2$  temos um peso molecular de 18 g de água) (OLIVEIRA, 1999, 2003). Assim, a Equação **Error! Reference source not found.** exibe a expressão usada para o cálculo da produção de água por via metabólica no animal.

$$H_2O_{Met} = [Prod_{CO_2} \cdot (24,4 \cdot 0,018)^{-1}] \cdot 24 \quad (5)$$

em que:

$H_2O_{Met}$  – Produção de água metabólica ( $kg \cdot suíno^{-1}$ );

$Prod_{CO_2}$  – Produção de  $CO_2$  por suíno ( $L \cdot h^{-1}$ ).

A produção de  $CO_2$  no suíno foi estimada através da produção de calor total por suíno, com base em um coeficiente de proporcionalidade ( $0,163 L \cdot h^{-1}$  de  $CO_2$  por Watt de calor total produzido) (COMMISSION INTERNATIONALE GÉNIE RURAL, 1984), como demonstrado na Equação **Error! Reference source not found.**

$$Prod_{CO_2} = 0,163 \cdot Qtot_{sui} \quad (6)$$

em que:

$Prod_{CO_2}$  – Produção de  $CO_2$  por suíno ( $L \cdot h^{-1}$ ); e,

$Qtot_{sui}$  – Produção de calor total por suíno ( $W \cdot suíno^{-1}$ ).

A produção de calor total por suíno em zona de neutralidade térmica pode ser estimada através de equação específica para animais em fase de crescimento/terminação. Para tal, considera-se a soma da energia necessária para manter o animal e a fração da energia metabolizável presente na ração e que não é retida no corpo do animal (OLIVEIRA, 1999; DOURMAD et al. (2003). Outra possibilidade de cálculo da produção de calor total na ausência dos dados da ração foi o uso da expressão apresentada em função da massa do animal (peso vivo) e das características do ambiente no edifício (COMMISSION INTERNATIONALE GÉNIE RURAL, 1984; OLIVEIRA, 2003). A Equação seguinte mostra o cálculo da produção total de calor:

$$Qtot_{sui} = 29 \cdot (m + 2)^{0,5} - 40 \quad (7)$$

em que:

$Qtot_{sui}$  – Produção de calor total por suíno ( $W \cdot suíno^{-1}$ );

m – massa corporal do suíno (kg);

$E_{Net}$  – Energia net (líquida) da ração (%);

$E_{Met}$  – Energia metabolizável da ração (%); e,

Ração – Alimento ingerido pelo animal ( $kg \cdot d^{-1}$ ).

A quantidade de água retida no corpo pode ser estimada em função da quantidade de proteínas retidas pelos suínos, segundo DE GREEF (1995) e LANGE (1995) citados por

OLIVEIRA (2003). A Equação **Error! Reference source not found.** apresenta a expressão para o cálculo da água retida no suínos.

$$H_2O_{Corpo} = 1,10 \cdot 4,889 \cdot (R_{Prot}). 0,885^{-1} \quad (8)$$

em que:

$H_2O_{Cor}$  – Quantidade de água retida no corpo ( $kg \cdot suíno^{-1}$ );

$R_{Prot}$  – Retenção de proteína diária ( $kg \cdot suíno^{-1}$ ).

A retenção de proteína diária no corpo do suíno pode ser determinada a partir de uma relação, considerando-se o peso vivo vazio do animal (DOURMAD et al., 2003). A estimativa do teor proteico pode também ser ajustada para o peso vivo vazio do suíno através da percentagem de tecido muscular (OLIVEIRA, 2003). Na presente pesquisa, a percentagem de tecido muscular assumida para aplicação da modelagem matemática foi de 58%. As Equações (9) e (10) mostram, respectivamente, a expressão para a estimativa da retenção de proteína diária e para a determinação do peso vivo vazio em função da massa corporal do suíno.

$$R_{Prot.} = e^a \cdot (P_{vv})^b \quad (9)$$

$$P_{vv} = 0,915 \cdot (m)^{1,009} \quad (10)$$

em que:

$R_{Prot}$  – Retenção de proteína diária ( $kg \cdot suíno^{-1}$ );

$e$  – base do logaritmo neperiano (2,7182);

$a$  – - 0,982 – 0,0145 (MUS);

$b$  – 0,7518 + 0,0044 (MUS);

$P_{vv}$  – Peso vivo vazio do suíno (kg);

$m$  – massa corporal do suíno (kg).

A água perdida por evaporação foi determinada em função da quantidade de calor necessária para a passagem da água do estado líquido ao gasoso, ou seja, a produção de calor latente de vaporização (SOULOUMIAC, 1995 *apud* OLIVEIRA, 2003), como pode ser observada na Equação (11). Em média, são necessários 680,6 Watts para evaporar um quilograma de água por hora (COMMISSION INTERNATIONALE GÉNIE RURAL, 1984).

$$P_{vap} = (Q_{lat_{sui}} \cdot L_v^{-1}) \cdot 24 \quad (11)$$

em que:

$P_{vap}$  – Vapor de água produzido pelo suíno ( $kg \cdot d^{-1}$ );

$Q_{lat_{sui}}$  – Produção de calor latente ( $W \cdot suíno^{-1}$ );  $e$ ,

$L_v$  – Calor latente de vaporização [680,6 Watts ( $kg \ H_2O \cdot h^{-1}$ )].

A produção de calor latente foi deduzida como complemento da produção de calor sensível, segundo a temperatura no bulbo seco do ambiente interno da unidade de produção (COMMISSION INTERNATIONALE DU GÉNIE RURAL, 1984), como observado nas Equações **Error! Reference source not found.** e **Error! Reference source not found.**

$$Q_{lat_{sui}} = Q_{tot_{sui}} - Q_{sen_{sui}} \quad (12)$$

$$Q_{sen_{sui}} = Q_{tot_{sui}} \cdot \left( 0,8 - 1,85 \cdot 10^{-7} \cdot (Ta+10)^4 \right) \quad (13)$$

em que:

$Q_{lat_{sui}}$  – Produção de calor latente por suíno ( $W \cdot suíno^{-1}$ );

$Q_{tot_{sui}}$  – Produção de calor total por suíno ( $W \cdot suíno^{-1}$ );

$Q_{s_{an}}$  – Produção de calor sensível por suíno ( $W \cdot animal^{-1}$ );

$Ta$  - Temperatura do bulbo seco no interior da edificação ( $^{\circ}C$ ).

A quantidade de dejetos produzidos em uma unidade pode ser determinada através da soma da quantidade de água presente no dejetos e a concentração de matéria seca do efluente (DOURMAD et al., 2003). A Equação (14) mostra a expressão utilizada para o cálculo da quantidade de dejetos produzidos pelos suínos.

$$Q_{Dej} = H_2O_{Dej} \cdot MS_{Dej} \quad (14)$$

em que:

$Q_{Dej}$  – Quantidade de dejetos produzidos ( $kg \cdot suíno^{-1}$ );

$H_2O_{Dej}$  – Quantidade de água nos dejetos ( $kg \cdot suíno^{-1}$ ); e,

$MS_{Dej}$  – Concentração de matéria seca nos dejetos (%).

Os volumes de dejetos produzidos podem ser estimados nas unidades de produção em função da sua quantidade e densidade dos dejetos.

As Equações **Error! Reference source not found.** e **Error! Reference source not found.** apresentam as expressões utilizadas para o cálculo dos volumes dos dejetos produzidos.

$$V_{Dej} = Q_{Dej} \cdot \rho_{Dej}^{-1} \quad (15)$$

$$V_{Dej} = 1000 + 0,49 \cdot MS_{Dej} \quad (16)$$

em que:

$V_{Dej}$  – Volume dos dejetos produzidos ( $L \cdot suíno^{-1}$ );

$Q_{Dej}$  – Quantidade de dejetos produzidos ( $kg \cdot suíno^{-1}$ );

$MS_{Dej}$  – Concentração de matéria seca nos dejetos ( $g \cdot kg^{-1}$ ); e,

$\rho_{Dej}$  – Densidade do dejetos ( $kg \cdot m^{-3}$ ).

A quantidade de Nitrogênio excretada é calculada (em  $kg \ N \cdot suíno^{-1}$ ) tendo como base a referência DOURMAD et al., (2003):

$$N_{ex} = N_{ing} - \left[ \exp^{(-0,9385 - 0,0145 \times TVM)} \times (0,915 \cdot PV^{1,009})^{(0,7364 + 0,0044 \times TVM)} \right] \cdot 6,25^{-1} \quad (17)$$

em que,

$N_{ex}$  - Nitrogênio excretado pelos suínos (kg);

$N_{ing}$  – Nitrogênio ingerido pelos suínos (kg);

PV – Peso vivo dos suínos (kg);

TVM: Taxa de Carne Magra (indicado no final do lote) (em kg/100kg).

A excreção de fósforo segundo DOURMAD et al., (2003), pode ser estimada da seguinte maneira :

$$P_{exc} = P_{ing} - P_{ret} \quad (18)$$

em que,

$P_{exc}$  – Fosforo excretado pelo suíno (kg);

$P_{ing}$  – Fosforo ingerido pelo suíno (kg);

$P_{ret}$  – Fosforo retido no suíno (kg).

Sendo o fosforo retido no corpo estimado pela seguinte equação:

$$P_{ret} = -0,00227 \cdot PVV^2 + 5,36335 \cdot PVV \quad (19)$$

em que,

PVV = Peso vivo em jejum dos suínos (kg).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A temperatura média registrada nas 15 unidades de produção de suínos durante o desenvolvimento do trabalho foi de  $19.0 \pm 0.2$  °C. O desempenho zootécnico dos suínos nas granjas estudadas durante o experimento foram em média para o GMD (ganho médio de peso diário)  $0,862 \pm 0,012$  g.dia<sup>-1</sup>; CA (conversão alimentar)  $2,347 \pm 0,046$  kg ração, por kg de ganho de peso; CR (consumo de ração diário)  $2,022 \pm 0,046$  kg.

A Os resultados apresentados indicam que os suínos consumiram diariamente, em média, 7,62 L de água e produziram em média 4,58 L de dejetos para um período de alojamento de 15 semanas.

TABELA 1 mostra os resultados médios obtidos para a produção de dejetos e o consumo de água dos animais em função do tempo de alojamento (semanas). Para o período de alojamento de 15 semanas foram avaliados 12 ciclos de produção.

Os resultados apresentados indicam que os suínos consumiram diariamente, em média, 7,62 L de água e produziram em média 4,58 L de dejetos para um período de alojamento de 15 semanas.

TABELA 1 – Produção de dejetos e consumo médio de água em função do tempo de alojamento.  
Manure production and average water consumption as a function of production time.

Parâmetros Observados	Alojamento (semanas)	n	Média	$\sigma$	Mínimo	Máximo
			-----	(L·suíno <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup> )	-----	-----
Consumo H <sub>2</sub> O	15	12	7,62	1,15	5,94	9,66
Produção Dejetos	15	12	4,58	0,82	3,52	6,24

n – número de ciclos de produção;  $\sigma$  – desvio padrão.

O modelo matemático utilizado neste trabalho estimou a produção de dejetos suínos produzidos para as fases de crescimento e terminação, com peso médio dos animais variando entre 24 a 119 kg, entre 3,24 e 6,10 L por suínos por dia (FIGURA 1). A análise estatística mostra que existe uma boa correlação entre os dados estimados pelo modelo e o dados observados a campo com o coeficiente de correlação de  $R^2=0,808$ . O ajuste linear foi realizado com intervalo de confiança de 95%. Foram estimadas e introduzidas no modelo as médias semanais de um total de 12 ciclos de produção.

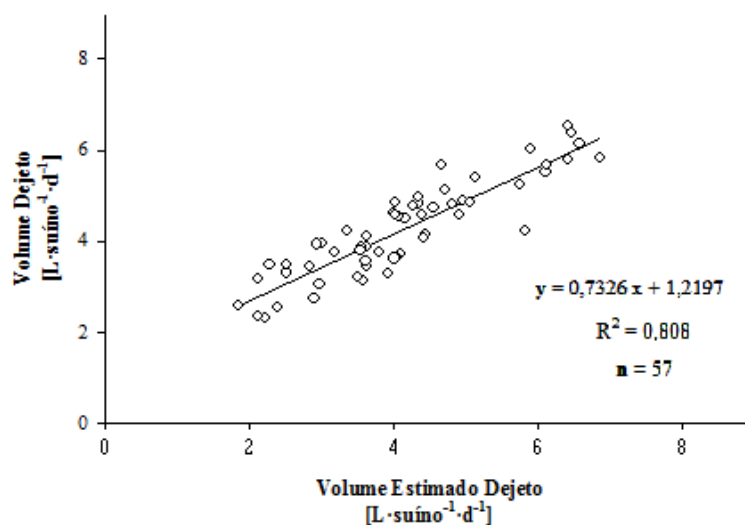


FIGURA 1. Relações lineares entre o volume de dejetos estimado pelo modelo e os valores observados nas granjas, para um período de alojamento de 15 semanas de produção de suínos.

Os resultados obtidos na aplicação da modelagem demonstram que o modelo proposto permite estimar com segurança, o volume de água presente nos dejetos produzidos. Tal pode ser observado pelos erros médios de previsão determinados para as médias semanais estimadas e

observadas nas granjas. O erro médio obtido foi de  $0,47 \text{ L} \cdot \text{suíno}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$  (13,10%), mostra-se inferiores quando comparados com os resultados obtidos em pesquisa realizada, no Brasil, por NARDI (2009), em quatro ciclos de produção, e os resultados dos erros obtidos para a relação entre os volumes estimados e medidos foram superiores (41, 33, 59 e 48%), porém neste trabalho havia somente uma repetição por tratamento e o consumo de água nos sistemas foram altos. Em trabalho de modelagem de OLIVEIRA (2003), o erro encontrado entre os valores estimados e observado para a produção de dejetos suínos em piso ripado foi de 18,5%. Embora a estimativa para produção de dejetos produzidos não se tenham mostrado próxima (declives das relações lineares entre valores estimados e medidos afastados do valor “um” e coeficientes de determinação  $R^2=0,808$ ) quanto aquelas apresentadas por DOURMAD et al. (2003) ( $n=55$ ,  $y=0,99x$  e coeficiente de determinação  $R^2=0,97$ ) é de ressaltar que as estimativas apresentadas por estes autores foram calculadas com base em volumes acumulados dos ciclos de produção (redução de erro) em experimentos com condições controladas e não através de médias semanais tal como apresentadas no presente trabalho .

A Tabela 2 mostra os resultados médios obtidos para a Concentrações médias do Nitrogênio e Fósforo Total nos dejetos para 15 semanas de alojamento dos suínos.

TABELA 2 – Concentrações médias do Nitrogênio e Fósforo Total nos dejetos para 15 semanas de alojamento dos suínos. Average concentrations of Total Nitrogen and Phosphorus in manure for 15 weeks of housing pigs.

Variável	Alojamento (semanas)	n	Média	$\sigma$	Mínimo	Máximo
$N_T (\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$	15	12	5,69	0,98	4,37	7,22
$P_T (\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$			1,18	0,29	0,80	1,83

Nas figuras 2 e 3 são apresentados valores gerados pelo modelo e corrigidos pela matéria seca, em kg/suíno, para a estimativa dos nitrogênio e do fosforo semanalmente para a produção de suínos nas 15 semanas de duração dos experimento.

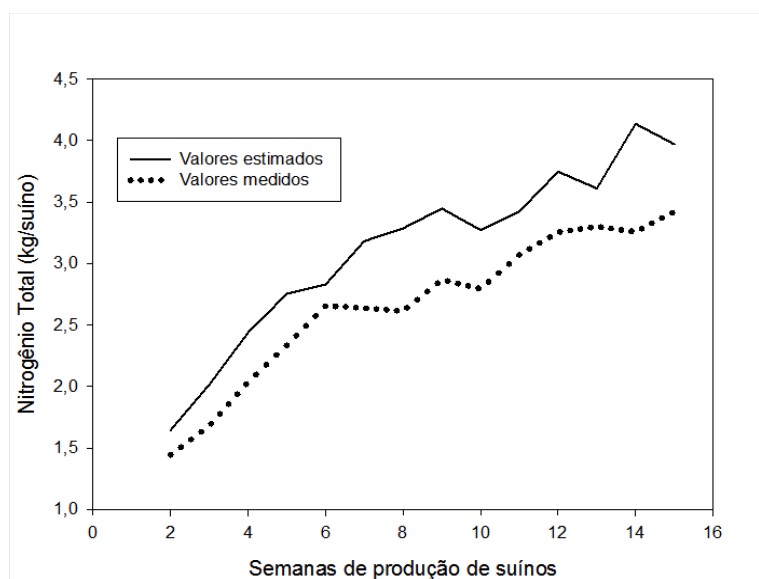


FIGURA 2. Valores estimados e medidos de nitrogênio total por semanas na produção de suínos.



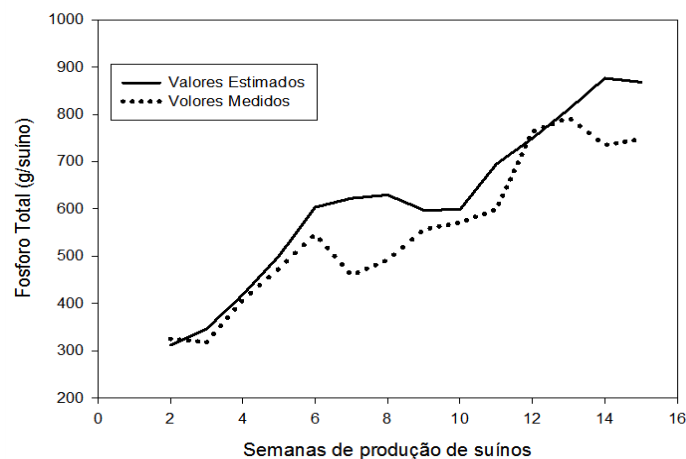


FIGURA 3. Valores estimados e medidos de nitrogênio total por semanas na produção de suínos.

Os valores observados na tabela 2 e nas figuras 2 e 3, demonstram haver uma correlação entre os valores estimados e medidos para o nitrogênio e o fósforo na produção de suínos. Estudos conduzidos por DOURMAD et al. 2002 no desenvolvimento de modelo de predição de Ntotal e Ptotal, na produção de suínos, encontraram erros da ordem de 4,2% para o Ntotal e de 13% para o Ptotal. O coeficiente de correlação encontrado foi de  $R^2=0,84$  e  $R^2=0,86$ , respectivamente para Ntotal e Ptotal.

## CONCLUSÕES

O modelo matemático proposto para a estimativa da produção de dejetos em função do balanço de água permitiu calcular, com segurança o volume de dejetos, a partir dos dados coletados em campo. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) obtidos para as equações das regressões lineares determinadas nas granjas de produção de suínos nas fases de crescimento e terminação foi de  $R^2=0,808$ .

O modelo para nitrogênio e fósforo estima os valores para produção de suínos nas fases de crescimento e terminação, porém com erros aceitáveis para situação de campo onde a variabilidade das variáveis envolvidas não é desprezível.

## REFERÊNCIAS

- AARNIK, A.J.A.; OUWERKERK, VAN E.N.J.; VERSTEGEN, M.W.A. A mathematical model for estimating the amount and composition of slurry from fattening pigs. **Livestock production science**, v.31: 133-147, 1992.
- BABOT, Daniel Gaspa et al. Farm technological innovations on swine manure in Southern Europe. **Revista Brasileira de Zootecnia** [suplemento especial], v. 40, p. 334-343, 2011.
- DE GREEF, K. H. Modeling growth in the pig. Wageningen: Wageningen Pers, 1995. EAAP publication, 78. p. 151-163.
- DOURMAD, Jean-Yves; GUINGAND, Nadine; LATIMIER, P. Nitrogen and phosphorus consumption, utilisation and losses in pig production: France. **Livestock Production Science**, v. 58, p. 199–211, 1999.
- DOURMAD, Jean-Yves; POMAR, Candido; MASSÉ, Daniel. Modélisation du flux de composés à risque pour l'environnement dans un élevage porcin. **Journées de la recherche porcine en France**, v. 34, p. 183-194, 2002.

DOURMAD, Jean-Yves; POMAR, Candido; MASSÉ, Daniel. Mathematical modelling of manure production by pig farms. Effect of feeding and housing conditions. In: EASTERN NUTRITION CONFERENCE, 40, **Proceedings...** Animal Nutrition Association of Canada, Ottawa, Québec, 2003. 15p.

NARDI, Vanessa Karina. **Produção de efluente e balanço de nutrientes em granjas de terminação de suínos no oeste do estado do Paraná.** 2009. 67p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2009.

OLIVEIRA, Paulo Armando Victória de de. **Comparaison des systèmes d'élevage des porcs sur litière de sciure ou caillebotis integral.** 1999. 264p. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, L'ENSAR, Université de Rennes, Rennes, France, 1999.

OLIVEIRA, Paulo Armando Victória de. Modelo matemático para estimar a evaporação d'água contida nos dejetos, em sistemas de criação de suínos sobre cama de maravalha e piso ripado, nas fases de crescimento e terminação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 23, n. 3, p. 398-406, 2003.

TAVARES, Jorge Manuel Rodrigues. **Consumo de água e produção de dejetos na suinocultura.** 2012. 230p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2012.

SAS INSTITUTE INC. System for Microsoft Windows, Release 9.2, Cary, NC, USA, 2002-2008. (cd-rom).