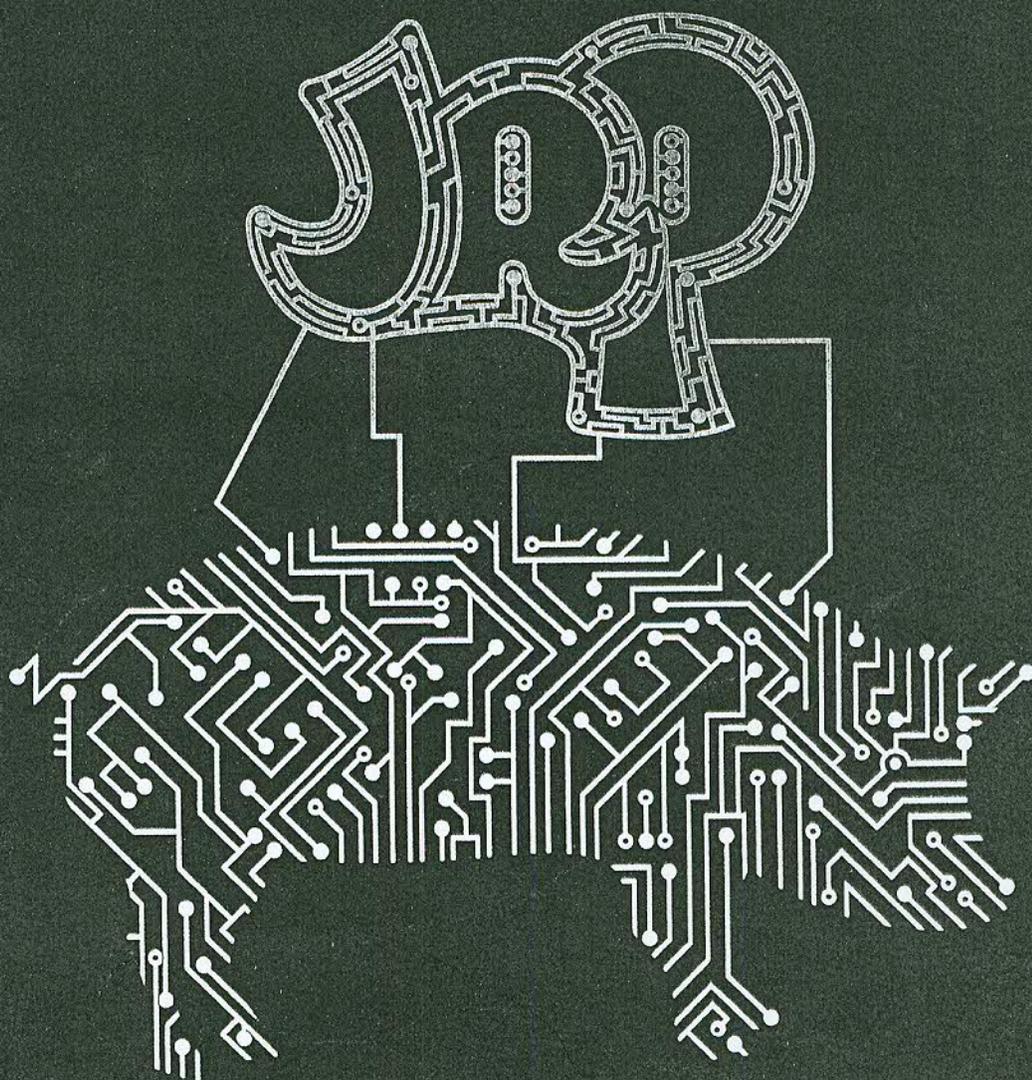


èmes Journées
49 de la Recherche
Porcine



31 janvier et 1^{er} février 2017





49^{èmes} Journées de la Recherche Porcine

sous l'égide de l'Association Française de Zootechnie

31 janvier et 1^{er} février 2017



Modélisation du volume et de la composition du lisier des porcelets en post-sevrage au Brésil

Paulo Armando V. de OLIVEIRA (1), Paulo BELLI FILHO (2), Arlei COLDEBELLA (1), Jorge M. R. TAVARES (2), Paul ROBIN (3)

(1) EMBRAPA SUÍNOS E AVES, Caixa Postal 21, 89.700-000 Concórdia/SC, Brésil

(2) ENS-UFSC, Caixa Postal 476, 88.040-970 Florianópolis/SC, Brésil

(3) INRA, UMR Sol-Agronomie-Spatialisation, 65 rue de St Brieuc, 35042 Cedex, France

paulo.armando@embrapa.br

Modélisation du volume et de la composition du lisier des porcelets en post-sevrage au Brésil

Nous avons développé un modèle de prédiction du volume et de la composition du lisier produit par les porcelets en post-sevrage, à partir des articles publiés dans la littérature. Ce modèle a été validé au cours d'une expérience conduite dans le sud du Brésil, pendant 14 mois, dans 4 fermes commerciales de production de porcelets (7 et 25 kg de poids vif). On considère les flux générés depuis l'entrée des aliments et de l'eau jusqu'à la sortie des effluents. Le modèle calcule la teneur des effluents en matière sèche, en azote et en phosphore en prenant en compte les effets de la gestion des animaux (effectifs, performances), de celle de l'alimentation (quantité et composition des aliments, abreuvement) et de celle du bâtiment (température ambiante, ventilation, évacuation des effluents, lavage). Le modèle a été validé à partir de 16 lots de porcelets en post-sevrage. Deux saisons (froide et chaude) avec un effectif total de 26.695 porcelets ont été étudiées. Le modèle s'est avéré fiable et robuste pour la prédiction du volume d'effluent produit ($R^2 = 0,93$, sa composition en azote ($R^2 = 0,69$ et en phosphore ($R^2 = 0,73$). Le modèle ainsi adapté est utilisable en conditions réelles de production porcine dans le sud du Brésil.

Modelling the amount and composition of manure from weaned piglets in Brazilian commercial farms

A model to predict the volume and composition of the manure produced in commercial farms of weaned piglets was developed from articles published in the literature. The model was then validated in an experiment conducted over 14 months in 4 commercial farms (7 to 25 kg live weight of piglets) in southern Brazil. The fluxes of water and feed consumed by the animals were used as model inputs, and the manure produced was predicted. The dry matter, nitrogen and phosphorus contents were predicted by the model considering the effects of animal management (herd size and animal performance), feed and water management (quantity and composition of feed, water use) and housing conditions (room temperature, ventilation, manure disposal, cleaning facilities). The model was validated using the results of 16 batches of weaned piglets. Two periods of time (cold and warm periods), with a total of 26,695 piglets were monitored. The model proved to be robust and reliable to predict the volume of manure produced ($R^2 = 0.93$ as well as its content in nitrogen ($R^2 = 0.69$) and phosphorus ($R^2 = 0.73$). The model can be used in commercial farms in southern Brazil.

INTRODUCTION

La prédiction du volume et de la composition des lisiers produits par un élevage de porcelets nécessite d'identifier les principales variables qui influencent le fonctionnement de l'atelier. S'agissant de l'eau, les principales entrées sont l'abreuvement, le lavage et le refroidissement évaporatif. Les principales sorties sont l'évaporation, la rétention corporelle et les effluents (Oliveira *et al.*, 1998). Le bilan d'eau peut être influencé par le type d'abreuvoir, la ventilation et le climat, et la conduite de l'élevage (Brumm, 2006; Brumm *et al.*, 2000). La stœchiométrie des éléments dans le lisier va dépendre de la ration, de la rétention corporelle, de la durée d'élevage et de la fréquence d'évacuation du lisier. Comme le rappellent Rigolot *et al.* (2010), des modèles nécessitant peu de variables d'entrée, observables en élevage, sont préférables à des modèles mécanistes pour analyser les conséquences de changements de pratiques sur la production d'effluents. Parmi les modèles proposés dans la littérature, Doumad *et al.* (2002) et Rigolot *et al.* (2010) proposent une description complète et opérationnelle des processus. Toutefois les équations ont été développées pour des climats tempérés et la question est posée de leur adaptation aux conditions chaudes rencontrées au Brésil. C'est l'objectif de ce travail.

1. MATERIELS ET METHODES

1.1. Dispositif expérimental

L'expérience a été réalisée de juillet 2014 à septembre 2015 dans 4 fermes commerciales situées dans l'ouest de l'État de Santa Catarina au sud du Brésil, selon la méthodologie présentée par Tavares (2014). Les 4 exploitations choisies ont été identifiées et sélectionnées sur la base des conditions suivantes pour réduire les causes possibles de variation : a) production dans la même région géographique ; b) producteurs des porcelets issus des mêmes compagnies ; c) exploitations de post-sevrage ; d) conditions de logement facilitant la mise en œuvre des matériels de mesure. Les groupes de porcelets ont été suivis, dans les 4 exploitations choisies, au cours de deux saisons différentes, froide et chaude (16 cycles de production, 26.695 porcelets).

Les animaux utilisés pendant l'expérimentation étaient de race Large White × Landrace, pour la mère, et Large White × Piétrain, pour le père. Les animaux étaient pesés en début d'élevage et en fin du post-sevrage.

La surface utile pour les animaux, dans chaque case, était de 0,32 m²/porcelet, avec un sol en caillebotis partiel. Les porcelets avaient accès en permanence à un abreuvoir par case, en accord avec les recommandations professionnelles du secteur. Les animaux ont été répartis de manière aléatoire en fonction du sexe dans les deux côtés des bâtiments d'élevage, chaque case contenait une moyenne de 40 ± 2 porcelets. L'effectif total variait en fonction de la capacité de chaque bâtiment. Les porcs ont été nourris à volonté, avec un régime alimentaire multiphase à base de maïs et de tourteau de soja, calculé suivant les recommandations de Rostagno *et al.* (2011), avec de l'aliment granulé.

1.2. Système de mesure des volumes d'eau et de lisier

La mesure de la consommation d'eau a été réalisée du début à la fin du post-sevrage des porcelets. Les volumes d'eau consommés par les animaux (ingérés et gaspillés) et utilisés

pour le lavage du bâtiment ont été enregistrés tous les jours. Au total, 18 compteurs d'eau (Unimag Cyble PN 10, Itron Inc., Liberty Lake, Washington) ont été installés dans les exploitations retenues. La production de lisier a été mesurée à l'aide de cuves de 5,0 m³ de volume (Fibratex PRFV 819 et Fortlev ; Araquari, SC, Brazil), installées entre le bâtiment et la fosse de stockage. Les mesures de compteurs d'eau et de volume de lisier, dans chaque bâtiment, ont été enregistrées par les producteurs, toutes les 24 heures, puis recueillies par des techniciens de l'Embrapa, pour vérification et analyse statistique. Le lisier produit a été échantillonné chaque semaine et envoyé au laboratoire de l'Embrapa pour l'analyse physico-chimique. Les paramètres analysés selon les méthodes standardisées étaient les suivants : matière sèche (totale, organique et minérale), azote total (NTK) et phosphore (P).

1.3. Les mesures sur les aliments

Les différents régimes alimentaires ont été échantillonnés chaque semaine dans chaque élevage par les techniciens de l'Embrapa, et envoyés au laboratoire de l'Embrapa pour analyse physico-chimique de la matière sèche, de l'azote total (NTK) et du phosphore (P). Les quantités d'aliment livrées et les dates de livraisons étaient celles indiquées dans le dossier d'élevage.

1.4. Température et humidité relative de l'air

Des enregistreurs de données Testo 174H (Testo AG, Lenzkirch, Allemagne) ont été installés entre 1,5 et 2,0 mètres au-dessus du sol, au centre de chaque bâtiment d'élevage pour mesurer la température et l'humidité relative de l'air. Les données, enregistrées toutes les heures, ont été stockées puis les moyennes ont été déterminées par semaine de logement pour chaque bâtiment.

1.5. Description du modèle de calcul

Les principales équations utilisées pour le calcul des bilans sont décrites ci-après.

1.5.1. Bilan de matière sèche

La quantité de matière sèche (MS) excrétée dans les fèces est calculée à partir du coefficient de digestibilité de l'aliment qui dépend de sa teneur en NDF (110 g/kg environ). La quantité de matière organique dépend en plus de la teneur en énergie digestible (ED, 14,6 MJ/kg environ) et en matière minérale (MM, g/kg) selon les équations développées par Le Goff et Noblet (2001). La valeur du coefficient de dégradation de la matière organique (C, %/j) est fonction de la teneur en MS et de la température du lisier (Aarnink *et al.*, 1992). Les équations utilisées pour le calcul du bilan de MS sont rapportées ci-après:

Excrétion de matière sèche (QMS_{Fèces}, kg/j)

$$QMS_{Fèces} = \text{Aliment} \times MS_{\text{aliment}} \times (1 - Cud_{MS}), \text{ où}$$

$$Cud_{MS} = 0,709 + (17,94 - 0,49 \text{ NDF} - 1,09 \text{ MM}) / MS_{\text{aliment}}$$

$$QMO_{Fèces} = \text{Aliment} \times MO \times (1 - Cud_{MO}), \text{ où}$$

$$Cud_{MO} = (0,744 + (14,69 \text{ ED} - 0,50 \text{ NDF} - 1,54 \text{ MM}) / MS_{\text{aliment}}) / (MO / MS_{\text{aliment}})$$

Dégradation de la matière organique (QMO_{deg})

$$QMO_{deg} = QMO_{Fèces} \times C \times \text{Durée}_{\text{stockage}} / 2$$

Quantité de MS dans le lisier

$$QMS_{\text{lisier}} = QMS_{Fèces} - QMO_{deg} + (N_{\text{urinaire}} - N_{\text{volatilisation}}) \times 17/14$$

La quantité de matière sèche excrétée dans les fèces est calculée à partir du coefficient de digestibilité de l'aliment qui

dépend de sa teneur en NDF (g/kg). La quantité de matière organique dépend en plus de la teneur en énergie digestible (ED, MJ/kg) et en matière minérale (MM, g/kg). Ces équations ont été développées par Le Goff et Noblet (2001). La valeur du coefficient de dégradation de la matière organique (C, %/j) est fonction de la température et de la teneur en MS du lisier (Aarnink *et al.*, 1992). Nous avons utilisé la valeur de 0,343.

1.5.2. Bilan d'eau et quantité de lisier

La prédiction de la quantité d'eau du lisier est réalisée à partir du bilan d'eau pour le compartiment animal + bâtiment et de la quantité d'eau utilisée dans la production des porcs. Ce bilan a été bien décrit dans les articles de Dourmad *et al.* (2002), Oliveira *et al.* (1998) et Oliveira (1999). Nous présentons ici seulement les principales équations impliquées.

Eau de l'effluent (kg eau/porc/j)

$$Eau_{Lisier} = Eau_{Bilan} + Eau_{Lavage} \text{ (Total/j)}$$

Bilan d'eau (kg eau/j)

$$Eau_{Bilan} = Eau_{Boisson} + Eau_{Alliment} + Eau_{Métabolique} - Eau_{Retenue} - Eau_{Évaporée}$$

Quantité et volume de lisier (kg lisier/porc/j)

$$Lisier_{Quantité} = Eau_{Lisier} + QMS_{Lisier}$$

$$Lisier_{Volume} = Lisier_{Quantité} / Densité_{Lisier}$$

$$Densité_{Lisier} = 1000 + 0,49 MS_{Lisier} \text{ (g/kg)}$$

1.5.3. Bilan de composés azotés

L'excrétion azotée ($N_{Excrété}$) totale est calculée par différence entre les quantités retenues et les quantités ingérées par les animaux (Dourmad *et al.*, 2002). La quantité de matière azotée excrétée dans les fèces est calculée à partir du coefficient de digestibilité de la matière azotée (CudN) de l'aliment. Ce coefficient peut être estimé à partir de la teneur en énergie digestible (ED, MJ/kg), en matière minérale (MM, g/kg) et en NDF (g/kg) de l'aliment à l'aide des équations établies par Le Goff et Noblet (2001). La volatilisation de l'azote, supposée être essentiellement sous forme d'ammoniac, est estimée en appliquant un coefficient de volatilisation à la quantité excrétée. Nous utilisons la valeur du coefficient moyen de 0,24 qui correspond à l'estimation de Dourmad *et al.* (1999) pour des bâtiments d'engraissement sur caillebotis béton. Ce coefficient est ensuite modulé pour prendre en compte les facteurs susceptibles de modifier la volatilisation : effets de la concentration en N ammoniacal (Effet_{T_{Nam}}) et de la température du lisier (Effet_{Temp}). Dans notre cas, nous avons fixé les coefficients des paramètres du taux de renouvellement de l'air (Effet_{Renouv} = 0,48), du type de sol (Effet_{Sol} = 0,8), du type de ventilation (Effet_{Ventilation} = 1,0 et du rythme d'évacuation du lisier du bâtiment (Effet_{Rythme} = 0,65). Les effets de la plupart de ces paramètres sont issus de relations empiriques dérivées de la littérature ou du modèle de prédiction de la volatilisation d'ammoniac en bâtiment d'engraissement développé par Aarnink et Elzink (1998). Les différentes équations utilisées pour le calcul du bilan d'azote sont rapportées ci-après :

Excrétion azotée (g N/porc/j)

$$N_{Excrété} = N_{Ingéré} - N_{Retenu}$$

$$N_{Fèces} = N_{Ingéré} \times (1 - CudN)$$

$$CudN = (-0,128 + (7,80 ED + 0,87 MAT) / MS_{Alliment}) / (MAT/MS_{Alliment})$$

$$N_{Urinaire} = N_{Excrété} - N_{Fèces}$$

Volatilisation de l'azote ammoniacal (g N/porc/j)

$$N_{Volatilisé} = Coeff_{Volat} \times N_{Excrété}$$

$$Coeff_{Volat} = 0,24 \times Effet_{TNam} \times Effet_{Temp} \times Effet_{Renouv} \times Effet_{Ventil} \times Effet_{Sol} \times Effet_{Rythme}$$

Azote du lisier (g N/porc/j)

$$N_{Lisier} = N_{Excrété} (1 - Coeff_{Volat})$$

$$Teneur_{N_{Total}} = N_{Lisier} / Lisier_{Quantité} \text{ (g N/kg lisier)}$$

$$N_{Ammoniacal} = N_{Urinaire} - N_{Volatilisé} + N_{Fèces} \times C \times Durée_{Stockage} / 2$$

$$Teneur_{N_{Ammoniacal}} = N_{Ammoniacal} / Lisier_{Quantité} \text{ (g/kg)}$$

L'influence de la température du lisier sur la volatilisation d'azote est évaluée à partir des paramètres du modèle de Aarnink et Elzink (1998). La valeur moyenne de la température ambiante dans les essais ayant conduit au coefficient de volatilisation de 0,24 peut être estimée à 23-24°C, ce qui correspond à une température du lisier d'environ 22°C (Granier *et al.*, 1996). La valeur du paramètre Effet_{Temp} est donc fixée à 1 pour une température du lisier de 22°C. Elle passe à respectivement 0,77 et 1,24 lorsque la température du lisier diminue ou augmente de 20%. La température du lisier peut être estimée à partir de la température ambiante à l'aide de l'équation issue des travaux de Granier *et al.* (1996). L'influence de la nature du sol sur les émanations d'ammoniac a été relativement peu étudiée. Généralement les émanations d'ammoniac sont réduites, de l'ordre de 20 à 30%, lorsque l'on utilise un caillebotis béton partiel au lieu d'un caillebotis béton intégral (Aarnink *et al.*, 1995), mais l'effet n'est pas systématique puisque Guingand et Granier (2001) n'observent pas de réduction en saison froide et notent même une augmentation en saison chaude, l'hygiène générale des animaux étant par ailleurs dégradée.

1.5.4. Bilan de phosphore

Le bilan de phosphore est calculé par différence entre les quantités ingérées et retenues par les porcs. Pour les animaux en croissance, la rétention est calculée par différence entre les quantités corporelles en fin et en début de post-sevrage. La quantité de minéraux contenus dans les tissus corporels est déterminée à partir d'équations établies par le CORPEN (2003).

Excrétion de phosphore (g P/porc/j)

$$P_{Excrété} = P_{Ingéré} - P_{Retenu}$$

Rétention de phosphore (g P/porc/j)

$$P_{Retenu} = P_{Corp} \text{ (fin)} - P_{Corp} \text{ (début)}$$

$$P_{Corp} \text{ (g)} = 5,3 PV$$

1.6. Analyses statistiques

Le logiciel SAS (SAS Inst. Inc., Cary, NC, USA) a été utilisé pour l'analyse statistique des différentes variables mesurées. Les estimations par le modèle ont été comparées aux données observées en élevage. Les coefficients de détermination et les erreurs de prédiction ont été calculés pour les relations entre les données prédites et observées à l'aide de la procédure REG de SAS. On peut considérer que l'erreur de prédiction peut traduire un biais (erreur systématique) du modèle (ou des observations) tandis que le coefficient de détermination traduit la dispersion des prédictions (erreur aléatoire).

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Résultats zootechniques moyens des élevages

La moyenne des résultats zootechniques des porcs élevés, ainsi que le nombre d'animaux et de jours d'élevage, ainsi que la consommation totale d'eau et d'aliments sont présentées dans le Tableau 1. Ces résultats observés sur 16 lots ont été extrapolés aux 32 lots observés pour la production de lisier.

Tableau 1 - Résultats zootechniques des élevages.

Paramètre	Moyenne/porcelet ^a
Poids d'entrée (kg)	7,36 ± 0,98
Poids de sortie (kg)	24,76 ± 2,62
Consommation totale d'aliment (kg/j)	0,58 ± 0,05
Durée d'élevage (j)	35 ± 2
Indice de consommation (kg/kg)	1,43 ± 0,05
GMQ global (g/j)	440 ± 40
Nombre de porcelets suivis	26.695

^a moyenne ± écart-type (entre lots).

2.2. Caractéristiques physico-chimiques des lisiers

Les résultats des caractéristiques physico-chimiques des lisiers sont présentés dans le Tableau 2.

Tableau 2 - Caractéristiques physico-chimiques des lisiers (moyenne, écart-type, minimum et maximum).

Paramètre	Moyenne	Max.	Min.
Matière sèche, g·L ⁻¹			
Totale	40,9±20,2	74,5	14,9
Minérale	9,8±3,9	16,9	5,5
COT, g·L ⁻¹	17,1±9,2	30,8	4,5
Azote total, g·L ⁻¹	3,3±1,4	6,2	1,3
N-NH ₄ ⁺ , g·L ⁻¹	1,6±0,5	2,8	1,0
Phosphore total, g·L ⁻¹	0,7±0,3	1,3	0,3

CTO = Carbone organique total

2.3. Température et humidité mesurées dans les élevages

Les mesures de températures et d'hygrométrie de l'air ambiant dans les bâtiments sont présentées dans le Tableau 3.

Tableau 3 - Température et humidité mesurées dans les élevages (moyenne et écart-type).

Paramètre	Intérieur	Extérieur
Température (°C)	24,0 ± 1,5	18,1 ± 3,3
Humidité (%)	69,6 ± 11,4	85,2 ± 9,9

Nous pouvons observer que les performances zootechniques étaient bonnes bien que les températures d'ambiance (24 ± 1,5°C) soient voisines de la limite inférieure de la zone de thermoneutralité (24 - 27°C).

2.4. Volumes de lisier

Au total, 16 lots de porcs ont été observés dans les 4 élevages suivis, en périodes froide et chaude. Le Tableau 4 présente les résultats obtenus pour la quantité moyenne journalière d'eau utilisée par porc (2,68±0,83 L eau/porc/j) et le volume moyen journalier de lisier produit, exprimé aussi par porc (1,57±0,60 L lisier/porc/j). Ces résultats sont présentés de manière plus détaillée par Tavares (2016). La consommation moyenne d'eau était inférieure à la plupart des résultats rapportés dans la littérature (Froese, 2003 ; Ferreira *et al.*, 2006 ; Massabie *et al.*, 2014). Toutefois, récemment, Guerini Filho *et al.* (2015) ont observé des valeurs inférieures à nos observations. La production moyenne de lisier observée dans notre étude était inférieure à celles observées par plusieurs auteurs (Froese, 2003 ; Ferreira *et al.*, 2006) ce qui peut s'expliquer par une évaporation plus élevée dans notre cas et une consommation

moindre d'eau.

Tableau 4 - Consommation d'eau et production de lisier. Moyenne et écart-type observés dans les élevages.

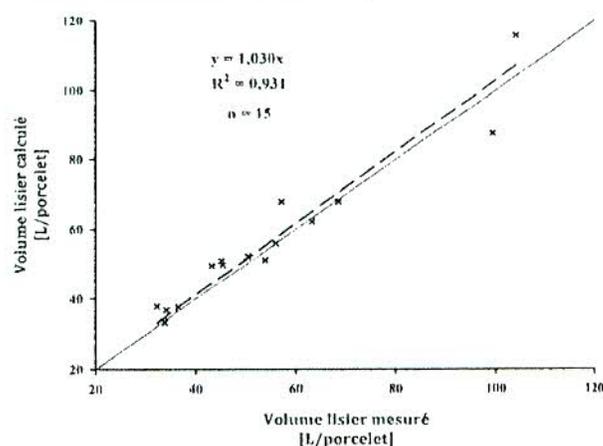
Paramètre (L/porcelet/j)	n ^a	Période expérimentale		
		Moyenne ^b	Max.	Min.
Consommation d'eau sur 35 jours	16	2,68±0,83	4,72	1,26
Production de Lisier Sur 35 jours	16	1,57±0,60	3,03	0,62

^a nombre de cycles observé.

^b moyenne et écart-type.

Le modèle prédit de façon satisfaisante le volume total de lisier produit sur la période totale d'élevage des porcelets (Figure 1). Le coefficient de détermination (R²) s'élève à 0,931 et l'erreur de prédiction est de 8,0 ± 6,3 % de la valeur moyenne (0,13 L/porc/j). Les résultats de l'estimation du volume de lisier sont voisines des valeurs rapportées dans la littérature: volumes estimés à 51,8 et 47,0 L/porc ; volumes mesurés à 52,0 et 46,0 L/porc, respectivement (Dourmad *et al.*, 2002).

Le modèle proposé apparaît donc relativement précis pour la prédiction du volume de lisier produit à la sortie des élevages. Il prédit le volume de lisier avec une incertitude aléatoire («fidélité») voisine de 10%. (Figure 1).

**Figure 1** –Relation entre le volume de lisier prédit par le modèle et le volume mesuré.

2.5. Quantité totale de phosphore du lisier

Pour la validation du modèle pour la prédiction du flux de phosphore, des mesures ont été réalisées sur 12 lots de porcs. Les relations entre les valeurs prédites et mesurées pour le flux de phosphore sont présentées à la figure 2. En moyenne, la valeur mesurée est supérieure à la valeur calculée d'environ 15% (Tableau 5) pour l'erreur absolue sur le rejet voisin de 0,21 g/porc/jour. La valeur du R² (0,67) est plus faible que celle de l'eau. Pendant le stockage, le phosphore sédimente fortement et il est possible que l'échantillonnage ne permette pas de recueillir complètement les couches profondes enrichies en phosphore. En conséquence, nous considérons que le biais vient plus probablement des observations et que le modèle est « juste », avec une incertitude aléatoire voisine de 10% pour la prédiction des rejets de phosphore.

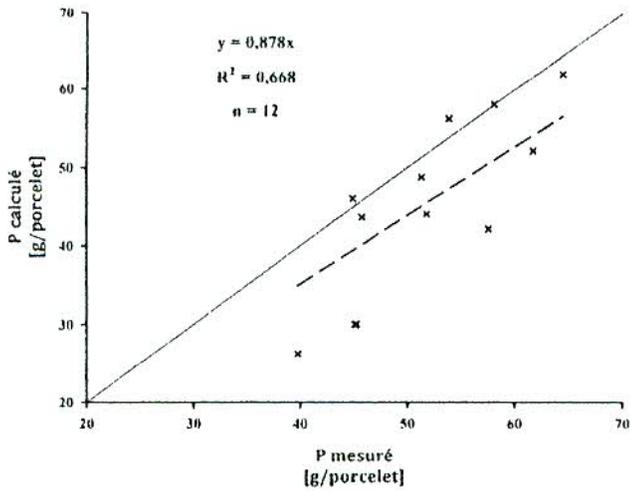


Figure 2 - Relation entre les valeurs prédites par le modèle et les observations de phosphore produit par porc.

2.6. Quantité totale d'azote du lisier

Les données obtenues ont été utilisées pour la prédiction des flux d'azote dans le lisier sur 12 lots de porcs. Les relations entre les valeurs prédites et mesurées pour le flux d'azote et la teneur dans le lisier sont présentées à la Figure 3.

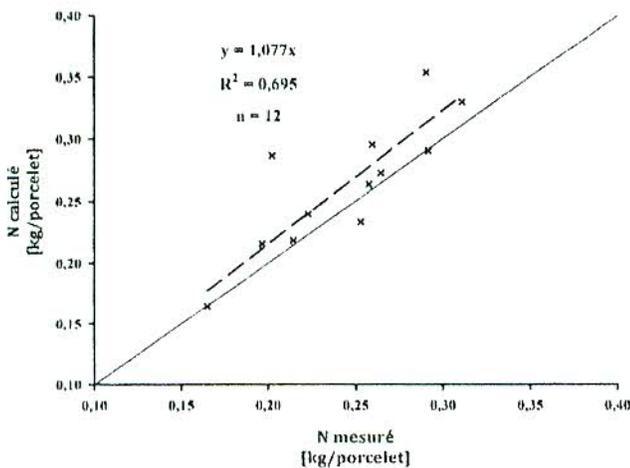


Figure 3 - Relation entre les valeurs prédites par le modèle et les observations d'azote produit par porc.

La pente de la relation entre les valeurs calculées et les valeurs mesurées est de 1,077 (Figure 3), le coefficient de détermination (R^2) de 0,695, l'erreur de prédiction étant de 0,02 kg/porc/cycle soit 9,4 % de la valeur moyenne mesurée (0,24 kg/porc).

2.7. Quantité totale de potassium du lisier

La Figure 4 présente les relations entre les valeurs prédites et calculées pour le flux de potassium dans le lisier. Les valeurs prédites sont supérieures de 10% environ aux valeurs observées. La quantité de potassium prédite ($146 \pm 25,6$ g/porc), est supérieure à la quantité mesurée ($130 \pm 22,8$ g/porc) avec R^2 de 0,969.

La quantité de matière sèche est en revanche mal prédite (R^2 de 0,262) ce qui peut s'expliquer par les difficultés d'échantillonnage du fond de fosse, par la proportion variable de matières volatiles qui disparaissent en partie au séchage, par une faible variabilité des teneurs « vraies » qui rend le calcul d'un coefficient de corrélation imprécis.

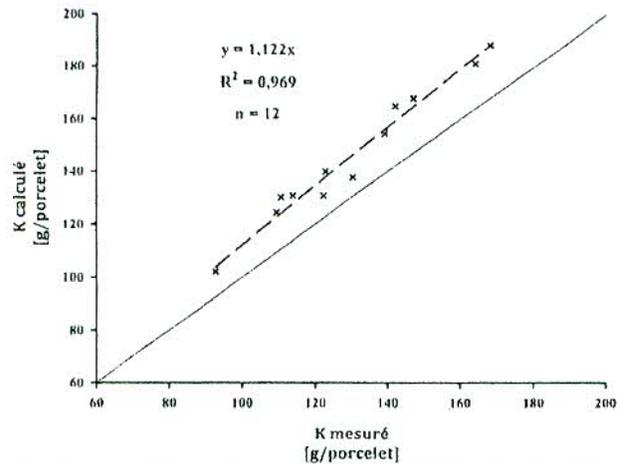


Figure 4 - Relation entre les valeurs prédites par le modèle et les observations de potassium produites par porc.

2.8. Qualité des prédictions et erreurs de prédiction

La moyenne et l'écart-type de l'écart entre les valeurs prédites et calculées pour les flux de N, P et MS dans le lisier sont récapitulées au tableau 5. En l'absence de calage des paramètres, le modèle que nous utilisons permet de prédire avec une précision satisfaisante le volume du lisier à la sortie du bâtiment, avec une erreur de prédiction de $8,0 \pm 6,3$ %, les flux de phosphore et de potassium avec des erreurs respectives de $14,9 \pm 13,6$ % et $12,2 \pm 3,6$ %. L'erreur de prédiction pour l'azote ($9,4 \pm 11,8$ %) peut également être considérée comme acceptable.

Tableau 5 - Moyenne et écart-type de la différence entre valeurs absolues prédites et mesurées pour le volume de lisier et les quantités d'azote, de phosphore et de Potassium, et erreur de prédiction (en % de la moyenne mesurée).

Paramètre	Erreur prédite pour porcelet	Erreur prédiction (%)
Lisier (L/porcelet/j)	$0,13 \pm 0,12$	$8,0 \pm 6,3$
Azote (g/porcelet/j)	$0,66 \pm 0,74$	$9,4 \pm 11,8$
Phosphore (g/porcelet/j)	$0,21 \pm 0,18$	$14,9 \pm 13,6$
Potassium (g/porcelet/j)	$0,45 \pm 0,15$	$12,2 \pm 3,6$

Les données ont été obtenues dans des élevages commerciaux où de nombreux facteurs d'élevage (température ambiante, type de sol, ventilation) sont susceptibles d'interférer, alors que le modèle a été développé sur la base de relations empiriques moyennes ou de prédictions issues de modèles plus mécanistes. Certains paramètres du modèle, comme par exemple le coefficient de volatilisation de l'azote, mériteraient d'être affinés et mesurés dans les conditions brésiliennes de production.

CONCLUSION

Les résultats obtenus indiquent que le modèle testé peut être utilisé dans les élevages de porcs du sud du Brésil, avec toutefois des limites. Les volumes et concentrations en azote, phosphore et potassium sont prédits de façon acceptable en l'absence de calage des paramètres. Si nous constatons que les biais persistent dans d'autres régions, un calage des paramètres est envisageable pour corriger ce biais. Concernant la prédiction de la matière sèche, l'analyse doit être poursuivie dans des conditions plus contrôlées afin de déterminer la part de

l'observation et la part du modèle dans l'absence de corrélation entre valeurs prédites et observées.

REMERCIEMENTS

La réalisation de ce projet a été rendue possible grâce à la contribution financière de l'AINCADESC/SINDICARNE-SC, EMBRAPA, Brasil Foods (BRF), FAPESC, CAPES et PPGA-UFSC.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aarnink A.J.A., Elzing A., 1998. Dynamic model for ammonia volatilization in housing with partially slatted floors, for fattening pigs. *Livest. Prod. Sci.*, 53, 153-169.
- Aarnink A.J.A., Keen A., Metz J.H.M., Speelman L.; Verstegen M.W.A., 1995. Ammonia emission patterns during the growing periods of pigs housed on partially slatted floors. *J. Agric. Eng. Res.*, 62, 105-116.
- Aarnink A.J.A., Ouwkerk E.N.J., van Verstegen M.W.A., 1992. A mathematical model for estimating the amount and composition of slurry from fattening pigs. *Livest. Prod. Sci.*, 31, 133-147.
- Brumm, M., 2006. Patterns of drinking water use in pork production facilities. In: Nebraska swine report. Institute of Agriculture and Natural Resources, Nebraska. p. 10-13.
- Brumm M., Dahlquist J.; Heemstra J., 2000. Impact of feeders and drinker devices on pig performance, water use and manure volume. *Swine Health and Production*, 8, p. 51-57.
- CORPEN, 2003. Estimation des rejets d'azote et de phosphore des élevages de porc. CORPEN (Ed) Paris, 41 pages.
- Dourmad J.Y., Guingand N., Latimier P., Seve B., 1999. Nitrogen and phosphorus consumption, utilization and losses in pig production: France. *Livest. Prod. Sci.*, 58, 199-211.
- Dourmad J.Y., Pomar C., Massé D., 2002. Modélisation du flux de composés à risque pour l'environnement dans un élevage porcin. *Journées Rech. Porcine en France*, 34, 183-194.
- Ferreira, L. J. M.; Duarte, E. C. N. F. d'A.; Tavares, J. M. R.; Almeida, R., 2006. Determinação das emissões (para o ar e para a água) no sector da suinicultura nacional. Relatório final do protocolo celebrado entre o IA e a ADISA do ISA no domínio PCIP/Pecuária Intensiva/Suinocultura. 110p.
- Froese, C., 2003. Water usage and Manure production rates in today's pig industry. *Advances in Pork Production*, 14, p. 19-22.
- Granier R., Guingand N., Massabie P., 1996. Influence du niveau d'hygrométrie, de la température et du taux de renouvellement de l'air sur l'évolution des teneurs en ammoniac. *Journées Rech. Porcine en France*, 28, 209-216.
- Guerini Filho, M., Dal Soler, A. L., Casaril, C. E., Lumi, M., Reginatto, V. P., Konrad, O., 2015. Análise do consumo de água e do volume de dejetos na criação de suínos. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, 5, p. 64-69.
- Guingand N., Granier R., 2001. Comparaison caillebotis partiel et caillebotis intégral en engraissement: effets sur les performances zootechniques et sur l'émission d'ammoniac. *Journées Rech. Porcine en France*, 33, 31-36.
- Le Goff G., Noblet J., 2001. Utilisation digestive comparée de l'énergie des aliments chez le porc en croissance et la truie adulte. *Journées Rech. Porcine en France*, 33, 211-220.
- Massabie, P., Roy, H., Boulestreau-Boulay, A.-L., Dubois, A., 2014. La consommation d'eau en élevage de porcs: des leviers pour réduire la consommation d'eau en élevage de porcs. IFIP- Institut du porc, Paris, France. 16p.
- Oliveira P.A.V., 1999. Comparaison des systèmes d'élevage des porcs sur litière de sciure ou caillebotis intégral. Thèse de doctorat, L'ENSAR Rennes, France, 264 p.
- Oliveira P.A.V., Robin P., Kermarrec C., Souloumiac D., Dourmad Y.V., 1998. Comparaison de l'évaporation d'eau en élevage de porcs sur litière de sciure ou caillebotis intégral. *Journées Rech. Porcine en France*, 30, 355-361.
- Rigolot, C., Espagnol, S., Pomar, C., Dourmad, J.-Y., 2010. Modelling of manure production by pigs and NH₃, N₂O and CH₄ emissions. Part I: animal excretion and enteric CH₄, effect of feeding and performance. *Animal*, 4, p. 1401-1412.
- Rostagno H.S., Albino L.F.T., Donzele J.L., Gomes P.C., Oliveira R.F., Lopes D.C., Ferreira A.S., Barreto S.L.T., Euclides R.F., 2011. Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais. 3ª Edição, UFV, Dep. de Zootecnia, Viçosa, Brasil, 252p.
- Tavares J.M.R., Belli Filho P., Coldebella A. Oliveira P.A.V., 2014. The water disappearance and manure production at commercial growing-finishing pig farms. *Livestock Science*, 169, 146-154.
- Tavares J.M.R., 2016. Modelling of water disappearance, manure production and greenhouse gas and ammonia emissions at commercial pig farms. PhD. Univ. Federal Santa Catarina (UFSC) soutenue le 30 septembre 2016. 221p.