

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

**MODELAGEM INDIVIDUAL E EM TEMPO REAL DAS
EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DE SUÍNOS EM
CRESCIMENTO**

TESE DE DOUTORADO

LUCIANO HAUSCHILD

**Santa Maria, RS, Brasil
2010**

**MODELAGEM INDIVIDUAL E EM TEMPO REAL DAS
EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DE SUÍNOS EM
CRESCIMENTO**

por

Luciano Hauschild

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-
Graduação em Zootecnia, Área de Concentração
Produção Animal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS),
como
requisito parcial para obtenção do grau de
Doutor em Zootecnia

Orientador: Prof. Dr Paulo Alberto Lovatto

**Santa Maria, RS, Brasil
2010**

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Zootecnia**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Tese de Doutorado

**MODELAGEM INDIVIDUAL E EM TEMPO REAL DAS EXIGÊNCIAS
NUTRICIONAIS DE SUÍNOS EM CRESCIMENTO**

elaborada por
Luciano Hauschild

como requisito parcial para obtenção do grau de
Doutor em Zootecnia

Comissão Examinadora:

Paulo Alberto Lovatto, Dr
(Presidente/Orientador)

Candido Pomar, PhD (AGRIFOOD – Canadá)

Alexandre de Mello Kessler, Dr (UFRGS)

Vicente Celestino Silveira Pires, Dr (UFMS)

Irineo Zanella, Dr (UFMS)

Santa Maria, 12 de março de 2010.

Dedicatória

A minha família pelo incentivo e apoio para prosseguir nos estudos e pela presença constante nos momentos difíceis.

Agradecimentos

A Deus, por iluminar cada passo de minha vida.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela concessão de uma bolsa de estudo no exterior e outra nacional.

Ao AGRIFOOD do Canadá pela concessão de uma bolsa de estudo durante 18 meses.

Ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal de Santa Maria, RS, pela oportunidade.

Ao professor Paulo Alberto Lovatto pela orientação, preocupação com minha formação e pela grande amizade estabelecida nesses anos de convivência.

Ao pesquisador Candido Pomar ao qual sou extremamente grato pelo acolhimento no Canadá como também pela orientação tanto profissional como pessoal.

A toda equipe de pesquisadores, técnicos e estudantes do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Gado de leite e Suínos do AGRIFOOD. Um agradecimento especial a Normand Ouellet, Marie-Pierre Létourneau-Montminy, Cristiano Cortês e Luigi Falcitano.

Aos professores João Radünz Neto, Gerson Guarez Garcia, Irineo Zanella, Arlei Bonet de Quadros pelos ensinamentos e apoio.

Aos consultores da Revista Animal (Cambridge) e do comitê da Journée de la Recherche Porcine pelas críticas e sugestões aos trabalhos encaminhado a estes periódicos.

A equipe do setor de suínos, em especial a Cheila, Carlos, Inês, Bruno, Eloisa, Glauber, Gustavo, Rodrigo, Marcos Ceron e Cristieli pelo apoio e demonstração de amizade.

Aos amigos, Marcos Raber, Leandro Alebrante, Gustavo Pinto, Gilson Crumenauer, Fábio Pedron, Lisiane, Rômulo, Vagner, Germano, Marquel, Jonas e Ivonaica por essa nossa longa e constante amizade.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização desse trabalho.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	16
<u>CAPÍTULO 1</u> - ESTADO DA ARTE DE ESTIMATIVAS DAS EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS: ESTUDO BIBLIOGRÁFICO.....	17
1.1 Programas nutricionais para suínos no Brasil e Canadá	17
1.1.1 Contextualização	17
1.1.2 Formulação de dietas	19
1.1.3 Potencial nutritivo dos ingredientes	19
1.1.4 Determinação das exigências nutricionais para suínos.....	20
1.2 Métodos utilizados para estimar as exigências nutricionais.....	23
1.2.1 Método empírico	23
1.2.2 Método fatorial.....	25
1.2.3 Relações e limitações entre os métodos	28
1.3 Modelos matemáticos utilizados para estimar as exigências nutricionais	28
1.3.1 Conceitos sobre modelagem matemática na nutrição animal	28
1.3.1.1 Estático versus dinâmico	29
1.3.1.2 Empírico vs. mecanicista.....	30
1.3.1.3 Determinista vs. estocástico	30
1.3.2 Base estrutural dos modelos matemáticos em nutrição animal.....	31
1.3.3 Limitações dos modelos matemáticos em nutrição animal.....	34
1.4 Nutrição de precisão	37

1.4.1	Bases teóricas.....	37
1.4.2	Aplicação do conceito.....	38
1.5	Problema da pesquisa.....	41
1.6	Questões.....	41
1.7	Objetivos.....	42
<u>CAPÍTULO 2</u> - SYSTEMATIC COMPARISON OF THE EMPIRICAL AND FACTORIAL METHODS USED TO ESTIMATE THE NUTRIENT REQUIREMENTS OF GROWING PIGS.....		43
	ABSTRACT.....	45
	IMPLICATIONS.....	46
	INTRODUCTION.....	46
	MATERIAL AND METHODS.....	48
	RESULTS AND DISCUSSION.....	54
	CONCLUSIONS AND PERSPECTIVES.....	65
	ACKNOWLEDGEMENTS.....	66
	REFERENCES.....	66
<u>CAPÍTULO 3</u> - ESTIMATION JOURNALIERE DES BESOINS NUTRITIONNELS INDIVIDUELS DES PORCS EN CROISSANCE EN FONCTION DE LEUR PARCOURS DE CROISSANCE ET DE CONSOMMATION.....		78
	RÉSUME.....	79
	ABSTRACT.....	80
	INTRODUCTION.....	81
	ÉVALUATION DU MODÈLE.....	87
	RESULTATS.....	89
	DISCUSSION.....	91
	CONCLUSION.....	94
	REMERCIEMENTS.....	94
	RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	94
<u>CAPÍTULO 4</u> - DISCUSSÃO GERAL.....		101
CONCLUSÕES E PERPECTIVAS.....		108
REFERÊNCIAS.....		110
APÊNDICES.....		121

LISTA DE ABREVIATURAS

$\partial BW/\partial$	Ganho diário de peso
ADFI	Consumo médio diário
ADG	Ganho diário de peso
ADPG	Deposição diária de proteína
BE _{AA}	Exigências de manutenção
BW	Peso vivo
CEN _t	Consumo estimado de energia líquida
CJA	Consumo diário de alimento
CJA _{t+m}	Consumo diário estimado para o dia $t+m$
CMS	Consumo de matéria seca
DTD _{AA}	Perdas pela escamação do tubo digestivo
DXA	Dual-energy X-ray absorptiometry
DXA-L	Dual-energy X-ray absorptiometry and densitometer
EB _{AA}	Perdas endógenas basais
ECT	Erro de tendência central
ED	Erro devido a perturbações
E _{f_lys}	Eficiência de utilização da lisina ileal padronizada para deposição proteica
EN	Energia líquida
EN _{aliment}	Densidade energética do alimento
ER	Erro devido a regressão
FC	Conversão alimentar

GP	Ganho de peso
IPF	Intelligent Precision Feeder System
K_c	Eficiência de utilização de um nutriente para o crescimento
K_m	Eficiência de utilização de um nutriente para a manutenção
LT	Lipídio corporal
Lys	Lisina
Lys:NE	Relação ideal de lisina e energia líquida
Lys_c	Exigência em lisina para o crescimento
Lys_{Conc}	Proporção de lisina na PD
MAPE	Erro absoluto médio em porcentagem
MSPE	Quadrado médio do erro de predição
NE	Energia líquida
PD	Deposição de proteína
PT	Proteína corporal
PV	Peso vivo
PV_{t+m}	Peso vivo estimado para o dia $t+m$
S-3F	Sistema de alimentação com três fases alimentares
S-ID	Sistema de alimentação individual e diário
SMI	Sistema Integrado de Manejo
S'_t et S_t	Expoentes de alisamento exponencial simples e duplo no tempo t
TPC_{AA}	Perdas ligadas o <i>turn-over</i> basal das proteínas corporais

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Concentração de nutrientes nas dietas fornecidos aos suínos utilizando um sistema de alimentação de três, dez ou várias (diárias) fases.	22
FIGURA 2 – Figura representativa de respostas de indivíduos e da média do grupo diante de diferentes níveis de um nutriente.....	24
FIGURA 3 - Parâmetros do método fatorial utilizados para estimar as exigências nutricionais. K_m : eficiência de utilização de um nutriente para manutenção; M: nível do nutriente para manutenção; K_c : eficiência de utilização de um nutriente para o crescimento; C: nível do nutriente necessário para o crescimento	26
FIGURA 4 – Estrutura do processo relacionado à modelagem do crescimento e consumo e a subsequente aplicação comercial.....	32
FIGURA 5 – Calibração do modelo integrado no Sistema de Manejo Integrado com uso de dados do sistema de produção.....	37
FIGURA 6 – Representação geral dos componentes estrutural (comedouro) e lógico (modelo matemático para estimar as exigências e programa de formulação de dietas) do “ <i>Intelligent Precision Feeder System</i> ”	40
FIGURA 7 – Consumo médio diário estimado versus observado de uma dieta de crescimento fonecida durante 83 dias.....	72
FIGURA 8 – Peso vivo estimado versus observado de uma dieta de crescimento fonecida durante 83 dias.....	73
FIGURA 9 – Efeito de diferentes relações de Lis:EL no ganho de peso e conversão e máxima resposta estimada para os intervalos de peso vivo entre 26 a 53 kg, 54 a 81 kg e 82 a 106 kg.....	74

FIGURA 10 – Efeito de diferentes relações de Lis:EL no custo por quilo de ganho e lucratividade para os pesos vivos médios nos intervalos de 26 a 53 kg, 54 a 81 kg e 82 a 106 kg.....	75
FIGURA 11 – Distribuição cumulativa das exigências estimadas em relações de lisina/energia para suínos para as fases um, dois e três descritas no estudo.....	76
FIGURA 12 – Distribuição cumulativa das exigências estimadas pelo método fatorial e efeito de diferentes relações de lisina/energia líquida no ganho de peso, conversão e lucratividade estimada pelo método empírico para um intervalo de peso de 26 a 51 kg.	77
FIGURA 13 – Esquema geral do modelo com os componentes empírico e mecanicista utilizados para estimar as exigências diárias e individuais de suínos em crescimento.....	97
FIGURA 14 – Consumo diário (média da população e de um típico e atípico indivíduo) e peso vivo (média da população e de um típico e atípico indivíduo) observado e estimado pelo modelo proposto e pelo InraPorc	99
FIGURA 15 – Consumo de energia líquida, ganho de peso e concentração ideal de lisina (Lis :EL) estimada pelo modelo proposto para cada indivíduo e pelo InraPorc para um indivíduo representativo	100

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Consumo de alimento (CA) e peso vivo (PV) observado e estimado pelo modelo proposto e InraPorc e erro absoluto médio (MAPE, %) observado após as estimativas do CA e PV pelo modelo	98
--	----

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE 1 – Programação utilizada no Visual Basic no estudo de análises sistemática dos métodos utilizados para estimar as exigências nutricionais	122
APÊNDICE 2 - Dados observados de consumo diário e peso vivo semanal dos animais utilizados na avaliação do modelo	127
APÊNDICE 3 – Programa utilizado no SAS para determinar o melhor modelo matemático para estimar exigências pelo método empírico para populações de suínos.....	133
APÊNDICE 4 – Produção bibliográfica, disciplinas cursadas durante o curso de doutorado e demais atividades relevantes (aprovação em concurso, tutoria EaD, etc)	137

RESUMO

Tese de Doutorado
Programa de Pós-Graduação em Zootecnia
Universidade Federal de Santa Maria

MODELAGEM INDIVIDUAL E EM TEMPO REAL DAS EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DE SUÍNOS EM CRESCIMENTO

AUTOR: LUCIANO HAUSCHILD

ORIENTADOR: PAULO ALBERTO LOVATTO

Local e Data da Defesa: Santa Maria, 12 de Março de 2010.

Dois estudos foram realizados com o objetivo de (i) descrever e estabelecer as limitações dos métodos empírico e fatorial utilizados para estimar as exigências e (ii) desenvolver um modelo matemático de estimação das exigências individuais e em tempo real para suínos. Para atender esses objetivos, no primeiro estudo uma análise sistemática foi realizada nas relações de lisina e energia líquida (Lis:EL) estimadas pelos métodos empírico e fatorial com o auxílio do modelo InraPorc[®]. Baseado na análise de dados de 68 suínos, as relações de Lis:EL foram estimadas para três fases alimentares. No método empírico, a resposta da população foi determinada através de onze diferentes relações de Lis:EL. A resposta da população foi avaliada através do ganho de peso e conversão alimentar. No método fatorial, a relação de Lis:EL para cada animal foi estimada através da inversão do modelo InraPorc. No segundo estudo, foi desenvolvido um modelo o qual é composto de um componente empírico e mecanicista. O componente empírico estima o consumo diário de alimento (CDA) e peso vivo (PV) baseado em informações individuais coletadas em tempo real. O componente mecanicista estima a concentração ideal em aminoácidos necessária para atender as exigências de cada indivíduo. Na avaliação dos métodos, foi observado que o método fatorial não permite estimar a relação de Lis:EL para maximizar a resposta de uma população heterogênea alimentada com uma única dieta durante um longo período. No método empírico, embora esses aspectos sejam considerados, a resposta estimada é fixa e não pode ser utilizada para outros intervalos ou populações. No modelo desenvolvido, os resultados do componente empírico demonstraram que a trajetória de CDA e o PV dos animais alimentados *ad libitum* podem ser estimadas com antecedência de 1 (CDA) ou 7 dias (PV) com erro absoluto médio de 12 e 2 %, respectivamente. O componente mecanicista estimou relações de Lis:EL as quais apresentaram uma razoável variabilidade entre animais (CV médio = 7 %) e no tempo (CV médio = 14 %). No modelo, as exigências nutricionais estimadas são, portanto, animal e tempo dependentes. Adicionalmente, o modelo segue em tempo real as trajetórias de CDA e PV dos animais. Os resultados do primeiro estudo confirmam que os dois métodos determinam diferentes recomendações e apresentam limitações que deveriam ser consideradas quando utilizados para otimizar respostas de populações ou indivíduos. O modelo desenvolvido é parte integrante de um sistema de alimentação de precisão que visa fornecer uma quantidade adequada de nutrientes para cada indivíduo em tempo real.

Palavras-chave: exigências nutricionais, modelos de simulação; variabilidade animal, suínos

ABSTRACT

Thesis of doctorate
Program of Post-Graduation in Animal Science
Federal University of Santa Maria

MODELING INDIVIDUAL AND IN REAL TIME OF THE NUTRIENT REQUIREMENTS FOR GROWTH PIGS

AUTHOR: LUCIANO HAUSCHILD

ADVISOR: PAULO ALBERTO LOVATTO

Site and Date of Defense: Santa Maria, March, 12, 2010.

Two studies were realized with the objective (i) to describe and to establish the limitations of the empirical and factorial methods used to estimate nutritional requirements and (ii) develop a mathematic model able to estimate the daily nutrient requirements of individual pigs in real time. For this purpose, in the first study a systematic analysis was carried out on the lysine - net energy (Lys:NE) ratios estimated through the empirical and factorial methods with the help of the InraPorc[®] growth model. Based on analysis of data on 68 pigs, Lys:NE ratios were estimated for three feeding phases. In the empirical method, population response was determined on eleven different Lys:NE ratios. Response was evaluated with ADG and FCR being used as variables. In the factorial method, the Lys:NE ratio for each animal was estimated through model inversion. In the second study, it was developed a model which includes an empirical and mechanistic component. The empirical component estimates the daily feed intake (DFI) and BW based on individual pig information collected in real time. The mechanistic component estimates the optimal concentration of amino acid that must be offered to pigs to meet their requirements. In establishing limitations, it was observed that the factorial method, when applied to the mean animal, does not allow for estimation of the Lys:NE ratio to maximize response in a heterogeneous population which is to be fed over a long period of time. In the empirical method, while these aspects are considered, the estimated response is fixed and cannot be used for other intervals or populations. The empirical component results indicate that the DFI and BW trajectories of individual pigs fed ad libitum could be predicted 1 (DFI) or 7 days (BW) ahead with an mean absolute percentage error of 12 and 2 %, respectively. The mechanistic component estimates the optimal lysine to net energy ratio with reasonable between - animal (average CV = 7 %) and over - time variation (average CV = 14 %). Thus, the nutrient requirements estimated by the model are animal and time dependents and they follow in real - time the individual DFI and BW growth patterns. The results from first study confirm that the two methods needs lead to different recommendations and have important limitations that should be considered when used to optimize the response of an individual or a population of pigs. The model developed is part of the development of precision feeding techniques allowing the right amount of feed with the right composition at the right time to be provided to each pig in the herd.

Key-words: animal variability; nutrient requirements; pigs; simulation models

INTRODUÇÃO

A produção mundial anual de carne suína é de aproximadamente 105 milhões de toneladas. Para atender essa produção são necessárias cerca de 400 milhões de toneladas de ração. A alimentação dos suínos dentro dos custos de produção representa mais de 60%. A redução dos mesmos é dependente da oferta de matéria-prima e dos programas nutricionais adotados. Esses programas buscam, através do balanço adequado entre a oferta de nutrientes dos ingredientes e exigências nutricionais dos animais, otimizar diferentes objetivos de produção.

As exigências nutricionais são estimadas pelos métodos empírico e fatorial. No empírico, as exigências são calculadas com base nas respostas médias da população para diferentes níveis de um determinado nutriente na dieta. No fatorial, as exigências são calculadas com base em único indivíduo pela soma das exigências para manutenção e produção. Modelos de crescimento que utilizam o método fatorial também estimam as exigências para um indivíduo representativo de uma população. Os métodos empírico e fatorial e os modelos de crescimento, por estimarem um único nível de nutrientes não consideram a variabilidade entre indivíduos. Integrar essa variabilidade nos programas nutricionais é fundamental para a otimização de diferentes objetivos de produção.

Um sistema de alimentação de precisão, chamado *Intelligent Precision Feeder* (IPF), permite fornecer uma dieta específica para cada indivíduo e em tempo real integrando a variabilidade individual. Um dos componentes do IPF é um modelo matemático capaz de estimar as exigências nutricionais individuais e em tempo real. Os métodos empírico e fatorial não podem ser integrados no IPF para estimar as exigências, pois apresentam limitações importantes que foram pouco exploradas ainda. Da mesma forma, os modelos de crescimento não podem ser integrados, pois utilizam o método fatorial.

Os objetivos desta tese foram analisar de forma sistemática os métodos atuais para estimar as exigências e desenvolver um modelo matemático capaz de estimar as exigências individuais e em tempo real de suínos em crescimento. Este documento é estruturado de forma sequencial em introdução geral, revisão bibliográfica, artigo sobre análise sistemática dos métodos, artigo sobre desenvolvimento de um modelo matemático, discussão geral, e conclusões e perspectivas.

CAPÍTULO 1

ESTADO DA ARTE DE ESTIMATIVAS DAS EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS: ESTUDO BIBLIOGRÁFICO

1.1 Programas nutricionais para suínos no Brasil e Canadá

1.1.1 Contextualização

Aproximadamente 6% do rebanho mundial de suínos estão no Brasil e Canadá (FAO, 2009). O Brasil é o quarto produtor e exportador mundial de carne suína, sendo que a maior parte do rebanho nacional (51%) está na região sul. O Canadá é o oitavo produtor e terceiro exportador mundial de carne suína (ABIPECS, 2009), sendo que a província de Québec tem se destacado pelos seus altos índices produtivos. O Québec possui o maior rebanho canadense de suínos (4 milhões). No ano de 2007 abateu sete milhões de animais, o que correspondeu a 23% do abate nacional (CPC, 2008).

O manejo, instalações e ambiente diferem entre a região sul do Brasil e a província de Québec (Canadá), contudo os programas nutricionais são semelhantes. As dietas utilizadas para alimentar os suínos nesses dois países são consideradas de alta qualidade e excelente digestibilidade. Isso se deve a alta disponibilidade, principalmente no Brasil, de grãos considerados nobres na suinocultura (ex: milho e soja). Nesses países, os padrões nutricionais das rações são estabelecidos para otimizar diferentes objetivos de produção. Um dos principais objetivos tem sido reduzir custos. Os custos com a alimentação representam mais de 60% do total da produção nos sistemas de produção industrial ou semi-industrial. No crescimento e terminação qualquer redução econômica de ordem alimentar apresenta um impacto importante na cadeia, pois 70% do rebanho de uma unidade

produtiva de suínos está nessa fase. Além dos objetivos econômicos, estão sendo valorizados outros critérios como as exigências do consumidor pela qualidade da carne, bem-estar animal (SCRAMIM & BATALHA, 2004) e preservação ambiental (DOURMAD & JONDREVILLE, 2007).

Na questão ambiental, por exemplo, os níveis de N e P excretados são elevados em algumas regiões do Brasil (LOVATTO et al., 2005a; LOVATTO et al., 2005b). No ano de 2003, o rebanho suíno excretou aproximadamente 140 mil t de N e 35 mil t de P no ambiente (LOVATTO et al., 2005a). A região Sul foi responsável por 52% do N e 53% do P desse total.

No ano de 2001, as principais criações de animais no Canadá excretaram aproximadamente 1 milhão e 296 mil t de N e P no meio ambiente (HOFMANN & BEAULIEU, 2001). Dentre as criações, a suinocultura tem contribuído com 9 e 12% desse total de N e P excretado. A concentração média em todo território nacional foi de 5,4 e 1,5 kg/ha de N e P. Na província de Québec as concentrações alcançaram valores superiores à média nacional (20 e 7 kg/ha de N e P).

O N e P são os principais elementos poluidores encontrados nas fezes dos suínos. Aproximadamente 50% do N e P ingeridos são excretados na urina e nas fezes (DOURMAD et al., 1999; JONDREVILLE et al., 2003). Como o P causa eutroficação na superfície das águas, o seu impacto tem merecido atenção especial dos órgãos de pesquisas ambientais. A eutroficação diminui o oxigênio dissolvido e prejudica a sobrevivência de seres aquáticos. No solo, níveis elevados prejudicam o desenvolvimento de plantas. Em determinadas regiões dos EUA (MAGUIRE et al., 2005), França (DOURMAD et al., 1999), Brasil (SHIGAKI et al., 2006) e Canadá (HOFMANN & BEAULIEU, 2001), a concentração de P no solo ultrapassa os níveis considerados aceitáveis para sustentabilidade do ambiente.

A relevância desses aspectos tem estimulado produtores e nutricionistas a reavaliarem os programas nutricionais atuais. Os programas estão cada vez mais voltados a uma “nutrição de precisão” que reduza custos, excreção de elementos poluidores, mantenha ou melhore as respostas zootécnicas e garanta a qualidade do produto final. Nesse sentido, as pesquisas em alimentação e nutrição têm basicamente integrado três aspectos: potencial nutritivo dos ingredientes da dieta, exigências nutricionais dos animais e a resposta animal em termos de retenção e excreção de nutrientes (WHITTEMORE et al., 2001c). Baseado nesses aspectos, os

programas nutricionais são estabelecidos pelo balanço entre a quantidade de nutrientes dos ingredientes com as exigências nutricionais dos animais de acordo com objetivo de produção a ser otimizado (PATIENCE et al., 1995). Esse balanço é realizado pela formulação de dietas. Dessa forma, os três componentes essenciais nos programas nutricionais são a formulação de dietas, potencial nutritivo dos ingredientes e conhecimento preciso das exigências nutricionais dos animais.

1.1.2 Formulação de dietas

A programação linear é o método mais utilizado para formulação de dietas (PATIENCE et al., 1995). Esse método consiste em determinar o nível de incorporação de um ingrediente que, respeitando uma série de restrições lineares, minimiza (ou maximiza) uma função objetiva, normalmente o custo. A formulação pelo mínimo custo normalmente utilizada pela indústria visa reduzir os custos do alimento sem considerar as consequências ambientais (PATIENCE et al., 1995) e a resposta animal (SAUVANT et al., 1995). Reduzir o excesso de nutrientes nas dietas formuladas ainda é uma tarefa complexa e de pouco interesse principalmente pela indústria brasileira. O excesso de nutrientes garante que todos os animais expressem a máxima resposta (ganho de peso, deposição proteica, etc) quando se trata de alimentar populações heterogêneas.

A formulação de dietas com objetivo de reduzir o aporte nutricional e manter ótimas respostas é uma etapa essencial para reduzir a excreção de nutrientes no ambiente (LE BELLEGO & NOBLET, 2002). A formulação por multiobjetivos, a qual é baseada na formulação tradicional pelo mínimo custo e em algoritmos específicos, permite reduzir a excreção de N (JEAN DIT BAILLEUL et al., 2001) e P (POMAR et al., 2007a). O uso de métodos de formulação que visem reduzir a excreção de nutrientes é fundamental para se atingir uma nutrição mais precisa. No Brasil esses novos métodos de formulação ainda não são adotados.

1.1.3 Potencial nutritivo dos ingredientes

A determinação precisa do valor nutritivo dos ingredientes da dieta é uma tarefa difícil. Antes dos estudos de digestibilidade as dietas eram formuladas somente com base na composição nutricional total dos ingredientes. Os estudos de digestibilidade e metabolismo permitiram avanços importantes no conhecimento do potencial nutritivo dos ingredientes (JOHNSON, 2007), que no caso da energia passou a ser expresso da base total para digestível e posteriormente para metabolizável e líquida. A base líquida permite que o valor nutricional dos ingredientes possa ser expresso na mesma unidade das exigências em energia dos animais (exigência líquida). Isso é porque essa forma de expressão considera o destino metabólico dos nutrientes no animal (NOBLET & VAN MILGEN, 2004). As vantagens e desvantagens da forma de expressar o valor nutritivo dos ingredientes foram apresentadas em revisões bibliográficas sobre energia (NOBLET & VAN MILGEN, 2004), aminoácidos (STEIN et al., 2007) e P (JONDREVILLE & DOURMAD, 2005).

Além de avanços na determinação do potencial nutritivo, alguns aditivos, sobretudo os biotecnológicos (aminoácidos livres, enzimas, melhoramento genético vegetal), têm contribuído para elaboração de dietas nutricionalmente mais disponíveis (POMAR et al., 2008). Esses avanços permitem formular dietas mais densas nutricionalmente para as diferentes fases fisiológicas dos suínos. No conceito de exigência líquida, contudo, atualizações das tabelas de composição nutricional de ingredientes devem ser ainda realizadas.

1.1.4 Determinação das exigências nutricionais para suínos

Os nutrientes essenciais para os suínos são energia, aminoácidos, minerais e vitaminas. As exigências de um nutriente podem ser definidas como a quantidade necessária para atingir objetivos específicos de produção, como maximizar o ganho de peso, ganho de tecido magro, melhorar a conversão alimentar e outros (FULLER, 2004). Dependendo dos objetivos, a quantidade de nutriente exigida pode ser

mínima, desde que evite sinais de deficiência e permita ao animal expressar sua máxima resposta (LASSITER & EDWARDS, 1982). Na produção animal, as exigências nutricionais são influenciadas por fatores relacionados ao animal (potencial genético, idade, peso, sexo, etc), alimento (composição nutricional, digestibilidade, fatores antinutricionais, etc) e ambiente (temperatura, espaçamento, etc) (NOBLET & QUINIOU, 1999).

No caso da energia, geralmente o suíno consome alimento para atender suas exigências em energia (EMMANS, 1981; TESS et al., 1983; BLACK et al., 1986). Dentro dessa suposição, assume-se que os animais são capazes de controlar o consumo de acordo com a concentração em energia da dieta. A capacidade para controlar o consumo, contudo pode ser muitas vezes limitada por fatores como tamanho do trato digestório, digestibilidade e densidade da dieta (WHITTEMORE et al., 2001b).

Como os suínos mantêm equilibrado o consumo energético diário, os demais nutrientes são expressos em relação à concentração de energia da ração. As exigências em energia de suínos em crescimento aumentam mais rápido que as exigências dos demais nutrientes durante o crescimento. Assim, quando expressos em concentração ideal na dieta (g de nutriente/ kcal energia) os valores dos demais nutrientes diminuem no crescimento dos suínos (NRC, 1988).

A alimentação por fases é a técnica de alimentação mais utilizada na fase de crescimento e terminação. Essa técnica implica em fornecer um número sucessivo de dietas aos animais com o objetivo de atender as exigências dos animais no tempo (Figura 1). Dentro de cada fase uma mesma dieta é fornecida para todos os animais.

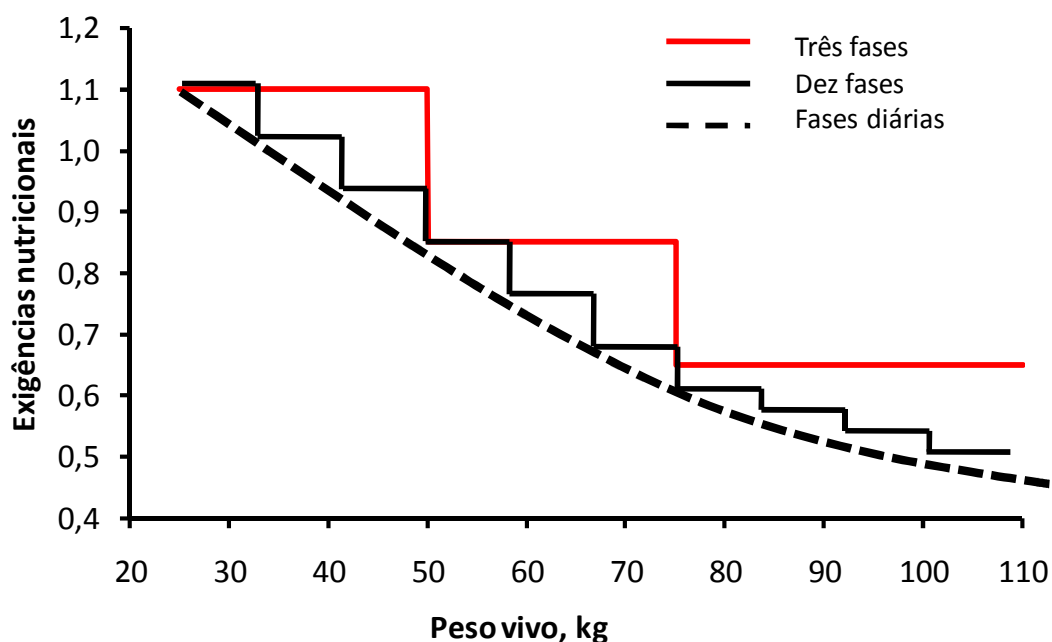


FIGURA 1 – Concentração de nutrientes nas dietas fornecidas aos suínos utilizando um sistema de alimentação de três, dez ou várias (diárias) fases.

Os benefícios econômicos e ambientais do aumento do número de fases foram demonstrados anteriormente (BOURDON et al., 1995; VAN DER PEETSCHWERING et al., 1999; LETOURNEAU MONTMINY et al., 2005). Mas isso eleva os custos na elaboração, armazenamento e distribuição da ração. No Canadá, mais especificamente em Québec, o sistema de alimentação de três fases é o mais utilizado na fase de crescimento (PIGEON, 2001). No Brasil são utilizadas de três a cinco fases alimentares. Em cada uma das fases alimentares as exigências nutricionais são estimadas para otimizar um objetivo específico de produção (ganho de peso, deposição de proteína, etc). No contexto brasileiro e canadense como são poucas fases, essa definição é considerada para populações de suínos alimentadas durante um longo período de tempo (LECLERCQ & BEAUMONT, 2000; POMAR et al., 2003).

A revisão apresentada nesse tópico descreveu os programas nutricionais atuais a partir de uma abordagem sobre os três principais componentes (ingredientes, exigências nutricionais e formulação). No trabalho de tese o objetivo

foi estudar somente aspectos relacionados as exigências nutricionais. Nesse sentido, nos próximos tópicos os métodos atuais e os modelos matemáticos utilizados para estimar as exigências nutricionais em suínos são apresentados. Um novo conceito em nutrição é descrito no final do Capítulo 1.

1.2 Métodos utilizados para estimar as exigências nutricionais

1.2.1 Método empírico

No método empírico, as exigências de um nutriente são estimadas avaliando a resposta de um grupo de animais diante de diferentes concentrações de um nutriente na dieta durante um determinado período. Em vista das diferenças entre os animais (manutenção e potencial de crescimento) a resposta é de natureza curvilínea (Figura 2) (CURNOW, 1973; FULLER & GARTHWAITE, 1993). Essa forma tem sido confirmada por estudos experimentais (BIKKER et al., 1994) e modelos estocásticos de crescimento (KNAP, 2000; POMAR et al., 2003). Na resposta curvilínea, a eficiência de utilização de um nutriente em uma população é descrita por: uma fase linear para um nível subótimo (1), uma fase curvilínea (2), decrescendo até o ponto onde a máxima resposta é atingida (Figura 2). O formato da curva pode variar de acordo com critérios-respostas adotados e com a variabilidade entre os animais (POMAR et al., 2003). De maneira geral, esse método possibilita descrever leis de respostas de populações. Adicionalmente, este tipo de curva permite uma melhor estimativa do nível do nutriente para uma população de suínos baseado em aspectos técnicos, econômicos e ambientais. Nesse sentido, as exigências nutricionais em condições de campo são essas que maximizam ou minimizam um ou vários critérios respostas (ganho de peso, conversão alimentar, retorno econômico, etc) durante um determinado período.

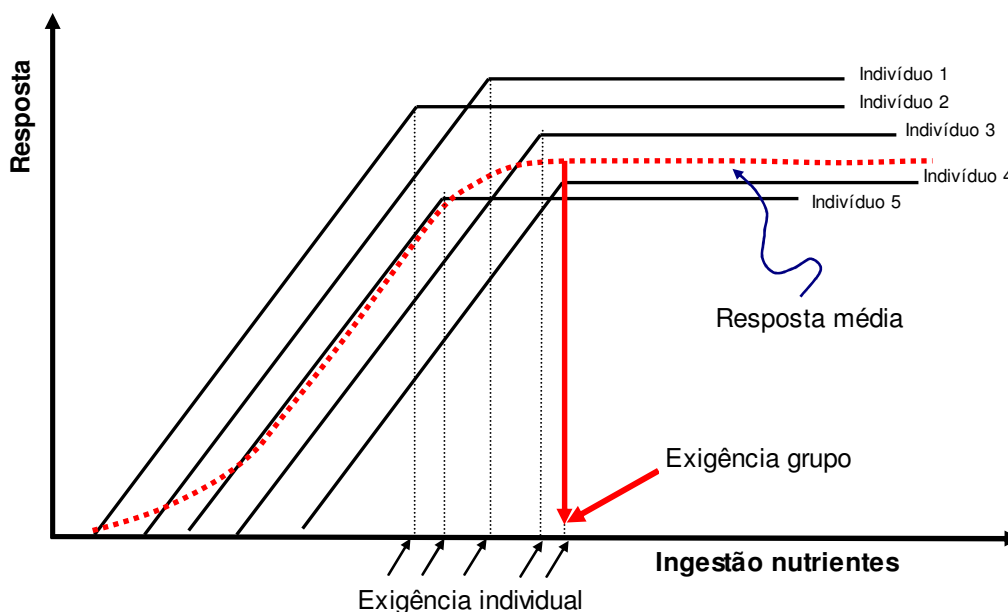


FIGURA 2 – Figura representativa de respostas de indivíduos e da média do grupo diante de diferentes níveis de um nutriente.

As exigências têm sido estimadas utilizando principalmente o método empírico. Os valores estimados podem ser obtidos em artigos publicados em revistas indexadas, resumos publicados em congressos, livros ou em revisões elaboradas por comitês autorizados a estabelecer padrões nutricionais (WHITTEMORE et al., 2002). Essas revisões são publicadas na forma de livros contendo tabelas das exigências para diferentes pesos, fases e sexo. As tabelas clássicas e mais utilizadas em âmbito nacional e internacional são ARC (1981); SCA (1987); NRC (1988); INRA-AFZ (1989) e AFRC (1990; 1991). Nessas tabelas uma compilação de dados de centenas de experimentos é analisada por métodos estatísticos (meta-análise) para estimar valores médios das exigências nutricionais. Esses dados são derivados de experimentos realizados em situações distintas (alimentares e ambientais), mas que representam uma condição produtiva média de um determinado espaço temporal e geográfico.

1.2.2 Método fatorial

O princípio desse método é estimar as exigências de um nutriente pela soma das exigências para manutenção e produção (FULLER & CHAMBERLAIN, 1982). Essas exigências são estimadas para cada nutriente e seus precursores considerando a eficiência com que cada nutriente é utilizado para cada função metabólica (VAN MILGEN & NOBLET, 2003). Dessa forma, esse método considera o estado metabólico do animal e aspectos biológicos da utilização de nutrientes. O método é considerado determinista e estático, pois estima as exigências para um único indivíduo e um determinado ponto (idade ou peso vivo).

Uma equação simples e direta é utilizada para descrever de forma geral o método fatorial:

$$E = k_m/M + k_c/pC \quad (1)$$

Onde: E são as exigências do nutriente sendo determinada pela soma das exigências para manutenção (M) e para o crescimento (C). O parâmetro p é a proporção do nutriente que está presente no componente C. Os parâmetros k_m e k_c são as eficiências com as quais os nutrientes da dieta são utilizados para atender a manutenção e o crescimento. Essas eficiências são determinadas por fatores como: características da dieta, do animal e ambiente (VAN MILGEN & NOBLET, 2003).

Essa equação considera os processos fisiológicos de um único indivíduo que determinam ou interferem nas exigências de um nutriente. O método parte do pressuposto que a eficiência de utilização de um nutriente é constante até atingir a máxima resposta e depois reduz para zero. Os componentes e os parâmetros desse método não podem ser estimados com base em um único indivíduo. A manutenção, o crescimento e as respectivas eficiências são difíceis de serem mensurados em um mesmo indivíduo sob as mesmas condições fisiológicas quando ingerindo diferentes concentrações de um nutriente (MORRIS, 1983). Por isso, os parâmetros da equação têm sido estimados em condições experimentais usando grupos de baixa variabilidade entre animais e com base na resposta média de uma população.

Dessa maneira, todos os parâmetros (K_m , M , K_c e C) dessa equação representam um indivíduo médio da população (Figura 3).

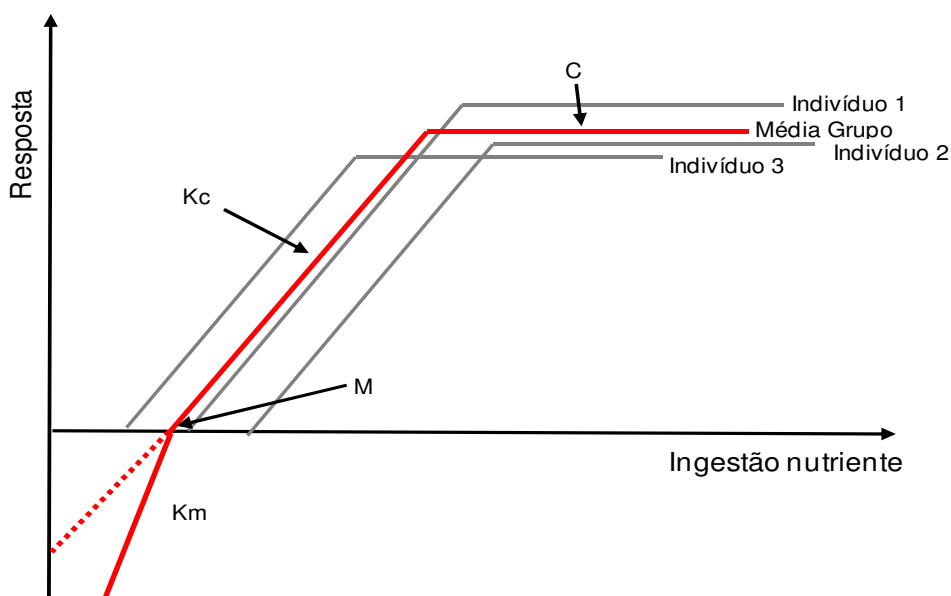


FIGURA 3 - Parâmetros do método fatorial utilizados para estimar as exigências nutricionais. K_m : eficiência de utilização de um nutriente para manutenção; M : nível do nutriente para manutenção; K_c : eficiência de utilização de um nutriente para o crescimento; C : nível do nutriente necessário para o crescimento.

As exigências estimadas fazem referência a um ponto específico (idade ou peso vivo) dentro de um período de tempo de um dia. Quando o objetivo é estimar um nível que permite maximizar a resposta dos animais em uma fase alimentar, o mesmo deve ser estimado com base no ponto que corresponde ao início da fase. Nesse sentido, depois de estimado o nível ideal o intervalo de peso ou dias sobre os quais as dietas são fornecidas aos animais não é mais considerado. As exigências, por exemplo, de um grupo de suínos alimentados com uma única dieta no intervalo

de peso de 20 a 40 kg de peso vivo são as mesmas que outro grupo alimentado dos 20 aos 60 kg.

Tradicionalmente, as exigências de suínos têm sido publicadas na forma de tabelas. Entretanto, como as exigências dos animais são influenciadas pelo genótipo, sexo, peso vivo e apetite, o método fatorial tem sido muito utilizado. Esse método permite maior flexibilidade ao estimar as exigências para diferentes condições de campo. Diferentemente do método empírico, nem todos nutrientes exigidos podem ainda ser estimados pelo método fatorial. A estimativa das exigências de um nutriente é dependente de estudos que avaliem e estimem os parâmetros necessários para aplicabilidade do método. O ARC (1981), em função da pouca disponibilidade de informações na época, descreveu e propôs o método fatorial para estimativa das exigências em energia e proteína. O NRC (1998), entretanto, utilizando o conhecimento mais atual avançou na forma de representar as exigências de energia e lisina para suínos. Esse comitê passou da forma empírica utilizada anteriormente (NRC, 1988) para uma forma mecanicista através do uso do método fatorial (NRC, 1998). As exigências são estimadas para diferentes fases fisiológicas utilizando diferentes equações fatoriais.

Os demais nutrientes que possuem informações para serem estimados pelo método fatorial são os outros aminoácidos essenciais (MOUGHAN, 1989; NRC, 1998) e macro minerais como Ca e P (JONGBLOED & EVERTS, 1992; JONDREVILLE & DOURMAD, 2005). Para os aminoácidos essenciais, o NRC (1998) estima as exigências pelo método fatorial utilizando o conceito de proteína ideal. Nesse caso, os únicos parâmetros estimados são os referentes à lisina. Nesse mesmo modelo, o NRC fez uso de equações obtidas de experimentos empíricos para estimar as exigências do Ca e P para diferentes pesos vivos. Na Europa, entretanto utilizando informações de digestibilidade aparente (INRA-AFZ, 2004) alguns autores propõem estimativas das exigências pelo método fatorial para o Ca e P (JONGBLOED & EVERTS, 1992; JONDREVILLE & DOURMAD, 2005). As exigências em P digestível aparente de um animal corresponde à soma das exigências de manutenção (incluindo as perdas endógenas e urinárias) com a de crescimento. As exigências diárias de crescimento são calculadas a partir do teor de P por quilo de ganho de peso vivo (JONDREVILLE & DOURMAD, 2005).

1.2.3 Relações e limitações entre os métodos

As relações e as limitações entre os métodos são difíceis de serem estabelecidas a partir dos estudos realizados até o momento. Na comparação entre os métodos empírico e fatorial realizada por POMAR et al. (2003), com base em populações com diferentes graus de heterogeneidade, não foi possível estabelecer as relações entre os métodos. Além de estabelecer relações entre os métodos é importante também conhecer as limitações desses métodos quando utilizados para estimar as exigências com o objetivo de otimizar respostas de populações de suínos. Nesse sentido, análises sistemáticas devem ainda ser realizadas para avaliar melhor as relações e limitações entre os métodos quando utilizados para estimar o nível ideal de um nutriente para populações heterogêneas.

1.3 Modelos matemáticos utilizados para estimar as exigências nutricionais

Os modelos matemáticos em nutrição animal têm sido muito utilizados para estimar crescimento e as exigências nutricionais e são de grande interesse na produção animal. Existe ainda uma grande pressão para desenvolver modelos que descrevam melhor a trajetória de crescimento dos animais, a taxa e eficiência de deposição de nutrientes. Uma descrição de conceitos sobre modelos matemáticos na nutrição animal foi abordada no próximo tópico.

1.3.1 Conceitos sobre modelagem matemática na nutrição animal

A ciência animal envolve teorias, leis e suposições que são explicadas ou recusadas com o avanço do conhecimento. A modelagem é considerada uma parte importante desse processo e envolve uma série de equações que são determinadas usando métodos matemáticos (equações lineares ou não-lineares). Os parâmetros

das equações são estimados utilizando dados experimentais extraídos em diferentes níveis de agregação do indivíduo (tecido, célula, moléculas). Esses parâmetros permitem estabelecer uma relação entre a resposta animal e as variáveis explicativas. Cada um dos parâmetros apresenta uma determinada imprecisão representada por parâmetros estatísticos (erro padrão, intervalo de confiança e significância). Essa imprecisão é também devida aos princípios biológicos serem estruturados com base em informações disponíveis e não no real estado do sistema (animal). Por esse aspecto, os modelos matemáticos são uma aproximação da realidade. Os modelos matemáticos, contudo, permitem acessar de forma dinâmica e quantitativa o complexo sistema biológico muitas vezes impossível em experimentos convencionais (BALDWIN, 1976; WHITTEMORE & FAWCETT, 1976).

O avanço nos modelos em nutrição animal muitas vezes é limitado pela dificuldade dos modeladores em acumular conhecimento e experiência na área. O risco de um modelo falhar está inversamente relacionado à compreensão tanto do sistema em estudo (animal) quanto das ferramentas matemáticas que são utilizadas para descrever esse sistema. O sucesso do modelo ao estimar as exigências nutricionais dependerá sempre do conhecimento em biologia do matemático e do conhecimento matemático do nutricionista (VAN DER VAART, 1977). Essa relação é de extrema importância quando se trata de estruturar modelos com o objetivo de otimizar a resposta de uma população de suínos em condição de produção.

Os modelos propostos na literatura são classificados como: estáticos vs. dinâmico, empírico vs. mecanicista e determinista vs. estocástico (BALDWIN & SAINZ, 1995; THORNLEY & FRANCE, 2006). Esses termos são descritos nos próximos itens.

1.3.1.1 Estático versus dinâmico

Os modelos estáticos não consideram o tempo como variável enquanto a modelagem dinâmica aborda as mudanças temporais do sistema (animal). O método fatorial utilizado para estimar as exigências nutricionais é um exemplo de

modelo estático. Na modelagem dinâmica, equações diferenciais são utilizadas para descrever alterações temporais do sistema. Os modelos de crescimento para suínos são dinâmicos desde que estimem o estado do animal no tempo. Dentro de cada simulação é definida a condição inicial no modelo, calculado a taxa de mudança do sistema e atualizado as variáveis de estado (proteína corporal, lipídio corporal, etc).

1.3.1.2 Empírico vs. mecanicista

Os modelos empíricos tem se demonstrado indispensáveis, contudo não exploram os mecanismos que determinam a resposta animal. Esses modelos descrevem as respostas dos animais de forma quantitativa em condições específicas sem representar os processos biológicos envolvidos nessa resposta. Essa descrição é baseada em equações matemáticas de predição aplicadas sobre dados experimentais. Os modelos mecanicistas, contudo, operam buscando compreender os mecanismos que determinam o estado do sistema. Esses modelos são baseados em leis físicas e químicas do animal e podem operar em diferentes níveis de agregação (tecido, célula ou molécula). Quanto mais agregado esse nível, melhor é a acurácia do modelo, entretanto maior é sua complexidade (BLACK, 1995). Os modelos mecanicistas comparados aos empíricos são mais flexíveis e podem estimar a resposta dos animais e as exigências nutricionais para várias condições.

1.3.1.3 Determinista vs. estocástico

A maioria dos modelos desenvolvidos para estimar crescimento é determinista por estimar um único resultado a partir da descrição do perfil de um animal (PDmax e potencial de consumo) e condição inicial (peso vivo, composição corporal, etc). Os modelos estocásticos representam a variação do sistema por incluírem elementos aleatórios ou distribuição de probabilidade no modelo. Os

modelos estocásticos, embora matematicamente mais complexos, operam em nível de população.

1.3.2 Base estrutural dos modelos matemáticos em nutrição animal

Desde o surgimento do primeiro modelo de crescimento proposto por WHITTEMORE & FAWCETT (1974) vários outros foram desenvolvidos e alguns são utilizados na produção de suínos (BLACK et al., 1986; TMV, 1991; INRAPORC, 2006). Esses modelos são dinâmicos, mecanicistas e deterministas. Através de simulações é possível estimar o crescimento de um indivíduo para várias condições muitas vezes difíceis de serem avaliadas por experimentação. Além do crescimento, esses modelos permitem estimar as exigências nutricionais, composição corporal e identificar fatores que afetam o desempenho dos animais.

Um aspecto importante nos modelos que estimam crescimento e consumo são as bases teóricas adotadas para descrever como o animal cresce e a forma como interage com o seu ambiente. Existem duas teorias que têm sido discutidas por diferentes grupos de pesquisa em modelagem. Uma das teorias aborda que o suíno cresce por que consome (*Push*). A outra descreve que o suíno consome por que cresce (*Pull*). A primeira é mais empírica por considerar o consumo como uma força motora do sistema sem explorar os mecanismos que o determinam. A teoria do *Pull* pressupõe que existem regulações de longo prazo (orientadas por forças genéticas) que determinam o crescimento animal e conseqüentemente o consumo. Essas regulações são também chamadas de *homeorhesis*. Essa teoria está bem descrita na literatura (SAUVANT, 1992; LOVATTO & SAUVANT, 2003) sendo utilizada como base na estruturação da maioria dos modelos existentes. A eficácia desses modelos que adotam a segunda teoria é determinada por uma adequada descrição do animal, ambiente, qualidade e quantidade de alimento disponibilizado e status sanitário. A combinação e estruturação desses fatores em um modelo matemático permite estimar a resposta animal para diferentes cenários de produção (Figura 4).

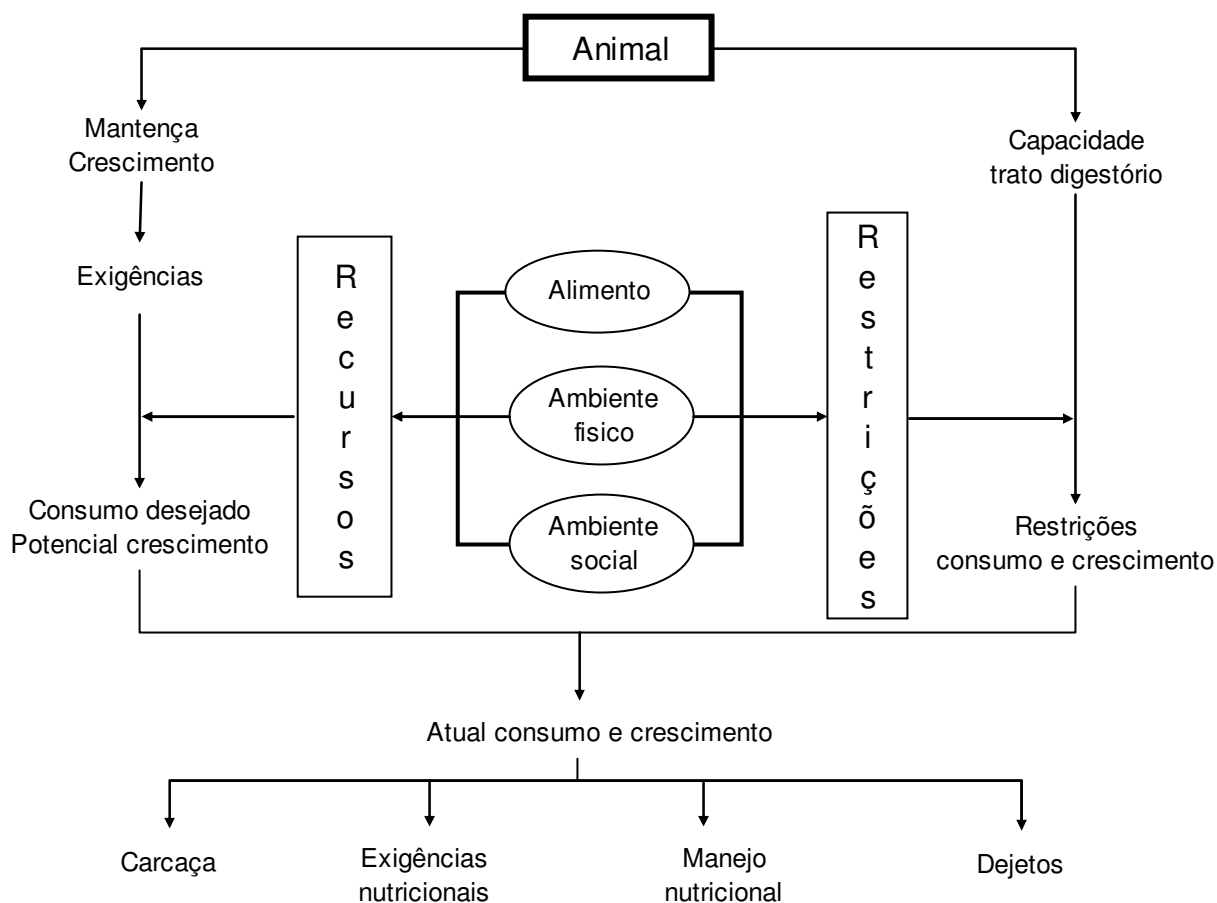


FIGURA 4 – Estrutura do processo relacionado à modelagem do crescimento e consumo e a subsequente aplicação comercial (FERGUSON, 2006).

As premissas e suposições-chave da teoria de que o suíno consome por que cresce (*Pull*) são as seguintes:

- O animal sempre tentará atingir seu potencial de crescimento o qual é definido pelo seu estado atual e potencial genético;
- O status sanitário e o ambiente físico e social são possíveis limitantes no potencial de crescimento;
- As respostas estimadas são sempre referentes ao animal que representa o potencial médio da população.

O potencial de crescimento dos animais pode ser estimado através de uma descrição adequada do genótipo. Quando o ambiente é inadequado, com base nas descrições (dieta, temperatura, sanidade, espaçamento, etc), o animal não expressará seu potencial genético. A extensão dessa restrição no modelo será

definida pelo número de procedimentos regulando a partição de nutrientes de acordo com o fator mais limitante (doenças, capacidade do trato gastrointestinal, balanço calórico, etc). Maiores informações relacionadas à partição de nutrientes no metabolismo animal em modelos de crescimento podem ser obtidas nas revisões de SANDBERG et al. (2005a; b).

Como a deposição proteica é umas das mais importantes forças de *homeorhesis* no metabolismo animal ela é mais utilizada para representar o potencial genético dos animais. Esse potencial de deposição proteica pode ser determinado em condições não limitantes ou em condições de campo e é denominado de PDmax. Existem diferentes funções matemáticas utilizadas para descrever o PDmax dos animais (GOMPERTZ, 1825; VON BERTALANFFY, 1957; PARKS, 1982; FRANCE et al., 1996). A função de Gompertz, por sua simplicidade, acurácia e facilidade de aplicação tem sido a mais utilizada (WHITTEMORE & GREEN, 2002; WELLOCK et al., 2004a). A partir do PDmax, o crescimento dos demais componentes (lipídios, minerais e água) pode ser estimado através de relações alométricas (EMMANS & FISHER, 1986; MOUGHAN et al., 1990). Nos modelos de crescimento, os componentes do ganho de peso são assim estimados no tempo através de equações diferenciais. A soma desses componentes no modelo permite assim estimar o atual estado do animal (peso vivo).

A forma de representar no modelo os fatores que atuam sobre o potencial de crescimento do animal (alimento, aspectos sanitários, ambiente, etc) estão descritos em diferentes revisões (DE LANGE & SCHEREURS, 1995; WHITTEMORE et al., 2001a; FERGUSON, 2006). Baseado na estrutura apresentada na figura 4, as exigências nutricionais podem ser estimadas pela inversão do modelo (VAN MILGEN et al., 2008). Nesse caso, a saída do modelo será a quantidade de nutrientes que permite ao animal expressar seu potencial considerando o efeito dos fatores externos. Dessa forma, embora não estimem as exigências de forma direta, esses modelos podem ser adaptados para tal finalidade. A diferença comparada ao método fatorial é que as exigências são estimadas de forma dinâmica. Além disso, na tentativa de representar o atual estado do animal vários fatores que afetam o crescimento são integrados nos modelos de crescimento.

1.3.3 Limitações dos modelos matemáticos em nutrição animal

Desde o surgimento do primeiro modelo proposto por WHITTEMORE & FAWCETT (1974), recursos financeiros foram investidos na tentativa de utilizá-los como ferramentas na otimização da produção de suínos. Os avanços em relação a esse objetivo foram limitados pela resistência em relação à acurácia dos modelos. Dentre os fatores determinantes dessa insegurança destaca-se o fato dos modelos serem deterministas. Adicionalmente, devido às estimativas do crescimento e das exigências nutricionais serem baseadas em leis fisiológicas e bioquímicas resulta em um modelo complexo com várias equações e parâmetros.

Os parâmetros dos modelos de crescimento são estimados previamente com base em uma população com baixa variabilidade e são referentes a um indivíduo médio representativo do potencial da população. Os modelos de crescimento estimam as exigências assumindo que os animais têm potencial genético similar à população referência na qual o modelo foi calibrado. As condições de campo, as trajetórias de consumo e crescimento são mantidas inalteradas durante toda simulação. Dessa forma, os modelos de crescimento atuais não consideram as diferenças entre os indivíduos, populações e as mudanças que ocorrem no decorrer do crescimento ao estimar as exigências nutricionais.

A utilização de modelos de crescimento para estimar as exigências nutricionais com base em informações prévias (potencial genético, dieta, temperatura, etc) pode conduzir a recomendações inadequadas do aporte nutricional. Na atualização do conhecimento e para simular diferentes cenários de produção esses modelos são excelentes. Entretanto, quando se trata de estimar as exigências nutricionais para populações heterogêneas dentro do seu atual ambiente e dieta, além de complexos, esses modelos apresentam baixa precisão. Na realidade, como existem diferenças entre indivíduos (potencial, peso, status sanitário, etc.) a resposta de cada indivíduo deveria ser representada ao estimar as exigências. Nos modelos de crescimento atuais, contudo, somente os principais fatores envolvidos na resposta de um indivíduo e suas interações são representados. Uma alternativa interessante é o uso de modelos estocásticos que com base em uma distribuição normal pré-estabelecida das fontes de variação

incidentes na resposta animal representam a população. Entretanto, um limitado número de fatores tem sido integrado nos modelos estocásticos existentes.

Alguns modelos empíricos estimaram as exigências sem a necessidade de representar os mecanismos envolvidos na resposta animal (LECLERCQ & BEAUMONT, 2000; SCHINCKEL et al., 2003). A acurácia na estimativa das exigências nutricionais dos modelos mecanicistas e deterministas é menor comparada aos modelos empíricos utilizados em condição de campo (THEODOROU & FRANCE, 2000). Entretanto, os modelos empíricos são precisos somente para a condição a qual são aplicados.

O InraPorc, diferente de alguns modelos, não representa o consumo e o PDmax de forma mecanicista devido as suas complexidades (VAN MILGEN et al., 2008). O InraPorc adota uma estratégia onde o usuário pode caracterizar um perfil animal em condição de campo. Além disso, o InraPorc determina vários perfis de animais de uma população através da relação entre parâmetros relacionados ao consumo e crescimento (BROSSARD et al., 2006). Após estabelecida essa relação, informações são utilizadas para gerar uma população virtual baseado no perfil de um indivíduo médio. Essa estratégia permite determinar qual o nível de um nutriente que otimiza do ponto de vista econômico e ambiental a resposta de uma população. O nível estimado é aplicado em programas de alimentação por fases. Dessa forma, indiferentemente do número de fases, uma única dieta é utilizada para todos os animais durante um determinado período. Parte dos animais estarão recebendo níveis nutricionais acima das suas exigências. Além disso, essa abordagem assume que o atual crescimento dos animais é o mesmo verificado na população referência.

O grupo de pesquisa do Dr. Colin T. Whittemore da Universidade de Edinburgo (UK) propôs um modelo que permite ajustar os parâmetros em tempo real para solucionar o problema de uma população referência (PARSONS et al., 2007). O modelo é integrado em um Sistema de Manejo Integrado (SMI), que é composto de três partes: (i) um sistema que permite mensurar diariamente o atual estado do suíno (peso, tecido magro e gordura); (ii) um sistema automático de alimentação que controla o fornecimento de nutrientes e um modelo de predição que conecta essas duas partes. Esse modelo, por possuir parâmetros sensíveis e de significado biológico, permite uma calibração em tempo real (intervalos de um dia) utilizando dados fornecidos pelo sistema. A calibração é considerada uma etapa

difícil nos modelos que utilizam dados da unidade de produção, pois é difícil descrever animal, dieta, e ambiente. Embora todos os *inputs* estejam definidos, muitas vezes eles não permitem representar o verdadeiro potencial do animal pelas constantes mudanças das condições de campo. O ajuste do modelo com dados coletados em tempo real reduz este problema (PARSONS et al., 2007). A parametrização usando dados de uma população referência, como no caso dos demais modelos de crescimento, pode não representar o atual potencial de crescimento dos animais.

No início da simulação o modelo de crescimento integrado no SMI utiliza dados de uma população referência. À medida que as informações são coletadas pelo SMI e utilizando uma técnica de otimização com base nos dados observados e estimados os parâmetros do modelo são ajustados em tempo real (Figura 05). Esse modelo de crescimento, embora apresente uma solução para operar com base na população atual, estima em tempo real somente o crescimento e as exigências de um único indivíduo (médio). Uma função não linear (ex: Gompertz) é utilizada para representar o potencial de crescimento dos animais. Quando se trata de uma série de informações de vários animais para estimar um potencial médio essa função apresentada é eficaz. Entretanto, para dados de um único indivíduo ela muitas vezes não apresenta convergência (BROSSARD et al., 2006). Isso ocorre principalmente em condições de campo onde vários fatores afetam o crescimento dos animais. Dessa forma, mesmo que SMI meça em tempo real informações de cada indivíduo da população, a estrutura do modelo apresentada não permite estimar o crescimento e as exigências de cada animal.

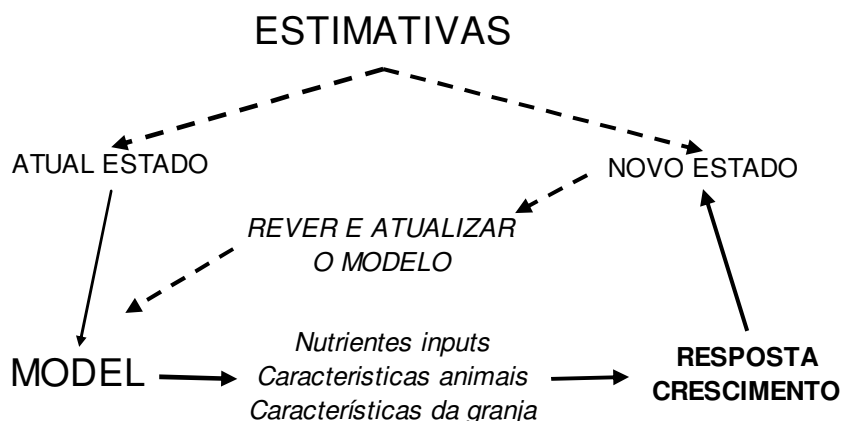


FIGURA 5 – Calibração do modelo integrado no Sistema de Manejo Integrado com uso de dados do sistema de produção.

Os métodos empírico e fatorial e os modelos de crescimento utilizados para estimar as exigências dentro dos programas nutricionais convencionais determinam um único nível a ser fornecido para todos os animais de uma população durante um longo período. Isso pressupõe que as exigências são únicas para todos os animais e não mudam no tempo.

1.4 Nutrição de precisão

1.4.1 Bases teóricas

A nutrição de precisão é um conceito agrícola que considera aspectos de variabilidade inter e intra-indivíduos (WATHES et al., 2008). Esta variabilidade vem das diferenças entre os animais (genética, idade e peso). Além dessa variação intrínseca ao animal existe a variação extrínseca. Essa variação refere-se a fatores externos que influenciam o desempenho dos animais e as exigências nutricionais. Os fatores extrínsecos são estes que incluem o ambiente físico e social (acesso ao alimento e água, temperatura, umidade e exposição a patógenos). Cada animal

reage diferentemente a esses efeitos, o que pode aumentar a variabilidade entre os animais (WELLOCK et al., 2004b).

Coeficientes de variação de 11% para conversão alimentar, de 13% para ganho de peso e consumo foram observados para uma população de 1832 suínos selecionados para deposição de carne magra (HALL et al., 1999). Por serem do mesmo genótipo, essas diferenças foram atribuídas principalmente ao efeito ambiental (HALL et al., 1999). Na avaliação da resposta de cada animal pela técnica de oxidação de aminoácidos as exigências individuais para lisina apresentaram uma variação entre animais de 9,8% (BERTOLO et al., 2005). A variação das exigências em metionina utilizando a mesma técnica foi de 7% (MOEHN et al., 2008). Nesses estudos anteriores, entretanto, os animais foram mantidos em condições adequadas. Nesse caso, essa variação é somente de ordem genética podendo ser superior quando considerados os efeitos externos. Essas diferenças de desempenho e das exigências confirmam a necessidade de considerar a variabilidade animal ao estabelecer programas nutricionais.

A nutrição de precisão visa considerar essa variabilidade e estabelecer exigências específicas para cada indivíduo no tempo de acordo com o seu potencial de crescimento. Além disso, em condições de campo essas exigências nutricionais podem ser específicas para cada objetivo de produção. Esse conceito corrobora com estudos que demonstraram a importância de considerar a variabilidade entre e intra-animais na avaliação da resposta biológica e nos programas nutricionais (GRUMMER, 1975; BAKER, 1986; POMAR, 1995; KNAP, 2000; LAMBERSON & FIRMAN, 2002; POMAR et al., 2003).

1.4.2 Aplicação do conceito

A aplicação do conceito de nutrição de precisão é dependente do uso de sistemas integrados similares ao proposto por PARSONS et al. (2007). Atualmente, grande parte do processo da produção animal pode ser automatizada. Equipamentos estão disponíveis para monitorar, alimentar e controlar o ambiente dos animais. Os sistemas integrados não representam apenas uma forma de

combinar esses vários subsistemas, mas também uma forma de delegar controles automáticos sobre eles. Na alimentação, esses sistemas são uma forma essencial para melhorar a eficiência de utilização do N, P e outros nutrientes, diminuindo assim a excreção desses elementos no meio ambiente (POMAR et al., 2009c). Por fornecerem uma nutrição adequada, esses sistemas permitem melhorar também aspectos relacionados à sanidade, bem-estar e ambiente dos animais.

Uma nutrição de precisão requer, entretanto, uma determinação precisa do valor nutritivo dos alimentos e das exigências nutricionais dos animais e uma formulação de dietas que ajuste de forma concomitante o aporte de nutrientes as exigências dos animais. Esse ajuste concomitante do aporte de nutrientes requer o conhecimento das exigências nutricionais de cada indivíduo da população em função do seu atual estado e da evolução do consumo e crescimento (POMAR et al., 2009c).

O *Agriculture and Agri-Food* (AGRIFOOD – Canadá) e a Universidade de Lleida (Espanha) com a colaboração da Universidade Federal de Santa Maria (Brasil) estão desenvolvendo um sistema de alimentação automática e inteligente que contempla o conceito de nutrição de precisão. Esse novo sistema, denominado de “*Intelligent Precision Feeder System (IPF)*”, visa otimizar a produção de suínos a partir de uma perspectiva animal, ambiental e econômica. O IPF é um sistema formado por um componente estrutural e outro lógico (Figura 6). O componente estrutural é um comedouro automático que serve como alimentador e mecanismo de medição de peso e consumo em tempo real. Acoplado ao comedouro existe um subsistema de dosagem que permite fornecer uma dieta em quantidade e qualidade determinadas pelo sistema. Para isso existem algoritmos específicos que permitem formular uma dieta para cada dia e indivíduo. Uma dieta específica para cada indivíduo e dia é obtida pela mistura de duas dietas pré-elaboradas (A e B). Onde a dieta A é elaborada para atender as exigências do primeiro dia e a dieta B para o último dia da fase de crescimento de uma dada população. O componente lógico, ainda em fase de desenvolvimento, é composto por um modelo matemático que estima as exigências nutricionais para cada indivíduo.

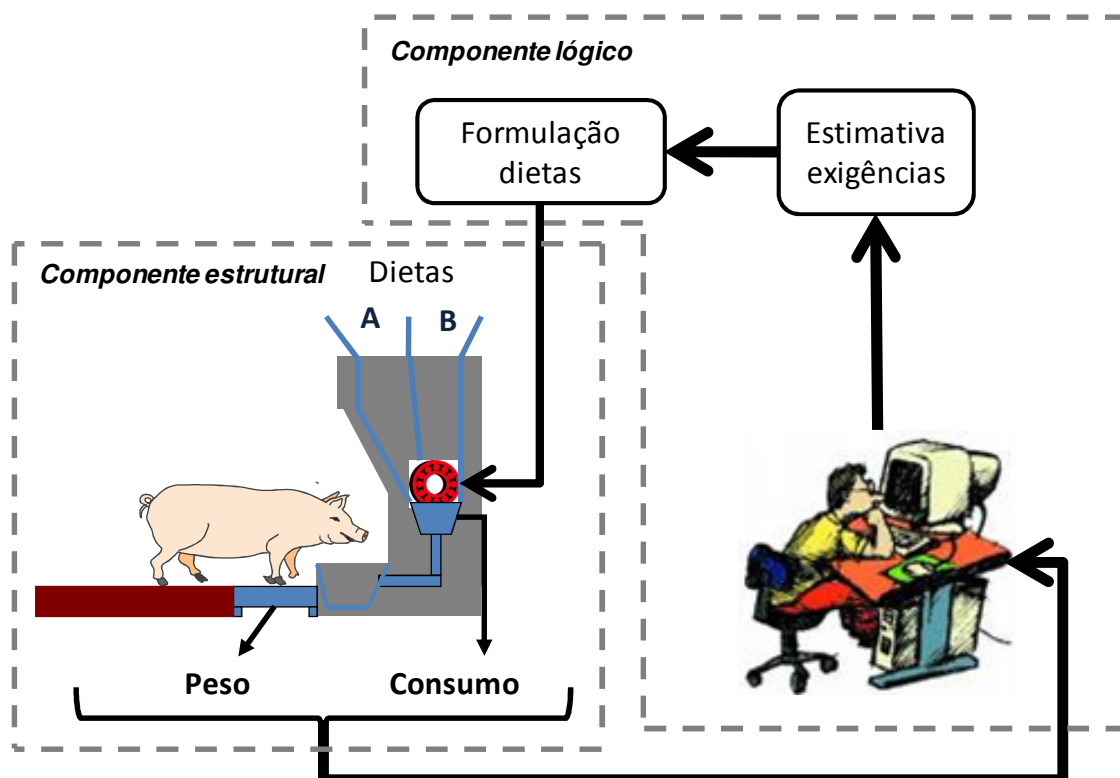


FIGURA 6 – Representação geral dos componentes estrutural (comedor) e lógico (modelo matemático para estimar as exigências e programa de formulação de dietas) do “*Intelligent Precision Feeder System*”

A versão final do IPF integrará o estado da arte do conhecimento científico na formulação de dietas, em modelos de crescimento e avaliação da utilização de nutrientes. Entretanto, a parte lógica do IPF precisa ainda ser estruturada para estimar de forma precisa a quantidade diária de nutrientes para cada indivíduo. Os métodos (empírico e fatorial) e os modelos de crescimento atuais, entretanto, não podem ser adaptados dentro do componente lógico para estimarem as exigências nutricionais individuais e em tempo real. Dessa forma, um novo modelo matemático deve ser proposto para ser integrado ao IPF para estimar as exigências nutricionais individuais e em tempo real.

Nessa revisão, verificamos que existem lacunas importantes a serem estudadas no que se refere à forma de estimar as exigências nutricionais.

Diferentemente dos métodos atuais, as exigências são individuais e dinâmicas. Dessa forma, para otimizar a resposta de uma população em condição de campo, as exigências diárias deveriam ser estimadas para cada indivíduo. Isso é inerente ao conceito de nutrição de precisão. Além de desenvolver um novo método que estime as exigências dentro desse conceito, uma análise sistemática dos métodos atuais deve também ser realizada. Isso permitirá demonstrar questões importantes sobre estimativas das exigências para populações em condições de campo às comunidades científica e técnica.

1.5 Problema da pesquisa

Para otimizar as respostas biológicas, econômicas e ambientais de populações de suínos é necessário considerar a variabilidade inter e intra-animais ao estabelecer os programas nutricionais. Os métodos empírico e fatorial, por suas características deterministas e estáticas, nem sempre estimam as exigências nutricionais para otimizar resposta de populações heterogêneas de suínos. Adicionalmente, os modelos de crescimento existentes, por integrarem ambos os métodos, não são capazes de estimar as exigências nutricionais individuais e em tempo real.

1.6 Questões

- Os métodos atuais de estimação das exigências nutricionais são adequados para obter uma resposta desejada de uma população?
- As exigências nutricionais diárias de cada indivíduo podem ser estimadas?

1.7 Objetivos

- Estimar as exigências de um nutriente para uma dada população de suínos através dos métodos empírico e fatorial;
- Estabelecer a relação entre as exigências do nutriente estimado com esses dois métodos;
- Estudar as limitações desses métodos com relação ao aporte do nutriente necessário para otimizar a resposta de indivíduos e populações de suínos em crescimento;
- Desenvolver um modelo matemático que estime as exigências nutricionais individuais em tempo real de suínos em crescimento;
- Avaliar a consistência lógica do modelo proposto (avaliação interna);
- Comparar o modelo com um modelo determinista (avaliação externa).

CAPÍTULO 2

SYSTEMATIC COMPARISON OF THE EMPIRICAL AND FACTORIAL METHODS USED TO ESTIMATE THE NUTRIENT REQUIREMENTS OF GROWING PIGS

Este capítulo é apresentado de acordo com as normas para publicação na Revista **Animal (Cambridge)**

Artigo aceito para publicação, *Animal (Cambridge)*, 2010.

**Systematic comparison of the empirical and factorial methods used to
estimate the nutrient requirements of growing pigs**

L. Hauschild^{1,2}, C. Pomar¹ and P. A. Lovatto²

*¹Dairy and Swine Research and Development Centre, Agriculture and Agri-Food Canada,
Sherbrooke, Québec, Canada J1M 1Z3*

²Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS 97105-900 Brazil

Corresponding author: Candido Pomar, e-mail: candido.pomar@agr.gc.ca

Abstract

Empirical and factorial methods are currently used to estimate nutrient requirements for domestic animals. The purpose of this study was to estimate the nutrient requirements of a given pig population using the empirical and factorial methods; to establish the relationship between the requirements estimated with these two methods; and to study the limitations of the methods when used to determine the level of a nutrient needed to optimize individual and population responses of growing pigs. A systematic analysis was carried out on optimal lysine-to-net-energy ratios (Lys:NE) estimated by the empirical and factorial methods using a modified InraPorc[®] growth model. Sixty-eight pigs were individually simulated based on detailed experimental data. In the empirical method, population responses were estimated by feeding pigs 11 diets with different Lys:NE ratios. Average daily gain and feed conversion ratio were the chosen performance criteria. These variables were combined with economic information to estimate the economic responses. In the factorial method, the Lys:NE ratio for each animal was estimated by model inversion. Optimal Lys:NE ratios estimated for growing pigs (25 to 105 kg) differed between the empirical and the factorial method. When the average pig is taken to represent a population, the factorial method does not permit estimation of the Lys:NE ratio that maximizes the response of heterogeneous populations in a given time or weight interval. Although optimal population responses are obtained by the empirical method, the estimated requirements are fixed and cannot be used for other growth periods or populations. This study demonstrates that the two methods commonly used to estimate nutrient requirements provide different nutrient recommendations and have important limitations that should be considered when the goal is to optimize the response of individuals or pig populations.

Keywords: animal variability, lysine, nutrient requirements, pigs, simulation models

Implications

This paper describes the inherent limitations that characterize the utilization of the factorial and empirical methods which are widely used under commercial conditions to estimate nutrient requirements in growing animals. The two methods provide different nutrient recommendations and have important limitations that should be considered when seeking to optimize the response of individual pigs or pig populations. The relationship between the factorial estimation of nutrient requirements and animal responses is described. This new knowledge is essential for the establishment of optimal nutrient allowances for the swine industry. The study illustrates the need to have a better understanding of the dynamic nature of animal responses and the differences between individual pigs and population responses with respect to nutrient requirements.

Introduction

In industrial and semi-industrial swine production systems, feed cost may represent more than 60% of the overall production cost. The variation in feed cost among geographical regions relates to feed ingredient availability and the feeding strategies adopted in regard to production objectives. Increasing nutrient efficiency by reducing nutrient excretion may help to reduce production costs and improve

production efficiency while meeting government policies (Jean Dit Bailleul *et al.*, 2000).

Under commercial conditions, nutritional programs are established by seeking to achieve a reasonable balance between the nutrients provided by the diet and the estimated nutrient requirements of the animals. However, the nutritional value of feed ingredients depends not only on the nutrient composition of the ingredient, but also on the metabolic fate of these nutrients in animals (Noblet *et al.*, 1994). Therefore, precise knowledge of the metabolic availability of dietary nutrients and a proper definition of nutrient requirements are key factors to be addressed to improve nutrient efficiency (Pomar *et al.*, 2009).

When all other nutrients are provided in adequate amounts, the requirements for a specific nutrient can be defined as the minimal amount of this nutrient needed to prevent deficiency and allow the animal to perform its physiological functions (Lassiter and Edwards, 1982). For pig populations however, nutrient requirements can be defined as the amount of nutrients needed for specified production purposes such as optimal growth rate, feed conversion ratio or maximal revenue. This definition applies to the context of feeds provided to heterogeneous populations over long periods of time (Ferguson *et al.*, 1997; Knap, 2000; Pomar *et al.*, 2003).

Empirical and the factorial methods are the most common approaches used nowadays to estimate optimal dietary nutrient levels in commercial animal production systems. In the empirical method, nutritional requirements are defined as the minimal amount of nutrients needed to maximize or minimize population responses for one or several performance criteria (e.g., weight gain) during a given time period. In the factorial method, daily requirements are obtained for an individual pig at a specific point in time by combining the estimated requirements for maintenance and

production (growth, milk production, etc.). When the factorial method is used to estimate the requirements of a given population, the chosen individual should be the best representative for the population. Thus, the empirical method estimates optimal nutrient allowances from a population perspective, whereas the factorial method estimates the needs of a reference animal during a very short period of time, normally 1 day (Pomar *et al.*, 2003). Therefore, if we want to use the factorial method to estimate optimal nutrient allowances in populations of growing pigs, the relationship between the requirements estimated with these two methods needs to be established. The objectives of this study were (i) to estimate nutrient requirements of a given pig population based on the empirical and factorial methods; (ii) to establish the relationship between the nutrient requirements estimated with these two methods and to study the limitations of these methods with respect to determining the amount of a given nutrient that is needed to optimize individual and population responses of growing pigs.

Material and methods

Animal data

Data from a population of growing-finishing female pigs described by Pomar *et al.* (2007) were used to estimate the minimum true ileal digestible lysine (Lys) concentration required in feeds to optimize growth according to the empirical and factorial methods. These pigs were used in a project comparing growth performance, body composition, and nitrogen and phosphorus excretion between a three-phase and a daily multiphase feeding program. Pigs from 25 to 105 kg of body weight were offered feed *ad libitum*. Complete diets were obtained by combining two premixes for

which composition was calculated to meet or exceed the animals' requirements throughout the experiment (Letourneau Montminy et al., 2005). Feed consumption was measured throughout the experiment using an automated recording system (IVOG[®]-station, Insentec, Marknesse, Netherlands). The animals were weighed at least every two weeks. At the beginning and end of the experiment, total body fat and body fat-free lean tissues were estimated by dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) using a densitometer (DPX-L, Lunar Corp., Madison, WI, US). Total body protein and lipids were obtained by converting the muscle and fat values obtained with DXA into their chemical equivalents (Pomar and Rivest, 1996). Data from 68 animals with regular feed intake and growth patterns were used in the present study. The data set used in the present study includes measures of daily net energy intake, two-week interval body weight, and total body lipids and protein at the beginning and end of the experiment. The total growth period lasted 83 days.

Pig growth modeling

The growing pig module of InraPorc[®] (van Milgen et al., 2008) was used in the present study to estimate the Lys requirements by the empirical and factorial methods and to perform a systematic comparative analysis of the two methods. Because this model estimate animal responses by simulating the utilization of nutrients based on concepts used in net energy and ideal protein systems, comparisons between the empirical and factorial methods can not be attributed to the model itself. Furthermore, the model was modified slightly as described below to optimize utilization of the available data. Individual pigs are characterized by their voluntary feed intake and growth potential, which can be defined respectively by the pig's appetite expressed as net energy (NE) intake and its potential for protein deposition (PD). The model is based on the transformation of dietary nutrients into

body protein (PT) and lipids (LT) (state variables), which are then used to estimate body weight (BW). Euler's integration method is used to solve the differential equations with an integration step (dt) of 1 day. Rate variables are expressed on a daily basis, energy is in megajoules, mass in kilograms, and concentrations are expressed on a kilogram basis when not otherwise specified in the text. Because the animals' appetite is expressed as net energy intake, true ileal Lys requirements estimated by either method are expressed in relation to this element (Lys:NE).

Model modifications. The Gompertz function proposed in InraPorc to represent the potential for protein deposition was not used in this study because sometimes individual growth does not follow the typical Gompertz growth pattern and convergence is difficult in these cases. Thus, a second-order polynomial function was chosen to represent the change in observed weight and daily net energy intake of each animal over time. Although the parameters in this polynomial model have little biological meaning, they allow proper representation of the observed individual BW and feed intake data over the 83 days during which animals were fed in the original trial. All results presented in this paper were obtained with the modified InraPorc model.

Individual animal characterization. Body weight is estimated in the model by a quadratic function of time (t) fitted to data from the four weightings of each pig. The first derivative of this function is used to estimate daily weight gain ($\partial BW/\partial t$), while PD is estimated according to Schinckel and de Lange (1996) as follows,

$$PD/\partial t = \partial BW/\partial t * (ADPG/ADG),$$

where $PD/\partial t$ is the simulated daily protein deposition and ADPG and ADG are the average daily PD and weight gain calculated from initial and final BW and protein

masses measured on individual pigs. $PD/\partial t$ and $\partial BW/\partial t$ are therefore always equidistant. Energy intake was estimated based on the daily measures of NE intake in relation to BW using a quadratic function. Body weight was chosen to drive NE intake to maintain the same driving forces as in the InraPorc model.

Initial conditions and animal variation. Initial LT and PT masses for each simulated pig were estimated from DXA measurements, from which simulated initial BW was estimated using the empirical relationships proposed in InraPorc. However, initial BW was not normally distributed and showed low variability between animals (s.d. = 1.2 kg; CV < 5%). Thus, a new population was generated randomly having normally distributed initial BW, the same average BW and a s.d. of 3.8 kg. The generated initial population variability was chosen to represent the observed variability of commercial conditions (Patience *et al.*, 2004; N. Lafond, Aliments Breton Inc., Québec, personal communication). The body composition of the newly generated population was established by giving each new pig the identification and body protein and lipid proportions of the pig having the same weight rank in the original population.

Evaluation of the modified pig growth model

The ability of the modified model to simulate individual pig average feed intake (ADFI) and BW was evaluated by comparing measured and predicted data within each feeding phase. For this evaluation, the initial conditions of the original population were used. For BW, only data measured and predicted at the end of each feeding phase were compared. The model was calibrated to predict the observed ADFI and BW of each pig. All the pigs were fed according to the three feeding phases used in the original experiment. All feeds contained 10 MJ NE/kg and were

assumed to have all other nutrients in excess, including Lys. The quality of fit was evaluated by following the procedure of Theil (1966) in which the mean square prediction error (MSPE) is calculated as the sum of the square of the difference between simulated and observed measurements divided by the number of experimental observations. The MSPE was decomposed into error in central tendency (ECT), error due to regression (ER), and error due to disturbances (ED) and expressed in % of MSPE as suggested by Benchaar *et al.* (1998).

Predicting lysine requirements

The Lys:NE requirements were estimated by the modified growth model for each of the three 28-day feeding phases for which the initial BW averaged 24.5 ± 4.1 , 54.4 ± 4.9 and 81.6 ± 5.4 kg, respectively.

The empirical method. The optimal dietary Lys:NE concentration for each feeding phase was estimated by simulating individual pig growth based on feeds containing 10 MJ NE/kg but 11 graded levels of Lys. The Lys:NE ratios ranged from 0.51 to 1.41, from 0.41 to 0.99, and from 0.36 to 0.86 g/MJ in phases one, two and three, respectively. In all simulations, all nutrients other than Lys were assumed to be not limiting. The Lys level of the basal diet was assumed to be limiting for growth while the 11th level was formulated to provide excess Lys during the 28 days of each feeding interval. In the simulated experiment, Lys-HCl was added to the basal diet to obtain the 10 additional Lys:NE dietary levels.

Animal performance was assessed in each feeding phase on the basis of the simulated individual average daily weight gain (ADG) and feed conversion (FCR). The relationship between population ADG or FCR and the Lys:NE ratio was estimated by fitting a quadratic linear-plateau model using the NLIN procedure of the Statistical Analysis System (SAS) software (1999). Individual ADG and FCR

responses for each diet were combined with the estimated feed cost and BW value to estimate individual feed cost and revenue. Feed cost was estimated as follows,

$$\text{Feed cost (\$/kg)} = 0.3272 + 0.0791 * \text{Lys:NE.}$$

This relationship was obtained by fitting the cost of the most common commercial pig feeds sold in Québec from March to June 2008 to its Lys:NE content (N. Lafond, Aliments Breton Inc., Québec, personal communication). Pigs were assumed to be sold at \$1.4/kg BW, which was the average value of the pigs sold in Québec from June to July 2008 (Fédération des Producteurs de Porcs du Québec, 2008). Feeding cost per kg of gain, gross margin and revenue in relation to Lys:NE level were then obtained as follows,

$$\text{Feeding cost (\$/kg weight gain)} = \text{FCR}_{\text{Lys:NE}}$$

* Feed cost

$$\text{Gross margin (\$/gain/period)} = \text{ADG}_{\text{Lys:NE}} * 1.4$$

$$\text{Revenue} = \text{Gross margin} - (\text{ADG}_{\text{Lys:NE}} * \text{feeding cost})$$

The factorial method. The modified pig growth model was inverted in the present study to estimate the daily Lys requirement according to the animal's current state and its potential for protein deposition, that is, the main factors determining respectively the requirements for maintenance and growth. Those requirements are calculated using the method suggested by van Milgen *et al.* (2008). The optimum Lys:NE ratio was obtained by dividing the daily Lys requirement by the estimated NE appetite. For any given Lys:NE diet on any experimental day, the proportion of animals above requirements can be estimated by that approach. With reference to current state, factorial nutrient requirements are frequently estimated by assuming that the average pig in the middle of the growing period is the best criterion for

estimating the requirements of a population over the growing period (NRC, 1998). However, when the objective is to maximize animal performance, maximum Lys:NE requirements normally appear at the beginning of each feeding phase (Brossard *et al*, 2009). In the present study, the last method was used to estimate the requirements of a given pig during any feeding interval.

Results and discussion

Evaluation of the model under adequate nutritional conditions

Across all feeding periods, the simulated and observed values were similar for both ADFI (2.44 vs. 2.43 kg, $P = 0.99$; Figure 7) and average BW (79.40 vs. 78.30 kg, $P = 0.70$; Figure 8). Model accuracy as estimated by the MSPE values was 0.01 kg/d for ADFI and 3 kg for BW. Deviations between observed and simulated performance values were small, which is consistent with the fact that model parameters were estimated for each pig in the population. However, the slope between the predicted and observed ADFI was 1.15, which is higher than 1 ($P < 0.001$), indicating that the model underestimated ADFI during the first feeding phase and overestimated this variable in older pigs. In fact, 43% of the observed error between the predicted and observed feed intake is given by the difference between the slopes (ER error). Observed feed intake seemed to approach a plateau at the end of the last feeding period, a trend that was probably not captured by the quadratic function used in this study. The slope between the predicted and observed BW ($b = 1.05$) was also higher than 1 ($P < 0.001$). However, in contrast with the predicted ADFI, the model underestimated BW slightly during the first feeding phase.

>>> **To insert Figure 7**

>>> **To insert Figure 8**

The effect of the simulated Lys:NE ratios on feed intake

As expected, feeding pigs diets with different levels of Lys had little effect on feed intake, which varied from 1.95 to 2.00 kg/d, from 2.47 to 2.51 kg/d, and from 2.80 to 2.82 kg/d for phases one to three, respectively (data not presented). Model assumptions include the following: simulated animals had free and continuous access to a single homogenous feed at all times; the feed contained no toxins and the rate of intake was not limited by the digestive capacity of the pig; and the environment was thermally neutral at all times. Under these conditions, it is assumed that pigs were able to eat an amount of feed that was sufficient to satisfy their net energy requirements. As is also assumed in other pig growth models (Whittemore *et al.*, 2001; van Milgen *et al.*, 2008), the modified InraPorc model used in this study assumed that pigs do not modify feed intake during or after lysine-deficient periods. The assumption that pigs do not increase feed intake to meet their requirements when fed lysine-deficient diets is supported by some authors (Owen *et al.*, 1994; Nam *et al.*, 1995) but not by others (Smith *et al.*, 1999; Cline *et al.*, 2000). Feeding pigs at levels below Lys requirements limits protein growth and pigs become fatter and lighter. The small differences in feed intake observed in the present study across the different Lys levels resulted from differences in ADG.

Estimating lysine requirements in populations of growing pigs

The empirical method. Lysine requirement was estimated according to the empirical method by simulating the response of pig populations when fed different levels of dietary Lys. Because all pigs in the population were subjected to treatments, the

effect of the heterogeneity of the population is embedded in the solution (Figure 9). Population responses for ADG varied from 710 to 1,021 g in phase one, from 717 to 954 g in phase two, and from 701 to 866 g in phase three. Average FCR values ranged from 2.78 to 2.02 in phase one, from 3.44 to 2.63 in phase two and from 4.01 to 3.18 in phase three. The ADG increased and the FCR decreased with increasing dietary Lys:NE ratio according to a quadratic linear-plateau model in the three feeding phases. In linear-plateau models, the slope of the response between Lys deposition and Lys intake represents the marginal efficiency of dietary Lys retention, whereas the intercept between the linear and plateau sections can be interpreted as the Lys requirements. In quadratic-plateau models, the first derivative of the ascending part of the response function, which is curvilinear, represents the instant marginal Lys efficiency and the intercept with the plateau section represents the Lys requirement. In the present study, population ADG increased according to this model from 0.51 to 1.09 g/MJ of Lys:NE ratio in phase one, from 0.41 to 0.80 g/MJ in phase two, and from 0.36 to 0.65 g/MJ in phase three. Population FCR decreased from 0.51 to 0.99 g Lys/MJ NE in phase one, 0.41 to 0.75 g/MJ in phase two, and 0.36 to 0.63 g/MJ in phase three. These simulated results show that the marginal efficiency of dietary Lys decreases as the level of this nutrient approaches the levels at which the population shows maximum ADG or minimum FCR values. In these simulations, the maximum response estimated by the quadratic linear-plateau model for ADG was reached at the Lys:NE ratio of 1.09 g/MJ in phase one, 0.80 g/MJ in phase two, and 0.65 g/MJ in phase three. Minimum estimated response for FCR was reached in the Lys:NE ratio of 0.99 g/MJ in phase one, 0.75 g/MJ in phase two, and 0.63 g/MJ in phase three.

>>> To insert Figure 9

In weight ranges similar to those simulated during the first feeding phase, studies using a quadratic function estimated optimal Lys:NE ratios for maximum ADG responses to be 1.07 g/MJ (Warnants *et al.*, 2003) and 1.18 g/MJ (O'Connell *et al.*, 2005) which are close to the values obtained in this study. In the 52 to 78 kg and in the 78 to 109 kg weight ranges, Owen *et al.* (1994) obtained optimal Lys:NE ratios of 0.82 g/MJ and 0.75 g/MJ respectively for FCR, which are also close to those obtained by simulation in the present study.

A decrease in the marginal efficiency of nutrients given to a population at decreasing limiting levels is frequently observed in animal studies (Bikker *et al.*, 1994; O'Connell *et al.*, 2005) or in simulation studies (Pomar *et al.*, 2003; Brossard *et al.*, 2009). Variability among the animals of a given population may contribute significantly to the decrease in nutrient efficiency over varying nutrient levels (Curnow, 1973), independently of animal variation arising from genetic (Pomar *et al.*, 2003), environmental or animal-management sources (Wellock *et al.*, 2004). In the present study, the simulated phenotypic variation is the result of between-animal genetic differences (feed intake and growth potentials), their interaction with dietary treatments, and differences in body weight and body composition between animals at the beginning of the simulations. Furthermore, Pomar *et al.* (2003) demonstrated that increasing the time over which animal responses are measured increases the curvilinearity of the responses, which also contributes to the curvilinear Lys marginal efficiency observed in this study.

In the empirical method, the nutrient level at which the optimal population response is observed within a given growing period is generally identified as the population's requirement for this nutrient for this growing interval. However, the maximum population response is dynamic in nature (Pomar *et al.*, 2003) and care must be exercised when attempting to extrapolate optimal nutrient levels to different animals or growing intervals. Furthermore, the response criteria used to estimate the requirements may also suggest different nutrient requirements (Baker, 1986). These criteria may be biological, technical, economic and/or environmental in nature (Jean Dit Bailleul *et al.*, 2000). In this study, for example, the optimal Lys:NE ratio for ADG was 9%, 6% and 3% higher than the optimal Lys:NE ratio observed for FCR in phases one to three, respectively. Feed intake and ADG evolve differently in response to Lys:NE, which explains why FCR and ADG do not necessarily reach the same optimal values. When gain and voluntary feed intake reach their highest point, gain remains constant but feed intake decreases with additional Lys (Baker *et al.*, 2002). This shows that the Lys requirement for FCR can be higher than for ADG. Previous studies also suggest that the Lys requirement may be higher for maximal feed efficiency than for maximal weight gain (O'Connell *et al.*, 2005; Main *et al.*, 2008). In the present study, however, the effect was different because the InraPorc model does not represent the effect of Lys deficiency on feed intake.

Nutrient requirements in the empirical method result from the response of each individual within the population, which is affected by its genetic potential, nutritional background, growing conditions, the interval during which pigs are evaluated, and the criterion used to estimate optimal population responses. A question that has given rise to debate concerning this method is how to estimate optimal nutrient requirement on the basis of biological responses that are sensitive to

all these factors. Because one of the purposes of this study was to compare the empirical and factorial methods of estimating nutrient requirements, the point on the curve representing the maximum or minimum population response is probably the best compromise (Baker, 1986).

The linear-plateau is frequently the preferred model for representing the responses of animals to graded levels of limiting nutrients (Baker, 1986) and for the objective estimation of nutrient requirements. Although this model generally provides a good statistical fit, it tends to underestimate optimal nutrient levels since it does not take into account the physiological differences between the individuals in a population (Remmenga *et al.*, 1997). In this respect, the model may not be suitable because it does not consider the curvilinear nature of the response of a population to graded levels of a limiting nutrient. A quadratic linear-plateau model has been recommended for describing curvilinear population responses and estimating nutrient requirements (Baker *et al.*, 2002). In this type of model, the optimum nutrient level is attributed to the intersection between the quadratic function and the plateau. From that point onward, increases in the ingestion of the limiting nutrient are assumed not to have any effect on population response. The quadratic linear-plateau model was chosen in the present study because it showed a better fit to simulated population responses.

Maximal ADG or minimal FCR may not necessarily result in maximum economic return. This is due to the fact that population responses to increasing levels of limiting nutrients (i.e., Lys) progressively decline as the limiting nutrient approaches the plateau level. Because Lys- or protein-rich diets are more expensive than low-Lys or low-protein diets, marginal economic returns can be expected to decrease faster than Lys marginal efficiency. This is in agreement with some

commercial practices in which optimal nutrient recommendations are based on 90–95% of the maximal ADG or at 110–105% of the minimal FCR.

Determination of nutrient requirements or optimal nutrient levels is therefore difficult due to the curvilinear nature of the population responses. In the empirical approach, minimizing feeding costs or maximizing revenues has been proposed as an alternative (Pack *et al.*, 2003). In this study, biological data have been linked to economic parameters to estimate the optimum Lys:NE ratios. The Lys requirement for maximal revenue was greater than the level at which feed cost per kilogram of weight gain would be minimized for phase one (9.4%; Figure 10). For this feeding phase, the difference is due to the fact that the marginal increase in ADG is small near the maximal ADG, while feed cost is still proportional to dietary Lys concentration. Furthermore, simulations were performed at Lys:NE increments of 0.09, 0.06 and 0.05 and, in some cases, the optimal response falls between two increment levels. In comparison with optimal response values for ADG, the estimated optimum economic level for revenue was 12% lower in phase one, 5% lower in phase two and 6% lower in phase three. Within the simulated context, the estimated nutritional requirements based on optimal population responses differed from those obtained for economic responses. Other studies have likewise shown that optimal economic returns are not always obtained at optimal biological responses (de Lange and Schreurs, 1995; Jean Dit Bailleul *et al.*, 2000). Other performance criteria, such as cost per kg of carcass lean meat and minimal nitrogen or phosphorus excretion, also yield different optimal values (Jean Dit Bailleul *et al.*, 2000; Pack *et al.*, 2003). Nonetheless, the empirical approach can be used to determine the optimal amounts of nutrients that need to be provided to the population to optimize production from an animal, economic or environmental

perspective. Any attempt to extrapolate these findings to other production situations calls for caution (Baker, 1986; Pomar *et al.*, 2003).

>>> To insert Figure 10

The factorial method. In the factorial method, daily requirements are estimated as the sum of the requirements for maintenance and production. For a given growing period, maximal requirements are assumed to be the requirements that will ensure that the provided Lys will not limit growth. Also, maximal requirements for a given period normally appear at the beginning of the period. The estimated required Lys:NE ratio of the studied pig population ranged from 0.70 to 1.27 g/MJ in feeding phase one, from 0.62 to 0.86 g/MJ in feeding phase two, and from 0.47 to 0.72 g/MJ in feeding phase three (Figure 11). Based on the empirical cumulative distribution function, the Lys:NE value corresponding to the average pig of the population requirements was 0.96 g/MJ in phase one, 0.73 g/MJ in phase two and of 0.59 g/MJ in phase three. The estimated individual values were normally distributed, with a s.d. of 0.12, 0.07 and 0.06, and a CV of 13.5, 9.6 and 9.6%, in feeding phases one to three, respectively. Additionally, the range of Lys:NE requirements of young pigs is much higher than the ranges obtained with older pigs.

>>> To insert Figure 11

Bertolo *et al.* (2005) estimated individual Lys requirements using the amino acid oxidation indicator technique in nine pigs having a weight range similar to that in this study's first phase and obtained a CV of 9.8%, which is slightly lower than the

value obtained in the present study. With this method, in which only two days of adaptation to each level of Lys are required, sufficient data can be obtained from each pig in a short period of time to estimate individual requirements. Thus, as in the factorial method, the observed variability in requirements among animals can only be attributed to genetic and body weight differences. When the factorial method is used to estimate nutrient requirements, it is common to use the average pig to represent the population. Furthermore, unlike the empirical method, the factorial method estimates nutritional requirements based on one individual at one specific point in time. Thus, changes that occur during the growing interval under study are not evaluated. Variation between animals in the estimated requirements for maintenance and growth and in metabolic efficiencies is also not considered.

Comparing the empirical and factorial methods

For the sake of simplicity, only the results from the first feeding phase are used in this section. Similar conclusions can be reached for the results from the other two feeding phases. In this section, we look at the differences between the empirical method and the factorial method when used to estimate optimal nutrient requirements of a population of pigs within a given growth interval.

In the first feeding phase, maximum ADG was reached with a Lys:NE ratio 12% higher than the requirement of the average pig estimated by the factorial method (Figure 12). This estimation corresponds to an animal whose requirements are in the 82nd percentile of the population. For the FCR, however, the empirical estimates correspond to those for a pig in the 58th percentile of the population, whereas empirical estimates for optimizing revenues are close to the average pig (50th percentile). These results cannot, however, be generalized to other economic

or production contexts, since feed costs are volatile and the relationship between animal responses and costs are linked to market prices.

>>> To insert Figure 12

Results of empirical experiments have been used to evaluate the accuracy of the factorial method in estimating population requirements (Bikker et al., 1994; Main et al., 2008). In these experiments, the estimated requirements for the average pig were also lower than the nutrient level at which the maximum biological population response was obtained. According to the results of the present study, feeding pigs based on factorial methods in which the average pig population is used as a reference tends to limit the growth of an important proportion of the pigs and, therefore, average population responses will be below the maximal population potential. In fact, if the factorial requirements estimated for the average pig are applied to populations exhibiting between-animal variation, only 50% of the population will consume enough nutrients to express full growth potential (Pomar et al., 2003; Brossard et al., 2009). Furthermore, the difference between the factorial method and the empirical method can be expected to increase with the level of heterogeneity of the population (Pomar et al., 2003).

Another point worth noting is that the estimated population responses in the present study were obtained in three 28-day growth intervals. The empirical method would provide different requirement estimates if the starting point or the length of the interval were modified. By contrast, in the factorial method only the starting point is considered in estimating nutrient requirements; the time interval over which the diets are supplied is not considered. In this method, feed intake and animal growth are

considered static. However, during the growing period feed intake (or energy intake) increases proportionally more rapidly than the requirement for Lys and thus, the optimal nutrient concentration ratio diminish progressively during growth. Besides the fact that requirements are dependent on the criteria used to evaluate population responses, this trend makes the process of identifying the individual and the point during the growth interval that should be used to estimate requirements of a growing population even more complex and subjective. In the comparison between the empirical method and the factorial method made by Pomar et al. (2003) for generic populations, it was not possible to establish a relationship between the two methods. In the present study, a systematic comparison was made of the differences between and the limitations of these two methods when used to optimize near-commercial population responses according to different production criteria.

Determining the limitations of the empirical and factorial methods

One of the problems in evaluating the empirical and factorial requirements for optimizing population responses lies in integrating all the factors related to animal response. Variation among animals over time is rarely taken into account. The importance of considering variability among animals in evaluations of biological responses and in nutritional programs has been demonstrated in recent years (Baker, 1986; Pomar *et al.*, 2003; Main *et al.*, 2008). Between-animal variation shapes population responses and, therefore, the overall efficiency of nutrient utilization (Pomar *et al.*, 2003) and optimal nutrient levels (Leclercq and Beaumont, 2000; Pomar *et al.*, 2003; Brossard *et al.*, 2009). Current methods, when aimed at optimizing population responses, estimate requirements on the basis of the potential of a single individual at a given point in time (factorial) or the response of a

population to the intake of a given nutrient level in a fixed interval (empirical). The response of a population to the intake of a given nutrient in a specific environment as part of a given diet, however, is dependent on the daily response of each animal. An estimate of requirements based on a single animal at one point in time does not necessarily correspond to the level of nutrients that will optimize population responses. Similarly, the mean population response estimated by the empirical method cannot be used to represent the daily response of each animal, as both types of responses differ in form and magnitude over time (Pomar *et al.*, 2003; Wellock *et al.*, 2004). In addition, these differences increase with the degree of heterogeneity of the population, which is determined by genetic, environmental or management factors which may be specific to each production situation (Pomar *et al.*, 2003). Since the response of a population to the intake of a given nutrient is influenced by its heterogeneity, requirements may be different for each population condition. Therefore, this study illustrates the need to gain a better understanding of the dynamic nature of animal responses before making strategic nutritional decisions. In this context, the approaches used to estimate requirements with a view to optimizing population responses must be re-evaluated. New methods are required that take into account the daily biological response of the animals in a given environment for a given diet so that the ideal level of a nutrient can be estimated.

Conclusions and perspectives

The optimum Lys:NE ratios estimated for growing-finishing pigs (25 to 105 kg) differ between the empirical method and the factorial method. For daily weight gain and feed conversion ratio, the factorial method based on the average animal did not

optimize the population response simulated by the empirical method. In the simulated environmental context however, maximal population revenue was obtained at levels of dietary Lys close to those required by the average pig. Because of the between-animal variation and the dynamic nature of the responses, it is difficult to determine which animal in a population should be used to estimate the population requirements. Thus, the results of this study confirm that caution should be exercised in using the factorial method to estimate the level of nutrients that will optimize the response of heterogeneous populations fed a given diet over long periods of time. On the other hand, although population heterogeneity and length of the feeding period are taken into account in the empirical method, the estimated requirements obtained with this method should be used with caution to estimate the requirements for other feeding intervals or populations. In addition, the empirical method does not track changes in the requirements over time and does not show the point in time when maximum response is achieved. Thus, both methods present serious limitations with respect to estimating the optimum level of nutrients for optimizing individual and population responses.

Acknowledgements

The authors acknowledge the financial support of the Ministry of Education in Brazil (CAPES) and of Agriculture and Agri-Food Canada.

References

- Baker DH 1986. Problems and pitfalls in animal experiments designed to establish dietary requirements for essential nutrients. *Journal of Nutrition* 116, 2339-2349.
- Baker DH, Batal AB, Parr TM, Augspurger NR and Parsons CM 2002. Ideal ratio (relative to lysine) of tryptophan, threonine, isoleucine, and valine for chicks during the second and third weeks posthatch. *Poultry Science* 81, 485-494.
- Benchaar C, Rivest J, Pomar C and Chiquette J 1998. Prediction of methane production from dairy cows using existing mechanistic models and regression equations. *Journal of Animal Science* 76, 617-627.
- Bertolo RF, Moehn S, Pencharz PB and Ball RO 2005. Estimate of the variability of the lysine requirement of growing pigs using the indicator amino acid oxidation technique. *Journal of Animal Science* 83, 2535-2542.
- Bikker P, Verstegen MW, Campbell RG and Kemp B 1994. Digestible lysine requirement of gilts with high genetic potential for lean gain, in relation to the level of energy intake. *Journal of Animal Science* 72, 1744-1753.
- Brossard L, Dourmad J-Y, Rivest J and van Milgen J 2009. Modelling the variation in performance of a population of growing pig as affected by lysine supply and feeding strategy. *Animal* 3, 1110-1114.
- Cline TR, Cromwell GL, Crenshaw TD, Ewan RC, Hamilton CR, Lewis AJ, Mahan DC and Southern LL 2000. Further assessment of the dietary lysine requirement of finishing gilts. *Journal of Animal Science* 78, 987-992.
- Curnow RN 1973. A smooth population response curve based on an abrupt threshold and plateau model for individuals. *Biometrics* 29, 1-10.
- de Lange CFM and Schreurs HWE 1995. Principles of model application. In *Modelling the growth in the pigs* (ed. PJ Moughan, MWA Verstegen and MI

Visser-Reyneveld), pp. 187-208. European Association for Animal Production Publication, Wageningen, NL.

Fédération des Producteurs de Porcs du Québec 2008. Informations sur le prix du porc. Retrieved November 22, 2008, from <http://www.fppq.upa.qc.ca/macros/prix.mac/annee>

Ferguson NS, Gous RM and Emmans GC 1997. Predicting the effects of animal variation on growth and food intake in growing pigs using simulation modelling. *Animal Science* 64, 513-522.

Jean Dit Bailleul P, Bernier JF, van Milgen J, Sauvant D and Pomar C 2000. The utilization of prediction models to optimize farm animal production systems: the case of a growing pig model. In *Modelling nutrient utilization in farm animals* (ed. JP McNamara, J France and D Beever), pp. 379-392. CABI International, Wallingford, UK.

Knap PW 2000. Stochastic simulation of growth in pigs: relations between body composition and maintenance requirements as mediated through protein turnover and thermoregulation. *Animal Science* 71, 11-30.

Lassiter JW and Edwards HM 1982. *Animal Nutrition*. Reston Publishing Company, Reston, Virginia, USA.

Leclercq B and Beaumont C 2000. Etude par simulation de la réponse des troupeaux de volailles aux apports d'acides aminés et de protéines. *INRA Productions Animales* 13, 47-59.

Letourneau Montminy MP, Boucher C, Pomar C, Dubeau F and Dussault J-P 2005. Impact de la méthode de formulation et du nombre de phases d'alimentation sur le coût d'alimentation et les rejets d'azote et de phosphore chez le porc charcutier. *Journées de la Recherche Porcine* 37, 22-35.

- Main RG, Dritz SS, Tokach MD, Goodband RD and Nelseen JL 2008. Determining an optimum lysine:calorie ratio for barrows and gilts in a commercial finishing facility. *Journal of Animal Science* 86, 2190-2207.
- Nam DS and Aherne FX 1994. The effects of lysine:energy ratio on the performance of weanling pigs. *Journal of Animal Science* 72, 1247-1256.
- National Research Council 1998. Nutrient requirements of swine, 10th revised edition. National Academy Press, Washington, DC, USA.
- Noblet J, Fortune H, Shi XS and Dubois S 1994. Prediction of net energy value of feeds for growing pigs. *Journal of Animal Science* 72, 344-354.
- O'Connell MK, Lynch PB and O'Doherty JV 2005. Determination of the optimum dietary lysine concentration for growing pigs housed in pairs and in groups. *Animal Science* 81, 249-255.
- Owen KQ, Knabe DA, Burgoon KG and Gregg EJ 1994. Self-selection of diets and lysine requirements of growing-finishing swine. *Journal of Animal Science* 72, 554-564.
- Pack M, Hoehler D and Lemme A 2003. Economic assessment of amino acid response in growing poultry. In *Amino acids in animal nutrition* (ed. D'Mello FJP), pp. 459-483. CAB International, Wallingford, UK.
- Patience JF, Engele K, Beaulieu AD, Gonyou HW and Zijlstra RT 2004. Variation: costs and consequences. In *Advances in Pork Production* (ed. Ball RO), v. 15, pp. 257-266. University of Alberta, Alberta, Canada.
- Pomar C and Rivest J 1996. The effect of body position and data analysis on the estimation of body composition of pigs by dual energy x-ray absorptiometry (DEXA). Conference at the 46th Annual conference of the Canadian Society of Animal Science, Lethbridge, Alberta, 26 pp.

- Pomar C, Kyriazakis I, Emmans GC and Knap PW 2003. Modeling stochasticity: dealing with populations rather than individual pigs. *Journal of Animal Science* 81, E178-186.
- Pomar C, Pomar J, Babot D and Dubeau F 2007. Effet d'une alimentation multiphase quotidienne sur les performances zootechniques, la composition corporelle et les rejets d'azote et de phosphore du porc charcutier. *Journées de la Recherche Porcine* 39, 23-30.
- Pomar C, Dubeau F and van Milgen J 2009. Maîtrise des rejets d'azote et de phosphore à l'aide d'une formulation multicritère et d'un ajustement progressif des apports en nutriments aux besoins des animaux. *INRA Productions Animales* 22, 49-54.
- Remmenga MD, Milliken GA, Kratzer D, Schwenke JR and Rolka HR 1997. Estimating the maximum effective dose in a quantitative dose-response experiment. *Journal of Animal Science* 75, 2174-2183.
- Schinckel AP and de Lange CFM 1996. Characterization of growth parameters needed as inputs for pig growth models. *Journal of Animal Science* 74, 2021-2036.
- Smith JW, Tokach MD, O'Quinn PR, Nelssen JL and Goodband RD 1999. Effects of dietary energy density and lysine:calorie ratio on growth performance and carcass characteristics of growing-finishing pigs. *Journal of Animal Science* 77, 3007-3015.
- Statistical Analysis Systems Institute 1999. SAS/STAT Software, version 8. SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Theil H 1966. Applied economic forecasting. North-Holland Publishing Company, Amsterdam, NL.

- van Milgen J, Valancogne A, Dubois S, Dourmad J-Y, Sève B and Noblet J 2008. InraPorc: a model and decision support tool for the nutrition of growing pigs. *Animal Feed Science and Technology* 143, 387-405.
- Warnants N, Van Oeckel MJ and De Paepe M 2003. Response of growing pigs to different levels of ileal standardised digestible lysine using diets balanced in threonine, methionine and tryptophan. *Livestock Production Science* 82, 201-209.
- Wellock IJ, Emmans GC and Kyriazakis I 2004. Modeling the effects of stressors on the performance of populations of pigs. *Journal of Animal Science* 82, 2442-2450.
- Whittemore CT, Green DM and Knap PW 2001. Technical review of the energy and protein requirements of growing pigs: food intake. *Animal Science* 73, 3-17.

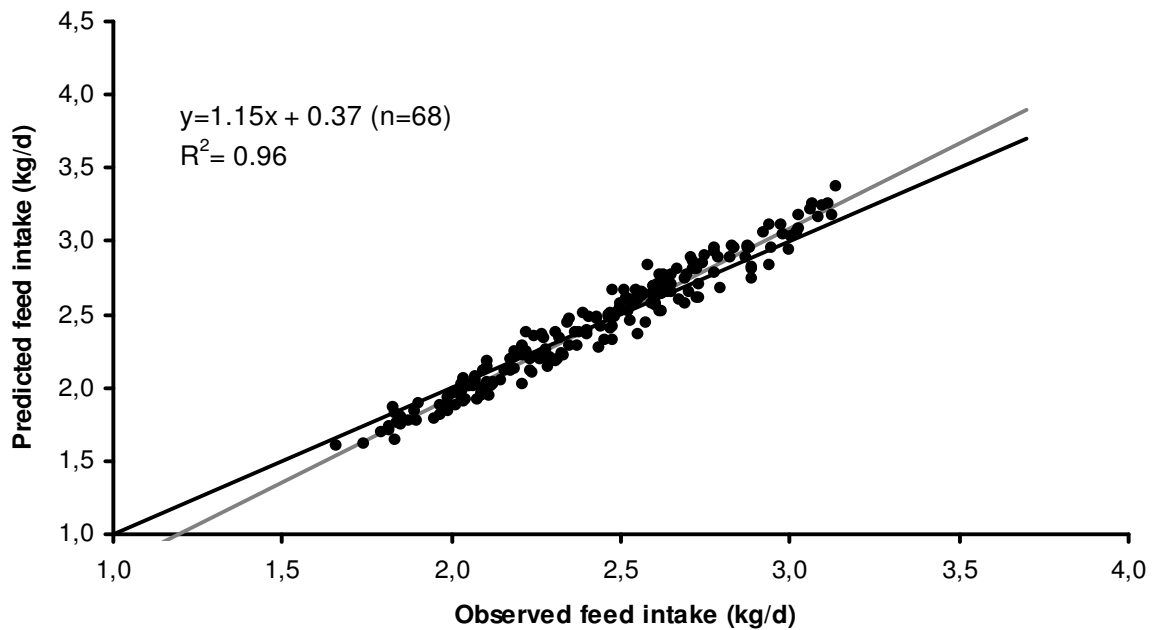


Figure 1 - Predicted versus observed average daily feed intake for a balanced growth diet over a period of 83 days using a modified version of the InraPorc model. Mean predicted average feed intake (kg/d) = 2.44; Root mean square prediction error (kg/d) = 0.01; error in central tendency (ECT, %) = 0.29; error due to regression (ER, %) = 43.4; error due to disturbances (ED, %) = 56.31. Regression line (—); line of equality (—). Equality line has intercept = 0 and slope = 1.

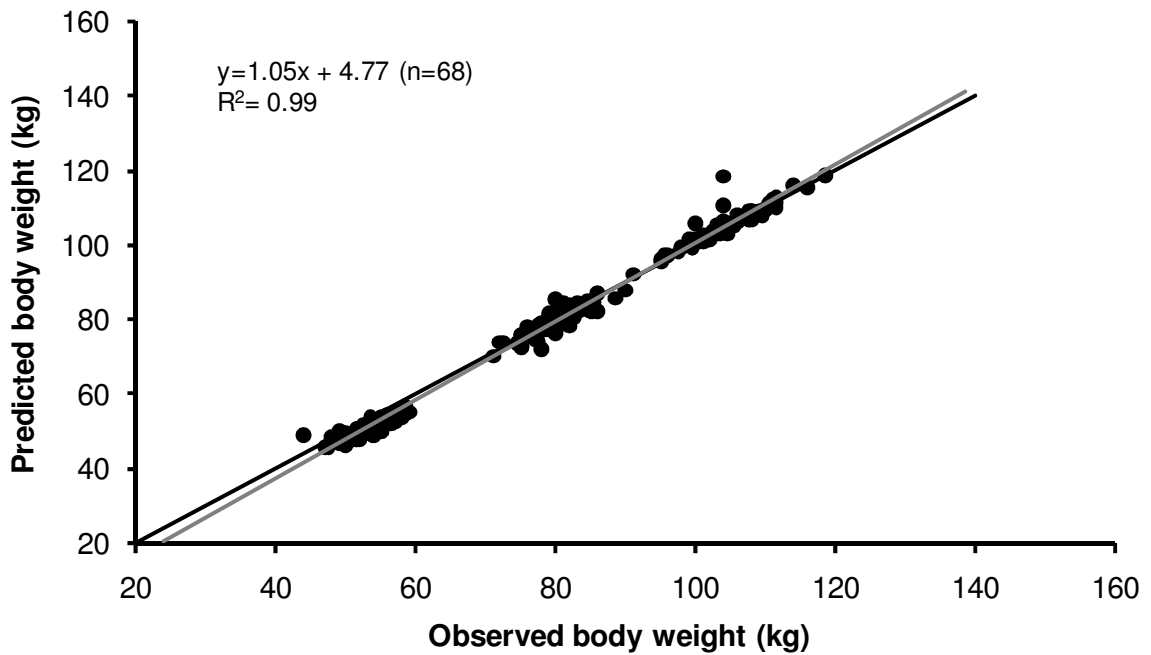


Figure 2 - Predicted versus observed body weight for a balanced growth diet over a period of 83 days using a modified version of the InraPorc model. Mean predicted body weight (kg) = 79.4; Root mean square prediction error (kg) = 3.0; error in central tendency (ECT, %) = 19.3; error due to regression (ER, %) = 1.51; error due to disturbances (ED, %) = 79.18. Regression line (—); line of equality (---). Equality line has intercept = 0 and slope = 1.

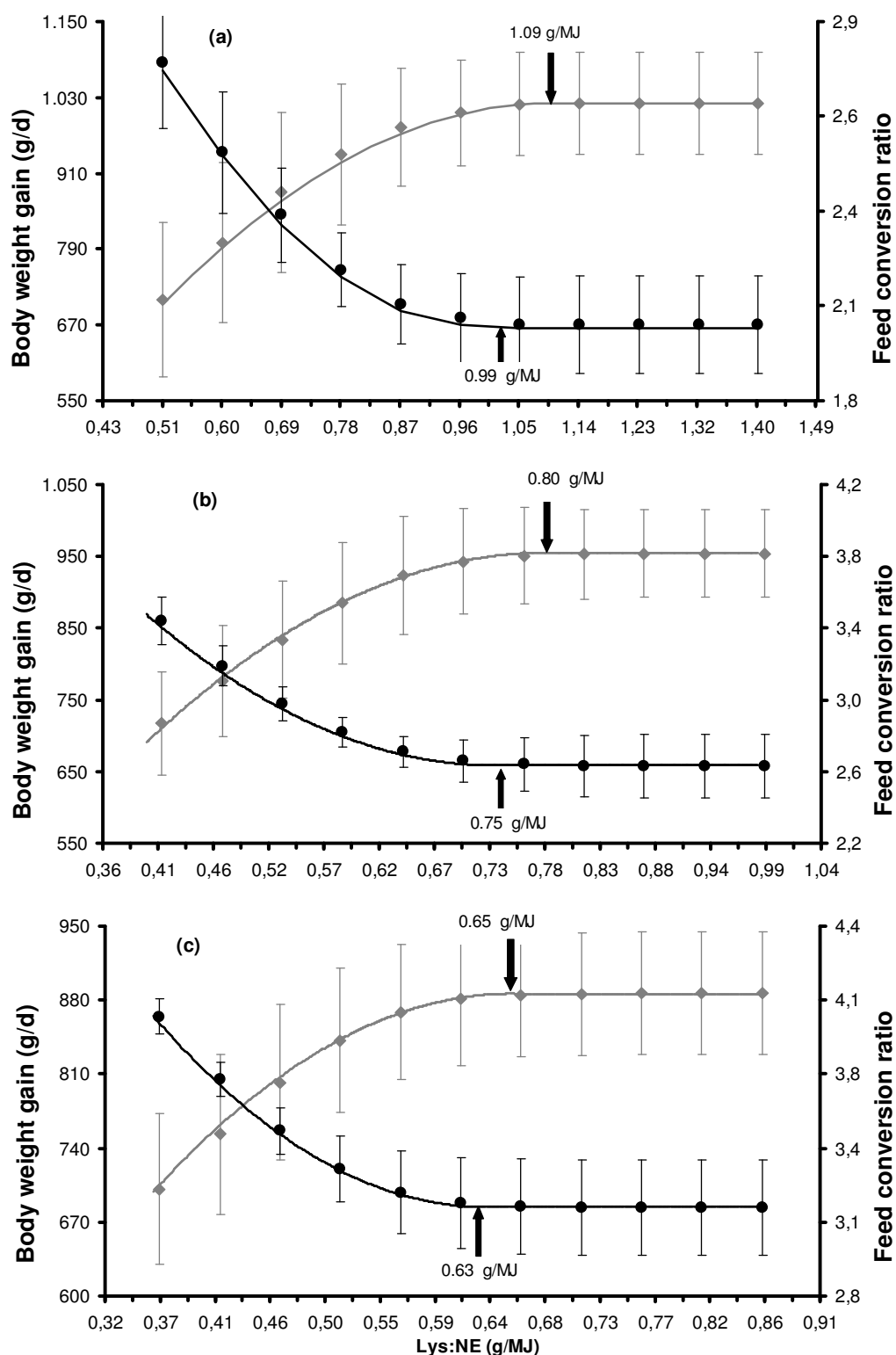


Figure 3 - Effect of different Lys:NE ratios on ADG and FCR and maximum response estimated for the following mean body weight ranges: 26 to 53 kg (a), 54 to 81 kg (b), and 82 to 106 kg (c). The data presented are the mean (●ADG, ● FCR), standard error of the mean, and curve estimated by the quadratic equation (— ADG, — FCR).

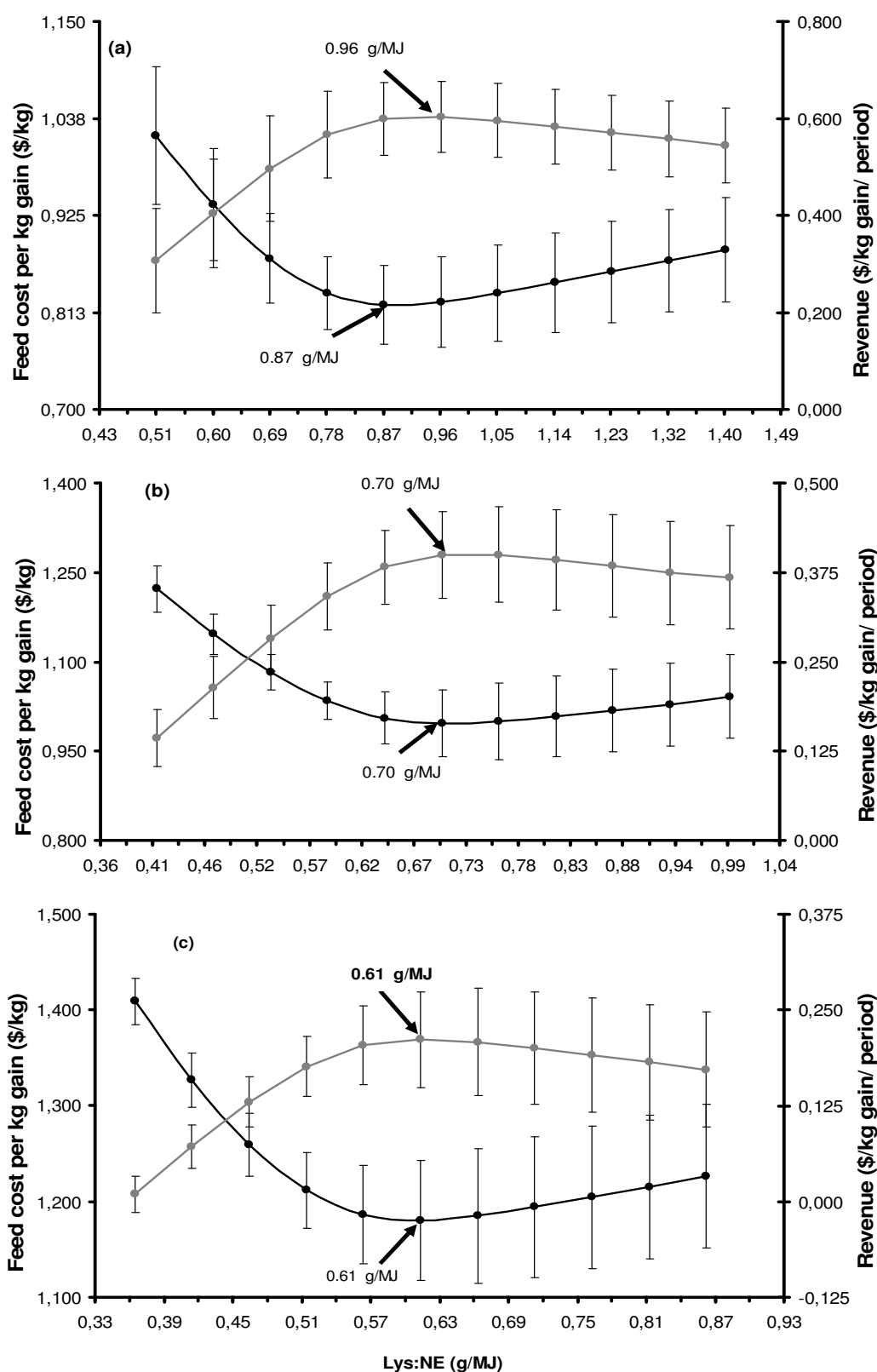


Figure 4 - Effect of different Lys:NE ratios on feed cost per kg gain (—●—) and on revenue (—●—) for pigs with the following mean body weight ranges: 26 to 53 kg (a), 54 to 81 kg (b), and 82 to 106 kg (c). The data presented are the mean and standard error of the mean.

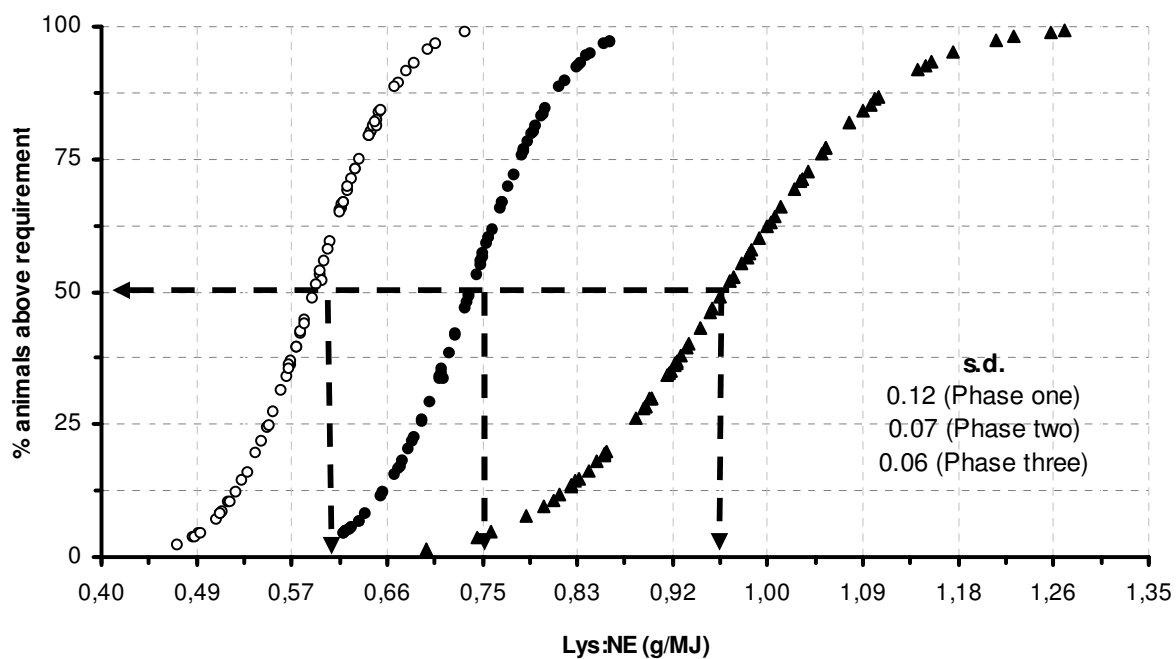


Figure 5 - Cumulative distribution of estimated requirement for lysine/net energy ratio for pigs during feeding phases one (▲), two (●) and three (○) as described in this study.

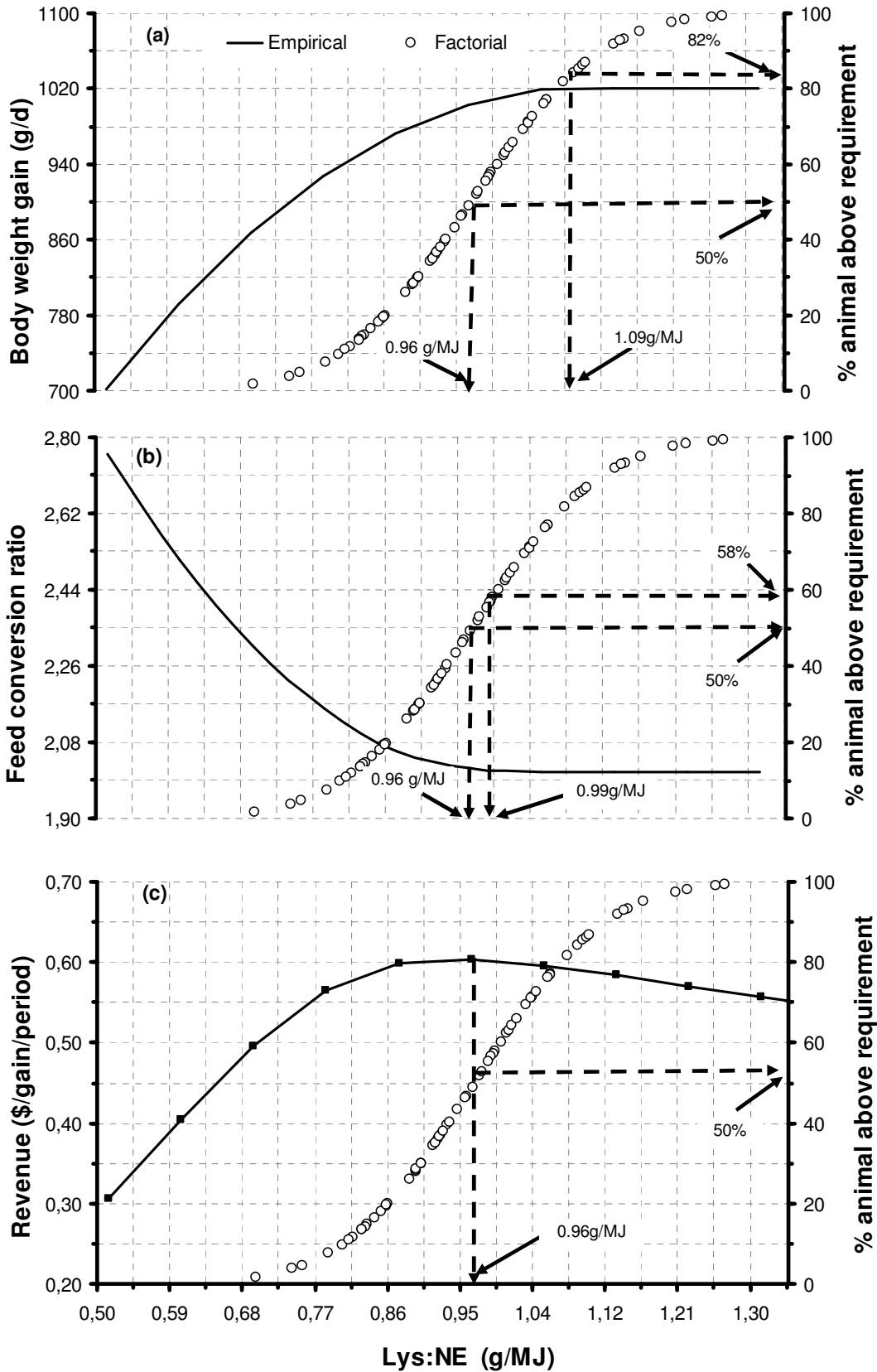


Figure 6 - Cumulative distribution of requirements estimated by the factorial method (○) and effect of different lysine/net energy ratios on weight gain (a), feed conversion (b), and revenue (c) estimated by the empirical method (—) for the body weight range from 26 to 51 kg.

CAPÍTULO 3

ESTIMATION JOURNALIERE DES BESOINS NUTRITIONNELS INDIVIDUELS DES PORCS EN CROISSANCE EN FONCTION DE LEUR PARCOURS DE CROISSANCE ET DE CONSOMMATION

Este capítulo é apresentado de acordo com as normas para publicação da **Journées de la Recherche Porcine**

Artigo publicado na Journées de la Recherche Porcine (Paris), v.42, p. 99-106, 2010.

2010. Journées Recherche Porcine, **42**, 99-106.

Estimation journalière des besoins nutritionnels individuels des porcs en croissance en fonction de leur parcours de croissance et de consommation

*Luciano HAUSCHILD (1), Paulo LOVATTO (1), Jesus POMAR, (2) et Candido POMAR (3)**

(1) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil 97105-900

(2) Area de Producció Animal—Centre UdL-IRTA, Alcalde Rovira Roure 191, 25198 Lleida, Espagne;

(3) Agriculture et agroalimentaire Canada, 2000 rue Collège, Sherbrooke, Québec, J1M 1Z3 Canada;

**Candido.Pomar@agr.gc.ca*

Résumé

L'objectif de cette étude était de développer et d'évaluer un modèle mathématique d'estimation en temps réel des besoins nutritionnels individuels des porcs en croissance. Ce modèle intègre une composante empirique et une composante mécaniste. La composante empirique estime pour chaque porc la consommation journalière d'aliment (CJA) et le poids vif (PV) actuel en fonction des informations collectées en temps réel sur les animaux. La composante mécaniste estime la concentration optimale en acides aminés à fournir aux animaux pour satisfaire leurs besoins. Les résultats de la composante empirique montrent que la trajectoire de la

CJA et du PV des individus nourris à volonté peut être estimée 1 jour (CJA) ou 7 jours (PV) à l'avance avec une erreur absolue moyenne en pourcentage (MAPE) de 12 et 2 %, respectivement. La composante mécaniste du modèle estime les besoins en lysine par unité d'énergie nette avec une variation raisonnable entre les animaux (CV moyen = 7 %) et au cours du temps (CV moyen = 14 %). Ainsi, les besoins estimés par le modèle sont propres à chaque animal et à chaque jour de sa croissance. Les résultats montrent que lorsque nous alimentons une population de porcs en fonction des besoins d'un individu moyen, une partie de la population ne consomme pas assez de nutriments pour satisfaire ses besoins, alors que la majorité en consomme plus que de nécessaire. Le modèle proposé dans cette étude estime les besoins de chaque individu dans le temps en tenant compte de son parcours de croissance et de consommation.

Estimating the daily individual nutrient requirements of growing-finishing pigs according to their actual growth and feed intake patterns

Abstract

The objective of this study was to develop and evaluate a mathematic model able to estimate the daily nutrient requirements of individual growing-finishing pigs. The model includes an empirical and mechanistic component. The empirical component estimates the daily feed intake (DFI) and BW based on individual pig information collected in real time. The mechanistic component estimates the optimal

concentration of amino acid that must be offered to pigs to meet their requirements. The empirical component results indicate that the DFI and BW trajectories of individual pigs fed ad libitum could be predicted 1 (DFI) or 7 days (BW) ahead with an mean absolute percentage error of 12 and 2 %, respectively. The mechanistic component estimates the optimal lysine to net energy ratio with reasonable between-animal (average CV = 7 %) and over-time variation (average CV = 14 %). Thus, the nutrient requirements estimated by the model are animal and time dependents and they follow in real-time the individual DFI and BW growth patterns. This work is part of the development of precision feeding techniques allowing the right amount of feed with the right composition at the right time to be provided to each pig in the herd.

Introduction

En conditions commerciales, les besoins nutritionnels peuvent être définis comme étant la quantité de nutriments nécessaires pour optimiser un facteur de production tel que le gain de poids ou le coût d'alimentation. Les méthodes empirique et factorielle sont les méthodes les plus utilisées pour estimer les niveaux optimaux de nutriments des aliments commerciaux. Ces deux méthodes sont cependant déterministes et leurs prédictions invariables dans le temps, puisqu'elles ne tiennent pas compte de la variabilité inter- ou intra-animale (Hauschild et al., 2009), des changements des animaux dans le temps ou de l'environnement dans lequel ils évoluent.

Des modèles mathématiques utilisant la méthode factorielle sont aujourd'hui proposés pour prédire la croissance des animaux ou leurs besoins nutritionnels en

raison de la complexité de ces réponses et des nombreux facteurs qui les modulent (Green et Whittemore, 2003; Pomar et al., 2003; van Milgen et al., 2008). En effet, ces modèles factoriels prennent en compte les interactions entre les nutriments, l'animal et son environnement, ce qui contraste avec les valeurs fixes obtenues avec la méthode empirique. Ces modèles se doivent cependant d'être bien calibrés pour assurer une estimation précise des quantités de nutriments aptes à optimiser la réponse des animaux. Ces modèles demeurent toutefois, limités par le fait que,

- La trajectoire de consommation et de croissance de chaque porc peut différer de celle qui a été observée dans la population de référence;
- Les animaux sont élevés en groupes hétérogènes sur le plan de la génétique, du sexe, de la santé et de la conduite de l'élevage;
- Les animaux sont alimentés en phases d'alimentation de durée variable.

La porciculture de précision est un concept agricole qui s'appuie sur la grande variabilité qui existe entre les animaux ou entre les unités de production. Cette variabilité résulte des différences entre les animaux en ce qui concerne la génétique, l'âge ou le poids. Par conséquent, chaque individu a des besoins nutritionnels qui lui sont propres. L'alimentation de précision concerne l'utilisation de techniques d'alimentation permettant de fournir à chaque porc du troupeau un aliment conforme à ses besoins, en quantité adéquate et au moment opportun. L'alimentation de précision est proposée comme une démarche essentielle à l'accroissement de l'efficacité d'utilisation de l'azote, du phosphore et d'autres nutriments, en diminuant les apports de nutriments excédentaires. Une alimentation dite de précision requiert notamment la détermination précise de la valeur nutritive des aliments et des besoins nutritionnels des animaux, la prédiction de la réponse de ces derniers aux apports nutritionnels, la formulation d'aliments minimisant l'excès de nutriments et

l'ajustement concomitant des apports aux besoins des animaux. Cet ajustement concomitant des apports de nutriments requiert une détermination continue des besoins nutritionnels de chacun des animaux du troupeau en fonction de leur état et de leur parcours de croissance et de consommation. L'objectif de ce projet était donc de développer et d'évaluer un modèle mathématique capable de fournir cette information à des systèmes permettant une alimentation de précision.

1. Développement du modèle

1.1 Description générale

Le modèle mathématique proposé utilise une approche dite « à boîte grise » (grey-box; Roush, 2006a), qui combine un modèle empirique (black-box) et un modèle mécaniste (knowledge-base; Figure 13). Dans le modèle empirique, la consommation journalière d'aliment (CJA) et le gain de poids (GP) du jour courant sont estimés, pour chaque porc, avec des équations empiriques calibrées chaque jour en utilisant la CJA et le PV de chaque individu mesurés les jours précédents. Dans le modèle mécaniste, les forces motrices sont le PV, la CJA et le GP estimés pour le jour courant. Ces variables sont en effet utilisées avec une approche factorielle pour estimer les besoins individuels et la concentration optimale en nutriments des aliments devant être fournis le jour courant à chaque animal. Les variables de taux sont exprimées en base journalière, l'énergie en mégajoules et les masses en kilogrammes lorsqu'elles ne sont pas indiquées explicitement dans le document. L'appétit des animaux étant exprimé sur une base d'énergie nette (EN), les besoins en lysine iléale standardisée et les autres acides aminés sont aussi

exprimés sur cette base (ex. Lys:EN). Les besoins d'autres nutriments tels que les minéraux ou les vitamines ne sont pas considérés dans ce modèle.

>>> Figure 13

1.2 Le modèle empirique

La composante empirique du modèle permet d'estimer la CJA et le GP du jour courant à partir des mesures antérieures de CJA et de PV de chaque porc. Pour ce faire, les méthodes de prédiction utilisant des techniques de lissage exponentiel, qui attribuent une importance différente aux observations sont souhaitables, car elles réduisent les fluctuations fréquemment observées avec les séries chronologiques de données. Étant donné que la consommation et le poids des porcs montrent des tendances à long terme, la méthode de prédiction de séries chronologiques de données à double lissage exponentiel a été choisie. L'équation qui permet de prédire les valeurs de CJA et PV m jours à l'avance du jour actuel t peut être écrite comme suit,

$$CJA_{t+m} = a_t + b_t m \text{ et}$$

$$PV_{t+m} = a_t + b_t m$$

où CJA_{t+m} est la consommation journalière, PV_{t+m} est le poids estimé pour le jour $t+m$, a_t et b_t sont respectivement les ordonnées à l'origine et les pentes des équations de prédiction. Le modèle considère que la CJA est mesurée tous les jours, alors que le poids des porcs peut être mesuré à des intervalles variables. L'ordonnée à l'origine a_t et la pente b_t sont estimés comme suit,

$$a_t = 2S'_t - S_t,$$

$$b_t = \frac{\alpha}{1-\alpha} (S'_t - S_t),$$

$$0 \leq \alpha < 1,$$

où α est la constante de lissage utilisée pour attribuer un poids relatif aux observations, S'_t et S_t sont respectivement les exposants de lissage exponentiel simple et double au temps t . Les valeurs S'_t et S_t sont calculées comme suit,

$$S'_t = \alpha X_t + (1-\alpha)S'_{t-1},$$

$$S_t = \alpha S'_t + (1-\alpha)S_{t-1},$$

où X_t est la mesure de la CJA ou du PV au temps t . Les valeurs de α qui décrivaient le mieux les trajectoires moyennes des différents porcs de la population étaient de 0,05 pour CJA et 0,10 pour PV. Le gain de poids (GP_t) pour chaque intervalle a été estimé comme suit,

$$GP_t (\text{kg}) = \frac{PV_{t+m} - PV_t}{m},$$

1.3 Le modèle mécaniste

1.3.1 Caractérisation de chaque porc

Consommation volontaire d'énergie nette. L'approche adoptée pour estimer la consommation d'EN est basée sur le principe que l'animal régule sa consommation d'aliment en fonction de la densité énergétique de l'aliment (EN_{aliment}) de façon à satisfaire ses besoins en EN. Ainsi, la consommation estimée d'EN à un temps t (CEN_t) est obtenue comme suit,

$$CEN_t (\text{MJ}) = CJA_t \times EN_{\text{aliment}}$$

Dépôt de protéine. La composition du gain de poids n'est pas connue et par conséquent, le dépôt de protéines (DPt) est estimé en assumant que la proportion de protéines dans le gain (DP/GP) est constante, c'est-à-dire,

$$DP_t(g) = GP_t \times DP/GP$$

La valeur de DP/GP peut être ajustée en fonction du sexe, le génotype, etc.

1.3.2 Estimation des besoins en lysine et autres acides aminés

Les besoins quotidiens de protéines et d'acides aminés sont calculés en additionnant les besoins d'entretien (BE_{AA}) et de croissance, tel que proposée par van Milgen et al. (2008). Les besoins d'entretien pour chaque acide aminé incluent les pertes endogènes basales (EB_{AA}) ainsi que les pertes dues à la desquamation du tube digestif (DTD_{AA}) et les pertes liées au turn-over basal des protéines corporelles (TPC_{AA}). Pour estimer les pertes EB_{AA} , un paramètre spécifique pour chaque AA est multiplié par le $PV^{0,75}$ (Noblet et al., 2002). La même procédure est adoptée pour estimer les pertes de DTD_{AA} en utilisant les paramètres proposés par Moughan (1999). Les pertes liées au TPC_{AA} sont caractérisées par un paramètre spécifique et proportionnel à la consommation de matière sèche (CMS) proposées par Moughan (1999). Ainsi, BE_{AA} est estimé comme suit,

$$BE_{AA}(g) = (EB_{AA} \times PV^{0,75}) + (DPD_{AA} \times PV^{0,75}) + (TPC_{AA} \times CMS)$$

Les besoins en lysine pour la croissance (LysC) sont quant à eux estimés comme suit,

$$LysC_t(g) = (DP_t \times Lys_{Conc}) / Ef_{Lys}$$

où Lys_{Conc} est la proportion de lysine dans DP et Ef_{Lys} est le rendement d'utilisation de la lysine iléale standardisée pour la rétention protéique. La valeur de ces paramètres est considérée constante pour l'ensemble de la croissance et pour tous

les animaux avec des valeurs de 0,069 (Mahan et Shields, 1998) et 0,750 (Mohn et al., 2000), respectivement. Les besoins des autres acides aminés ainsi que ceux de protéines sont estimés par rapport à la lysine selon un profil idéal en acides aminés (NRC, 1998). Finalement, les concentrations optimales de ces nutriments dans les aliments sont calculées en divisant le besoin journalier total par la consommation attendue d'EN.

1.4 Fonctionnement du modèle

Le modèle a besoin d'au moins 7 mesures consécutives de consommation et d'au moins deux mesures de poids pour fonctionner. Avec ces informations, le modèle empirique estime tout d'abord CJA_{t+1} , PV_{t+1} et GP_{t+1} . L'information recueillie les jours suivants est incorporée dans la base de données et permet ainsi l'estimation des besoins en lysine et ceux des autres acides aminés ainsi que la concentration optimale de ces nutriments dans les aliments pour le jour $t+1$ par le modèle mécaniste.

Évaluation du modèle

Les données provenant d'une population de porcs charcutiers femelles décrites par Pomar et al. (2007) ont été utilisées pour l'évaluation du modèle. Les porcs avaient été nourris à volonté pendant 96 jours, soit entre approximativement 25 et 105 kg de PV. La CJA, le PV hebdomadaire des porcs et la composition en protéines des animaux vivants au début et à la fin de l'expérience ont été mesurées dans cette étude. Seules les données de 40 porcs ayant une consommation d'aliment et une croissance corporelle régulière ont été utilisées.

Les valeurs de la CJA et de PV mesurées par Pomar et al. (2007) et celles prédites par le modèle empirique ont été comparées. La cohérence des valeurs prédites par le modèle mécaniste a été aussi évaluée. Enfin, le modèle proposé a été évalué en comparant ses estimations avec celles du module de croissance du logiciel InraPorc[®]. Ce modèle nécessite de caractériser un animal représentatif de la population, normalement l'animal moyen issu des données collectées précédemment. Ce logiciel permet de simuler la consommation et la croissance (CJA et PV) du représentant de la population et de calculer les besoins en nutriments (ex. Lys) de façon journalière. Le représentant de la population a été caractérisé avec les mêmes données mesurées par Pomar et al. (2007).

La précision des modèles proposés et d'InraPorc pour estimer la CJA et le PV a été évaluée avec l'erreur absolue moyenne en pourcentage (MAPE), tel que proposé par Roush et al. (2006b) et calculée comme suit,

$$\text{MAPE} = \frac{\sum_{t=1}^n |y_t - \hat{y}_t|}{n} \times 100, (y_t \neq 0)$$

où y_t est la valeur observée au temps t, \hat{y}_t est la valeur prédite par le modèle et n est le nombre d'observations. Compte tenu que le logiciel InraPorc estime la CJA et le PV pour un individu moyen seulement, les valeurs prédites par ce modèle ont été comparées avec les données observées de chaque porc séparément. Cependant, seule la moyenne de tous les MAPE générés pour chaque comparaison a été considérée.

Resultats

Composante empirique. La trajectoire individuelle de la CJA et du PV des porcs nourris à volonté peut être estimée 1 ou 7 jours à l'avance avec une MAPE moyenne de 12,5 et 1,8 %, respectivement (Tableau 1). La MAPE moyenne obtenue avec le modèle InraPorc pour le porc moyen de la population était quant à elle de 14,7 % pour la CJA et de 5,4 % pour le PV. Il est à noter que les trajectoires de consommation et gain de poids utilisées dans InraPorc ont été déterminées a priori.

>>> Tableau 1

La CJA et le PV observés et estimés par le modèle proposé et par InraPorc en fonction du temps sont présentés dans la Figure 14. Les écarts entre les trajectoires de CJA et de PV observés ou prédits avec le présent modèle ou avec celui d'InraPorc sont faibles (Figure 14a et 14d). Cependant, la comparaison des erreurs (MAPE) montre que le modèle proposé est plus précis que celui d'InraPorc pour estimer CJA ($P < 0,002$; 2,41 vs 2,76 %) et PV ($P < 0,001$; 0,95 vs 1,44 %). Afin de mieux illustrer et évaluer le comportement des différents modèles, il est intéressant de les étudier sur des individus particuliers. Pour ce faire, nous avons identifié comme typiques les individus ayant une trajectoire d'ingestion et croissance sans oscillations majeures au cours de la croissance, les autres étant classés comme atypiques. Le modèle proposé s'ajuste raisonnablement aux valeurs observées, l'objectif étant de suivre la trajectoire moyenne de la CJA et de PV pour chaque porc (Figures 14b et 14e). Cependant, la qualité de l'ajustement est moindre pour les individus atypiques (Figures 14c et 14f). Compte tenu que le modèle InraPorc a été calibré a priori pour représenter le comportement moyen de la

population, celui-ci tend à s'écarter davantage des valeurs observées, et ce, plus particulièrement pour les porcs atypiques (Figures 14c et 14f). En général, les valeurs de MAPE estimées pour les prédictions d'InraPorc sont plus élevées que celles obtenues avec le modèle proposé, et ce, indépendamment que l'individu soit typique ou atypique.

>>> Figure 14

Composante mécaniste. La valeur des paramètres et la structure du modèle ont permis des estimations cohérentes de l'ingestion d'EN et des besoins de lysine (Lys:EN; Figure 15), alors que celle pour GP l'est moins. On peut observer une augmentation de la variance associée à l'ingestion d'EN entre les animaux avec le temps (Figure 15a), alors qu'elle est presque constante pour le GP (CV moyen = 7 %; Figure 15b). Les changements abrupts de GP en fonction du temps résultent du fait que le PV a été mesuré à 7 jours d'intervalle, ce qui semble trop long pour certains individus. Des mesures de poids plus fréquentes permettraient la détermination de trajectoires de GP plus souples. Les ratios Lys:EN estimés pour la population de porcs étudiée en fonction du temps ont montré une variation raisonnable entre animaux (CV moyen = 7 %) et dans le temps (CV moyen = 14 %; Figure 15c). Ces valeurs ont varié de 0,80 à 1,03 g / MJ (moyenne de 0,89) au premier jour.

En somme, les données simulées par le présent modèle montre une augmentation exponentielle de l'ingestion d'EN, une évolution quasi constante du GP et une diminution exponentielle du ratio Lys:EN au cours du temps. Ces trajectoires diffèrent de celles simulées avec InraPorc (Figure 15) pour GP et Lys:EN

avec une augmentation marginale jusqu'à une asymptote suivie d'une diminution. Les résultats montrent clairement que lorsque nous alimentons une population de porcs en fonction des besoins d'un individu moyen, une partie de la population ne consommera pas assez de nutriments pour satisfaire ses besoins pendant que la majeure partie consommera plus de nutriment que nécessaire.

>>> Figure 15

Discussion

Composante empirique. Lorsque l'objectif est de suivre le poids d'une population, le modèle empirique utilisé dans cette étude offre une bonne précision (MAPE = 1,85 %). Il est cependant moins précis pour la CJA (MAPE = 12,45 %), et ce, en raison du fait que le modèle a été calibré pour estimer la consommation moyenne sans tenir compte des variations entre les jours. Un grand nombre d'animaux présentent cependant des changements temporaires dans leur trajectoire de consommation et poids, probablement liés à des troubles sanitaires. La capacité du modèle empirique utilisé à suivre ces trajectoires peut être ajustée à l'aide du paramètre α . Les valeurs de α utilisées dans cette étude permettent de suivre la trajectoire moyenne de chaque individu en ignorant les changements journaliers, mais en prenant toutefois en compte les changements à plus long terme (Figure 14c).

Les valeurs moyennes et l'écart type de MAPE étaient plus élevés pour les valeurs prédites par InraPorc que par le modèle proposé. En fait, les trajectoires de consommation et PV ont été calibrées a priori pour l'ensemble des observations avec une fonction qui s'avère peu flexible pour représenter les variations de

tendance à moyen terme. Notons de plus que l'erreur de prédiction des modèles déterministes actuels, tels qu'InraPorc, devraient augmenter avec l'hétérogénéité des populations.

Le GP calculé d'après les observations et estimé par le modèle proposé n'a pas suivi une courbe de croissance typique, telle que fréquemment représentée par la fonction de Gompertz. Il est possible que certains facteurs environnementaux puissent limiter la croissance et conduisent à des trajectoires de croissance non sigmoïdales (Schinckel et al., 2002). Cela est particulièrement vrai pour des animaux avec des GP élevés comme ceux observés dans cette étude (moyenne des 967 g/j), où les trajectoires de croissance ne sont parfois pas sigmoïdales (Moughan et al., 2006). Le fait de fixer a priori le type de trajectoire peut ainsi s'avérer inefficace dans certaines circonstances, comme cela semble avoir été le cas ici. Le modèle proposé permet de prendre en compte non seulement les changements de tendance de l'ensemble de la population, mais aussi les changements au cours de la croissance des animaux individuellement.

Composante mécaniste. La démarche factorielle utilisée dans le présent modèle permet l'estimation des besoins nutritionnels journaliers de chaque animal dans son environnement actuel en fonction de son parcours personnel de consommation et de croissance. Cette estimation individuelle et continue des besoins nutritionnels diffère significativement des méthodes d'estimation des besoins représentées dans les modèles de simulations actuelles, tel InraPorc. En effet, ces derniers estiment les besoins nutritionnels de l'ensemble de la population en assumant que les porcs actuels ont un potentiel génétique similaire à celui de la population de référence, et que les conditions d'élevage ainsi que les trajectoires de consommation et

croissance resteront inchangées. De nombreux facteurs tels que la santé, la température ambiante, etc. modifient la réponse des animaux et il est difficile d'en tenir compte dans ces modèles. Notons de plus que les besoins nutritionnels diffèrent grandement en forme et en magnitude entre les individus d'une population (Hauschild et al., 2009). Ainsi, plusieurs études ont démontré qu'utiliser l'animal moyen pour estimer les besoins d'une population implique que les besoins d'un certain nombre d'animaux ne seront pas couverts et que par conséquent ils ne maximiseront pas leurs performances (Pomar et al., 2003; Brossard et al., 2009; Hauschild et al., 2009) où au contraire, que certains reçoivent un excès de nutriments pratique à laquelle est associée un risque environnemental. De nouvelles approches caractérisant les porcs individuellement au sein d'une population en prenant en compte les relations entre les paramètres du modèle sont aujourd'hui proposées (van Milgen et al., 2008; Brossard et al., 2009).

L'estimation en continu des besoins individuels des animaux est essentielle au développement d'une alimentation de précision utilisant des techniques d'alimentation capables de fournir à chaque porc du troupeau un aliment conforme à ses besoins, en quantité adéquate et au moment opportun. Le modèle proposé fait donc partie intégrante de cette démarche qui vise à la pérennisation de la production porcine en considérant les impacts tant environnementaux qu'économiques. Quoique l'approche empirique utilisée pour estimer les consommations et gain de poids ne fournisse pas d'indications sur les mécanismes biologiques impliqués dans l'évolution de ces variables, elle permet d'estimer avec précision l'état actuel et le parcours de croissance et consommation de chacun des animaux du troupeau (Roush, 2006a). Les paramètres utilisés dans les composantes mécanistes du présent modèle (ex. entretien) ont cependant été tirées des modèles de populations

actuels et leur validité pour évaluer les besoins individuels nécessite d'être démontrée.

Conclusion

Le modèle proposé est capable de suivre la trajectoire moyenne de consommation d'aliment ainsi que le poids vif de chaque individu en temps réel avec une bonne précision. Fondé sur ces trajectoires et utilisant des équations factorielles classiques, le modèle permet d'estimer les besoins de chaque individu de façon dynamique en considérant son parcours de croissance et de consommation, et ce, sans avoir besoin de représenter tous les mécanismes impliqués.

Remerciements

Les auteurs souhaitent remercier le Ministère d'Éducation du Brésil (CAPES) et Agriculture et Agroalimentaire du Canada pour le soutien financier à ce projet et M.-P. Létourneau-Montminy pour son aide à la préparation de ce manuscrit.

Références bibliographiques

Brossard L., Dourmad J.-Y., Rivest J., van Milgem, J., 2009. Modelling the variation in performance of a population of growing pig as affected by lysine supply and feeding strategy. *Animal*, 1-10.

Green D. M., Whittemore C. T., 2003. Architecture of a harmonized model of the growing pig for the determination of dietary net energy and protein requirements and of excretions into the environment (IMS pig). *Anim. Sci.*, 77, 113-130.

Hauschild L., Lovatto P. A., Pomar C., 2009. Comparaison des méthodes empirique et factorielle d'estimation des besoins nutritionnels appliquées au porc en croissance. *Journées Rech. Porcine*, 41, 147-148.

Mahan D. C., Shields R. G., 1998. Essential and nonessential amino acid composition of pigs from birth to 145 kilograms of body weight, and comparison to other studies. *J. Anim Sci.*, 76, 513-521.

Mohn S., Gillis A. M., Moughan P. J., de Lange C. F., 2000. Influence of dietary lysine and energy intakes on body protein deposition and lysine utilization in the growing pig. *J. Anim. Sci.*, 78, 1510-1519.

Moughan P. J., 1999. Protein metabolism in the growing pig. In: Kyriazakis I. (SCHINCKEL et al.). *A quantitative biology of the pig*, p 299-332, CABI Publishing, Wallingford, UK.

Moughan P. J., Jacobson, L. H., Morel, P. C. H., 2006. A genetic upper limit to whole-body protein deposition in a strain of growing pigs. *J. Anim. Sci.*, 84, 3301-3309.

Noblet J., Sève B., Jondreville C., 2002. Valeurs nutritives pour les porcs. In: Sauvant D., Perez J.-M., Tran G. (Eds.), *Tables de composition et de valeur nutritive des Matières premières destinées aux Animaux D 'Élevage*. INRA Editions, Paris, p 25–35.

NRC, 1998. *Nutrient requirements of swine*. 10th revised ed. National Academy of Science, Washington, DC.

Pomar C., Kyriazakis I., Emmans G. C., Knap P. W., 2003. Modeling stochasticity: dealing with populations rather than individual pigs. *J. Anim. Sci.*, 81, E178-186.

Pomar C., Pomar J., Babot D., Dubeau F., 2007. Effet d'une alimentation multiphase quotidienne sur les performances zootechniques, la composition corporelle et les rejets d'azote et de phosphore du porc charcutier. *Journées Rech. Porcine*, 39, 23-30.

Roush W. B., 2006a. Advancements in empirical models for predictions and prescription. In: Fisher C., Gous R., Morris T. (eds.), *Mechanistic modelling in pig and poultry production*, p 97-116, CABI, Wallingford.

SAS, 2003. Institute, Inc. *SAS/STAT user's guide: Statistics (version 6, 4th ed.)* Vol. 2. SAS Institute, Inc. Cary, NC.

Roush W. B., Dozier W. A., Branton S. L., 2006b. Comparison of gompertz and neural network models of broiler growth. *Poult. Sci.*, 85, 794-797.

Schinckel A. P., Smith J. W., Tokach M. D., Dritz S. S., Einstein M., Nelssen J. L., Goodband R. D., 2002. Two on-farm data collection methods to determine dynamics of swine compositional growth and estimates of dietary lysine requirements. *J. Anim. Sci.*, 80, 1419-1432.

van Milgen J., Valancogne A., Dubois S., Dourmad J-Y., Sève B., Noblet J., 2008. Inraporc: A model and decision support tool for the nutrition of growing pigs. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 143, 387-405.

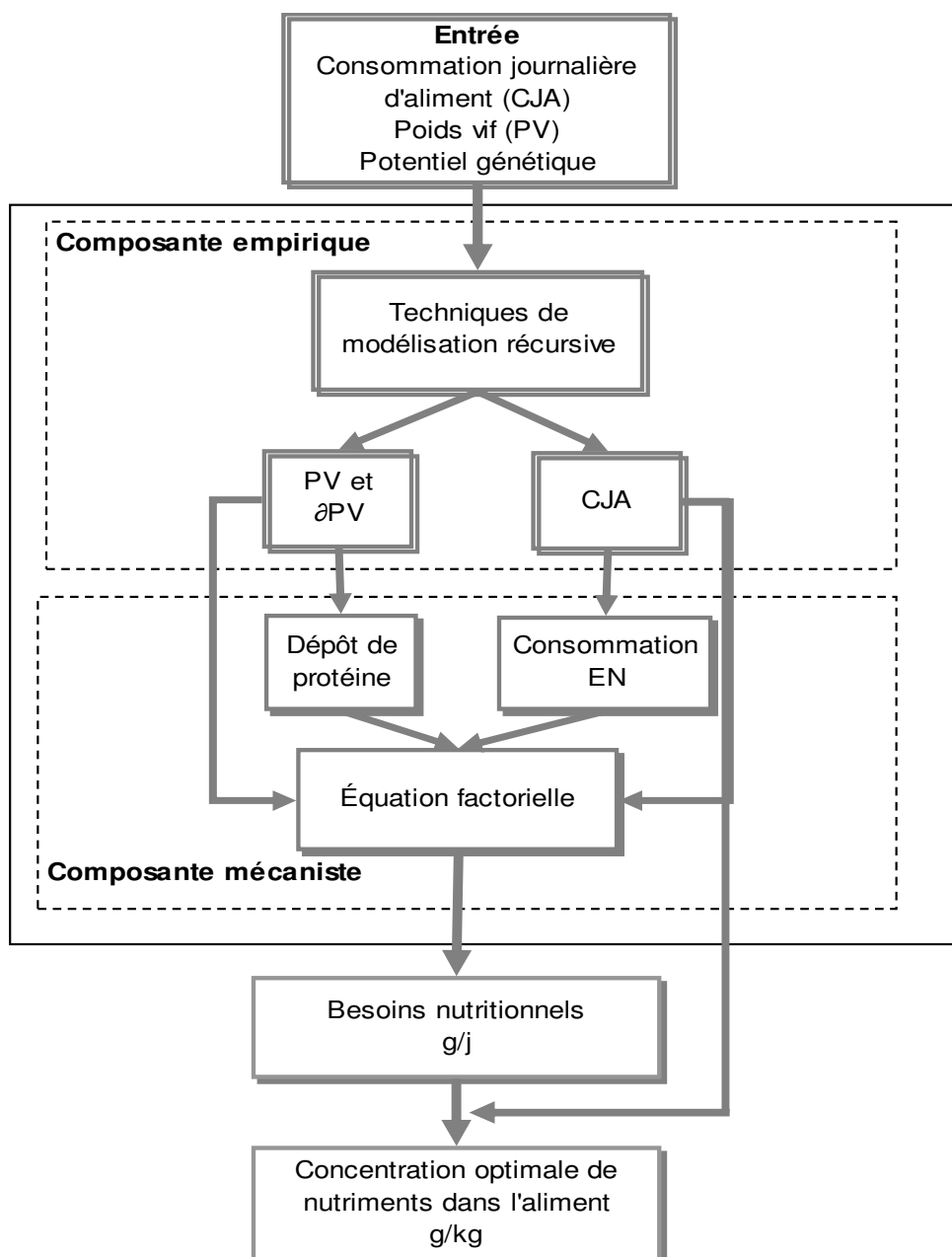


Figure 7 - Schéma général du modèle avec les composantes empirique et mécaniste utilisées pour estimer les besoins nutritionnels journaliers et individuels des porcs en croissance en fonction de leur parcours de croissance et de consommation

Tableau 1 – Consommation d'aliment (CJA) et poids vif (PV) observé et estimé pour le modèle proposés et InraPorc et l'erreur absolue moyenne (MAPE, %) observé lors de la prédiction des ces deux variables (CJA et PV) avec les modèles

	Moyenne	Écart- type	Maximum	Minimum
Consommation d'aliment (CJA), kg/j				
Valeurs observees	2,53	0,21	2,97	2,04
Modèle propose	2,53	0,21	2,97	2,03
Modèle InraPorc	2,50	-	-	-
Poids vif (PV) final, kg				
Valeurs observees	104,5	5,3	112,0	91,0
Modèle propose	105,8	5,5	116,8	92,9
Modèle InraPorc	106,7	-	-	-
MAPE CJA, %				
Modèle propose	12,45	8,78	19,89	2,71
Modèle InraPorc	14,72	10,04	24,60	3,51
MAPE PV, %				
Modèle propose	1,85	0,65	4,00	0,85
Modèle InraPorc	5,38	2,93	13,58	2,93

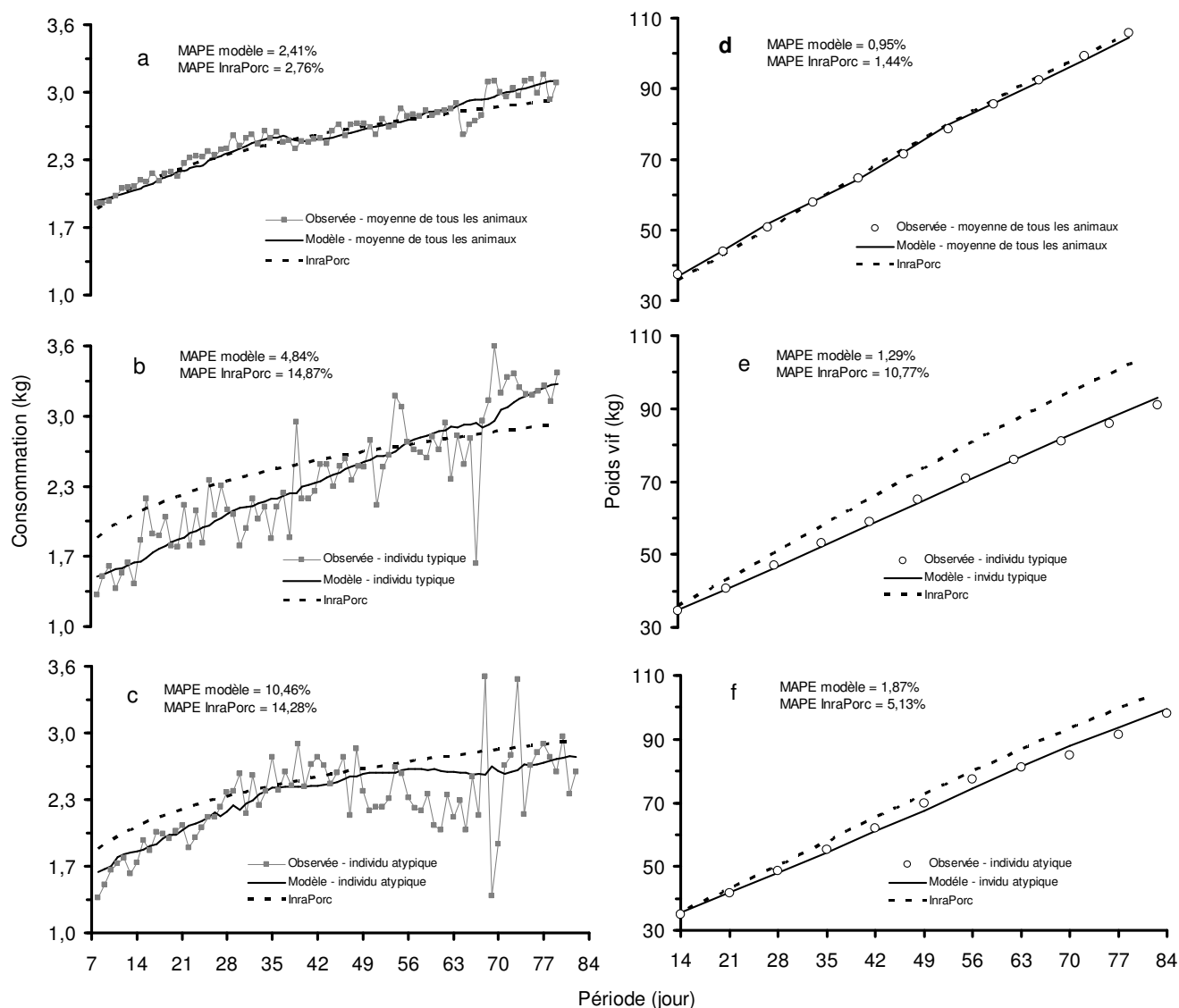


Figure 8 - Consommation journalière [moyenne de la population (a) et d'un individu typique (b) et atypique (c)] et du poids vif hebdomadaire [moyenne de la population (d) et d'un individu typique (e) et atypique (f)] observés et prédits par le modèle proposé et par celui d'InraPorc en fonction du temps

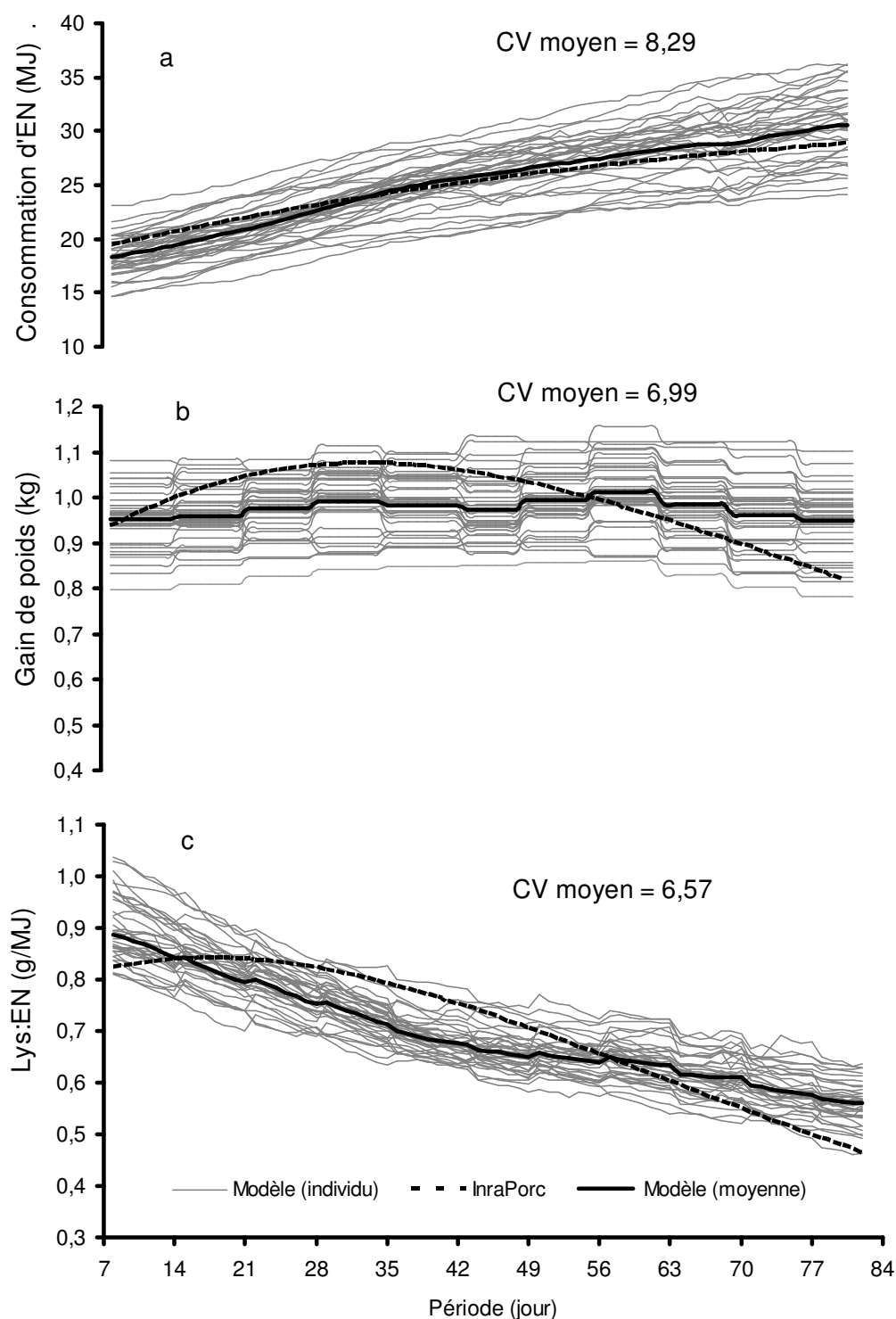


Figure 9 – Consommation d'énergie nette (a), gain de poids (b) et concentration optimale de lysine (Lys :EN) (c) estimé pour le modèle proposé pour chaque individu et pour la moyenne de la population à l'aide d'InraPorc pour l'ensemble de la population

CAPÍTULO 4

DISCUSSÃO GERAL

Durante vários anos a importância de considerar a variabilidade entre e intra-animais na avaliação da resposta biológica e nos programas nutricionais vem sendo demonstrada (GRUMMER, 1975; BAKER, 1986; KNAP, 2000; LAMBERSON & FIRMAN, 2002; POMAR et al., 2003). Essa variabilidade afeta a eficiência de utilização dos nutrientes (POMAR, 1995) e a determinação das exigências nutricionais (LECLERCQ & BEAUMONT, 2000; POMAR et al., 2003; BROSSARD et al., 2009). Nesse sentido, uma das dificuldades dos métodos e modelos de crescimento utilizados para estimar as exigências nutricionais é integrar essa variabilidade.

No método fatorial, como demonstrado anteriormente, as exigências são estimadas pela soma das exigências para manutenção e produção. No método empírico, as exigências nutricionais são aquelas que maximizam ou minimizam um ou vários critérios de desempenho. Essas definições são conhecidas, contudo o impacto de utilizar esses métodos para otimizar respostas de populações foi pouco explorado. No Capítulo 4, para contemplar esse aspecto uma abordagem geral sobre cada método foi realizada. Por fim, uma discussão foi realizada sobre as vantagens e aspectos a serem explorados no modelo proposto.

Os métodos e os modelos atuais que objetivam otimizar as respostas de populações estimam as exigências baseados no potencial de um único indivíduo (fatorial e modelos) ou na resposta média de uma população a ingestão de um nutriente (empírico). As estimativas das exigências baseadas na resposta de um único indivíduo (médio) e um ponto no tempo não permitem estimar o nível ideal de um nutriente para os demais indivíduos. Da mesma forma, a resposta média da população estimada pelo método empírico não pode ser utilizada para estimar as exigências para cada indivíduo. Isso é por ambas as respostas, média da população e individual, diferirem em forma e magnitude (POMAR et al., 2003; WELLOCK et al., 2004b). Adicionalmente, essas diferenças aumentam com o grau de

heterogeneidade da população, a qual é influenciada por fatores que são específicos para cada condição (genética, ambiente, manejo, etc) (POMAR, 2007).

Outro aspecto importante é que os métodos atuais e modelos de crescimento estimam as exigências baseados em resultados experimentais prévios. Essas informações são utilizadas para estimar um único nível de um nutriente a ser fornecido para todos os indivíduos de outra população durante um longo intervalo. As diferenças entre os indivíduos e populações e a dinâmica das exigências não são consideradas. Esses métodos não permitem estimar um nível nutricional ideal para cada dia e indivíduo de uma população.

Quando o método fatorial é utilizado para estimar as exigências parte dos indivíduos estarão recebendo níveis de um nutriente abaixo e parte acima das suas respectivas exigências. Os animais que receberem níveis nutricionais abaixo não irão expressar o potencial genético. O método empírico e/ou modelos estocásticos por considerarem a variabilidade da população permitem estimar um nível que atenda as exigências de todos os animais. Entretanto, esse nível é estimado baseado na resposta média da população estimada previamente. Dessa forma, esse nível embora permita otimizar a resposta técnica da população dificilmente permitirá otimizar aspectos econômicos e ambientais. Dependendo da variabilidade da população, grande parte dos animais estará recebendo níveis nutricionais bem acima das suas necessidades. Isso aumenta a excreção de nutrientes no meio ambiente, como o N e P. Os custos com as dietas são também superiores comparados a dietas individuais.

O impacto de usar técnicas de nutrição de precisão sobre a excreção de N e P e no custo de alimentação foi demonstrado através de simulações realizadas por POMAR et al. (2009b). Esses autores avaliaram o efeito de alimentar uma população de suínos utilizando um sistema de alimentação tradicional (fases) comparado a um sistema de alimentação individual e diário (S-ID). O sistema tradicional utilizado foi o de três fases (S-3F).

Grande parte dos animais do S-3F e todos do S-ID receberam diariamente quantidades de nutrientes suficientes para atender as suas respectivas exigências em lisina. Por isso, o desempenho dos animais dos dois programas de alimentação foi similar. Entretanto, ao alimentar os animais com S-ID o consumo de N e P foi 25 e 29% menores e as excreções desses nutrientes reduziram em 39% comparado ao S-3F. Os custos em alimentação na simulação foram reduzidos em 8,7 \$/suíno,

representando uma redução de 10%. O impacto na redução dos custos alimentares e da excreção de nutrientes ao alimentar suínos utilizando várias fases já foi demonstrado em outros estudos (BOURDON et al., 1995; VAN DER PEET-SCHWERING et al., 1999; POMAR et al., 2007b). Entretanto, nesses estudos trabalhou-se com alimentação de multifase para grupos e não para indivíduos. Na alimentação diária para grupos a excreção de N reduziu em 12% comparado ao sistema de três fases (POMAR et al., 2007b). O uso de um programa de alimentação individual apresenta melhores resultados comparado ao de grupo (excreção de N: 39 vs. 12%) por considerar a variabilidade do grupo.

Os resultados do Capítulo 2 associados aos do estudo de POMAR et al. (2009b) demonstram a importância de considerar a variabilidade animal ao estabelecer programas de alimentação para populações heterogêneas. Isso confirma que os métodos empírico e fatorial apresentam sérias limitações quando utilizados para estimar o nível ideal de um nutriente para otimizar a resposta de indivíduos ou populações. Nesse contexto, o modo como estimamos as exigências com o objetivo de otimizar a resposta de populações deve ser reavaliado.

Com o objetivo de atender essas lacunas abordadas anteriormente, no Capítulo 3 foi desenvolvido um modelo matemático capaz de estimar as exigências nutricionais individuais e em tempo real. Essa estimativa é baseada na evolução do consumo e crescimento de cada indivíduo medidas em tempo real, processo essencial para atingir uma alimentação de precisão. Além disso, o modelo proposto é parte integrante de um projeto global que visa otimizar aspectos ambientais e econômicos na produção suína (POMAR et al., 2009c).

Os modelos atuais que estimam as exigências a partir da estimativa do crescimento e consumo são precisos quando bem estruturados e com os parâmetros estimados adequadamente. Entretanto, precauções devem ser tomadas quando utilizados para estimar crescimento e consumo em populações heterogêneas. Diferente do modelo proposto, esses modelos estimam crescimento e consumo de um único indivíduo (médio). Um aspecto normalmente desconsiderado nesses modelos é que grande parte dos indivíduos de uma população podem apresentar padrões de crescimento diferentes aos do indivíduo de potencial médio. Essas diferenças poderão ser maiores ou menores dependendo das condições de campo (alimentação, ambiente, sanidade, etc) (POMAR, 2007).

O modelo proposto acompanha em tempo real o crescimento e consumo de cada indivíduo utilizando uma abordagem simples e empírica. Os parâmetros do método matemático utilizado, contudo não têm significado biológico. Isso não permite explicar os mecanismos envolvidos na resposta dos animais. É mais relevante se deter na capacidade do modelo em acompanhar a trajetória de consumo e crescimento de cada indivíduo à considerar o valor biológico dos parâmetros (ROUSH et al., 2006).

Na avaliação interna, o método de regressão recursiva utilizado no modelo proposto apresentou boa precisão para seguir a trajetória de crescimento e consumo de cada indivíduo em tempo real. Uma menor precisão foi observada para indivíduos que apresentaram reduções do ganho ou consumo em algum período do crescimento (trajetórias atípicas). Essas reduções observadas foram causadas provavelmente por algum problema sanitário. Como regra geral, a opção foi seguir uma trajetória média e não acompanhar essas reduções. Isso permitiu determinar um provável potencial de crescimento e consumo de cada indivíduo dentro de uma condição específica de produção.

Os modelos normalmente utilizados para descrever o consumo e crescimento de forma empírica (Gompertz, equações exponenciais, etc) não são eficientes para acompanhar respostas biológicas com elevadas oscilações diárias (ex: consumo). Além disso, esses modelos são utilizados somente quando todos os dados de um período foram coletados. Nesse sentido, o método de regressão recursiva por considerar as oscilações diárias e por necessitar poucas informações para estimar consumo e crescimento é adequado dentro dos propósitos do modelo. Embora esse método não explique os mecanismos que determinam essas oscilações, permite acompanhar a evolução do crescimento e consumo em tempo real de cada indivíduo.

Outro algoritmo de séries temporais desenvolvido por KALMAN (1960) para predições de curto espaço de tempo pode ser também utilizado. Esse método é denominado de *Kalman Filter*. Embora mais complicado esse método permite boa precisão para predizer o consumo e crescimento (STRATHE et al., 2009). Entretanto, é necessário estruturar o método no modelo para avaliar a sua eficiência quando operando com poucas informações disponíveis de consumo e peso vivo.

O sucesso de um modelo de crescimento, conforme já comentado, dependerá sempre do conhecimento acumulado em biologia do matemático e do

conhecimento acumulado em matemática pelo nutricionista (VAN DER VAART, 1977). No modelo proposto, a forma empírica de estimar consumo e crescimento demanda um bom conhecimento em matemática do que em biologia. Essas descrições empíricas quando determinadas adequadamente no curso do crescimento são ainda mais precisas para propósitos de estimação das exigências nutricionais (ARC, 1981; NRC, 1998). Além disso, predições empíricas apresentam vantagens comparadas às mecanicistas em função das últimas serem ainda difíceis e pouco precisas em condições de campo. Outro aspecto é que no caso de observações provenientes de indivíduos, poucos estudos têm sido realizados na tentativa de compreender melhor os mecanismos que determinam as oscilações diárias do consumo. No geral, assume-se que os mecanismos de regulações de curto prazo ou também chamados de homeostase poderiam explicar esses fenômenos (SAUVANT, 1992). Entretanto, mais estudos são necessários para estimar o consumo através de modelos mecanicistas representando essas oscilações diárias no consumo.

Na estruturação do componente mecanicista, diferente do empírico, o estado da arte em biologia deve ser explorado. Nesse componente, utilizando as informações do componente empírico (consumo e crescimento), as exigências são estimadas utilizando uma abordagem fatorial. A união dos componentes empírico e mecanicista se enquadra no novo conceito em modelagem denominado de *grey-box model* (OUSSAR & DREYFUS, 2001). No *grey-box model*, no componente empírico desconhece-se os mecanismos que determinam a resposta animal e no mecanicista esses mecanismos devem ser conhecidos.

Na realidade, esse tipo de abordagem já é utilizado na maioria dos modelos de crescimento. Em todo modelo existe uma força motora que representa o potencial de crescimento do animal. Essa força motora ou potencial animal é estimado de forma empírica com base em dados coletados previamente e representa um único indivíduo (médio). O potencial descrito é, portanto, integrado em um modelo mecanicista para estimar crescimento e as exigências considerando o efeito dos fatores externos. A diferença do modelo proposto é que esse potencial é determinado em tempo real e para cada indivíduo considerando o seu atual estado. Isso elimina a necessidade de descrever os mecanismos que determinaram a resposta animal.

Essa forma de descrever no modelo proposto o potencial animal em tempo real e individual pode melhorar a precisão do modelo ao estimar as exigências. Os parâmetros utilizados no componente mecanicista do modelo proposto (ex. manutenção, eficiência de utilização de nutrientes), contudo foram obtidos a partir dos modelos de crescimento atuais. Todos esses parâmetros são referentes a um indivíduo médio e foram estimados em condições adequadas de produção. Existem evidências que o parâmetro de manutenção pode diferir entre os animais (KNAP, 2000). Além disso, existem também contradições relativas ao uso de um único valor para eficiência de utilização de nutrientes. Uma dessas contradições é relativa ao uso de um modelo linear platô para representar a resposta animal a diferentes ingestões de um nutriente. Esse modelo considera uma eficiência constante a diferentes níveis de ingestão de um nutriente. A outra é por adotar um valor único da eficiência para todos os indivíduos de uma população. Em função da grande disponibilidade de estudos relacionados à lisina, foi utilizado esse nutriente como exemplo para discutir as duas contradições.

A eficiência de utilização da lisina pode ser medida indiretamente pela ineficiência que é originária de diferentes processos como excesso na dieta, excreção fecal e utilização para síntese de componentes não protéicos. Outro fator é a influência do *turnover* protéico na ineficiência de utilização da lisina. A esses processos tem sido atribuída a resposta marginal observada na eficiência de utilização da lisina a diferentes níveis de ingestão. Essa resposta, contudo pode estar mais relacionada à variabilidade de potencial entre os animais. O estudo que avaliou, por exemplo, o efeito do *turnover* protéico sobre a eficiência de utilização da lisina foi realizado com grupos de animais (GAHL et al., 1991). Em função da variação no potencial de deposição proteica, a eficiência média de utilização de nutrientes em grupos de animais é baixa comparada a de um indivíduo. Esse efeito é observado principalmente quando a ingestão do nutriente é próxima a máxima deposição proteica da população (POMAR, 2007). Isso se deve a resposta em grupos de animais para diferentes níveis de ingestão de um nutriente ser curvilínea e não retilínea (linear platô) como observada em um indivíduo (CURNOW, 1973).

A eficiência de utilização da lisina foi constante em níveis de ingestão próximo a máxima resposta quando foi pré-selecionado indivíduos com potencial de deposição proteica similar (MOHN et al., 2000; MOEHN et al., 2004). A eficiência de utilização em baixas ingestões de lisina (<50% da máxima deposição proteica) é

maior comparada a níveis mais elevados (BATTERHAM et al., 1990). O modelo, contudo tem como objetivo estimar o nível ideal de lisina próximo ao máximo potencial de deposição proteica dos animais. Dessa forma, como as evidências não são claras para invalidar o modelo linear platô para indivíduos, a eficiência de utilização de um nutriente pode ser considerada constante no modelo.

Diferentemente da primeira contradição, a eficiência de utilização de um nutriente entre indivíduos pode diferir (HEGER et al., 2008). A questão a ser trabalhada ainda é como integrar essas diferenças no modelo. As forças motoras do modelo (consumo e peso vivo) são pouco explicativas para tentar modelar a variação desse parâmetro. Outro aspecto importante é que diante de desafios sanitários a exigência de manutenção aumenta e a eficiência de utilização de um nutriente reduz nos animais (BLACK et al., 1999).

No Capítulo 4 discutimos a importância e a forma de representar a variabilidade animal ao estimar as exigências nutricionais. Foi observado que a representação da variabilidade animal tem um grande impacto na otimização da resposta da população principalmente quando se trata de condições de campo. Isso é devido nessas condições as populações serem geralmente heterogêneas com indivíduos apresentando respostas diferenciadas em relação à média da população. Os modelos mecanicistas atuais são simples demais para estimar as exigências de forma precisa para essas populações. Isso está relacionado ao fato de operarem somente com base no potencial descrito de um único indivíduo. O modelo descrito nesse estudo por operar em tempo real e em nível de indivíduos permite estimar as exigências para populações heterogêneas em condições de campo. Dentro da sua simplicidade, esse modelo considera, portanto, as diferenças entre indivíduos, populações e as mudanças que possam ocorrer no curso do crescimento ao estimar as exigências nutricionais.

CONCLUSÕES E PERPECTIVAS

CAPÍTULO 1 - Análise sistemática dos métodos utilizados para estimar as exigências nutricionais em suínos

As relações ideais de lisina e energia estimada para suínos em crescimento diferem entre os métodos empírico e fatorial.

No método fatorial é difícil determinar qual animal deve ser utilizado para estimar as exigências. No método empírico as respostas obtidas devem ser utilizadas com precauções para estimar as exigências para outros intervalos e populações.

Ambos os métodos apresentam sérias limitações quando utilizados para estimar o nível ideal de um nutriente para otimizar respostas de indivíduos ou populações.

CAPÍTULO 2 - Modelo matemático para estimar as exigências nutricionais individuais e em tempo real de suínos em crescimento

O modelo proposto é capaz de seguir a trajetória média de consumo de alimento e peso vivo de cada indivíduo em tempo real com uma boa precisão sem a necessidade de representar os mecanismos envolvidos. Baseado nessas trajetórias e utilizando equações fatoriais clássicas, o modelo permite estimar as exigências de cada indivíduo de modo dinâmico considerando a atual evolução do consumo e crescimento.

O modelo proposto apresenta uma perspectiva diferente dos atuais por estimar as exigências nutricionais para cada indivíduo. Entretanto, deve-se ainda explorar melhor no componente mecanicista do modelo os aspectos relacionados aos indivíduos com comportamento atípico. Como o desenvolvimento de um modelo é um processo contínuo, sua conclusão depende de seus objetivos.

Ao identificar as limitações dos modelos, é possível demonstrar áreas que necessitam ainda ser exploradas. Nesse sentido, poucas informações estão disponíveis na literatura sobre os parâmetros de manutenção e eficiência de utilização

de nutrientes para animais doentes (indivíduos atípicos), sendo necessário recalculá-los para esses animais. Isso permitirá ao IPF ajustar a nutrição a animais doentes.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA PRODUTORA E EXPORTADORA DE CARNE SUÍNA. **Estatísticas**. 2009. Disponível em <<http://www.abipecs.com.br>>. Acesso em: 28 jan. 2010.

AGRICULTURAL AND FOOD RESEARCH COUNCIL TECHNICAL COMMITTEE. Nutrient requirements of sows and boars. **Nutrition Abstracts and Reviews (Series B)**, Wallingford, UK, v. 60, n. 10, p. 383-406, 1990.

_____. Theory of response to nutrients by farm animals. **Nutrition Abstracts and Reviews (Series B)**, Wallingford, UK, v. 61, n. 10, p. 683–722, 1991.

AGRICULTURE RESEARCH COUNCIL. **The nutrient requirements of pigs**. Wallingford, NED: Commonwealth Agricultural Bureau, 1981. 307 p.

BAKER, D. H. Problems and pitfalls in animal experiments designed to establish dietary requirements for essential nutrients. **Journal of Nutrition**, Champaign, USA, v. 116, n. 12, p. 2339-2349, 1986.

BALDWIN, R. L. Principles of modelling animal systems. **Proceeding New Zealand**, Hamilton, NZ, v. 36, p. 128-139, 1976.

_____; SAINZ, R. D. Energy partitioning and modeling in animal nutrition. **Annual Review of Nutrition**, Palo Alto, USA, v. 15, n. 1, p. 191-211, 1995.

BATTERHAM, E. S. et al. Utilization of ileal digestible amino acids by growing pigs: effect of dietary lysine concentration on efficiency of lysine retention. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, UK, v. 64, n. 1, p. 81-94, 1990.

BERTOLO, R. F. et al. Estimate of the variability of the lysine requirement of growing pigs using the indicator amino acid oxidation technique. **Journal of Animal Science**, Champaign, USA, v. 83, n. 11, p. 2535-2542, 2005.

BIKKER, P. et al. Digestible lysine requirement of gilts with high genetic potential for lean gain, in relation to the level of energy intake. **Journal of Animal Science**, Champaign, USA, v. 72, n. 7, p. 1744-1753, 1994.

BLACK, J. L. The evolution of animal growth models. In: MOUGHAN, P. J.; VERSTEGEN, M. W. A.; VISSER-REYNEVELD, M. I. (Eds.). **Modelling growth in the pig**. Wageningen, NED: Wageningen Pers, 1995. p. 2-9.

_____; BRAY, H. J.; GILES, L. R. The thermal and infectious environment. In: KYRIAZAKIS, I. (Ed.). **A quantitative biology of the pig**. Wallingford, UK: CAB Publishing, 1999. p. 71-97.

_____ et al. Simulation of energy and amino acid utilisation in the pig. **Research and Development in Agriculture**, Harlow, UK, v. 3, n. 3, p. 121-145, 1986.

BOURDON, D.; DOURMAD, J. Y.; HENRY, Y. Réduction des rejets azotés chez les porcs en croissance par la mise en oeuvre de l'alimentation multiphase, associée à l'abaissement du taux azoté. **Journées Recherche Porcine**, Paris, FR, v. 27, p. 269-278, 1995.

BROSSARD, L. et al. Modelling the variation in performance of a population of growing pig as affected by lysine supply and feeding strategy. **Animal**, Cambridge, UK, v. 3, n. 8, p. 1114-1123, 2009.

_____ et al. Analyse des relations entre croissance et ingestion à partir de cinétiques individuelles: implications dans la définition de profils animaux pour la modélisation. **Journées Recherche Porcine**, Paris, FR, v. 38, p. 217-224, 2006.

CANADIAN PORK COUNCIL. **Statistics & market reports - description of canadian hog farms**. Disponível em: <<http://www.cpc-cpp.com/industry/statistics.html>>. Acesso em: 28 jan. 2010.

CURNOW, R. N. A smooth population response curve based on an abrupt threshold and plateau model for individuals. **Biometrics**, Arlington, USA, v. 29, p. 1-10, 1973.

DE LANGE, C. F. M.; SCHEREURS, H. W. E. Principles of model application. In: MOUGHAN, P. J.; VERSTEGEN, M. W. A.; VISSER-REYNEVELD, M. I. (Eds.). **Modelling the growth in the pigs**. Amsterdam, NED: EAAP, 1995. p. 187-208.

DOURMAD, J.-Y.; JONDREVILLE, C. Impact of nutrition on nitrogen, phosphorus, Cu and Zn in pig manure, and on emissions of ammonia and odours. **Livestock Science**, Amsterdam, NED, v. 112, n. 3, p. 192-198, 2007.

_____ et al. Nitrogen and phosphorus consumption, utilisation and losses in pig production: France. **Livestock Production Science**, Amsterdam, NED, v. 58, n. 3, p. 199-211, 1999.

EMMANS, G. C. A model of the growth and feed intake of ad libitum fed animals, particularly poultry. In: HILLYER, G. M.; WHITTEMORE, C. T.; GUNN, R. G. (Eds.). **Computers in animal production**. London, UK: Animal Production Occasional, 1981. p. 103-110.

_____; FISHER, C. Problems in nutritional theory. In: BOORMAN, K. N.; FISHER, C. (Eds.). **Nutrient requirements of poultry and nutritional research**. London, UK: Butterworths, 1986. p. 9-39.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Faostat statistical databases**. Disponível em: <<http://www.fao.org>>. Acesso em: 25 jan. 2010.

FERGUSON, N. S. Basic concepts describing animal growth and feed intake. In: FISHER, C.; GOUS, R.; MORRIS, T. (Eds.). **Mechanistic modelling in pig and poultry production**. Wallingford, USA: CABI Publishing, 2006. p. 22-53.

FRANCE, J. et al. A simple but flexible growth function. **Growth, development and Aging**, Burlington, USA, v. 60, p. 71-83, 1996.

FULLER, M. F. **The encyclopedia of farm animal production**. Wallingford, USA: CABI Publishing, 2004. 620 p.

_____; CHAMBERLAIN, A. G. Protein requirements of pigs. In: HARESIGN, W. (Eds.). **Recent advances in animal nutrition**. London, UK: Butterworths, 1982. p. 175-186.

_____; GARTHWAITE, P. The form of response of body protein accretion to dietary amino acid supply. **Journal of Nutrition**, Bethesda, USA, v. 123, n. 5, p. 957-963, 1993.

GAHL, M. J. et al. Use of a four-parameter logistic equation to evaluate the response of growing rats to ten levels of each indispensable amino acid. **Journal of Nutrition**, Bethesda, USA, v. 121, p. 1721-1725, 1991.

GOMPertz, B. On nature of the function expressive of the law of human mortality, and on a new mode of determining the value of life contingencies. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, London, UK, v. 115, p. 513-585, 1825.

GREEN, D. M.; WHITTEMORE, C. T. Architecture of a harmonized model of the growing pig for the determination of dietary net energy and protein requirements and of excretions into the environment (IMS pig). **Animal Science**, Penicuik, UK, v. 77, p. 113-130, 2003.

GRUMMER, R. H. Genetic variation in nutritional requirements of swine. In: NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES (Ed.). **The effect of genetic variance on nutritional requirements of animals**. Washington, USA: American Society of Animal Science, 1975. 128 p.

HALL, A. D. et al. Genetic and phenotypic parameter estimates for feeding pattern and performance test traits in pigs. **Animal Science**, Penicuik, UK, v. 68, p. 43-48, 1999.

HAUSCHILD, L.; POMAR, C.; LOVATTO, P. A. Systematic comparison of the empirical and factorial methods used to estimate nutrient requirements of growing pigs. **Animal**, Cambridge, UK, 2010. **In press**.

HEGER, J. et al. Individual response of growing pigs to sulphur amino acid intake. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, Munich, GER, v. 92, n. 1, p. 18-28, 2008.

HOFMANN, N.; BEAULIEU, M. S. A geographical profile of manure production in Canada. **Agricultural and rural working paper series**, Ottawa, Canada, v.11, p. 3-20, 2001.

INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE - AFZ. **L'alimentation des animaux monogastriques**: porcs, lapins, volailles. Paris: Institut National de la Recherche Agronomique, 1989. 282 p.

_____. **Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage**: porcs, volailles, bovins, ovins, caprins, lapins, chevaux, poissons. 2. ed. Paris: Institut National de la Recherche Agronomique, 2004. 301 p.

INRAPORC. **Un outil pour évaluer des stratégies alimentaires chez le porc**. Paris: Institut National de la Recherche Agronomique, 2006.

JEAN DIT BAILLEUL, P. et al. The utilization of prediction models to optimize farm animal production systems: the case of a growing pig model. In: MCNAMARA, J. P.; FRANCE, J.; BEEVER, D. (Eds.). **Modelling nutrient utilization in farm animals**. Wallingford, UK: CABI Publishing, 2000. p. 379-392.

_____ et al. Reducing nitrogen excretion in pigs by modifying the traditional least-cost formulation algorithm. **Livestock Production Science**, Amsterdam, NED, v. 72, n. 3, p. 199-211, 2001.

JOHNSON, D. E. Contributions of animal nutrition research to nutritional principles: energetics. **Journal of Nutrition**, Bethesda, USA, v. 137, p. 698-701, 2007.

JONDREVILLE, C.; DOURMAD, J.-Y. Le phosphore dans la nutrition des porcs. **INRA Production Animal**, Paris, FR, v. 18, n. 3, p. 183-192, 2005.

_____; REVY, P. S.; DOURMAD, J. Y. Dietary means to better control the environmental impact of copper and zinc by pigs from weaning to slaughter. **Livestock Production Science**, Amsterdam, NED, v. 84, p.147-156, 2003.

JONGBLOED, A. W.; EVERTS, H. Apparent digestible phosphorus in the feeding of pigs in relation to availability, requirement and environment. 2. The requirement of digestible phosphorus for piglets, growing-finishing pigs and breeding sows. **Netherlands Journal of Agricultural Science**, Hamilton, NZ, v. 40, p. 123-136, 1992.

KALMAN, R. E. A new approach to linear filtering and prediction problems **Journal of Basic Engineering, Series D**, New York, USA, v. 82, p. 35-46, 1960.

KNAP, P. W. Stochastic simulation of growth in pigs: relations between body composition and maintenance requirements as mediated through protein turn-over and thermoregulation. **Animal Science**, Penicuik, UK, v. 71, p. 11-30, 2000.

LAMBERSON, W. R.; FIRMAN, J. D. A comparison of quadratic versus segmented regression procedures for estimating nutrient requirements. **Poultry Science**, Milwaukee, USA, v. 81, n. 4, p. 481-484, 2002.

LAMMERS, P. J. et al. Digestible and metabolizable energy of crude glycerol for growing pigs. **Journal of Animal Science**, Champaign, USA, v. 86, n. 3, p. 602-608, 2008.

LASSITER, J. W.; EDWARDS, H. M. **Animal nutrition**. Reston, USA: Reston Publishing Company, 1982. 451 p.

LE BELLEGO, L.; NOBLET, J. Performance and utilization of dietary energy and amino acids in piglets fed low protein diets. **Livestock Production Science**, Amsterdam, NED, v. 76, p. 45-58, 2002.

LECLERCQ, B.; BEAUMONT, C. Etude par simulation de la réponse des troupeaux de volailles aux apports d'acides aminés et de protéines. **INRA Production Animal**, Paris, FR, v. 13, n. 1, p. 47-59, 2000.

LETOURNEAU MONTMINY, M. P. et al. Impact de la méthode de formulation et du nombre de phases d'alimentation sur le coût d'alimentation et les rejets d'azote et de phosphore chez le porc charcutier. **Journées Recherche Porcine**, Paris, FR, v. 37, p. 22-35, 2005.

LOVATTO, P. A. et al. Modelagem da ingestão, retenção e excreção de nitrogênio e fósforo pela suinocultura brasileira. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, BR, v. 34, p. 2348-2354, 2005a.

_____ et al. Modelagem da ingestão, retenção e excreção de nitrogênio e fósforo pela suinocultura gaúcha. **Ciência Rural**, Santa Maria, BR, v. 35, p. 883-890, 2005b.

_____; SAUVANT, D. Modeling homeorhetic and homeostatic controls of pig growth. **Journal of Animal Science**, Champaign, USA, v. 81, n. 3, p. 683-696, 2003.

MAGUIRE, R. O. et al. Dietary strategies for reduced phosphorus excretion and improved water quality. **Journal of Environmental Quality**, Madison, USA, v. 34, p. 2093-2103, 2005.

MOEHN, S. et al. Growth potential, but not body weight or moderate limitation of lysine intake, affects inevitable lysine catabolism in growing pigs. **Journal of Nutrition**, Bethesda, USA, v. 134, n. 9, p. 2287-2292, 2004.

_____ et al. An estimate of the methionine requirement and its variability in growing pigs using the indicator amino acid oxidation technique. **Journal of Animal Science**, Champaign, USA, v. 86, n. 2, p. 364-369, 2008.

MOHN, S. et al. Influence of dietary lysine and energy intakes on body protein deposition and lysine utilization in the growing pig. **Journal of Animal Science**, Champaign, USA, v. 78, n. 6, p. 1510-1519, 2000.

MORRIS, T. R. The interpretation of response data from animal feeding trials. In: HARESIG, W. (Ed.). **Recent Advances in Animal Nutrition**. London, UK: Butterworths, 1983. p. 13-23.

MOUGHAN, P. J. Simulation of the daily partitioning of lysine in the 50 kg liveweight pig - a factorial approach to estimating amino acid requirements for the growth and maintenance. **Research and Development in Agriculture**, Washington, USA, v. 6, p. 7-14, 1989.

_____. Simulating the partitioning of dietary amino acids: new directions. **Journal of Animal Science**, Champaign, USA, v. 81, n. 14, p. 60-67, 2003. Suppl. 2.

_____; SMITH, W. C.; STEVENS, E. V. J. Allometric growth of chemical body components and several organs in the pig (20-90 kg live weight). **New Zealand Journal Agriculture Research**, Hamilton, NZ, v. 33, p. 77-83, 1990.

NOBLET, J. et al. Prediction of net energy value of feeds for growing pigs. **Journal of Animal Science**, Champaign, USA, v. 72, n. 2, p. 344-354, 1994.

_____; QUINIOU, N. Principaux facteurs de variation du besoin en acides aminés du porc en croissance. **Techni-Porc**, Paris, FR, v. 22, n. 4, p. 9-16, 1999.

_____; VAN MILGEN, J. Energy value of pig feeds: Effect of pig body weight and energy evaluation system. **Journal of Animal Science**, Champaign, USA, v. 82, n. 13, p. 229-238, 2004. Suppl. 2.

NRC. **Nutrient requirements of swine**. 9. ed. Washington, USA: National Academy of Science, 1988. 93 p.

_____. _____. 10 ed. Washington, USA: National Academy of Science, 1998. 189 p.

OUSSAR, Y.; DREYFUS, G. How to be a gray box: dynamic semi-physical modeling. **Neural Networks**, New York, USA, v. 14, n. 9, p. 1161-1172, 2001.

PARKS, J. R. **Theory of feeding and growth of animals**. Berlin, GER: Springer, 1982. 322 p.

PARSONS, D. J. et al. Real-time control of pig growth through an integrated management system. **Biosystems Engineering**, Amsterdam, NED, v. 96, n. 2, p. 257-266, 2007.

PATIENCE, J. F.; THACKER, P. A.; DE LANGE, C. F. M. **Swine nutrition guide**. 2. ed. Saskatoon, CA: University of Saskatchewan, 1995. 274 p.

PIGEON, S. Suivi des plans des interventions agroenvironnementales des fermes porcines du québec. **Rapport final présenté à Fédération des producteurs de porcs du Québec**. Québec, CA: FPPQ, 2001. 99 p.

POMAR, C. A systematic approach to interpret the relationship between protein intake and deposition and to evaluate the role of variation on production efficiency in swine. In: PROCEEDING OF THE SYMPOSIUM ON DETERMINANTS OF PRODUCTION EFFICIENCY IN SWINE, 1995, Ottawa. **Proceedings...** Ottawa: Canadian Society of Animal Science, 1995. p. 361-375.

_____. Predicting responses and nutrient requirements in growing animal populations: the case of the growing-finishing pig. In: HANIGAN, M. D.; NOVOTNY, J. A.; MARSTALLER, C. L. (Eds.). **Mathematical modeling in nutrition and**

agriculture. Blacksburg, USA: Virginia Polytechnic and State University, 2007. p. 309-330.

_____ et al. Reducing phosphorus concentration in pig diets by adding an environmental objective to the traditional feed formulation algorithm. **Livestock Science**, Amsterdam, NED, v. 111, n. 1-2, p. 16-27, 2007a.

_____ ; DUBEAU, F.; VAN MILGEN, J. Maîtrise des rejets d'azote et de phosphore à l'aide d'une formulation multicritère et d'un ajustement progressif des apports en nutriments aux besoins des animaux. **INRA Production Animal**, Paris, FR, v. 22, p. 49-54, 2009a.

_____ et al. The effect of microbial phytase on true and apparent ileal amino acid digestibilities in growing-finishing pigs. **Journal of Animal Science**, Champaign, USA, v. 86, n. 7, p. 1598-1608, 2008.

_____ et al. Computer simulation model of swine production systems: a dynamic herd simulation model including reproduction. **Journal of Animal Science**, Champaign, USA, v. 69, n. 7, p. 2822-2836, 1991.

_____ et al. Precision feeding can significantly reduce feeding cost and nutrient excretion in growing animals. In: SAUVAN, D. (Ed.). **Modelling nutrient digestion and utilisation in farm animals**, Wallingford, UK: CABI Publishing, 2009b. **In press**.

_____ et al. Applying precision feeding techniques in growing-finishing pig operations. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, BR, v. 38, p. 226-237, 2009c.

_____ et al. Modeling stochasticity: dealing with populations rather than individual pigs. **Journal of Animal Science**, Champaign, USA, v. 81, n. 14, p. 178-186, 2003. Suppl. 2.

_____ et al. Effet d'une alimentation multiphase quotidienne sur les performances zootechniques, la composition corporelle et les rejets d'azote et de phosphore du porc charcutier. **Journées Recherche Porcine**, Paris, FR, v. 39, p. 23-30, 2007b.

ROUSH, W. B.; DOZIER, W. A.; BRANTON, S. L. Comparison of gompertz and neural network models of broiler growth. **Poultry Science**, Milwaukee, USA, v. 85, p. 794-797, 2006.

SANDBERG, F. B.; EMMANS, G. C.; KYRIAZAKIS, I. Partitioning of limiting protein and energy in the growing pig: description of the problem, possible rules and their

qualitative evaluation. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, UK, v. 93, p. 205-212, 2005a.

SANDBERG, F. B.; EMMANS, G. C.; KYRIAZAKIS, I. Partitioning of limiting protein and energy in the growing pig: testing quantitative rules against experimental data. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, London, v. 93, p. 213-224, 2005b.

SAUVANT, D. Modeling homeostatic and homeorhetic regulations in lactating animals. **Livestock Production Science**, Burlington, USA, v. 39, p. 105-113, 1992.

_____; BASTIANELLI, D.; VAN MILGEN, J. Systèmes d'unités d'alimentation et lois de réponse du porc aux régimes alimentaires. **Journées Recherche Porcine**, Paris, FR, v. 27, p. 237-244, 1995.

FEEDING STANDARDS FOR AUSTRALIAN LIVESTOCK. **Nutrient requirements for pigs**. East Melbourne, AUS: Standing Committee on Agriculture, 1987. 226 p.

SCHINCKEL, A. P.; IN, P.; ED. Nutrient requirements of modern pig genotypes. In: GARNSWORTHY, P. C.; COLE, D. J. A. (Eds.). **Recent advances in animal nutrition**. Nottingham, UK: University Nottingham Press, 1994. p. 133-169.

_____ et al. Development of a stochastic pig compositional growth model. **The Professional Animal Scientist**, Fayetteville, USA, v. 19, p. 250-260, 2003.

SCRAMIM, F. C. L.; BATALHA, M. O. Método para análise de benefícios em cadeias de suprimento: um estudo de caso. **Gestão & Produção**, São Carlos, BR, v. 11, p. 331-342, 2004.

SHIGAKI, F.; SHARPLEY, A.; PROCHNOW, L. I. Animal-based agriculture, phosphorus management and water quality in Brazil: options for the future. **Scientia Agricola**, Piracicaba, BR, v. 63, p. 194-209, 2006.

STEIN, H. H. et al. Invited review: amino acid bioavailability and digestibility in pig feed ingredients: terminology and application. **Journal of Animal Science**, Champaign, USA, v. 85, n. 1, p. 172-180, 2007.

STRATHE, A. B.; SØRENSEN, H.; DANFÆR, A. A new mathematical model for combining growth and energy intake in animals: the case of the growing pig. **Journal of Theoretical Biology**, Amsterdam, NED, v. 261, n. 2, p. 165-175, 2009.

TESS, M. W.; BENETT, G. L.; DICKERSON, G. E. Simulation of genetic changes in life cycle efficiency of pork production. **Journal of Animal Science**, Champaign, USA, v. 56, p. 336-353, 1983.

THEODOROU, M. K.; FRANCE, J. **Feeding systems and feed evaluation models**. Wallingford, UK: CAB publishing, 2000. 481 p.

THORNLEY, J. H. M.; FRANCE, J. **Mathematical models in agriculture: quantitative methods for the plant, animal and ecological sciences**. 2. ed. Wallingford, UK: CABI Publishing, 2006. 906 p.

TECHNISH MODEL VARKENSVOEDING. **Werkgroep informatiemodel**. Rosmalen, GER: Research Institute for Pig Husbandry. Report P1.117.

VAN DER PEET-SCHWERING, C. M. C.; JONGBLOED, A. W.; AARNINK, A. J. A. Nitrogen and phosphorus consumption, utilisation and losses in pig production: NED. **Livestock Production Science**, Amsterdam, NED, v. 58, p. 213-224, 1999.

VAN DER VAART, H. R. Biomathematical models: some triumphs and some defeats. In: SOLOMON, D. L.; WALTER, C. (Eds.). **Mathematical models in biological discovery**. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 1977. p. 217-224.

VAN MILGEN, J.; NOBLET, J. Partitioning of energy intake to heat, protein, and fat in growing pigs. **Journal of Animal Science**, Champaign, USA, v. 81, n. 14, p. 86-93, 2003. Suppl. 2.

_____ et al. Inraporc: a model and decision support tool for the nutrition of growing pigs. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, NED, v. 143, n. 1-4, p. 387-405, 2008.

VON BERTALANFFY, L. Quantitative laws for metabolism and growth. **Quarterly Reviews of Biology**, Chicago, USA, v. 32, p. 217-231, 1957.

WATHES, C. M. et al. Is precision livestock farming an engineer's daydream or nightmare, an animal's friend or foe, and a farmer's panacea or pitfall? **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, NED, v. 64, n. 1, p. 1-10, 2008.

WELLOCK, I. J.; EMMANS, G. C.; KYRIAZAKIS, I. Describing and predicting potential growth in the pig. **Animal Science**, Penicuik, UK, v. 78, p. 379-388, 2004a.

_____; EMMANS, G. C.; KYRIAZAKIS, I. Modeling the effects of stressors on the performance of populations of pigs. **Journal of Animal Science**, Champaign, USA, v. 82, n. 8, p. 2442-2450, 2004b.

WHITTEMORE, C. T.; CLOSE, W. H.; HAZZLEDINE, M. J. The need for nutrient requirement standards for pigs. **PigNews and Information**, Wallingford, USA, v. 23, n. 3, p. 1-30, 2002

_____; FAWCETT, R. H. Model responses of the growing pig to the dietary intake of energy and protein. **Animal Production**, Collingwood, AUS, v. 19, p. 221-231, 1974.

_____. Theoretical aspects of a flexible model to simulate protein and lipid growth in pigs. **Animal Production**, Collingwood, AUS, v. 22, p. 87-96, 1976.

_____; GREEN, D. M. The description of the rate of protein and lipid growth in pigs in relation to live weight. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, UK, v. 138, p. 415-423, 2002.

_____; KNAP, P. W. Technical review of the energy and protein requirements of growing pigs: energy. **Animal Science**, Penicuik, UK, v. 73, p. 199-215, 2001a.

_____. Technical review of the energy and protein requirements of growing pigs: food intake. **Animal Science**, Penicuik, UK, v. 73, p. 3-17, 2001b.

_____. Technical review of the energy and protein requirements of growing pigs: protein. **Animal Science**, Penicuik, UK, v. 73, p. 363-373, 2001c.

APÊNDICES

APÊNDICE 1 – Programação utilizada no Visual Basic no estudo de análises sistemática dos métodos utilizados para estimar as exigências nutricionais

Private Sub InraporcModel()

```

Iter = 0          'Total Iterations
Iterprod = 0     'Total Iterations within the weight range
iDiet = 1
age = 76
protein = InitialProtein(iPigs)          'kg
ash = 0.189 * protein                    'kg
water = 5.2 * ((protein) ^ 0.855)        'kg
lipid = InitialLipid(iPigs)              'kg
emptyWeight = protein + lipid + ash + water 'kg
Weight = emptyWeight / (1 - 0.05)        'kg

```

'Loop over TIME but controlled by WEIGHT

```

Do While protein < 60          'Loop over PROTEIN but controlled by WEIGHT

```

'Rates variables at time t. kg/d or kj/d

```

NEiDesired = aFI(iPigs) + (bFi(iPigs) * (Weight)) + (cFi(iPigs) * (Weight) ^ 2) + (dFi(iPigs) *
(Weight) ^ 3)

```

```

DesiredProteinDeposition = aLW(iPigs) + (bLW(iPigs) * (age))

```

```

FHP = 436 + 175 * (NEiDesired / (Weight ^ 0.6))          'kj/W^0.6/d

```

```

MaintenanceNE = (MaintenanceCorrection(iPigs)) * (FHP * 0.708 + 207) * (Weight ^ 0.6) 'kj/d

```

```

ProteinDeposition = DesiredProteinDeposition

```

```

lipideposition = ((NEiDesired * 1000) - ((DesiredProteinDeposition * hp) + (DesiredProteinDeposition
* hp * NEcostsProteinDeposition) + MaintenanceNE)) / NEcostsLipidDeposition

```

If Weight >= BeginWeight(iPigs) Then

'Predicting AD LIBITUN FEED INTAKE

```

FeedIntake = NEiDesired / NE(iDiet)          'kg/d

```

```

DMI = FeedIntake * DM(iDiet)                  'kg/d

```

```

DEintake = DE(iDiet) * FeedIntake * 1000     'kJ/d

```

```

MEintake = ME1(iDiet) * FeedIntake * 1000    'kJ/d

```

```

NEintake = NE(iDiet) * FeedIntake * 1000     'kJ/d

```

```

NEintakeCP = 12.08 * digestibleProtein(iDiet) * FeedIntake * 1000 'kJ/d

```

```

ProteinIntake = digestibleProtein(iDiet) * FeedIntake 'kg/d

```

```

LysIntake = (LysIleal(iDiet) / 1000) * FeedIntake 'kg/d

```

```

MetIntake = Met(iDiet) * FeedIntake / 1000    'kg/d

```

```

MetCystIntake = MetCyst(iDiet) * FeedIntake / 1000 'kg/d

```

```

ThrIntake = Thr(iDiet) * FeedIntake / 1000    'kg/d

```

```

TryIntake = Try(iDiet) * FeedIntake / 1000    'kg/d

```

```

IleIntake = Ile(iDiet) * FeedIntake / 1000    'kg/d

```

```

LeuIntake = Leu(iDiet) * FeedIntake / 1000    'kg/d

```

```

ValIntake = Val(iDiet) * FeedIntake / 1000    'kg/d

```

$\text{pheIntake} = \text{Phe}(\text{iDiet}) * \text{FeedIntake} / 1000$ 'kg/d
 $\text{HisIntake} = \text{His}(\text{iDiet}) * \text{FeedIntake} / 1000$ 'kg/d
 $\text{ArgIntake} = \text{Arg}(\text{iDiet}) * \text{FeedIntake} / 1000$ 'kg/d

'Calculating PROTEIN and AMINOACID UTILIZATION

'Unrestricted energy conditions

Call MetabolismAA

$\text{PDprotein} = (\text{ProteinIntake} - \text{ProteinMa}) * \text{ProteinKaa} / \text{ProteinBody}$ 'kg/d
 $\text{PDLys} = ((\text{LysIntake} - \text{LysMa}) * \text{LysKaa}) / \text{LysBody}$ 'kg/d
 $\text{PDMet} = (\text{MetIntake} - \text{MetMA}) * \text{MetKaa} / \text{MetBody}$ 'kg/d
 $\text{PDMetCyst} = (\text{MetCystIntake} - \text{MetCystMa}) * \text{MetCystKaa} / \text{MetCystBody}$ 'kg/d
 $\text{PDThr} = (\text{ThrIntake} - \text{ThreMa}) * \text{ThreKaa} / \text{ThreBody}$ 'kg/d
 $\text{PDTry} = (\text{TryIntake} - \text{TryMa}) * \text{TryKaa} / \text{TryBody}$ 'kg/d
 $\text{PDile} = (\text{IleIntake} - \text{IleMa}) * \text{IleKaa} / \text{IleBody}$ 'kg/d
 $\text{PDLeu} = (\text{LeuIntake} - \text{LeucMa}) * \text{LeucKaa} / \text{LeucBody}$ 'kg/d
 $\text{PDVal} = (\text{ValIntake} - \text{ValMa}) * \text{ValKaa} / \text{ValBody}$ 'kg/d
 $\text{PDPhe} = (\text{pheIntake} - \text{PheMa}) * \text{PheKaa} / \text{PheBody}$ 'kg/d
 $\text{PDHis} = (\text{HisIntake} - \text{HistMa}) * \text{HistKaa} / \text{HistBody}$ 'kg/d
 $\text{PDArg} = (\text{ArgIntake} - \text{ArgMa}) * \text{ArgKaa} / \text{ArgBody}$ 'kg/d
 $\text{ProteinForGrowth} = \text{Application.Min}(\text{PDLys})$ 'kg/d

'Restricted energy conditions

Call calculatePDmax

If $\text{NEiMultiplesNEM} < \text{NetEnergyforPDmax}$ Then
 $\text{MaxProteinDeposition} = x * (\text{NEiMultiplesNEM} - 1) + dx _$
 $\quad * ((\text{NEiMultiplesNEM} - 1) \wedge 2)$ 'kg/d
 Else
 $\text{MaxProteinDeposition} = \text{PDmax}$ 'kg/d
 End If ' $\text{NEintake} < \text{NetEnergyforPDmax}$

$\text{ProteinDeposition} = \text{Application.Min}(\text{ProteinForGrowth}, \text{MaxProteinDeposition}, _$
 $\text{DesiredProteinDeposition})$ 'kg/d
 $\text{LysineDeposition} = \text{LysBody} * \text{ProteinDeposition}$ 'g/d
 $\text{DeaminatedLysine} = \text{LysIntake} - \text{LysineDeposition}$ 'g/d
 $\text{DeaminatedProtein} = \text{ProteinIntake} - \text{ProteinDeposition}$ 'kg/d

'Calculating ENERGY UTILIZATION

'NET ENERGY

$\text{DeaminatedProteinLoss} = (168 * (\text{Weight} \wedge -0.175)) + _$
 $((31.1 * ((\text{DeaminatedProtein} / 6.25) * 1000)))$ 'kj/d
 $\text{NEFromDeaminProtein} = \text{EnergyFromDeaminProtein} * \text{DeaminatedProtein}$
 $\text{NEexcessCP} = \text{NEFromDeaminProtein} - \text{DeaminatedProteinLoss}$ 'kj/d
 $\text{ProteinDepositionNE} = (\text{ProteinDeposition} * \text{hp})$
 $\text{NEexcessCP} = \text{NEintakeCP} - \text{ProteinDepositionNE}$
 $\text{PDFreeNEap} = \text{NEintake} - \text{NEintakeCP}$
 'This procedure corrige the energy liquid to excess CP

PDFreeNE = PDFreeNEap + NEexcessCP 'kj/d

CostProteinDepositionNE = ProteinDepositionNE * NEcostsProteinDeposition

LipidDepositionNE = PDFreeNE - (MaintenanceNE + CostProteinDepositionNE) 'kJ/d

'LipidDepositionNE = NEintake - (ProteinDepositionNE + CostProteinDepositionNE + MaintenanceNE)

'Calculating LIPID DEPOSITION and RETAINED ENERGY

lipideposition = LipidDepositionNE / (NEcostsLipidDeposition * ELD(iPigs)) 'kg/d

EnergyRetained = ProteinDepositionNE + LipidDepositionNE 'kJ/d

End If 'Weight < BeginWeight

ashDeposition = 0.21 * ProteinDeposition 'kg/d

'UPDATING TIME VARIABLES AND SIMILARS, (T+ dt)

If Weight >= BeginWeight(iPigs) Then Iterprod = Iterprod + 1

ProteinM1 = protein

WeightM1 = Weight

iDietM1 = iDiet

Iter = Iter + 1

'UPDATING TIME VARIABLES AND SIMILARS, dt = 1

age = age + 1 'days

protein = protein + ProteinDeposition 'kg

lipid = lipid + lipideposition 'kg

'Auxiliars

ash = ash + ashDeposition 'kg

water = 5.2 * ((protein) ^ 0.855)

emptyWeight = protein + lipid + ash + water 'kg

Weight = emptyWeight / (1 - 0.05) 'kg

Gain = Weight - WeightM1 'kg/d

End If 'Weight >= BeginWeight

If Iterprod = MinIterProd Then 'Iterprod = MinIterProd

End If 'Iterprod = MinIterProd

Call WriteOnePig("OnePig")

If Iterprod = MinIterProd Then Exit Do 'Normal Pig simulation ENDPOINT

Loop 'End WEIGHT loop

End Sub

Public Sub MetabolismAA()

'Maintenance

ProteinIntLoss = 0.1044 * Weight ^ 0.75

LysIntLoss = 0.0045 * Weight ^ 0.75

MetIntLoss = 0.001 * Weight ^ 0.75

MetCystIntLoss = 0.0057 * Weight ^ 0.75

ThreIntLoss = 0.0033 * Weight ^ 0.75

$\text{TryIntLoss} = 0.0009 * \text{Weight} ^ 0.75$
 $\text{IleIntLoss} = 0.0025 * \text{Weight} ^ 0.75$
 $\text{LeuIntLoss} = 0.0053 * \text{Weight} ^ 0.75$
 $\text{ValIntLoss} = 0.0038 * \text{Weight} ^ 0.75$
 $\text{PheIntLoss} = 0.003 * \text{Weight} ^ 0.75$
 $\text{HisIntLoss} = 0.0013 * \text{Weight} ^ 0.75$
 $\text{ArgIntLoss} = 0\# * \text{Weight} ^ 0.75$
 $\text{ProteinTurnover} = 0.3611 * \text{Weight} ^ 0.75$
 $\text{LysTurnover} = 0.0239 * \text{Weight} ^ 0.75$
 $\text{MetTurnover} = 0.007 * \text{Weight} ^ 0.75$
 $\text{MetCysTurnover} = 0.0117 * \text{Weight} ^ 0.75$
 $\text{ThreTurnover} = 0.0138 * \text{Weight} ^ 0.75$
 $\text{TryTurnover} = 0.0035 * \text{Weight} ^ 0.75$
 $\text{IleTurnover} = 0.0124 * \text{Weight} ^ 0.75$
 $\text{LeuTurnover} = 0.0124 * \text{Weight} ^ 0.75$
 $\text{ValTurnover} = 0.0038 * \text{Weight} ^ 0.75$
 $\text{PheTurnover} = 0.003 * \text{Weight} ^ 0.75$
 $\text{HisTurnover} = 0.0013 * \text{Weight} ^ 0.75$
 $\text{ArgTurnover} = 0\# * \text{Weight} ^ 0.75$
 $\text{ProteinEndogen} = 8.517 * \text{DMI}$
 $\text{Lysendogen} = 0.313 * \text{DMI}$
 $\text{MetEndogen} = 0.087 * \text{DMI}$
 $\text{MetCystEndogen} = 0.227 * \text{DMI}$
 $\text{ThreEndogen} = 0.33 * \text{DMI}$
 $\text{TryEndogen} = 0.117 * \text{DMI}$
 $\text{IleEndogen} = 0.257 * \text{DMI}$
 $\text{LeucEndogen} = 0.427 * \text{DMI}$
 $\text{ValEndogen} = 0.357 * \text{DMI}$
 $\text{PheEndogen} = 0.273 * \text{DMI}$
 $\text{HistEndogen} = 0.13 * \text{DMI}$
 $\text{ArgEndogen} = 0.28 * \text{DMI}$
' sum maintenace
 $\text{ProteinMa} = (\text{ProteinIntLoss} + \text{ProteinTurnover} + \text{ProteinEndogen}) / 1000$
 $\text{LysMa} = (\text{LysIntLoss} + \text{LysTurnover} + \text{Lysendogen}) / 1000$
 $\text{MetMA} = (\text{MetIntLoss} + \text{MetTurnover} + \text{MetEndogen}) / 1000$
 $\text{MetCystMa} = (\text{MetCystIntLoss} + \text{MetCystTurnover} + \text{MetCystEndogen}) / 1000$
 $\text{ThreMa} = (\text{ThreIntLoss} + \text{ThreTurnover} + \text{ThreEndogen}) / 1000$
 $\text{TryMa} = (\text{TryIntLoss} + \text{TryTurnover} + \text{TryEndogen}) / 1000$
 $\text{IleMa} = (\text{IleIntLoss} + \text{IleTurnover} + \text{IleEndogen}) / 1000$
 $\text{LeucMa} = (\text{LeucIntLoss} + \text{LeucTurnover} + \text{LeucEndogen}) / 1000$
 $\text{ValMa} = (\text{ValIntLoss} + \text{ValTurnover} + \text{ValEndogen}) / 1000$
 $\text{PheMa} = (\text{PheIntLoss} + \text{PheTurnover} + \text{PheEndogen}) / 1000$
 $\text{HistMa} = (\text{HistIntLoss} + \text{HistTurnover} + \text{HistEndogen}) / 1000$
 $\text{ArgMa} = (\text{ArgIntLoss} + \text{ArgTurnover} + \text{ArgEndogen}) / 1000$
 'Content in body protein
 $\text{ProteinBody} = 1$
 $\text{LysBody} = 0.0696$
 $\text{MetBody} = 0.0188$
 $\text{MetCystBody} = 0.0291$
 $\text{ThreBody} = 0.037$

```

TryBody = 0.0095
IleBody = 0.0346
LeucBody = 0.0717
ValBody = 0.0467
PheBody = 0.0378
HistBody = 0.0279
ArgBody = 0.0626
'Maximum efficiency (Kaa)
ProteinKaa = 0.81
LysKaa = 0.74
MetKaa = 0.64
MetCystKaa = 0.51
ThreKaa = 0.61
TryKaa = 0.57
IleKaa = 0.6
LeucKaa = 0.76
ValKaa = 0.71
PheKaa = 0.82
HistKaa = 0.93
ArgKaa = 1.54

```

End Sub

Public Sub calculatePDmax()

```

    If Weight < WeightPDmax Then
        mPD = (MaintenanceNE * (((mPD1 * WeightPDmax) - (Weight * mPD1)) / (WeightPDmax -
BeginWeight(iPigs)))) / 36000 'kg P/kj NE
    Else
        mPD = 0
    End If 'Weight < WeightPDmax

    NEiMultiplesNEM = NEintake / MaintenanceNE
    x = -(((NEiMultiplesNEM * mPD) - mPD) - (2 * DesiredProteinDeposition)) / (NEiMultiplesNEM - 1)
'kg P/kj NE
    'x= Fraction below maintenance to protein deposition

    dx = (-DesiredProteinDeposition + NEiMultiplesNEM * mPD - mPD) / ((NEiMultiplesNEM ^ 2) - (2 *
NEiMultiplesNEM) + 1)
    NetEnergyforPDmax = (2 * dx - x) / (2 * dx)
    PDmax = (-x ^ 2) / (4 * dx) 'kg/d

```

End Sub

APÊNDICE 2 - Dados observados de consumo diário e peso vivo semanal dos animais utilizados na avaliação do modelo

Consumo diário de ração

Dia/animal	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0,84	1,39	1,20	1,03	1,46	1,47	1,18	1,25	1,32	1,23	1,05	1,13	1,38	1,40	1,08	1,20	1,12	1,00	1,10	1,00
2	1,11	1,68	1,67	1,66	1,68	1,55	1,62	1,54	1,45	1,24	1,18	1,63	1,73	1,18	1,28	1,45	1,34	1,22	1,33	1,40
3	1,26	1,81	1,76	1,63	1,57	1,61	1,56	1,65	1,72	1,39	1,43	1,35	1,49	1,12	1,06	1,55	1,61	1,37	1,18	1,24
4	1,25	2,05	1,89	1,43	2,11	1,36	1,51	1,84	1,90	1,28	1,39	1,32	2,07	1,51	0,92	1,58	1,54	1,46	1,39	1,38
5	1,43	1,37	2,18	1,83	2,55	1,96	1,66	2,36	2,16	1,78	1,58	2,14	1,61	1,57	1,34	1,28	1,67	1,44	1,46	1,57
6	1,69	1,97	2,05	1,61	1,89	1,81	1,81	2,08	2,06	1,60	1,52	1,79	1,97	1,88	1,41	1,63	1,65	1,50	1,70	1,47
7	1,83	1,74	2,23	1,71	1,76	1,90	1,90	2,13	2,04	1,45	1,41	1,92	1,84	1,46	1,28	1,57	1,95	1,23	1,65	1,43
8	1,76	2,06	2,40	1,86	1,98	2,23	1,91	2,13	1,92	1,59	1,34	1,98	1,64	1,69	1,72	1,68	1,73	1,29	1,76	1,55
9	1,60	2,33	2,57	1,56	1,80	2,01	2,05	2,45	2,19	1,65	1,47	1,90	2,36	1,66	1,77	2,03	1,61	1,46	1,93	1,56
10	1,77	1,88	2,34	2,28	2,00	1,96	1,94	2,31	2,03	1,97	1,61	1,83	1,89	1,88	1,39	1,78	2,29	1,56	1,89	1,52
11	1,75	2,16	2,56	2,15	1,97	2,18	2,06	2,20	2,23	1,52	1,68	2,31	2,01	1,84	1,77	1,99	1,86	1,35	1,79	1,47
12	1,81	1,86	2,31	2,33	1,99	2,05	1,96	2,13	2,22	2,00	1,73	2,04	2,28	1,83	1,42	2,07	2,07	1,50	1,63	1,75
13	1,95	2,31	2,40	2,25	2,00	2,08	2,11	2,19	1,76	1,82	1,58	2,10	2,46	1,61	1,67	1,98	2,16	1,60	2,20	1,42
14	2,01	1,73	2,44	2,22	1,81	1,78	1,83	2,04	2,04	1,97	1,69	1,89	2,19	1,74	1,39	2,36	2,52	1,40	1,88	1,84
15	1,97	2,29	2,59	2,33	2,10	2,13	1,94	2,35	2,39	2,01	1,90	2,40	1,95	1,79	1,67	2,17	1,97	1,79	2,40	1,98
16	1,81	2,24	2,35	2,66	1,88	2,28	1,96	2,35	2,50	1,71	1,80	2,37	2,49	2,03	1,55	2,03	2,19	2,18	1,89	1,93
17	2,55	2,24	2,42	2,48	2,10	2,28	2,34	2,58	2,16	2,17	1,98	2,21	2,06	1,90	1,62	2,05	2,19	1,86	1,76	2,11
18	1,69	2,02	2,15	2,58	1,96	1,93	1,81	2,16	2,38	2,00	1,97	2,22	1,97	2,22	1,60	2,42	2,04	1,84	2,28	1,83
19	2,07	2,29	2,50	2,39	2,10	2,35	1,83	2,59	2,05	2,04	1,92	2,32	1,79	2,40	1,39	2,25	2,17	2,01	2,08	1,98
20	2,13	1,91	2,08	2,37	2,53	2,00	2,16	2,25	2,31	2,19	1,99	2,60	1,94	2,60	1,92	2,20	2,00	1,75	2,38	2,04
21	1,86	2,03	2,21	2,51	2,11	2,09	2,17	2,62	2,53	2,18	2,05	2,48	2,00	2,77	1,79	2,40	1,98	1,74	2,11	2,01
22	2,20	2,14	2,47	2,86	2,36	2,65	2,06	2,58	2,67	2,44	1,83	2,03	2,53	2,54	1,85	2,57	2,36	2,13	2,26	1,97
23	2,43	2,23	2,23	2,72	2,10	2,55	2,28	2,84	2,21	2,43	1,93	2,26	2,46	2,39	2,07	2,20	2,27	1,75	2,36	1,89
24	2,46	2,26	2,46	2,55	1,98	2,58	2,21	3,09	2,71	2,25	2,03	2,45	2,84	2,61	1,70	2,07	2,21	2,07	2,35	1,91
25	1,68	1,87	2,50	3,25	2,14	2,15	2,32	2,90	2,85	2,43	2,13	1,77	2,30	2,74	2,06	2,39	2,42	1,78	2,00	1,88
26	3,03	1,63	1,60	2,81	2,16	2,47	2,44	2,60	2,56	2,47	2,13	2,66	2,32	2,31	1,89	2,80	2,17	2,36	1,88	2,05
27	1,92	1,89	2,23	2,72	2,43	2,13	2,36	3,36	2,68	2,67	2,23	1,98	2,48	2,51	1,98	2,49	2,45	2,03	2,41	1,84
28	2,14	1,82	1,92	2,54	2,41	2,19	2,12	2,12	3,42	2,51	2,37	3,05	2,59	2,47	2,21	2,44	2,23	2,30	2,10	2,08
29	2,68	1,80	2,46	2,74	2,06	2,24	2,08	3,21	2,40	2,70	2,38	2,85	2,46	2,70	2,08	2,30	2,65	2,09	2,35	1,95
30	2,48	1,68	2,54	2,75	2,42	2,31	2,36	3,21	3,06	2,54	2,55	2,42	3,27	2,91	1,91	2,59	2,32	2,04	1,87	2,13
31	2,73	1,97	2,31	2,76	2,57	2,42	2,18	2,78	2,79	2,41	2,17	2,77	2,34	2,68	2,19	2,69	3,01	1,75	1,96	1,91
32	2,55	2,74	2,50	3,17	2,26	2,06	2,48	3,14	3,16	2,45	2,53	2,50	2,90	2,48	1,98	2,29	2,81	1,91	1,85	2,18
33	2,46	2,36	2,25	2,63	2,21	2,41	2,29	3,18	2,99	2,35	2,24	2,33	2,92	2,85	2,03	2,48	2,61	2,19	2,19	1,95
34	2,49	2,59	2,30	3,26	2,45	2,76	1,65	2,99	2,59	2,55	2,38	2,12	2,98	2,25	1,88	2,16	2,60	2,00	2,01	2,24
35	2,36	2,79	2,17	2,88	2,70	2,45	3,19	3,12	2,84	2,09	2,71	2,54	2,70	2,47	2,34	2,65	2,56	2,11	2,44	2,26
36	2,74	1,83	2,49	3,17	2,78	2,49	2,30	2,62	2,70	2,66	2,39	2,13	2,95	2,24	1,91	2,36	2,90	1,82	1,68	2,05

37	2,45	2,52	2,45	3,01	2,65	2,92	2,63	2,39	2,58	2,72	2,57	2,49	2,95	2,61	1,89	2,12	3,29	2,11	2,37	2,26
38	2,53	1,88	2,06	2,40	3,05	2,74	2,59	2,68	2,62	2,36	2,43	2,66	2,53	2,66	1,95	1,98	2,37	2,23	2,07	2,09
39	2,42	2,25	1,65	3,12	2,86	2,48	2,75	3,15	2,72	2,48	2,84	2,69	2,43	2,49	2,19	1,53	3,07	1,83	1,98	1,87
40	2,02	2,19	1,79	2,71	2,65	2,74	2,38	2,74	2,88	2,48	2,42	2,53	2,45	2,35	2,08	0,82	3,33	2,89	2,13	2,65
41	2,35	1,99	2,06	2,76	2,99	2,53	2,75	2,95	2,69	2,22	2,64	2,51	2,61	3,09	1,80	1,90	2,90	2,19	1,99	2,26
42	2,03	2,24	1,88	2,76	2,86	2,27	1,57	2,38	2,21	2,70	2,71	2,63	2,82	2,19	2,17	2,82	3,12	2,19	2,28	1,60
43	2,04	2,27	1,69	2,25	3,15	2,54	2,36	3,43	2,79	2,20	2,63	2,39	2,11	2,19	2,14	2,76	2,80	2,25	1,92	2,41
44	2,75	1,90	2,48	2,94	2,60	3,06	1,05	3,21	2,10	2,01	2,45	2,59	2,95	2,25	2,11	2,58	3,24	2,50	1,98	1,90
45	2,38	1,43	1,99	2,93	2,70	2,70	2,21	2,98	2,83	2,41	2,56	2,41	3,07	2,44	2,12	2,76	3,14	2,50	1,68	2,11
46	2,51	1,93	2,72	2,73	2,91	2,62	2,20	3,02	2,47	2,75	2,71	2,70	2,46	2,50	2,03	2,84	2,24	2,29	2,28	2,31
47	2,81	3,02	2,59	3,12	3,20	2,72	2,50	2,93	2,80	2,62	2,15	2,76	3,02	2,46	2,35	3,03	2,95	2,48	2,12	2,54
48	2,44	2,32	2,17	2,69	2,87	2,41	2,06	3,46	2,20	2,83	2,79	2,52	2,51	2,59	2,20	2,38	2,30	2,55	2,08	2,10
49	2,86	2,97	3,03	2,67	3,30	3,00	1,81	2,61	2,38	2,86	2,38	2,57	3,05	2,68	2,26	2,85	2,94	2,35	2,22	2,04
50	3,14	2,48	2,72	3,16	1,78	3,19	2,36	2,97	2,41	2,58	2,19	2,91	2,33	2,62	2,25	3,14	2,46	2,48	2,12	1,89
51	2,27	2,96	2,37	2,65	2,36	3,02	2,62	3,42	1,46	2,81	2,22	2,95	3,51	2,92	2,19	3,21	2,62	2,47	2,18	2,38
52	3,01	2,69	2,71	3,13	2,66	2,85	1,98	3,52	1,01	2,95	2,22	2,83	2,77	2,79	2,28	2,65	2,99	2,72	2,04	2,19
53	2,44	2,56	2,22	2,48	2,97	2,76	2,27	3,20	2,01	2,95	2,30	2,76	2,61	2,55	2,41	3,18	2,65	2,13	2,35	2,12
54	2,42	2,83	2,78	3,37	2,39	3,05	2,33	3,39	2,30	2,88	2,61	3,01	2,60	3,09	2,11	2,41	2,83	2,47	2,10	2,45
55	2,73	2,64	2,32	3,12	2,68	3,32	2,54	3,16	2,75	3,09	2,55	3,40	2,17	2,24	2,25	0,86	3,05	2,58	2,57	2,38
56	2,64	3,06	2,93	2,23	2,99	2,66	2,09	2,91	2,92	2,69	2,31	2,96	2,85	2,62	2,03	2,15	2,51	3,13	2,19	2,18
57	3,03	2,77	3,16	2,77	2,92	3,09	2,31	3,30	2,74	3,49	2,22	3,35	2,85	3,32	1,89	3,27	2,78	3,03	1,80	2,24
58	2,71	2,95	2,84	2,94	2,83	2,72	2,45	2,84	2,88	3,35	2,19	2,97	3,48	3,02	2,42	2,93	2,67	2,71	2,38	2,33
59	2,91	2,75	3,17	2,51	2,70	3,00	2,20	3,89	2,90	3,34	2,36	3,11	2,56	2,80	2,16	3,09	3,01	2,64	1,93	1,94
60	2,26	3,21	3,64	2,86	2,41	2,88	1,71	2,90	2,55	3,06	2,04	3,23	2,53	2,82	1,98	3,27	2,47	2,62	2,32	2,43
61	2,96	2,90	2,71	3,01	2,87	3,15	2,28	3,47	3,15	3,94	2,00	3,34	2,68	3,06	2,08	3,50	2,77	2,56	2,54	2,05
62	2,77	3,07	3,11	2,52	2,83	2,84	2,34	3,21	2,80	2,85	2,35	2,86	2,94	2,82	2,05	2,67	2,84	2,76	2,23	2,39
63	2,61	3,34	3,36	2,82	2,46	3,09	2,10	3,03	3,10	2,32	2,13	3,19	3,05	3,04	2,28	3,13	2,91	2,64	2,10	2,27
64	2,50	2,87	3,10	2,77	2,25	2,63	1,91	4,05	2,54	2,45	2,29	2,75	2,83	2,74	2,37	2,85	3,01	2,89	2,43	2,27
65	2,26	2,69	3,66	2,89	2,94	1,95	2,29	3,41	3,01	3,25	2,00	3,46	2,86	3,10	2,25	3,45	3,01	2,37	2,36	2,27
66	2,48	3,31	3,14	3,06	1,95	2,45	2,45	3,32	2,67	3,29	2,52	3,38	1,56	3,44	2,21	3,02	3,18	2,77	2,40	2,52
67	2,79	3,02	3,37	3,05	2,96	3,09	2,50	3,37	2,89	3,22	2,15	3,34	3,10	2,74	2,16	2,94	2,98	2,50	1,96	2,31
68	2,42	3,14	3,04	3,12	2,38	2,78	2,19	3,45	3,21	2,94	3,86	3,47	1,50	3,15	2,43	2,90	2,80	2,74	3,19	2,32
69	3,66	2,97	4,09	2,45	2,89	2,88	2,48	3,15	3,05	3,34	1,36	0,45	2,20	2,44	1,19	2,37	0,82	1,59	1,33	1,20
70	2,42	2,17	2,55	2,07	1,29	0,74	1,44	2,80	1,95	2,53	1,87	3,87	2,20	3,20	2,07	2,98	3,00	2,91	2,42	2,35
71	3,14	2,97	3,09	2,22	2,64	3,50	3,13	3,36	3,14	3,00	2,64	3,48	2,76	3,09	3,03	3,61	3,77	3,09	2,76	2,57
72	2,96	3,77	4,10	2,75	3,28	3,36	3,17	3,94	3,75	3,39	2,73	3,08	0,78	3,22	2,19	3,86	3,01	4,51	3,93	2,66
73	3,62	3,13	3,91	2,47	3,57	3,06	2,93	2,96	3,75	3,33	3,48	2,22	0,99	2,95	2,45	3,32	2,79	3,17	2,60	2,60
74	2,30	4,13	3,61	3,59	2,64	3,37	3,24	1,79	3,58	4,25	2,16	3,51	3,31	3,01	2,10	3,08	3,00	3,31	2,10	2,36
75	3,24	3,55	4,26	2,93	3,26	2,59	3,09	3,05	3,51	2,68	2,64	2,87	2,97	3,06	2,18	3,86	2,77	3,34	2,74	2,45
76	2,25	3,49	2,94	3,17	3,35	3,51	2,81	3,49	3,32	2,29	2,76	3,06	2,50	2,86	2,19	3,29	2,83	3,22	2,22	2,10
77	2,95	3,73	4,07	2,52	3,02	3,53	2,77	3,69	3,20	3,15	2,84	2,80	3,56	3,57	2,36	3,06	2,75	3,15	2,59	2,20

78	2,32	3,43	4,26	2,90	3,23	3,69	3,33	3,65	3,26	2,59	2,72	2,92	3,30	2,89	2,42	3,19	2,20	3,14	2,51	2,37
79	2,67	3,43	3,38	2,38	2,82	2,90	3,39	3,67	2,86	2,61	2,57	3,32	2,58	2,95	2,21	3,83	3,78	3,18	2,67	2,31
80	2,46	3,76	3,88	3,38	2,83	3,49	3,53	3,76	2,83	3,41	2,92	2,72	3,65	2,73	2,45	3,09	3,40	3,23	2,67	2,38
81	2,94	3,08	3,90	3,19	2,69	3,20	3,61	2,84	2,98	2,94	2,36	3,58	2,89	0,86	2,16	3,06	2,65	3,08	2,32	2,56
82	2,61	3,02	4,03	2,30	3,06	3,07	3,10	3,85	3,67	3,52	2,57	2,62	3,08	1,50	1,95	3,74	3,41	3,35	2,62	2,22
83	1,93	2,24	2,00	2,37	2,28	2,81	2,43	2,83	2,83	2,11	1,99	1,57	1,49	2,44	2,00	2,44	1,99	2,75	1,85	2,41

Dia/animal	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
1	1,19	1,45	1,24	1,49	1,19	1,76	1,21	1,15	1,04	1,33	1,12	1,37	1,21	1,84	1,30	1,08	1,54	1,10	1,29	1,11
2	1,48	1,73	1,44	1,95	1,26	1,90	1,14	1,30	1,09	1,34	1,31	1,14	1,23	1,37	1,41	1,29	1,24	1,30	1,54	1,50
3	1,57	1,76	1,35	1,80	1,69	1,92	2,00	1,36	1,14	1,34	1,28	1,32	1,30	1,19	1,34	1,38	1,41	1,12	1,57	1,48
4	1,34	1,65	1,51	2,17	1,91	1,92	2,02	1,57	1,48	1,52	1,39	1,56	1,28	1,39	1,43	1,47	1,78	1,36	1,55	1,53
5	1,89	1,79	1,61	2,06	1,65	1,87	1,66	1,83	1,74	1,86	1,58	1,65	1,68	1,41	1,79	1,46	1,67	1,50	1,80	1,64
6	1,49	1,84	1,72	1,91	2,16	2,00	1,98	1,87	1,33	1,98	1,78	1,87	1,62	1,77	1,90	1,79	1,86	1,69	1,90	1,64
7	1,95	1,74	1,53	2,35	2,00	1,85	1,92	1,86	2,05	1,46	1,73	1,89	1,33	1,59	2,04	1,37	1,95	2,40	2,00	1,68
8	2,17	1,74	1,66	2,31	2,30	1,68	2,12	1,97	1,57	1,87	1,94	3,04	1,79	1,51	1,99	1,73	1,88	1,79	1,99	1,81
9	2,46	1,60	1,63	2,41	2,40	1,80	2,13	1,96	1,60	1,81	1,53	1,79	1,52	1,73	1,88	1,44	2,17	1,67	1,86	1,95
10	2,02	2,09	1,58	2,77	2,15	1,48	2,25	2,48	1,87	1,89	1,90	1,55	1,76	1,60	2,03	1,94	1,53	1,73	1,54	1,70
11	2,19	1,83	1,99	2,52	2,88	1,80	2,32	1,57	1,84	1,97	1,94	1,90	1,77	1,83	1,86	1,66	1,90	1,76	1,71	2,00
12	2,26	2,11	1,62	2,67	2,20	1,53	2,27	1,69	2,32	1,88	2,04	2,07	3,64	1,89	2,30	1,98	1,91	1,83	1,79	2,14
13	2,24	2,35	1,76	2,81	2,88	1,99	2,18	2,09	1,71	1,91	1,95	2,19	2,14	1,82	2,03	1,98	2,00	1,86	1,72	2,16
14	2,28	2,05	1,56	2,50	2,43	2,13	2,60	2,30	2,09	1,95	1,97	2,23	2,29	2,07	2,09	1,99	2,23	1,87	2,32	2,00
15	2,41	2,21	1,97	2,53	2,93	1,91	2,63	1,98	2,12	1,96	1,84	2,08	1,98	1,85	1,54	1,75	2,13	1,87	2,09	2,26
16	2,38	1,82	1,49	2,60	2,57	1,77	2,34	2,11	1,85	1,80	2,12	2,12	2,19	1,99	1,75	1,84	2,27	1,98	2,19	1,98
17	2,40	2,07	1,80	3,08	2,46	2,28	2,93	2,39	1,71	1,86	2,12	2,22	1,79	2,17	1,79	2,14	1,98	1,89	2,33	2,34
18	2,54	2,11	1,73	2,45	2,76	1,78	2,48	1,87	2,50	1,83	2,25	1,90	2,17	2,29	1,99	1,82	2,12	1,96	2,38	1,83
19	2,59	2,11	2,21	2,65	2,58	1,95	2,29	2,08	2,21	2,09	2,28	2,29	1,98	2,06	1,93	1,71	2,18	2,48	2,40	2,00
20	2,35	2,52	1,95	2,97	2,47	1,99	2,54	1,74	2,27	1,76	1,98	2,07	2,01	2,28	2,03	1,60	2,59	2,01	2,74	2,24
21	3,09	2,14	1,72	2,77	2,04	1,64	2,41	2,03	2,46	1,81	2,17	2,04	2,17	1,76	2,05	1,41	2,00	1,97	1,98	2,34
22	2,51	2,17	2,26	2,86	2,47	1,37	2,60	2,17	1,98	1,77	1,87	2,20	1,68	2,41	2,61	2,04	1,95	2,38	2,62	2,13
23	2,83	2,05	2,14	3,07	2,48	2,08	2,40	2,41	2,40	2,20	2,10	1,90	2,10	2,36	2,43	1,83	2,36	2,63	2,79	2,46
24	2,54	2,42	2,46	2,80	2,73	1,68	2,56	2,55	1,97	2,11	2,24	1,81	2,46	2,52	2,55	1,83	2,20	2,07	2,72	2,29
25	2,86	2,00	2,07	2,90	2,37	2,02	2,99	2,73	2,33	1,53	2,31	2,23	2,33	2,62	2,35	2,17	2,52	2,24	2,77	2,31
26	3,08	2,45	2,32	2,86	2,12	1,87	2,71	2,66	2,58	1,62	2,76	2,12	2,22	2,57	2,56	2,19	2,17	2,34	3,27	2,49
27	2,35	2,53	2,43	2,99	2,44	2,07	2,62	2,67	2,65	0,71	2,12	2,20	2,51	2,40	2,58	2,05	2,24	2,50	2,54	2,52
28	2,63	2,13	2,33	2,95	2,64	1,89	2,53	2,42	2,50	0,81	2,87	2,49	2,38	2,76	1,90	2,54	2,75	2,33	3,19	2,62
29	2,36	2,39	2,29	2,62	2,23	1,95	2,67	3,09	2,56	1,37	2,13	2,51	2,23	2,54	2,21	2,70	2,43	2,49	2,93	2,48
30	2,57	2,23	2,11	2,95	2,89	1,97	2,86	2,76	2,47	1,77	2,62	2,94	2,84	2,41	2,54	2,38	2,83	2,95	3,58	2,03
31	2,63	1,92	2,33	3,16	2,56	2,07	2,89	2,62	2,48	1,26	2,34	2,83	2,36	2,45	2,47	2,40	2,51	2,41	2,87	2,48
32	2,42	2,59	2,52	2,83	2,40	1,81	2,70	2,70	2,69	1,79	2,83	2,43	2,37	2,25	2,88	2,60	2,59	2,74	2,73	2,28

33	2,92	2,40	2,35	2,96	2,30	1,85	2,67	2,83	2,56	2,27	2,36	2,76	3,17	2,86	3,33	2,75	2,40	2,67	2,75	2,42
34	2,96	2,65	2,67	2,88	2,03	1,64	3,00	2,09	2,08	1,93	2,91	2,85	2,46	2,32	2,84	2,51	2,43	2,73	2,65	2,20
35	2,96	2,01	2,46	2,78	3,00	2,16	2,79	2,75	2,86	1,81	2,25	2,45	2,51	2,53	2,97	2,17	2,85	2,59	2,81	2,99
36	3,12	2,59	2,62	2,68	2,36	2,04	2,59	3,03	2,67	1,84	2,60	2,65	2,76	2,12	3,18	2,63	2,68	2,89	2,72	2,17
37	3,05	2,18	2,67	2,89	3,20	1,97	3,15	2,58	2,17	1,89	2,49	2,59	2,70	2,42	2,86	2,30	2,87	2,92	2,41	2,46
38	2,94	2,50	2,53	3,03	2,34	1,83	2,90	3,16	2,54	1,63	2,76	2,46	2,72	1,99	2,29	2,55	2,76	2,63	2,69	2,75
39	3,16	2,29	2,14	2,92	2,81	2,11	2,51	2,54	2,66	1,89	1,95	2,61	2,44	2,47	2,17	2,59	2,86	2,79	3,20	2,71
40	1,39	2,94	1,15	3,01	2,45	2,05	2,77	3,00	2,49	1,70	2,42	2,50	2,32	1,99	2,46	2,39	3,09	2,65	2,77	2,37
41	2,20	2,13	1,92	2,90	2,93	2,12	2,78	2,75	2,90	1,72	2,40	2,86	2,58	2,20	2,53	2,80	2,75	2,35	2,79	2,30
42	2,40	2,32	2,72	2,94	2,57	2,00	2,75	2,92	2,54	2,11	2,48	2,92	2,52	1,97	2,98	2,55	2,75	2,82	2,67	2,23
43	2,68	2,71	2,18	2,93	2,86	2,15	3,00	2,56	2,97	2,01	2,60	2,53	2,37	1,90	3,14	2,60	2,73	2,37	2,76	2,45
44	2,98	2,32	2,80	2,41	2,79	2,21	2,73	2,62	2,90	2,16	2,84	3,19	2,31	1,86	2,09	2,69	2,55	2,54	3,03	2,48
45	1,82	2,31	2,14	2,78	2,29	1,86	3,22	2,37	2,66	2,24	2,61	2,86	2,10	1,50	2,52	2,54	2,94	2,65	3,39	2,05
46	3,18	2,04	2,81	2,88	2,99	2,31	2,89	2,52	2,48	1,79	2,96	2,70	2,49	1,64	2,54	2,43	3,30	3,27	3,23	2,15
47	2,02	2,66	2,61	3,08	2,37	1,90	2,78	2,82	2,76	1,97	2,33	3,39	2,67	2,44	2,27	2,48	2,69	2,71	3,05	2,34
48	3,18	2,37	1,68	3,00	2,43	2,27	2,91	3,04	3,12	1,72	2,82	3,11	2,38	2,70	2,57	2,34	2,49	2,71	2,62	2,34
49	2,87	2,67	2,45	3,02	3,01	1,85	2,78	2,99	3,19	2,25	2,28	2,76	2,43	2,33	2,32	2,69	2,61	3,01	2,61	2,58
50	2,41	2,52	2,42	3,10	3,12	2,70	3,19	2,97	2,93	2,40	3,21	3,08	2,72	2,62	2,27	2,70	2,66	2,51	2,55	2,49
51	2,91	2,37	1,87	2,71	2,42	2,37	2,57	2,69	2,39	2,28	2,45	3,21	2,74	2,74	3,31	2,72	2,24	3,13	3,61	2,38
52	2,18	2,76	2,26	2,26	1,92	2,21	2,95	3,02	3,72	2,42	2,45	2,90	2,64	2,58	2,86	2,58	2,45	2,77	2,97	2,43
53	2,81	2,65	2,12	2,39	3,31	2,74	2,78	2,87	1,40	2,71	2,74	3,10	2,45	2,31	2,24	2,47	2,58	2,27	2,77	1,99
54	2,83	2,57	2,63	2,78	3,42	2,56	3,17	2,77	2,72	2,36	3,00	2,98	2,32	2,56	2,60	2,86	2,55	2,43	2,73	2,32
55	2,41	2,30	2,15	2,72	2,41	2,55	2,64	2,58	3,12	2,63	3,01	3,31	2,53	2,39	2,84	2,28	2,26	2,77	2,57	2,58
56	2,99	2,25	2,07	2,41	2,77	2,51	2,79	2,92	2,96	3,11	2,60	3,29	2,46	2,63	3,01	2,48	2,99	2,39	2,63	1,77
57	2,89	3,14	2,30	3,13	3,11	2,30	3,09	2,35	2,48	2,82	3,15	3,33	2,70	2,68	2,79	3,09	2,42	2,77	1,74	2,84
58	2,36	2,33	2,17	2,45	3,02	2,39	2,83	2,53	2,97	2,37	3,30	3,27	2,46	2,67	3,49	2,54	2,48	2,75	2,39	2,52
59	2,56	2,42	2,33	2,93	3,35	2,36	2,64	2,68	3,31	2,88	2,46	3,33	2,57	2,41	2,69	2,90	2,15	2,84	2,83	2,79
60	3,39	2,58	2,14	2,92	3,09	2,61	2,75	2,58	3,49	2,93	3,32	2,83	2,51	2,33	3,33	2,40	2,46	2,42	3,34	2,19
61	3,00	2,75	2,38	2,59	3,13	2,15	2,85	2,80	3,27	2,61	3,09	3,22	2,24	2,68	2,74	2,55	2,39	2,71	2,79	1,84
62	2,50	3,12	2,32	2,48	2,08	2,22	3,44	2,65	2,96	2,85	2,57	2,87	2,38	2,75	2,90	2,72	2,62	3,05	3,31	3,07
63	3,25	2,39	1,63	2,58	3,08	2,84	2,69	2,66	3,24	3,02	2,65	4,13	2,42	2,46	3,29	2,33	2,81	2,35	2,77	2,71
64	2,86	2,60	2,73	2,57	3,49	2,63	3,24	2,57	3,87	2,84	3,21	3,36	2,46	2,83	3,74	2,54	2,67	2,37	2,60	2,17
65	3,45	2,90	2,62	2,49	2,81	2,54	3,03	2,81	3,43	3,66	2,28	3,15	2,47	2,63	3,22	2,50	2,51	2,43	3,09	2,02
66	2,55	2,63	2,19	2,67	3,07	2,20	4,10	2,96	3,34	2,90	3,03	4,19	2,47	2,64	3,61	2,31	2,74	3,19	2,39	3,32
67	3,18	3,14	2,36	2,58	2,58	2,58	3,29	3,51	2,43	3,04	1,49	2,19	1,66	1,37	0,88	1,56	1,96	2,05	1,35	1,91
68	2,12	1,63	1,62	1,44	2,35	1,50	1,96	1,57	2,57	1,94	3,07	3,68	2,58	2,84	4,29	3,29	2,59	2,66	2,44	2,43
69	2,78	2,59	2,99	2,29	3,18	2,82	3,05	3,05	3,11	3,34	3,62	3,38	2,90	3,33	3,47	2,87	2,62	2,92	3,62	3,01
70	3,16	3,32	2,56	3,13	3,47	2,99	3,54	2,82	3,74	3,28	3,36	3,63	2,57	2,49	3,11	2,84	2,48	3,30	3,36	3,08
71	2,65	2,82	3,10	2,95	2,70	3,31	4,12	2,89	2,82	3,49	3,34	3,48	2,27	3,10	3,70	2,92	2,28	2,30	3,83	2,84
72	4,08	2,58	1,91	2,27	3,19	2,42	3,08	2,89	3,17	2,75	3,65	2,93	2,49	2,36	3,55	2,89	2,51	3,12	3,19	2,78
73	2,90	3,21	3,02	2,80	2,55	2,66	2,93	3,03	3,25	2,50	2,94	3,27	2,91	3,05	2,69	3,20	2,58	3,30	3,05	2,82

74	2,33	3,42	2,31	2,22	2,90	2,62	2,41	2,58	3,25	2,90	2,94	3,10	2,64	3,06	2,90	2,70	2,30	2,58	3,49	3,03
75	2,61	2,71	2,39	2,39	2,78	2,37	3,55	2,53	3,65	3,52	3,24	3,68	2,78	2,73	2,56	3,05	2,35	3,04	3,24	3,26
76	3,65	3,02	2,52	2,70	3,06	2,46	3,08	2,97	2,79	3,21	3,33	3,13	2,58	2,71	2,39	3,15	3,01	3,10	3,32	2,64
77	3,38	3,34	1,97	2,75	2,61	2,59	4,27	3,10	3,35	3,23	3,12	3,81	2,93	2,58	4,02	2,95	2,47	2,17	3,24	2,71
78	3,11	3,65	2,65	2,70	3,53	2,94	3,59	2,93	3,63	2,95	3,53	3,54	2,27	2,81	3,30	3,25	2,93	2,82	3,96	2,72
79	3,27	2,85	2,73	2,68	2,14	2,61	3,77	2,89	3,56	3,13	2,37	2,89	2,55	2,62	3,54	2,75	2,79	2,87	3,33	2,94
80	2,81	3,47	3,07	2,44	3,32	2,68	4,16	3,15	3,29	3,39	3,51	3,29	2,52	2,60	3,24	2,95	2,77	3,03	3,61	3,01
81	3,17	3,29	2,28	2,52	2,88	2,66	4,31	2,80	4,06	1,91	3,37	2,99	2,36	2,76	3,33	2,32	2,82	2,43	3,58	2,25
82	3,77	3,53	2,62	2,25	2,07	2,56	3,38	2,94	2,95	2,78	3,27	3,66	2,87	3,13	3,78	3,27	2,80	3,05	3,97	3,50
83	3,77	2,34	1,41	2,16	1,09	2,04	2,72	2,49	3,55	1,74	1,95	2,17	2,02	1,86	2,19	2,51	1,44	1,61	2,91	1,93

Peso vivo semanal

Dia/animal	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0	25,50	25,50	26,00	25,50	25,50	25,00	23,00	23,50	25,00	24,50	23,00	28,50	25,00	25,00	24,00	22,50	23,00	23,00	23,50	23,00
7	32,50	33,50	34,50	33,50	34,00	32,50	32,00	30,50	32,50	28,50	28,50	31,00	33,00	30,00	28,50	28,00	29,50	28,50	29,50	28,50
14	39,00	41,00	43,50	42,00	40,50	40,00	37,50	39,50	40,00	35,50	35,00	39,00	41,50	37,00	35,00	36,00	37,00	35,50	36,50	34,50
21	46,00	46,50	48,50	49,25	47,50	47,00	43,75	46,25	47,00	43,00	41,75	46,25	49,00	44,25	41,50	43,75	45,00	41,50	43,50	40,75
28	53,00	52,00	53,50	56,50	54,50	54,00	50,00	53,00	54,00	50,50	48,50	53,50	56,50	51,50	48,00	51,50	53,00	47,50	50,50	47,00
35	59,75	58,50	60,25	65,25	62,50	61,00	56,75	61,25	61,75	59,25	55,25	60,00	63,25	58,50	54,50	58,50	60,00	53,25	56,25	53,00
42	66,50	65,00	67,00	74,00	70,50	68,00	63,50	69,50	69,50	68,00	62,00	66,50	70,00	65,50	61,00	65,50	67,00	59,00	62,00	59,00
49	73,75	70,75	74,00	81,25	78,25	75,25	69,00	77,25	75,00	75,75	69,75	75,50	77,75	72,75	68,00	73,25	74,25	67,00	68,50	65,00
56	81,00	76,50	81,00	88,50	86,00	82,50	74,50	85,00	80,50	83,50	77,50	84,50	85,50	80,00	75,00	81,00	81,50	75,00	75,00	71,00
63	87,25	83,25	90,00	95,25	91,75	87,50	80,00	91,75	88,00	91,25	81,25	91,25	92,25	86,75	79,50	87,75	87,75	79,75	80,50	76,00
70	93,50	90,00	99,00	102,00	97,50	92,50	85,50	98,50	95,50	99,00	85,00	98,00	99,00	93,50	84,00	94,50	94,00	84,50	86,00	81,00
77	99,00	95,50	105,50	107,00	104,50	100,75	90,75	104,75	101,50	105,25	91,50	104,75	105,25	98,75	89,75	101,25	100,00	91,75	91,75	86,00
84	104,50	101,00	112,00	112,00	111,50	109,00	96,00	111,00	107,50	111,50	98,00	111,50	111,50	104,00	95,50	108,00	106,00	99,00	97,50	91,00

Dia/animal	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
0	25,50	23,50	24,00	24,50	23,00	23,00	23,50	23,00	24,00	24,00	24,00	23,50	23,50	24,00	23,50	23,50	23,50	22,00	22,50	23,50
7	30,00	29,50	29,50	30,50	31,50	31,50	28,50	29,00	29,00	29,00	27,50	26,50	27,50	27,00	27,50	28,00	27,50	26,50	26,50	27,50
14	37,50	36,50	36,00	37,50	38,00	37,00	35,50	35,00	35,00	35,50	34,50	33,50	34,50	33,50	34,50	35,00	35,00	33,50	33,00	34,00
21	46,75	44,00	44,25	46,75	46,50	44,75	44,25	43,00	43,00	41,00	43,00	42,00	42,75	42,75	43,25	39,50	43,75	41,25	41,50	43,00
28	56,00	51,50	52,50	56,00	55,00	52,50	53,00	51,00	51,00	46,50	51,50	50,50	51,00	52,00	52,00	44,00	52,50	49,00	50,00	52,00
35	63,00	57,25	59,00	62,25	61,00	57,50	59,50	57,25	56,50	51,25	56,25	55,50	55,75	56,25	56,50	52,25	57,50	56,25	54,75	55,50
42	70,00	63,00	65,50	68,50	67,00	62,50	66,00	63,50	62,00	56,00	61,00	60,50	60,50	60,50	61,00	60,50	62,50	63,50	59,50	59,00
49	77,25	71,00	72,50	76,00	74,25	71,25	74,00	71,75	70,25	64,50	69,50	71,25	69,50	69,00	69,50	69,25	71,75	72,75	68,00	67,50
56	84,50	79,00	79,50	83,50	81,50	80,00	82,00	80,00	78,50	73,00	78,00	82,00	78,50	77,50	78,00	78,00	81,00	82,00	76,50	76,00
63	90,50	84,25	84,25	87,50	86,75	85,00	88,00	85,50	85,00	79,25	84,75	89,25	84,25	83,75	85,50	82,75	86,75	88,75	81,75	81,25
70	96,50	89,50	89,00	91,50	92,00	90,00	94,00	91,00	91,50	85,50	91,50	96,50	90,00	90,00	93,00	87,50	92,50	95,50	87,00	86,50

77	104,00	96,25	94,75	97,00	98,25	96,50	100,75	98,00	97,50	93,00	98,00	104,00	96,00	96,00	99,25	93,75	98,25	101,75	95,25	93,00
84	111,50	103,00	100,50	102,50	104,50	103,00	107,50	105,00	103,50	100,50	104,50	111,50	102,00	102,00	105,50	100,00	104,00	108,00	103,50	99,50

APÊNDICE 3 – Programa utilizado no SAS para determinar o melhor modelo matemático para estimar exigências pelo método empírico para populações de suínos

```

data a1;
input Lys pig aDG ADPG FCR FI;
cards;
0.36 003 0.657 0.080 3.74 2.46
0.36 004 0.590 0.073 3.84 2.27
... ..
proc print;
run;

* 68 pigs, 11 lysine values *;
proc freq data=a1;
table pig lys;
run;

goptions htitle=0.8 ftext=swiss htext=1;
proc gplot data=a1;
plot ADG*lys=pig / nolegend;
run;

*-----*
* overall adjustment with Polynomial (quadratic) *;
data a2; set a1;
asq= Lys*Lys;
proc reg data= a2;
model fi= lys asq/cli ssl seqb;
output out= quadratic LCL=lower ucl=upper p=prediQ;
run;

*-----*
* overall adjustment with GLM*;
proc glm; class lys; model ADG=lys/clm;lsmeans lys/stderr pdiff;

run;

*-----*
* overall adjustment with NLIN (exponential model) *;
proc nlin data=a1 outest=outest_nlin;
parameters a=0.7 b=1.1 c=0.2;
model FCR= a + b*(1-exp(-c*(lys-0.6)));
ods output anova=pred_nlin;
run;

data predict_nlin;
set outest_nlin;
where _type_="FINAL";
do lys=0.4 to 1.4 by 0.01;
predict_ADG_nlin=a + b*(1-exp(-c*(lys-0.6)));
keep lys predict_ADG_nlin;
output;
end;
proc print;
run;
data values_nlin;
set a1;

```

```

    keep pig lys ADG;
proc sort data=predit_nlin; by lys;
proc sort data=values_nlin; by lys;
data graph_nlin;
    merge values_nlin predict_nlin;
    by lys;
proc print noobs;
run;

goption htitle=0.8;
symbol1 v=dot h=1 c=grey w=1 i=rq;
symbol2 v=none h=0.2 c=orange w=2 i=join;
axis1 label=(angle=90);
proc gplot data=graph_nlin;
    plot (ADG predict_ADG_nlin)*lys / vaxis=axis1 overlay nolegend;
run;
quit;

*-----*;
*-----*;
*-----*;
* Broken-line regression (lin+lin) *;
proc sort data=a1;
    by pig;
PROC NLIN DATA=a1 outest=outest;
    parms b0=0.2 b1=0.7 b2=-0.7 knot=1.1;
    bounds knot>0;
    lys_pl=max(lys-knot, 0);
    model ADG=b0+b1*lys+b2*lys_pl;
    ods output anova=pred;
    * by pig;
run;

data equation;
    set outest;
    where _type_="FINAL";
    b0_1=b0;
    b0_2=b0-b2*knot;
    pente1=b1;
    pente2=b1+b2;
    call symput("point_inflexion",compress(input(knot,8.2)));
    call symput("b0_1",compress(input(b0,8.4)));
    call symput("b0_2",compress(input(b0_2,8.4)));
    call symput("pente1",compress(input(pente1,8.4)));
    call symput("pente2",compress(input(pente2,8.4)));
proc print noobs;
run;
data R2_pred;
    set pred;
    R2=(ss-lag(ss))/ss;
    R2_adj=1-((lag(ss)/(DF-lag2(DF)))/(SS/DF));
    format R2 R2_adj 5.2;
    keep R2 R2_adj;
    if source="Corrected Total" then do;
        call symput("R2",compress(input(R2,4.2)));
        call symput("adj_R2",compress(input(R2_adj,4.2))); end;
proc print noobs data=R2_pred;
run;
data predict;
    set equation;

```

```

do lys=0.5 to 1.5 by 0.01;
  lys_pl=max(lys-knot, 0);
  predict_ADG=b0+b1*lys+b2*lys_pl;
  keep lys predict_ADG;
  output;
end;
data values;
  set a1;
  keep pig lys ADG;
proc sort data=predict; by lys;
proc sort data=values; by lys;
data graph_final;
  merge values predict;
  by lys;
proc print noobs;
run;

goption htitle=0.8;
symbol1 v=dot h=1 c=grey w=1 i=rq;
symbol2 v=none h=0.2 c=black w=2 i=join;
axis1 label=(angle=90);
proc gplot data=graph_final;
  plot (ADG predict_ADG)*lys / vaxis=axis1 overlay href=&point_inflexion
chref=grey lhref=2 nolegend;
  note m=(5,3) cm "knot=&point_inflexion";
  note m=(8,3) cm "R2=&R2 R2_adj=&adj_R2";
  note m=(5,2.5) cm "si lys<&point_inflexion ==> &vardep =&b0_1 + &pente1
*(lys)";
  note m=(5,2) cm "si lys>&point_inflexion ==> &vardep =&b0_2 + &pente2
*(lys)";
run;

*-----*
*-----*
*-----*

* Quadratic+plateau model *;
PROC NLIN DATA=a1 outest=outest3;
  parms L=1 U=-1 K=1;
  bounds K>0;
  if (lys<K) then model ADG=L+U*(K-lys)*(K-lys);
  else model ADG=L;
  ods output anova=pred3;
run;
data R2_pred3;
  set pred3;
  R2_3=(ss-lag(ss))/ss;
  R2_adj_3=1-((lag(ss)/(DF-lag2(DF)))/(SS/DF));
  format R2_3 R2_adj_3 5.2;
  keep R2_3 R2_adj_3;
  if source="Corrected Total" then do;
  call symput("R2_3",compress(input(R2_3,4.2)));
  call symput("adj_R2_3",compress(input(R2_adj_3,4.2))); end;
proc print noobs data=R2_pred3;
run;
data predict3;
  set outest3;
  where _type_="FINAL";
  call symput("K3",compress(input(K,4.2)));
  call symput("L3",compress(input(L,4.2)));
  call symput("U3",compress(input(U,4.2)));

```

```

call symput("V3",compress(input(V,4.2)));
do lys=0.3 to 1 by 0.001;
if (lys<K) then predict3=L+U*(K-lys)*(K-lys);
else predict3=L;
keep lys predict3;
output;
end;
proc print;
run;

data values;
set al;
keep lys ADG;
proc print;run;
proc sort data=predit1; by lys;
proc sort data=predit2; by lys;
proc sort data=predit3; by lys;
proc sort data=predit4; by lys;
proc sort data=values; by lys;
data graph_final;
merge values predict3;
by lys;
proc print noobs;
run;

goption htitle=0.8 htext=0.8;
symbol1 v=dot h=1 w=1 c=grey i=rq;
symbol2 v=none h=0.2 c=blue w=2 i=join;
axis1 label=(angle=90);
axis2 order=(0.3 to 1 by 0.1) minor=none;

proc gplot data=graph_final;
plot (ADG predict3)*lys / vaxis=axis1 haxis=axis2 overlay
href=&K3 chref=grey lhref=2;
note m=(5,4) cm "K3=&K3";
note m=(5,3) cm "R2_3=&R2_3";
note m=(5,2) cm "adj_R2_3=&adj_R2_3";
run;
quit;

```


APÊNDICE 4 – Produção bibliográfica, disciplinas cursadas durante o curso de doutorado e demais atividades relevantes (aprovação em concurso, tutoria EaD, etc)

Trabalhos completos em anais de eventos

POMAR, C.; HAUSCHILD, L.; GUOHUA, Z.; POMAR, J.; LOVATTO, P.A. L'alimentation de précision individualisée chez le porc en croissance. In: CONFERENCE DE NUTRITION DE L'EST DU CANADA DE L'ANAC, 2009, Québec, QC. **45^e CONFÉRENCE DE NUTRITION**, Québec, QC: ANAC, 2009.

LOVATTO, P. A.; POMAR, C.; HAUSCHILD, L.; POMAR, J. Nutrição de precisão de suínos em crescimento. In: CONGRESSO SOBRE MANEJO E NUTRIÇÃO DE AVES E SUÍNOS, 2009, Campinas. **I CONGRESSO SOBRE MANEJO E NUTRIÇÃO DE AVES E SUÍNOS**. Campinas, SP: CBNA, 2009.

Resumos expandidos em anais de eventos - Internacional

HAUSCHILD, L.; LOVATTO, P.A.; POMAR, C. Comparaison des méthodes empirique et factorielle d'estimation des besoins nutritionnels appliquées au porc en croissance. In: JOURNEES DE LA RECHERCHE PORCINE, 42, 2009, Paris. **Anais...** Paris: Ifip, 2009.

Resumos expandidos em anais de eventos - Nacional

ANDRETA, I.; LOVATTO, P.A.; CARVALHO, A.D.; LEHNEN, C.R.; HAUSCHILD, L.; FRAGA, B. N.; ROSSI, C. Metanálise da relação do ácido linoléico conjugado com a qualidade de carcaça e carne em suínos. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 46, 2009, Maringá. **Anais...** Viçosa: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2009.

LEHNEN, C. R.; LOVATTO, P. A.; ANDRETA, I.; HAUSCHILD, L.; FRAGA, B. N.; LOVATO, G.D. Alimentação de suínos em crescimento e terminação com dietas

contendo enzimas: metanálise sobre o balanço do nitrogênio e digestibilidade do fósforo. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 46, Maringá. **Anais...** Viçosa: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2009.

ANDRETA, I.; LOVATTO, P.A.; LEHNEN, C.R.; HAUSCHILD, L.; CARVALHO, A.D.; FRAGA, B. N.; POROLNIK, G.V. Relação do uso de enzimas em dietas para suínos com o desempenho e a ingestão de nutrientes: uma metanálise. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 46, 2009, Maringá. **Anais...** Viçosa: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2009.

LEHNEN, C.R.; LOVATTO, P.A.; LOVATO, G.D.; ANDRETA, I.; HAUSCHILD, L.; FRAGA, B.N.; ZALTRON, C. M. Níveis de lisina total para suínos em crescimento e terminação: metanálise dos componentes nutricionais e corporais. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 46, 2009, Maringá. **Anais...** Viçosa: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2009.

LOVATO, G.D.; LOVATTO, P.A.; ANDRETA, I.; HAUSCHILD, L.; CARVALHO, A. D.; LEHNEN, C. R.; TAFFAREL, T. R. Ractopamina na alimentação de suínos: metanálise da relação com qualidade de carcaça e carne. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 2009, 46, Maringá. Viçosa: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2009.

HAUSCHILD, L.; LOVATTO, P. A.; POMAR, C. Modelagem da exigência nutricional de indivíduos suínos em crescimento. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 46, 2009, Maringá. **Anais...** Viçosa: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2009.

HAUSCHILD, L.; LOVATTO, P. A.; POMAR, C. Comparação sistemática do método empírico e fatorial utilizados para estimar exigências. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 2009, Maringá. **Anais...** Viçosa: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2009.

ANDRETA, I.; LOVATTO, P.A.; LEHNEN, C.R.; HAUSCHILD, L.; CARVALHO, A.D.; FRAGA, B.N. Relação do uso de enzimas em dietas para suínos com o desempenho e a ingestão de nutrientes: uma meta-análise. In: EXPO UT,

2009, Dois Vizinhos. **Anais...** Dois Vizinhos: Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Dois Vizinhos, 2009.

ANDRETA, I. ; LOVATTO, P. A. ; HAUSCHILD, L. ; SILVA, M. K. ; LEHNEN, C. R. . Relação do ácido linoléico conjugado com a qualidade de carcaça em suínos: uma meta-análise. In: EXPO UT, 2009, Dois Vizinhos. **Anais...** Dois Vizinhos: Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Dois Vizinhos, 2009.

Artigos completos publicados em periódicos

POMAR, C. ; HAUSCHILD, L. ; GUOHUA, Z. ; POMAR, J. ; LOVATTO, P. A. Applying precision feeding techniques in growing-finishing pig operations. **Revista Brasileira de Zootecnia / Brazilian Journal of Animal Science**, v. 38, p. 226-237, 2009.

ANDRETTA, I.; LOVATTO, P. A.; LEHNEN, C.R.; HAUSCHILD, L.; ROSSI, C.A.R. Meta-análise do uso de ácido linoléico conjugado na alimentação de suínos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, p. 754-760, 2009.

HAUSCHILD, L.; LOVATTO, P. A.; CARVALHO, A.D.; ANDRETA, I.; LEHNEN, C.R. Relação do zinco e cobre plasmáticos com componentes nutricionais e desempenho de leitões: uma meta-análise. **Revista Brasileira de Zootecnia / Brazilian Journal of Animal Science**, v. 37, p. 427-432, 2008.

HAUSCHILD, L.; LOVATTO, P.A.; LEHNEN, C.R.; CARVALHO, A.D.; ALEBRANTE, L. Utilização do tritcale e de enzimas em dietas para suínos: digestibilidade e metabolismo. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 60, p. 470-476, 2008.

ANDRETA, I.; LOVATTO, P.A.; HAUSCHILD, L.; DILKIN, P.; GARCIA, G.G.; LANFERDINI, E.; CAVAZINI, N.; MALLMANN, C.A. Alimentação de leitoas pré-púberes com dietas contendo zearalenona. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 60, p. 1227-1233, 2008.

LOVATTO, P.A.; LEHNEN, C.R.; ANDRETA, I.; HAUSCHILD, L. Meta-análise em pesquisas científicas - enfoque em metodologias. **Revista Brasileira de Zootecnia / Brazilian Journal of Animal Science**, v. 36, p. 285-294, 2007.

Artigos aceitos para publicação

HAUSCHILD, L.; POMAR, C.; LOVATTO, P.A. Systematic comparison of the empirical and factorial methods used to estimate the nutrient. **Animal** (Cambridge Print).

HAUSCHILD, L.; LOVATTO, P.A.; POMAR, J.; POMAR, C. Estimation journalière des besoins nutritionnels individuels des porcs en croissance en fonction de leur parcours de croissance et de consommation. Journées Recherche Porcine, v.42, 2010.

ANDRETTA, I.; LOVATTO, P.A.; LANFERDINI, E.; LEHNEN, C.R.; ROSSI, C.; CARVALHO, A.D.; HAUSCHILD, L.; FRAGA, B.N.; GARCIA, G.G.; MALLMANN, C.A. Alimentação de leitoas pré-púberes com dietas contendo aflatoxinas ou zearalenona. **Archivos de Zootecnia**, 2009.

Artigos completos tramitando

LOVATTO, P.A.; LOVATO, G.; LEHNEN, C.R.; ANDRETTA, I.; HAUSCHILD, L. Modelagem da ingestão, retenção e excreção de nitrogênio e fósforo pela suinocultura gaúcha: interface vegetal. **Ciência Rural**.

HAUSCHILD, L.; LOVATTO, P.A.; LEHNEN, C.R.; PRATA, M.F.; ANDRETTA, I.; GARCIA, G.G. Alimentação de leitões com dietas contendo soro de leite fermentado mais zinco e cobre complexados a aminoácidos. **Ciência Rural**.

Capítulo de livro

POMAR, C.; HAUSCHILD, L.; GUOHUA, Z.; POMAR, J.; LOVATTO, P.A. Precision feeding can significantly reduce feeding cost and nutrient excretion in growing animals. In: J.P. McNamara; J. France; D. Sauvant. (Org.). **Modelling Nutrient Digestion and Utilisation in Farm Animals**. 7 ed. London: CAB International, 2009.

Palestras ministradas

HAUSCHILD, L. Détermination des besoins nutritionnels journaliers des porcs à l engrais. In: PIG MODELLING WORKSHOP, 2009, Paris: AgroParisTech.

HAUSCHILD, L. Nutrição e alimentação de precisão de suínos em crescimento: um sonho ou uma realidade? In: III SEMANA ACADÊMICA DO CURSO DE ZOOTECNIA, 2009, Palmeira das Missões: CCESNORS/UFSM.

HAUSCHILD, L. Modelagem aplicada à nutrição de suínos: exemplo com o INRAPORC. In: I SEMANA ACADÊMICA DE ZOOTECNIA E II CICLO DE PALESTRAS EM PRODUÇÃO DE RUMINANTES, 2008, Curitiba: Centro Acadêmico de Zootecnia - Universidade Federal do Paraná.

Participação em eventos

HAUSCHILD, L. **43º Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia**. Maringá - BR, 2009.

HAUSCHILD, L. **42e JOURNEES DE LA RECHERCHE PORCINE**. Paris-FR, 2009.

HAUSCHILD, L. **Forum sur la Cohabitation en Production Porcine**. Drummonville - CA, 2008.

Demais atividades

Revisor de Periódico - Revista Ciência Rural – Universidade Federal de Santa Maria. Período: 01 maio de 2008 até....

Tutor da disciplina de Produção Agroecológica Animal I do Curso de Agricultura Familiar – Ensino a Distância (EaD) – UFSM. Período: 01 setembro de 2009 a 30 de janeiro de 2010.

Aprovação em terceiro lugar (nota: 7,03) no concurso para professor adjunto (11 de fevereiro de 2010), edital 099/UFSM – CESNORS/Palmeira das Missões