

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

**AVALIAÇÃO DO IMPACTO PRODUTIVO,  
ECONÔMICO E AMBIENTAL DE UM SISTEMA DE  
ALIMENTAÇÃO DE PRECISÃO PARA SUÍNOS**

**TESE DE DOUTORADO**

**Ines Andretta**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2014**

**AVALIAÇÃO DO IMPACTO PRODUTIVO, ECONÔMICO  
E AMBIENTAL DE UM SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO  
DE PRECISÃO PARA SUÍNOS**

**Ines Andretta**

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

**Orientador: Dr. João Radünz Neto  
Coorientador: Dr. Candido Pomar**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2014**

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Andretta, Ines

Avaliação do impacto produtivo, econômico e ambiental de um sistema de alimentação de precisão para suínos / Ines Andretta.-2014.

97 p.; 30cm

Orientador: João Radünz Neto

Coorientador: Candido Pomar

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, RS, 2014

1. Exigências nutricionais 2. Lisina 3. Nutrição 4. Suinocultura 5. Zootecnia de precisão I. Radünz Neto, João II. Pomar, Candido III. Título.

---

© 2014

Todos os direitos autorais reservados a Ines Andretta.

A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

Endereço Eletrônico: [iandretta@gmail.com](mailto:iandretta@gmail.com)

---

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

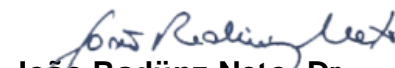
A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Tese de Doutorado

**AVALIAÇÃO DO IMPACTO PRODUTIVO, ECONÔMICO  
E AMBIENTAL DE UM SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO  
DE PRECISÃO PARA SUÍNOS**

elaborada por  
**Ines Andretta**

como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Doutora em Zootecnia**

**Comissão Examinadora:**

  
**João Radünz Neto, Dr.**  
(Presidente/Orientador)

  
**Cheila Roberta Lehnen, Dr. (UEPG)**

  
**Irineo Zanella, Dr. (UFSM)**

  
**Luciano Hauschild, Dr. (UNESP)**

  
**Vladimir de Oliveira, Dr. (UFSM)**

**Santa Maria, 20 de fevereiro de 2014.**

*Ao meu marido **Marcos**,  
meus pais **Iria e Ivanir**,  
meu irmão **Ismael**, minha tia **Ivanilde**,  
e meus avós **Ivo e Anair**  
dedico este trabalho e todas as conquistas que virão!*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha família, por compartilhar comigo o amor pelas coisas simples da terra e por estar sempre presente apoiando meus sonhos. Ao meu marido Marcos Kipper da Silva, obrigada por ser meu parceiro de vida e de trabalho, por ser meu porto-seguro!

Meu agradecimento especial ao professor Paulo Alberto Lovatto, pela amizade nos anos que estive em Santa Maria, por despertar meu interesse pela pesquisa científica, orientar minha formação profissional e incentivar o projeto desta tese desde o início. Agradeço também ao pesquisador Candido Pomar, por todo o suporte para a realização deste projeto e principalmente pela acolhida “latina” no frio canadense. Ao professor João Radünz Neto, agradeço pelos ensinamentos e pelo apoio constante.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, agradeço pela concessão das bolsas de estudos no Brasil e no Canadá, e ao instituto de pesquisa Agriculture and Agri-Food Canada, pelo suporte financeiro e técnico ao projeto. Agradeço à equipe que muito auxiliou no desenvolvimento prático deste projeto, em especial Normande Ouellet, Joël Rivest e os funcionários da unidade de suinocultura do Dairy and Swine Research and Development Centre.

Agradeço ainda aos colegas e professores do Grupo de Modelagem Animal e do Setor de Suínos pelo companheirismo e aprendizado durante os anos na UFSM. Marcos, Cheila, Luciano, Gerson, Eloiza, Taís, Aline, Raquel... gostaria de trabalhar sempre com vocês! Por fim, agradeço ao apoio dos meus amigos (aos de perto e aos de longe) e todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

## RESUMO

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

### **AVALIAÇÃO DO IMPACTO PRODUTIVO, ECONÔMICO E AMBIENTAL DE UM SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO DE PRECISÃO PARA SUÍNOS**

AUTOR: INES ANDRETTA  
ORIENTADOR: JOÃO RADÜNZ NETO  
COORIENTADOR: CANDIDO POMAR

**Local e Data da Defesa: Santa Maria, 20 de fevereiro de 2014.**

O impacto da adoção de um sistema de alimentação de precisão sobre o desempenho, o balanço de nutrientes e os custos de alimentação de suínos em crescimento-terminação foi avaliado em dois estudos com 84 dias cada. No primeiro experimento, 60 suínos ( $41,2 \pm 3,9$  kg) foram utilizados para comparar um programa de alimentação comercial com três fases; um programa de alimentação controle também com três fases, no qual os suínos foram alimentados em cada período com combinações constantes de pré-misturas com alta ou baixa densidade de nutrientes; e dois programas de alimentação multi-fase, nos quais as mesmas pré-misturas foram combinadas diariamente para atender às exigências nutricionais do grupo ou de cada suíno individualmente. No segundo experimento, 70 suínos ( $30,4 \pm 2,2$  kg) foram distribuídos em cinco programas alimentares: um tratamento controle com três fases semelhante ao utilizado no primeiro estudo e quatro programas multi-fase individuais nos quais as pré-misturas foram combinadas diariamente para atender 110%, 100%, 90% ou 80% das exigências nutricionais estimadas para cada animal. O consumo de ração foi registrado automaticamente nos comedouros e os suínos foram pesados semanalmente durante os experimentos. As excreções de nutrientes foram calculadas pela diferença entre a retenção (estimada através de digitalização com aparelho de densitometria a cada 28 dias) e a ingestão. Alimentar os suínos com dietas ajustadas diariamente para a exigência de lisina de cada animal não alterou ( $P > 0,05$ ) o consumo de ração e o ganho de peso em comparação com o tratamento controle. No entanto, a alimentação de precisão reduziu ( $P < 0,05$ ) o consumo de lisina digestível em 27% e 26%, a excreção estimada de nitrogênio em 22% e 30%, e os custos de alimentação em 8 % e 10% no primeiro e no segundo estudo, respectivamente, em comparação ao tratamento controle com três fases. O sistema de alimentação de precisão é uma ferramenta eficaz para reduzir a excreção de nutrientes e os custos de alimentação dos animais, sem interferir no desempenho dos suínos.

**Palavras-chave:** Exigências nutricionais. Lisina. Nutrição. Zootecnia de precisão.

## **ABSTRACT**

Doctoral Thesis  
Programa de Pós-Graduação em Zootecnia  
Universidade Federal de Santa Maria

### **EVALUATING THE PERFORMANCE, ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL IMPACTS OF USING PRECISION FEEDING TECHNIQUES IN PIGS**

AUTHOR: INES ANDRETTA  
ADVISOR: JOÃO RADÜNZ NETO  
CO-ADVISOR: CANDIDO POMAR

**Site and Date of Defense: Santa Maria, February 20<sup>th</sup>, 2014.**

The impact of switching from a conventional to a precision feeding system on pig performance, nutrient balance and feed costs in growing-finishing pigs was evaluated over 84 days in two studies. In the first trial, 60 pigs ( $41.2 \pm 3.9$  kg) were used to compare a commercial three-phase feeding program; a control three-phase feeding program, in which pigs were fed within each phase with a constant blend of feeds containing high or low nutrient density; and two multi-phases feeding programs, in which the same feeds were blended daily to meet the nutritional requirements either of the group or of each pig individually. In the second trial, 70 pigs ( $30.4 \pm 2.2$  kg) were fed according to five feeding programs: a three-phase control program equivalent to the one used in trial 1 and four multi-phase feeding programs, in which pigs were fed daily with a blend meeting 110%, 100%, 90% or 80% of the estimated individual nutritional requirements. Feed intake was recorded automatically in the feeders and pigs were weighted weekly during the trials. Nitrogen and phosphorus excretions were calculated as the ratio between retention (estimated through densitometer scanning each 28 days) and intake. Feeding pigs with diets tailored daily to individual lysine requirements allowed obtaining similar ( $P > 0.05$ ) feed intake and weight gain results in comparison with the control treatment in both trials. However, precision feeding reduced ( $P < 0.05$ ) the digestible lysine intake by 27% and 26%, the estimated nitrogen excretion by 22% and 30%, and feeding costs by 8% and 10% in the first and second studies, respectively, in comparison with the control three-phase treatment. Precision feeding is an effective approach to reduce nutrient excretion and feed costs without interfering on pig performance.

**Key words:** Lysine. Nutrition. Nutrient requirements. Precision farming.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Comparativo entre os níveis de lisina digestível fornecidos nas dietas de um sistema de alimentação convencional com três fases e as exigências nutricionais médias e máximas estimadas diariamente e individualmente para suínos em crescimento e terminação .....	16
Figura 1.2 - Exigências de lisina digestível estimadas diariamente e individualmente em uma população de suínos durante as fases de crescimento e terminação .....	22
Figure 2.1 - Weekly means of standardized ileal digestible lysine content in diets for pigs fed in three-phase, commercial, daily-phase-group and daily-phase-individual feeding programs.....	49
Figure 2.2 - Standardized ileal digestible lysine requirements estimated for each pig in the trial and measures of dispersion .....	49
Figure 2.3 - Ratio between estimated requirements and standardized ileal digestible lysine content of diets and the resulting proportion of overfed animals in three-phase and commercial feeding programs .....	50
Figure 2.4 - Total intake of standardized ileal digestible lysine, CP, total P and NE of pigs fed in three-phase, commercial, daily-phase-group and daily-phase-individual feeding programs.....	51
Figure 2.5 - Balance of nitrogen and P of pigs fed in three-phase, commercial, daily-phase-group and daily-phase-individual feeding programs .....	51
Figure 3.1 - Mean, range and coefficient of variation on standardized ileal digestible lysine requirements estimated for each pig of the project. ....	74
Figure 3.2 - Dietary lysine level for pigs in three-phase feeding program or daily-phase feeding program provided individually considering 110%, 100%, 90% or 80% of the estimated nutritional requirements. ....	74
Figura 4.1 - Evolução da média e das estimativas de variação no peso vivo dos suínos no primeiro e no segundo experimento .....	76
Figura 4.2 - Comparativo entre os resultados médios/finais observados nos suínos alimentados em um programa convencional com três fases ou no programa de alimentação de precisão durante o primeiro e o segundo experimento .....	77
Figura 4.3 - Variações circadianas do número de refeições por grupo, velocidade média de consumo, tempo gasto e consumo médio de ração em cada refeição de suínos do tratamento controle ou do programa de alimentação de precisão .....	80
Figura 4.4 - Imagens termográficas do globo ocular direito, da área interna da orelha e das regiões facial, dorso-cervical, dorso-caudal e posterior dos suínos .....	85
Figura 4.5 - Ingestão e eficiência de deposição da proteína bruta simuladas de acordo com o uso de aminoácidos sintéticos na formulação das dietas .....	90

## LISTA DE TABELAS

Table 2.1 - Ingredient and chemical composition of the experimental feeds .....	46
Table 2.2 - Performance and body composition of pigs fed in three-phase, commercial, daily-phase-group and daily-phase-individual feeding programs .....	47
Table 2.3 - Viscera weights, carcass traits and cutting yields for pigs fed in three-phase, commercial, daily-phase-group and daily-phase-individual programs .....	48
Table 3.1 - Ingredient formulas and chemical composition of experimental feeds ....	69
Table 3.2 - Performance of pigs in three-phase feeding program or daily-phase feeding program provided individually considering 110%, 100%, 90% or 80% of the estimated nutritional requirements.....	70
Table 3.3 - Body weight and body composition of pigs in three-phase feeding program or daily-phase feeding program provided individually considering 110%, 100%, 90% or 80% of the estimated nutritional requirements.....	71
Table 3.4 - Nutrient balance of pigs in three-phase feeding program or daily-phase feeding program provided individually considering 110%, 100%, 90% or 80% of the estimated nutritional requirements.....	72
Table 3.5 - Plasmatic concentration of total protein, urea and phosphorus of pigs in three-phase feeding program or daily-phase feeding program provided individually considering 110%, 100%, 90% or 80% of the estimated nutritional requirements .....	73
Tabela 4.1 - Comportamento alimentar de suínos em um programa convencional com três fases ou em programas de alimentação individuais multi-fase suprindo 110%, 100%, 90% ou 80% das exigências nutricionais estimadas diariamente para cada animal .....	81
Tabela 4.2 - Comportamento durante a alimentação de suínos em um programa convencional com três fases ou em programas de alimentação individuais multi-fase suprindo 110%, 100%, 90% ou 80% das exigências nutricionais estimadas diariamente para cada animal.....	82
Tabela 4.3 - Estatísticas descritivas da temperatura (°C) retal e da superfície corporal dos suínos .....	86
Tabela 4.4 - Temperaturas (°C) retais e da superfície corporal de suínos em um programa convencional com três fases ou em programas de alimentação individuais multi-fase suprindo 110%, 100%, 90% ou 80% das exigências nutricionais estimadas diariamente para cada animal.....	87

## LISTA DE ABREVIATURAS

3P	Tratamento com três fases
ADFI	Consumo médio diário de ração
ADG	Ganho médio diário de peso
AIPF	<i>Automated Intelligent Precision Feeder</i>
AVG	Média
BW	Peso vivo
Ca	Cálcio
COM	Tratamento comercial
CP	Proteína bruta
CV	Coeficiente de variação
DP	Desvio padrão
DXA	<i>Dual-energy X-ray absorptiometry</i>
EP	Erro padrão da média
G:F	Eficiência alimentar (Ganho:Consumo)
Lys	Lisina
MP	Multi-fase
MPG	Tratamento multi-fase ajustado por grupo
MPI	Tratamento multi-fase ajustado por indivíduo
N	Nitrogênio
NE	Energia líquida
P	Fósforo
<i>P</i>	Probabilidade
RSD	Desvio padrão residual
SEM	Erro padrão da média
SID	Digestibilidade ileal estandardizada

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>CAPÍTULO 1 – Revisão bibliográfica .....</b>	<b>14</b>
1.1 A suinocultura no contexto das demandas mundiais por alimento .....	14
1.2 Sistemas convencionais de alimentação para suínos em crescimento .....	15
1.3 Alimentação de precisão para suínos em crescimento .....	17
1.4 Exigências nutricionais de animais em crescimento .....	18
1.5 Exigências nutricionais no contexto de populações .....	20
1.6 Exigências nutricionais estimadas individualmente e em tempo real .....	22
1.7 A alimentação de precisão e a sustentabilidade na suinocultura .....	24
<b>CAPÍTULO 2 – The impact of feeding growing-finishing pigs with daily tailored diets using precision feeding techniques on animal performance, nutrient utilization, body and carcass composition, and feeding cost .....</b>	<b>25</b>
Abstract.....	25
Introduction .....	26
Materials and methods .....	27
Results and discussion .....	33
References .....	41
<b>CAPÍTULO 3 – Precision feeding can reduce lysine intake by 26% and nitrogen excretion by 30% without compromising the performance of growing pigs .....</b>	<b>52</b>
Abstract.....	52
Implications .....	53
Introduction .....	53
Material and methods .....	54
Results and discussion .....	60
References .....	66
<b>CAPÍTULO 4 – Discussão geral.....</b>	<b>75</b>
4.1 Comparação dos resultados obtidos nos experimentos de validação .....	75
4.2 Comportamento alimentar e estratégias de alimentação.....	80
4.3 Temperatura de superfície corporal e estratégias de alimentação.....	84
4.4 Avaliação geral do sistema de alimentação e dos resultados observados	88
<b>CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS .....</b>	<b>92</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>93</b>

## INTRODUÇÃO

A utilização dos nutrientes pelos suínos é um processo dinâmico, resultado da interação entre alimento, animal e ambiente. Diferentes programas de pesquisa têm sido desenvolvidos com o objetivo de otimizar as respostas produtivas por meio da oferta adequada de nutrientes aos animais. Atualmente, as estratégias de alimentação de suínos em crescimento utilizam estimativas de exigências nutricionais por grupo de animais (lotes) e por fases (períodos de tempo). Assim, os sistemas de alimentação convencionais geralmente atendem as exigências nutricionais apenas de uma parcela do grupo em um único dia do período. Para atender as exigências nutricionais de maneira dinâmica, um grande número de dietas seria necessário (uma dieta por dia para cada animal). Porém, este manejo é inviável nos sistemas convencionais de produção, pois quanto maior o número de dietas, maiores seriam as dificuldades de logística industrial e os custos decorrentes do processo.

A estimação das exigências nutricionais dos suínos evoluiu pouco nas últimas décadas, em especial no que se refere ao desenvolvimento de programas alimentares capazes de harmonizar individualmente a oferta e a demanda de nutrientes dos animais. No entanto, um sistema inovador de alimentação para suínos foi proposto recentemente. Esse novo sistema, chamado de *Automated Intelligent Precision Feeder* (AIPF), visa otimizar a produção dos suínos a partir de uma perspectiva animal, ambiental e econômica (POMAR et al., 2009; HAUSCHILD et al., 2012).

O AIPF é formado por componentes estruturais (equipamento) e lógicos (parte “inteligente”). O principal componente estrutural é um comedouro automático que serve como alimentador e como mecanismo de medição de peso e de consumo alimentar. Acoplado ao comedouro está um sistema de dosagem que permite fornecer a ração em quantidade e composição determinadas pelo sistema. O componente lógico é baseado em modelos matemáticos que estimam o crescimento e as exigências nutricionais diárias de cada animal. Para isso existem algoritmos que permitem formular uma dieta específica para cada dia e indivíduo com base nas exigências estimadas a partir do seu padrão de consumo de ração e de crescimento.

Assim, diferentemente dos métodos convencionais, o AIPF propõe uma nova maneira de alimentar e nutrir grandes lotes de suínos considerando com maior precisão as diferenças entre animais e também sua dinâmica de crescimento.

A concepção do AIPF é recente e, até o presente momento, foram realizados poucos estudos sobre sua aplicabilidade a campo. Pesquisas com protótipos do AIPF mostraram que é possível reduzir os níveis de proteína e de fósforo nas dietas (POMAR et al., 2009), minimizando assim a excreção de elementos poluentes para o ambiente. Além disso, são necessárias somente duas rações (também chamadas pré-misturas) para todas as fases do crescimento dos suínos. Logo, seria possível reduzir os gastos com a logística de elaboração, transporte e armazenamento de várias rações. Neste contexto, o impacto produtivo das técnicas de alimentação de precisão precisa ser estudado para avaliar as consequências de sua adoção no setor produtivo. Os trabalhos apresentados nesta tese foram desenvolvidos com o objetivo de avaliar o impacto da adoção de um sistema de alimentação de precisão sobre o desempenho animal, a utilização e excreção de nutrientes, os custos de alimentação e respostas complementares no período de crescimento-terminação dos suínos. O problema de pesquisa e as questões a serem respondidas são apresentados nesta tese em um estudo bibliográfico, dois artigos científicos, uma discussão geral e as conclusões e perspectivas mais importantes.

# CAPÍTULO 1

## ESTUDO BIBLIOGRÁFICO

### 1.1 A suinocultura no contexto das demandas mundiais por alimento

Um aumento de cerca de 60% na produção mundial per capita de carne foi observado nos últimos 40 anos (TILMAN et al., 2002). No caso da carne suína, o fornecimento anual por habitante que era de 8 kg em 1961, passou para 15,8 kg de carne em 2009, o que significa dizer que a suinocultura fornece diariamente cerca de 120 kcal por habitante do planeta (FAOSTAT, 2013).

Nas últimas décadas, a suinocultura brasileira tem ganhado importância e o país se consolidou como um dos principais produtores no cenário mundial. O Brasil possui um rebanho de mais de 39 milhões de suínos e é responsável atualmente pela produção de 3,4 milhões de toneladas de carne suína por ano (FAOSTAT, 2013). Para manter esta produção, o setor utiliza grandes volumes de grãos como alimento para os animais. A alimentação é um dos fatores mais importantes para a viabilidade econômica da suinocultura, representando até 70% dos custos nos sistemas industriais. Neste contexto, aumentar a eficiência com que os suínos utilizam os nutrientes das dietas pode representar uma importante vantagem para a sustentabilidade econômica e também ambiental dos sistemas de produção.

No setor agropecuário, o conceito de sustentabilidade se refere à maximização dos benefícios reais que a sociedade recebe da produção de alimentos. Sistemas sustentáveis são viáveis economicamente e atentam para a eficiência de uso dos recursos envolvidos no processo de produção, tais como nutrientes e água. A preocupação com a sustentabilidade é particularmente importante no contexto atual de urbanização e aumento na demanda mundial por alimentos. De fato, em função do crescimento demográfico mundial, é esperado que a demanda por alimento duplique até o ano de 2050 (TILMAN et al., 2002). Estima-se que a produção de 70% deste adicional de alimento vai depender de tecnologias

emergentes ou de sistemas inovadores (SIMMONS, 2011). Assim, novas práticas que garantam a sustentabilidade agropecuária e também dos ecossistemas são essenciais para garantir que a demanda mundial por alimento seja suprida sem comprometer a integridade do ambiente nas regiões produtoras.

Normas ambientais mais rígidas estão também inseridas no cenário atual de preocupação com sustentabilidade. Os grandes volumes de poluentes gerados pela pecuária, principalmente pelas atividades intensivas, representam um risco ambiental e de saúde pública para a população. Estima-se que a suinocultura brasileira seja responsável pela excreção anual de 147 mil toneladas de nitrogênio e de 35 mil toneladas de fósforo para o ambiente (LOVATTO et al., 2005). Nas últimas décadas, a crescente preocupação dos consumidores e o avanço da legislação ambiental têm forçado a suinocultura a buscar tecnologias mais limpas. Com isso, o setor vem avançando muito em termos de redução de impacto ambiental. Porém, estudos recentes mostram que novas técnicas de alimentação podem tornar a atividade ainda mais sustentável (POMAR et al., 2010).

## **1.2 Sistemas convencionais de alimentação para suínos em crescimento**

A alimentação por fases é a técnica mais utilizada no período de crescimento e terminação dos suínos. Esta estratégia de alimentação baseia-se no fornecimento de uma série de dietas, a fim de prover alimentos que atendam as exigências nutricionais dos animais de acordo com sua evolução no tempo. Em cada fase do programa, todos os animais do grupo são alimentados com a mesma ração. Embora amplamente utilizada, esta técnica desconsidera que os animais do mesmo rebanho apresentam diferentes taxas de crescimento e, portanto, requerem diferentes quantidades de nutrientes entre si e ao longo do tempo.

Para satisfazer os indivíduos com maior demanda na população e garantir que todos os animais expressem sua máxima resposta, as indústrias costumam utilizar uma margem de segurança na formulação das dietas, fornecendo alimento com níveis acima das exigências nutricionais estimadas dos suínos. Esta prática acarreta um custo adicional para o sistema sob os pontos de vista econômico e ambiental. Para exemplificar esta condição, a Figura 1.1 apresenta os níveis de



lisina digestível fornecidos nas dietas de um sistema de alimentação convencional em três fases (valores sugeridos por uma empresa de Quebec, Canadá) em comparação com a evolução diária nas exigências nutricionais estimadas diariamente e individualmente para os animais de uma população (grupo de 60 suínos em fase de crescimento e terminação; descrição detalhada dos animais será apresentada no segundo capítulo desta tese). Mesmo considerando os animais que apresentaram as exigências diárias mais altas na população referência, as dietas fornecidas neste programa alimentar geram um excedente de oferta de nutrientes na maior parte do período avaliado. O excesso é ainda mais evidente quando as exigências médias da população são consideradas na análise.

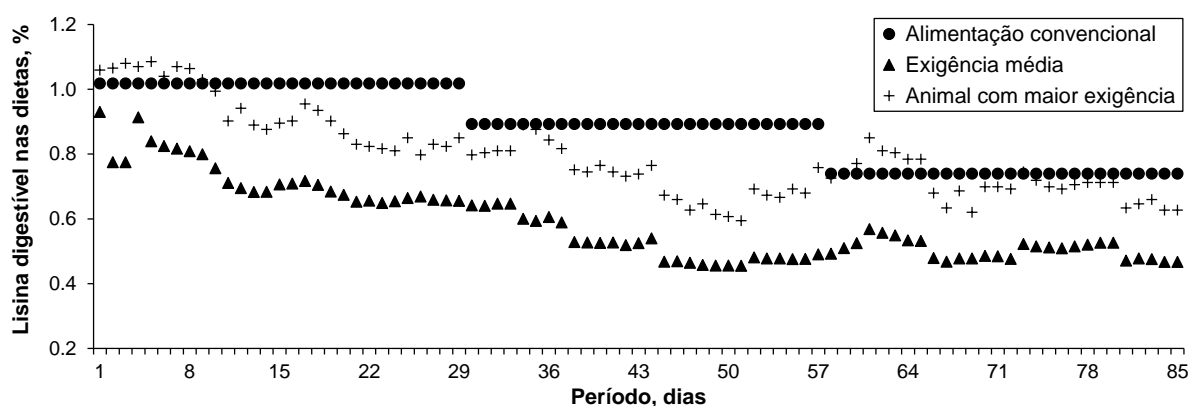


Figura 1.1 - Comparativo entre os níveis de lisina digestível fornecidos nas dietas de um sistema de alimentação convencional com três fases e as exigências nutricionais médias<sup>1</sup> e máximas<sup>2</sup> estimadas diariamente e individualmente para suínos em crescimento e terminação

<sup>1</sup> Média aritmética das exigências diárias simuladas para cada indivíduo da população em estudo.

<sup>2</sup> Animal da população referência que apresentou a exigência mais alta em cada dia avaliado.

Estudos anteriores estimaram que mais de 65% do total de nitrogênio e fósforo ingeridos pelos suínos são excretados nas fezes e na urina dos animais (DOURMAD e JONDREVILLE, 2007). Uma quantidade expressiva dessas perdas está relacionada com o suprimento de nutrientes em excesso nas dietas.

Em geral, as pesquisas que visam modificar as técnicas de alimentação dos animais para reduzir a poluição ambiental se baseiam em duas abordagens principais: a redução dos níveis nutricionais das dietas e o aumento no número de

fases nos programas alimentares. Usando a primeira abordagem, diversos estudos têm mostrado que é possível reduzir os níveis de alguns nutrientes nas dietas aproximando-os das exigências reais dos suínos sem prejudicar o desempenho dos animais (CANH et al., 1998; MADRID et al., 2013). Porém, na prática, a adequação da formulação das dietas de acordo com as exigências nutricionais dos animais é uma tarefa complexa, principalmente em função da variabilidade entre os indivíduos. A outra estratégia para melhorar o ajuste entre o fornecimento e as exigências nutricionais seria o aumento do número de fases/dietas durante o período de crescimento dos suínos. Os benefícios ambientais desta estratégia foram demonstrados anteriormente (BOURDON et al., 1995; LETOURNEAU-MONTMINY et al., 2005). Porém, na medida em que são acrescentadas fases alimentares, também aumentam os custos envolvidos na preparação, no transporte e no armazenamento dos alimentos. O impacto econômico e logístico do aumento no número de fases alimentares torna esta técnica inviável para os sistemas produtivos convencionais. Por esta razão, a maioria dos países produtores continua adotando estratégias de alimentação que utilizam de uma a quatro fases/dietas no período de crescimento e terminação dos suínos (NIEMI et al., 2010).

### **1.3 Alimentação de precisão para suínos em crescimento**

Os avanços na tecnologia de automação e na engenharia de processos permitiram que os sistemas de criação animal evoluíssem muito em termos de gerenciamento integrado da produção. Atualmente, a indústria de equipamentos para alimentação, monitoramento de animais e controle ambiental oferece muitas opções de produtos para a suinocultura, permitindo que grande parte das atividades de rotina seja automatizada nas granjas. Neste contexto de modernização dos meios de produção, a zootecnia de precisão foi apresentada como uma estratégia de gestão inteligente com diversas vantagens sobre os sistemas convencionais.

O uso de ferramentas tecnológicas para a gestão dos sistemas de produção torna a suinocultura mais competitiva. Estas novas tecnologias se adequam às exigências dos mercados consumidores por produtos sustentáveis e com qualidade sanitária garantida por rastreabilidade. A zootecnia de precisão também pode ser

utilizada pela indústria como ferramenta facilitadora na tomada de decisão. Além disso, o uso de técnicas de precisão pode beneficiar o produtor, que dispõe de mais controle sobre o rebanho e seus índices produtivos.

Em sistemas convencionais, os suínos que são criados em grupos geralmente não tem seus dados avaliados individualmente, com exceção daqueles utilizados em programas de melhoramento genético. Ao contrário, os sistemas de precisão permitem que os suínos sejam tratados como indivíduos com características distintas, considerando a variabilidade entre os animais mesmo quando alojados em grandes grupos (WATHES et al., 2008).

A alimentação de precisão tem demonstrado ser uma ferramenta inovadora e promissora para a suinocultura. A técnica foi proposta recentemente com o objetivo de aliar os conhecimentos atuais de nutrição animal e de engenharia, permitindo que os suínos sejam alimentados individualmente e de acordo com suas exigências nutricionais estimadas em tempo real (POMAR et al., 2009). Embora não seja uma tarefa fácil, este conceito está de acordo com estudos que demonstraram a importância de considerar a heterogeneidade dos rebanhos na elaboração dos programas nutricionais (POMAR et al., 2003; BROSSARD et al., 2009).

O *Automated Intelligent Precision Feeder* (AIPF) é um sistema de alimentação de precisão que está em desenvolvimento na Universidade de Lleida (Espanha), em colaboração com o Agriculture and Agri-Food Canada e com outras instituições, inclusive a Universidade Federal de Santa Maria. Em contraste com os métodos convencionalmente utilizados na suinocultura e também com os sistemas anteriores de alimentação individualizada (equipamentos que trabalham com o fornecimento de pré-misturas para os animais), com o AIPF é proposta uma nova maneira de alimentar grandes grupos de suínos com precisão, considerando em tempo real a dinâmica individual de crescimento do suíno para estimar a quantidade ideal de nutrientes a ser fornecida para cada animal.

#### **1.4 Exigências nutricionais de animais em crescimento**

O ajuste da oferta de nutrientes nas dietas de maneira a atender as exigências dos animais com a máxima exatidão possível, tal como proposto pelo

sistema de alimentação de precisão, depende fundamentalmente da correta estimativa das exigências nutricionais dos suínos. É de conhecimento geral que o crescimento dos animais decorre do suprimento adequado de nutrientes. Energia, aminoácidos, minerais, vitaminas e água devem ser fornecidos em quantidades apropriadas e em formas que sejam palatáveis e metabolicamente disponíveis (NRC, 2012). A utilização de nutrientes pelos suínos pode ser descrita como um processo dinâmico, resultado da interação entre o animal (potencial genético, idade e sexo), as características da dieta (composição de ingredientes, digestibilidade, presença de fatores antinutricionais e disponibilidade metabólica dos nutrientes) e os fatores ambientais (temperatura, pressão sanitária, disponibilidade de espaço e tamanho do grupo) (VAN MILGEN e NOBLET, 2003; WELLOCK et al., 2004; POMAR et al., 2014).

Para um nutriente específico e quando os demais nutrientes são fornecidos em níveis adequados, a exigência do animal pode ser definida como a quantidade necessária do nutriente para expressar um determinado desempenho (POMAR et al., 2014). Em animais de produção, o desempenho a ser considerado pode ser a taxa de crescimento, a deposição proteica, a produção de leite, entre outros critérios (FULLER et al., 1989; HAUSCHILD et al., 2010). Os resultados das pesquisas nesta área são geralmente publicados em artigos científicos e também no formato de tabelas de recomendações nutricionais (ROSTAGNO et al., 2011; NRC, 2012).

As exigências nutricionais tradicionalmente utilizadas para formular as dietas são estimadas pelos métodos empírico e fatorial (POMAR et al., 2009). No método empírico, as exigências são estabelecidas para maximizar ou minimizar um ou vários parâmetros de desempenho, avaliando as respostas de grupos de animais diante de diferentes concentrações de um determinado nutriente na dieta (SAKOMURA e ROSTAGNO, 2007). Nestes casos, as recomendações nutricionais propostas são baseadas nas respostas dos animais aos tratamentos, determinando o nível do nutriente que proporciona o melhor resultado produtivo. Diversos estudos têm sido desenvolvidos utilizando esta técnica com o objetivo de determinar as exigências nutricionais de suínos em crescimento. Porém, o máximo ganho de peso ou a melhor eficiência alimentar podem não coincidir com a melhor resposta econômica (POMAR et al., 2014). Além disso, a resposta de uma população em relação à ingestão de nutrientes pode variar em função de diversos fatores, inclusive das condições ambientais em que o estudo foi realizado (POMAR et al., 2003;

WELLOCK et al., 2004; BROSSARD et al., 2009). Esta variação dificulta a extrapolação dos resultados de pesquisa para unidades de produção que não compartilhem das mesmas características de criação (fatores ambientais, potencial genético dos animais, entre outros). Mesmo em condições de produção semelhantes, as recomendações nutricionais também podem variar de acordo com os métodos estatísticos utilizados na análise dos dados experimentais, principalmente no que se refere à escolha dos modelos para descrever a resposta da população aos níveis nutricionais testados (POMAR et al., 2014).

No método fatorial, as exigências diárias são estimadas pela soma das demandas para manutenção e para produção em cada nutriente (SAKOMURA e ROSTAGNO, 2007), levando em conta a eficiência com que este nutriente é utilizado para as funções metabólicas (VAN MILGEN e NOBLET, 2003). Nesta metodologia, as exigências são estimadas para um único indivíduo em um período específico (ponto no crescimento). A escolha do indivíduo a ser utilizado como referência para a população é um dos principais desafios para o uso desta metodologia.

Em resumo, esses métodos são utilizados na produção animal para estimar as exigências de uma população com base em um único indivíduo (método fatorial) ou na resposta de um grupo de animais (método empírico). As técnicas de modelagem matemática também estão sendo amplamente utilizadas para a descrição do crescimento dos suínos, simulando o desempenho de um indivíduo de acordo com as condições de alojamento ou com o aporte nutricional fornecido aos animais. Porém, estas simulações podem ser realizadas de forma determinista, considerando apenas um animal médio do rebanho (BROSSARD et al., 2012).

## **1.5 Exigências nutricionais no contexto de populações**

Um enfoque diferenciado é necessário para estimar as exigências nutricionais de animais no contexto de populações. Nesta abordagem, a definição dos programas alimentares deve iniciar pela avaliação da variabilidade no grupo a ser alimentado. É importante observar, por exemplo, que a 'resposta média da população' e a 'resposta do animal médio da população' são conceitos distintos e que a diferença entre as abordagens é resultado da variabilidade entre os animais

(POMAR et al., 2003). Assim, em populações heterogêneas, quando a resposta média de uma população a uma determinada estratégia alimentar é estimada considerando todos os indivíduos do grupo, os resultados obtidos irão diferir em forma e amplitude daqueles observadas no indivíduo médio da mesma população (POMAR et al., 2003; WELLOCK et al., 2004; BROSSARD et al., 2009).

A variabilidade dentro dos rebanhos resulta de fatores intrínsecos ou extrínsecos que podem influenciar o desempenho dos animais (HAUSCHILD et al., 2010). O sexo, a idade e o potencial genético são exemplos de fatores de variabilidade intrínseca. Já os fatores extrínsecos são aqueles relacionados com o ambiente físico e social ao qual o animal é exposto. Como fatores extrínsecos podem ser citados a disponibilidade de alimento e água, a temperatura ambiental e também a exposição aos agentes patogênicos. Além disso, a intensidade com que estes fatores interferem no desempenho varia em cada indivíduo e esta característica de susceptibilidade ou resistência pode acentuar a variabilidade entre os animais dentro de uma mesma população (WELLOCK et al., 2004).

Apesar de diversos estudos terem demonstrado a importância de considerar a heterogeneidade das populações (POMAR et al., 2003; MAIN et al., 2008; BROSSARD et al., 2009; VAUTIER et al., 2013), este aspecto recebe pouca ênfase na interpretação dos resultados de pesquisas. Em geral, as publicações científicas apresentam apenas respostas médias. Porém, quando se pretende comparar estratégias alimentares, o mais recomendado seria incluir na interpretação dos dados algum fator que represente a variabilidade nas respostas da população. Isto porque o estudo desta característica pode auxiliar na compreensão dos mecanismos biológicos envolvidos nas respostas dos animais aos tratamentos do estudo.

Trabalhar com populações heterogêneas é um dos maiores desafios da alimentação animal. O fato de cada animal da população possuir características únicas confere uma trajetória de exigências nutricionais diferente para cada indivíduo do grupo, como pode ser observado na Figura 1.2, onde são apresentadas as exigências individuais e diárias de lisina estimadas em uma população de suínos (grupo de 60 suínos em fase de crescimento e terminação; descrição detalhada dos animais será apresentada no segundo capítulo desta tese). Em publicações anteriores trabalhando com exigências de lisina para suínos em crescimento, o coeficiente de variação (inter-animais) foi estimado em até 10% por Heger et al. (2009), 12% por Bertolo et al. (2005) e 13,5% por Hauschild et al. (2010). Porém, os

sistemas convencionais de alimentação animal desconsideram esta variabilidade (diferenças entre populações e também entre animais de uma mesma população) quando propõe que todos os animais sejam alimentados com a mesma dieta.

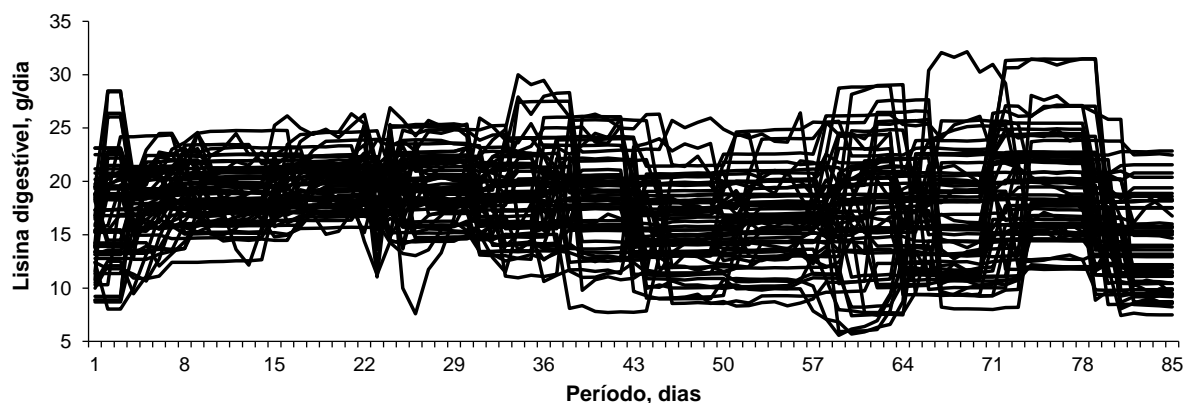


Figura 1.2 - Exigências de lisina digestível estimadas diariamente e individualmente em uma população de suínos durante as fases de crescimento e terminação

Neste contexto de heterogeneidade, a utilização dos conceitos básicos de exigências nutricionais conduz a recomendações inapropriadas, gerando grupos de animais subalimentados e grupos superalimentados dentro do grupo. Assim, uma das premissas fundamentais para a alimentação de precisão é de que estes aspectos de variabilidade sejam considerados na elaboração dos programas alimentares a serem utilizados em lotes de animais (POMAR et al., 2003; POMAR et al., 2009).

## 1.6 Exigências nutricionais estimadas individualmente e em tempo real

Em uma explicação geral, o uso de técnicas de alimentação de precisão permite que um alimento com a composição adequada seja fornecido para cada animal do rebanho (POMAR et al., 2009). Alimentar os suínos individualmente com dietas formuladas em tempo real com base em seus próprios padrões de consumo

de ração e de crescimento representa uma importante mudança de paradigma na nutrição animal (POMAR et al., 2014). Em programas convencionais, as exigências nutricionais são consideradas como uma característica estática da população. Porém, a aplicação das técnicas de alimentação de precisão implica que as exigências nutricionais sejam consideradas como um processo dinâmico que evolui de forma independente para cada animal durante seu crescimento.

O modelo matemático que permite estimar individualmente as exigências diárias de lisina dos suínos e sua concentração ótima nas dietas foi desenvolvido e descrito por Hauschild et al. (2012). O procedimento é baseado no conceito de grey-box, o qual combina uma modelagem empírica com uma abordagem mecanicista. O componente empírico do modelo é utilizado para estimar o consumo de ração, o peso vivo e o ganho de peso esperado para cada animal com base nas informações coletadas individualmente e em tempo real. Em seguida, o componente mecanicista do modelo utiliza as informações obtidas anteriormente para estimar as exigências de cada animal e a composição nutricional ótima nas dietas. Embora os fatores intrínsecos e extrínsecos que podem alterar as exigências nutricionais não tenham sido incluídos de maneira direta, estas características são consideradas indiretamente no modelo (POMAR et al., 2014). Uma descrição mais detalhada do modelo é apresentada nos próximos capítulos, na descrição dos protocolos experimentais utilizados.

No equipamento AIPF, estes conhecimentos de modelagem são utilizados na parte lógica do sistema e combinados com um componente estrutural do comedouro inteligente. Assim, a partir das exigências nutricionais estimadas no componente lógico, a parte estrutural do sistema fornece a cada suíno uma dieta composta por pré-misturas em proporções que atinjam a composição nutricional adequada a cada indivíduo.

O modelo proposto foi testado e nos estudos prévios demonstrou ser capaz de estimar as exigências de lisina digestível dos suínos em crescimento e seguir em tempo real as trajetórias individuais de consumo de ração e de peso vivo com boa acurácia (HAUSCHILD et al., 2012). A seguir, o modelo foi calibrado em uma sequência de experimentos com suínos em fase de crescimento e terminação (ZHANG et al., 2012; CLOUTIER et al., 2013) e foi atualizado por RIVEST et al. (2012).



## 1.7 A alimentação de precisão e a sustentabilidade na suinocultura

É importante considerar que a sustentabilidade na produção de suínos envolve diversos critérios. Em uma primeira análise, as metas de sustentabilidade são baseadas no aumento da produtividade e, conseqüentemente, no rendimento econômico do sistema. No entanto, a busca por sustentabilidade pode ser definida num aspecto global como a combinação de técnicas de produção para melhorar não apenas a lucratividade, mas também para atender às demandas de preservação do meio ambiente onde o sistema de produção está inserido (HONEYMAN, 1996).

Nas avaliações preliminares, as técnicas de alimentação de precisão vêm apresentando resultados promissores em relação aos programas convencionais, que qualificam o sistema como uma ferramenta importante para aumentar a sustentabilidade e a competitividade da suinocultura (POMAR et al., 2014). Estudos de simulação mostraram que a alimentação de precisão pode diminuir em 25% o consumo de nitrogênio, em 29% o consumo de fósforo e reduzir em até 39% a excreção destes nutrientes para o meio ambiente em relação aos sistemas convencionalmente utilizados na suinocultura (POMAR et al., 2010). Além do aumento na eficiência de uso dos nutrientes, o sistema pode reduzir os custos com alimentação (POMAR et al., 2009). Porém, estes resultados podem não se repetir a campo em função dos diversos fatores envolvidos no crescimento dos animais. Assim, para que o programa de alimentação de precisão seja implantado no meio produtivo com segurança, é preciso submeter o sistema a uma etapa de validação e estudar o efeito que estas técnicas podem representar para a sustentabilidade na suinocultura. Neste contexto, os trabalhos que serão apresentados nesta tese (capítulos 2 e 3) foram desenvolvidos com o objetivo de avaliar o impacto da adoção do sistema de alimentação de precisão sobre o desempenho animal, a utilização de nutrientes, os custos de alimentação e algumas respostas complementares no período de crescimento-terminação dos suínos.

## **CAPÍTULO 2**

Este capítulo é apresentado de acordo com as normas para publicação em **Journal of Animal Science** (artigo submetido em janeiro de 2014).

### **The impact of feeding growing-finishing pigs with daily tailored diets using precision feeding techniques on animal performance, nutrient utilization, body and carcass composition, and feeding cost**

**ABSTRACT:** The present study examined the impact of switching from conventional to precision feeding system on animal performance, nutrient balance, carcass composition and feeding cost in growing-finishing pig operations. Sixty pigs ( $41.2 \pm 3.9$  kg BW) were used in a performance trial (84 d) to evaluate the following feeding programs: a three-phase feeding program (3P) obtained by blending fixed proportions of feeds A (high nutrient density) and B (low nutrient density); a three-phase commercial feeding program; and two daily-phase feeding programs in which the blended proportions of feeds A and B were adjusted daily to meet the estimated nutritional requirements of the group (MPG) or of each pig individually (MPI). Daily feed intake was recorded each day, and pigs were weighed weekly during the trial. Body composition was assessed at the beginning of the trial and every 28 d by dual-energy X-ray densitometry. Nitrogen and phosphorus excretion was estimated as the difference between retention and intake. Organ, carcass and primal cut measurements were taken after slaughter. Feeding costs were assessed using 2013 ingredient cost data. The MPG and MPI programs showed values for ADFI, ADG, G:F, final BW, and nitrogen and phosphorus retention that were similar to those obtained for the 3P feeding program. However, compared to the 3P treatment, the MPI feeding program reduced standardized ileal

digestible lysine intake by 27%, estimated nitrogen excretion by 22% and estimated phosphorus excretion by 27% ( $P < 0.05$ ). Organs, carcass and primal cuts did not differ among the treatments. The MPI allowed a \$6.90 reduction (-8%) in feeding costs per pig relative to the 3P treatment ( $P < 0.05$ ). Feeding pigs daily tailored diets using precision feeding techniques is an effective approach to reduce nutrient excretion and feeding costs, without compromising performance or carcass composition in growing-finishing pigs.

**Key words:** nutrition, nutrient requirements, pigs, precision feeding, precision farming.

## INTRODUCTION

Optimizing nutrient-use efficiency is essential to increase the sustainability of pig production systems, especially in a context where growing demand for food must be met at an affordable cost, without compromising environmental integrity. Many studies have indicated that nutrient efficiency could be improved by better adjusting nutrient supply to individual requirements (Ferket et al., 2002).

Nutritional requirements change dynamically over time and also among animals, even in age- or sex-homogeneous populations (Pomar et al., 2003; Brossard et al., 2009). But the current group phase-feeding programs do not account for this variability and feeds are formulated to satisfy the requirements of the most demanding pigs in order to optimize population performance (Hauschild et al., 2010).

Although dealing with the variability in nutritional requirements is a difficult task, precision farming techniques may provide a solution (Wathes et al., 2008). Precision feeding is a modern approach in which pigs are fed individually using diets adjusted in real-time according to their patterns of feed intake and growth (Pomar et al., 2009; Hauschild et al., 2012). This represents a paradigm shift in pig feeding, since the optimal dietary nutrient level is no longer considered as a static population attribute, but rather as a dynamic process that

evolves independently for each animal based on its intrinsic and extrinsic characteristics (Pomar et al., 2014b). A previous study estimated that precision feeding could reduce nitrogen excretion by 38% and feeding costs by 10% compared to a conventional system (Pomar et al., 2010). Despite the potential benefits, few trials have been conducted to assess the use of this new approach. This study was undertaken to evaluate the effect that shifting from a conventional feeding system to precision feeding would have on performance, nutrient balance, carcass traits and feeding cost in growing-finishing pigs.

## **MATERIALS AND METHODS**

### ***Animals, Housing and Management***

Sixty barrows of the same high-performance genotype (Fertilis 25 × G-Performer 8.0, Genetiporc Inc., Saint-Bernard, Quebec, Canada) with good health status were shipped in a single batch to the Agriculture and Agri-Food Canada research center in Sherbrooke, Quebec, Canada. The pigs had free access to feed and fresh water throughout the experiment and were cared for in accordance with a recommended code of practice (AAFC, 1993) and the guidelines of the Canadian Council on Animal Care (CCAC, 2009).

The pigs were fed a commercial starter diet during the two pre-experimental weeks, after which the animals were randomly assigned to the experimental treatments ( $41.2 \pm 3.9$  kg). Pigs were housed in a 48 m<sup>2</sup> pen with fully slatted floor in a mechanically ventilated room. On the 42nd day of the performance trial, the pen area allowance was adjusted to 76 m<sup>2</sup> to meet the space requirements for finishing pigs. The room temperature was progressively decreased from 22°C (at the piglets' arrival) to 18°C (when the pigs reached around 100 kg of BW) to ensure thermoneutral conditions. Water was provided with low-pressure nipple drinkers and feed with automatic feeders (Automatic and Intelligent Precision Feeder - **AIPF**) especially designed for the trial. Each AIPF consisted of a single-space feeder in which

precision Archimedes' screw conveyors delivered and simultaneously blended volumetric amounts of up to four feeds stored in independent containers located in the upper part of the AIPF (Pomar et al., 2011). The AIPF identifies each pig and afterwards it blends and delivers feeds in response to each animal request according to the estimated optimal Lys concentration and assigned experimental treatment. A serving consisted of the amount of feed delivered upon each effective serving request. A time lag was imposed to ensure that the pigs ate each serving before requesting a new one. Serving weight varied between 15 g at the beginning and 26 g at the end of the experiment; and it was adjusted daily to target the number of requests to be around 120–140 per pig each day. A meal consisted of all of the servings delivered during each feeder visit. Pigs tend to leave the feeder hopper empty or leave very small amounts of feed behind at each visit, providing assurance that each pig received the assigned amount of blended feed. Feed density was measured weekly and the feeders were calibrated accordingly to convert feed volumes into feed weights. The use of exclusive identification codes allowed recording individual feed intake over the trial. All the feeders were designed to provide meals to all animals, regardless of treatment. This feature allowed all animals to be housed in the same pen in a single group.

### ***Diets and Feeding***

Two experimental feeds (named A and B) and three commercial complete feeds were independently formulated on the basis of NE and standardized ileal digestible (**SID**) amino acids using the same ingredient composition database, without growth promoters or any other additives (Table 2.1). Experimental A and B feeds differed in nutrient concentration, with feed A being formulated with a high nutrient density (to satisfy the estimated requirements of the most demanding pig at the beginning of the growing period), and feed B formulated with a low nutrient density (to meet the estimated requirements of the least demanding pig at the end

of the finishing period). The right final feed composition was obtained by blending the two feeds in such a way as to satisfy animal nutrient requirements. Experimental and commercial feeds were provided in steam-pelleted format.

The performance trial consisted of three feeding phases of 28 d each, for a total of 84 d. Four feeding programs (treatments) were tested in this study. The control treatment (**3P**) consisted of a three-phase feeding program obtained by blending fixed proportions of feeds A and B. For this treatment group, each blend was determined during the three first days of the phase based on an animal whose requirements were in the 80th percentile of the population, as suggested by Hauschild et al. (2010), to maximize the population responses for body weight gain. This blend remained constant within each feeding period and it was provided to all the animals in this treatment group.

The commercial feeds (**COM**) were provided to a second group of pigs, likewise according to a three-phase feeding program. Feeds used in this treatment group were formulated according to industry standards (Aliments Breton Inc., Saint-Bernard, Quebec, Canada) using the same ingredients as for the A and B feeds. No safety margins were used for nutrient composition. All the pigs assigned to this treatment group received the same feed during each of the three feeding phases.

Pigs assigned to the two different daily-phase treatments were fed a blend of feeds A and B which was adjusted each morning to match the Lys requirements of the group (multi-phase-group feeding - **MPG**) or of each individual pig (multi-phase-individual feeding - **MPI**). The optimal dietary Lys concentration for the MPG pigs was calculated daily as in the 3P treatment group, based on an animal whose Lys requirement was in the 80th percentile of the population (Hauschild et al., 2010). The required daily concentration of Lys was estimated with a mathematical model using individual feed intake and weekly BW information (Hauschild et al., 2012). Using this data, the empirical component of the model estimated the

expected BW, feed intake and weight gain for the next day, whereas the mechanistic component used these three estimated variables to calculate with a factorial method the optimal concentration of amino acids that should be offered that day to each pig in the herd to meet requirements. In this mechanistic model compartment, daily Lys requirements were calculated by assuming that maintenance requirements are  $0.036 \text{ g} \times \text{BW}^{0.75}$  (Fuller et al., 1989), that 7% of the body protein is Lys (Mahan and Shields, 1998) and that the efficiency of Lys retention from dietary digestible Lys is 72% (Möhn et al., 2000). Weight gain composition in terms of protein was estimated based on the feed conversion ratio. Other nutrient requirements were assumed to be proportional to Lys requirements.

### *Performance Study*

Pigs were weighed at arrival, twice during the pre-experimental phase to calibrate the model, and weekly (without restriction of feed or water) during the trial. At the beginning of each feeding phase (on days 0, 28 and 56) and at the end of the performance trial (on day 84), backfat thickness and loin muscle depth were measured using a B mode ultrasound device (Ultrascan 50; Alliance Médicale Inc., Montreal, Canada; 120 mm, 3.5 MHz) at the Canadian carcass grading site, that is, between the third- and fourth-last ribs at 5 cm from the midline. Total body fat, lean, bone mineral content and bone mineral density were measured by dual-energy X-ray absorptiometry (**DXA**) on days 0, 28, 56 and 84 with a densitometry device (GE Lunar Prodigy Advance, Madison, WI, USA). Pigs were scanned in prone position using the total body scanning mode (Lunar enCORE software version 8.10.027). Anesthesia was induced with sevoflurane (5%) and maintained with isoflurane (4%) during the scans performed on days 0, 28 and 56, but injectable xylazine (2 mg/kg) and ketamine (20 mg/kg) were preferred on the day 84 scan. The DXA body lean and fat mass values were converted to their protein and lipid chemical equivalents, as proposed by Pomar and Rivest (1996). Body P

was determined by estimating that this element constitutes 25% of DXA bone mineral content (unpublished data). Nitrogen and P excretion values were obtained by subtracting the respective nutrient retention values from the nutrient intake values.

### ***Slaughter and Carcass Evaluation***

All pigs were fasted for 16 h before slaughter. To eliminate the influence of the fasting period, the final BW was adjusted by applying a 0.21% reduction to BW per hour of fasting, as described by Warriss and Brown (1983). Pigs were slaughtered, dehaired and eviscerated at the research center's experimental slaughterhouse. Blood and organs (empty gastrointestinal tract, liver + empty biliary vesicle and kidneys) were collected and weighed individually.

Each carcass was split into 2 sides. Losses during chilling (1 d at 3°C), freezing (1 d at -18°C) and thawing (6 d at 3°C) were calculated in relation to the left hot-carcass weight. Afterwards, the left carcass sides were separated into 4 primal cuts (ham, shoulder, loin and belly). The cuts were weighed, deboned and dissected manually into their respective tissue composition (fat and muscle). The loin area was measured between the fourth and fifth thoracic vertebrae using a digital scanner.

### ***Analytical Procedures***

Representative samples of the feeds were taken upon delivery and once weekly throughout the experiment. The samples of each feed were mixed together at the end of the experiment to obtain a representative composite sample. The composite samples of feeds were analyzed using Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 1990) standard methods for lyophilization (Method 938.18) and for determination of total protein (Method 992.15), lipids (Extraction Method 991.36), dry matter (Method 950.46) and ash (Method 920.153).



The Ca and P concentrations in the samples were obtained by colorimetric and atomic absorption methods (AOAC, 1990). The amino acids content of the feeds was measured by gas chromatography coupled to mass spectrometry.

### ***Economic Evaluation***

Although the experimental and commercial feeds were formulated using the same ingredient nutritional composition database, the experimental feeds A and B were formulated with no emphasis on feed costs. Thus, to compare feed costs in commercial conditions, the ingredient composition of the experimental and commercial feeds was adjusted using standard commercial procedures (least-cost method) so as to contain the same levels of SID Lys, Ca, total and digestible P as the feeds used in the trial. New formulas were established to contain  $\pm 1.5\%$  of the original CP level and  $\pm 50$  kcal of the original NE level. Ingredient prices were those prevailing in April 2013 in Quebec, Canada, but are expressed in U.S. dollars. Individual feeding cost was determined by multiplying total feed intake by the cost of the reformulated feed.

### ***Calculations and Statistical Analysis***

Total nutrient intake was obtained for each pig by tallying the daily amount of nutrients provided by each of the served feeds. Total weight gain was calculated as the difference between the weights measured at the beginning and end of each phase. Total protein and lipid deposition were calculated as the difference between the respective body constituents estimated from DXA readings at the beginning and end of the experimental periods. The ADFI, average daily nutrient intake, ADG, average daily protein deposition and average daily lipid deposition were calculated by dividing the corresponding variables by the 28 d of each experimental period.

Each pig was considered as an experimental unit. Normality was checked for all variables using the Shapiro-Wilks test. Some variables did not provide normally distributed residuals (G:F, body protein content, bone mineral content, nitrogen excretion and feeding cost per unit of weight gain); they were logarithmically transformed to approximate a normal distribution. Performance data were subjected to variance analysis to evaluate the treatment effect over time, using the MIXED procedure. Responses without repetition in time-series data (organ weights, carcass traits and feeding cost) were studied by variance analysis using the General Linear Model procedure. Differences were considered significant if  $P < 0.05$ . All analyses were performed using SAS version 9.2 (SAS Inst. Inc., Cary, NC).

## RESULTS AND DISCUSSION

### *General Overview and Variation in Individual Lys Requirements*

Pigs consumed feed and gained weight normally throughout the entire trial. No health problems were observed during the experiment, except for one rectal prolapse identified on the 73rd day of the trial. The pig concerned (from the MPI treatment) was euthanized and its data excluded from the analysis.

The average inclusion of feed A (nutrient dense) in the blended feed served to pigs during the first feeding period was 98.0%, 55.5% and 47.7%, respectively, for treatments 3P, MPG and MPI. For the other two feeding periods and in the same treatment order, the proportion of feed A in the total served feeds was 48.8%, 33.3% and 18.0%, and 36.5%, 24.4% and 14.6%. Because the nutrient concentration in feed A was higher than in feed B, the treatments differed in the concentration of nutrients provided. For example, during the trial, the CP concentration was 16%, 14.1% and 13.3% for treatments 3P, MPG and MPI, respectively. The average dietary SID Lys concentration was 0.81%, 0.66% and 0.58% for treatments 3P, MPG and MPI, respectively (Figure 2.1). Because the first three days of each

phase were used to establish individual requirements, SID Lys concentrations on those days may differ from the requirements on the other days of the phase in the 3P treatment. Nonetheless, compared with the 3P diet, the MPI diet allowed a reduction of 31%, 29% and 20%, respectively, in the average SID Lys level during phases one to three. The 3P diets had an overall CP level 1% higher and a SID Lys level 8% lower than the COM treatment.

The intra-day difference in SID Lys requirements between the most demanding and the least demanding pigs in the group was 16.7 g on average during the trial (Figure 2.2). The maximum intra-day difference in SID Lys, or 24.1 g, was observed on the 69th day of the trial. The intra-day SD increased over the trial, from 2.9 g in the first feeding phase to 3.8 g in the second phase and 4.8 g in the last phase. Similarly, the intra-day CV increased during the trial, from 16% in the first feeding phase to 22% in the second phase and 28% in the last phase. The between-animal variation observed in this study was higher than that reported in previous studies. The CV for Lys requirements within a given population of pigs was estimated to be 12% by Bertolo et al. (2005) and 14% by Hauschild et al. (2010). Caution should be exercised in comparing the results of the present study and previous studies since different methodologies were used to estimate the Lys requirements. Nonetheless, the between-animal variation in amino acids and other nutrient requirements is an essential piece of information for defining the optimum feeding strategies for group-fed pigs (Pomar et al., 2003; Brossard et al., 2012; Vautier et al., 2013).

Although the SID Lys requirements were estimated individually for all the pigs in the trial, only those in the MPI group received feeds tailored daily to their individual requirements. In the 3P group, Lys was supplied to maximize the group response in terms of BW. When the objective is to maximize animal performance, maximum requirements normally appear at the beginning of each feeding phase (Brossard et al., 2009) and feed is provided at levels that satisfy the requirements of the most demanding pigs in the group. As a

result, most of the animals receive more nutrients than they need in order to express their growth potential (Hauschild et al., 2010). This is because for most nutrients, underfed pigs exhibit reduced growth performance, whereas overfed ones exhibit near-optimal performance. Providing growing animals with excess nutrients to avoid a reduction in herd performance has become a common, if not a universal, practice in commercial swine operations.

Therefore, when using a single feed for a population, nutrient requirements should be seen as the balance between the proportion of pigs that will be overfed and underfed (Brossard et al., 2009; Hauschild et al., 2010; Pomar et al., 2014b). Based on the 1,260 Lys requirement estimates (15 pigs in the 3P treatment over 84 d) obtained in the current experiment, 90% of the pigs were overfed in the 3P treatment (95% in first feeding phase, 91% in the second phase, and 83% in the third phase; Figure 2.3). The COM treatment group showed an even higher proportion of overfed animals, since 94% of the pigs in this group received feeds with higher than required Lys concentrations (94% in first feeding phase, 96% in the second phase and 91% in the third phase). Some overfed animals were also observed among the MPI pigs because the nutritional composition of feed B was not low enough to provide the required dietary SID Lys concentration to the least demanding pigs at the end of the experiment (26% of the requirements estimated in the second phase and 33% in the third phase). With a lower nutrient concentration in feed B, better results might have been obtained for the animals in the MPI treatment.

### ***Performance and Body Composition***

Pigs from the 3P, MPG and MPI feeding programs had similar ADFI values across feeding phases and throughout the experiment (Table 2.2). The MPI group had an ADG 8% lower ( $P < 0.05$ ) than that of the MPG group in the second phase. However, the 3P, MPG and MPI feeding programs did not differ in terms of overall means of ADG and G:F ratio. The

similar performance responses observed across the feeding programs in the current study are consistent with the pattern observed in previous research and not surprising, because most of the pigs received the amount of nutrients required for maintenance and growth. Several studies investigating the use of low-protein diets reported no effect on pig performance when the feeds were optimally balanced in amino acids (Canh et al., 1998; Le Bellego et al., 2002; Kerr et al., 2003). It has also been demonstrated that feeding strategies that involve increasing the number of phases during the growing-finishing period have no effect on pig performance (Bourdon et al., 1995; Pomar et al., 2014a).

Although no variation was expected in animal performance, some differences in body composition could be observed when pigs are fed diets with low-CP diets. This was observed in the first feeding phase of the trial, when pigs in the MPI treatment retained more lipids ( $P < 0.05$ ) than those in the 3P group. It has been suggested that decreasing the dietary CP content may reduce energy expenditure for catabolizing excess dietary protein. According to this hypothesis, pigs fed diets with low levels of CP have more available energy for tissue accretion and tend to deposit more lipids during growth (Kerr et al., 2003; Pomar et al., 2014a). Although some differences were observed among the treatments in the first phase of this trial, the lower CP concentration in diets given to MPG and MPI pigs showed no effect on lipid accretion in the last two feeding phases or in the overall growing-finishing period. The 3P, MPG and MPI treatments also showed similar responses in terms of BW, muscle depth, backfat thickness, protein content, lipid content, bone mineral content and bone mineral density over the entire trial.

Interactions ( $P < 0.05$ ) between treatments and effects of feeding phases were observed for ADFI, ADG, G:F and lipid gain. These interactions resulted from the differences detected between the COM treatment and the other experimental treatments. The COM feeding program reduced ( $P < 0.05$ ) the overall ADFI by 10% and improved ( $P < 0.05$ ) by 5%

the overall G:F rate in relation to 3P treatment. Pigs fed COM diets also showed lower ( $P < 0.05$ ) final backfat thickness and final body lipid content when compared to MPG and MPI treatments. The COM treatment was used in this trial to be compared with the 3P feeding program, this later used in this study to represent commercial conditions even though the feeds were formulated in a similar fashion to the other two experimental treatments (MPG and MPI). Some differences were observed between the 3P and COM treatments, but this can be attributed to the ingredient and nutrient composition of COM diets. Corn inclusion was substantially higher in COM than in the other experimental feeds, whereas the other diets (composed of feeds A and B) had higher inclusion of wheat, barley and soybean oil. In addition to the differences in ingredient composition, 3P diets had 6% lower SID Lys:NE ratios than COM feeds. These formulation differences may explain, at least in part, the variation in ADFI and fat accretion (backfat thickness) observed in the current study, a finding that is consistent with other studies (McConnel et al., 1975; Szabó et al., 2001). Nonetheless, the COM and 3P treatments showed similar results for most of the variables, which suggests that the 3P program can serve as a good reference for commercial feeding.

### ***Intake and Balance of Nutrients***

Compared to the 3P treatment, the MPG feeding program reduced ( $P < 0.05$ ) the intake of CP by 10%, SID Lys by 17% and total P by 7% (Figure 2.4). Similarly, the MPI feeding program reduced ( $P < 0.05$ ) the intake of CP by 16%, SID Lys by 27% and total P by 12% relative to the 3P feeding program. Groups fed 3P, MPG and MPI diets did not differ in terms of NE intake. SID Lys intake was similar in both three-phase treatments (3P and COM) during the trial. The MPG and MPI groups did not differ in crude protein, total P and NE intake. However, the use of MPI diets reduced ( $P < 0.05$ ) the intake of SID Lys by 12% relative to the MPG group. Pigs in the 3P treatment ingested 156 g of SID Lys per kilogram of

retained protein. In comparison with the 3P feeding program, it was observed a 17% reduction ( $P < 0.05$ ) in the ratio between ingested SID Lys and retained protein for MPG pigs (129 g/kg) and a 24% reduction for MPI pigs (114 g/kg).

Since the pigs' nutritional requirements were satisfied, the four feeding programs evaluated in the current study did not affect the total amounts of nitrogen and P retained by the pigs during the trial (Figure 2.5). Our findings further support the results of previous research (Pomar et al., 2014a) which reported a 7% reduction in protein intake with no effect on protein retention when daily-phase feeding programs were used for growing-finishing pigs. Another study found that feeding pigs daily tailored diets produce a 25% reduction in nitrogen intake and a 29% reduction in P intake, with no effect on performance or protein retention (Pomar et al., 2010). In the present study, P excretion was reduced ( $P < 0.05$ ) by 15% in the MPG treatment and by 27% in the MPI treatment relative to the 3P group. Similarly, the use of daily-phase feeding programs allowed a reduction of 12% in the estimated ( $P < 0.05$ ) excretion of nitrogen in the MPG treatment and a reduction of 22% in the MPI treatment compared with the conventional 3P feeding program. The daily-phase groups differed ( $P < 0.05$ ) in terms of nitrogen excretion, with the excreted amount being 14% lower in MPI pigs compared to MPG pigs. The reduction in nutrient excretion obtained through precision feeding (MPI) is attributable to a combination of factors, such as the reduction in nutrient supply, the increased number of feeding phases, and the adjustment of nutrient level to individual pig requirements.

Reducing the dietary CP content is an effective way to reduce nitrogen excretion as long as pig performance and carcass composition are not adversely affected (Canh et al., 1998; Madrid et al., 2013). It has been suggested that for each percentage unit of dietary CP reduction, nitrogen excretion can be expected to decrease 10% (Le Bellego et al., 2002). In the present study, each percentage unit of dietary CP reduction led to a 6.6% decrease in

nitrogen excretion in MPG pigs and an 8.4% decrease in MPI pigs in comparison with 3P pigs. It should be noted that a greater reduction could be achieved if safety margins, which are commonly used in commercial conditions, had been included in the 3P feeding program.

The reduction in nutrient excretion observed in this study can be explained by both the reduction in CP intake and the change in feeding strategies. Since the appetite of growing pigs (i.e., in kg of feed/day) increases faster than their daily nutrient requirements (i.e., g/day), the optimal dietary concentration of nutrients (i.e., in g/kg of feed) progressively decreases during the growing period (NRC, 2012). Nutrient efficiency can be improved by adjusting the dietary concentration of nutrients to the estimated requirements of the herd. Thus, studies have consistently demonstrated the environmental benefits of increasing the number of feeding phases (Bourdon et al., 1995; Brossard et al., 2011; Pomar et al., 2014a).

Besides taking into account the variation in population nutrient requirements over time, it is important to consider the between-animal variability in these requirements within a given population. Although under commercial conditions the same diet is usually provided to all the pigs in the herd, nutritional requirements vary widely among animals even in groups standardized by age or sex. In light of this heterogeneity, the optimal reduction in nutrient excretion can be achieved by tailoring diets to individual nutritional requirements over time, as is the case in the MPI treatment tested in the present study. In this context, the use of precision feeding techniques is especially important, providing tools that allow animals to be managed as independent individuals in the group (Wathes et al., 2008).

### ***Organs and Carcass Composition***

The weights of the viscera and blood, the empty gastrointestinal tract, the liver with the empty biliary vesicle and the kidneys did not differ among the treatments (Table 2.3). In addition, the tested feeding programs did not have an effect on warm carcass weight, loin area



or on chilling, freezing and thawing losses. Primal cut weights (shoulder, ham, loin and belly) with or without skin and bones, along with the amounts of dissected muscle and fat in the cuts, were similar among the treatments. In a previous study, reducing the dietary CP concentration did not have an effect on the weight of the blood and organs in growing-finishing pigs (Le Bellego et al., 2002). Similarly, in earlier studies, carcass traits were not affected by the use of diets with low protein content (Le Bellego et al., 2002) or by multi-phase feeding programs (Bourdon et al., 1995).

### ***Economic Evaluation***

The mean cost of 3P feeds (after reformulation of feeds A and B with ingredients and prices representative of the industry) was \$330/ton. This value is similar to the price estimated by BPEX (2012) as representative of finisher diets in a Canadian scenario. The cost of the feed consumed during the entire growing period (feeding cost, \$/pig) was higher in the COM treatment than in the MPG group ( $P < 0.05$ ), whereas the feeding cost for the 3P pigs was intermediate between these two treatments (Table 2.2). Feeding pigs daily tailored diets (MPI) reduced ( $P < 0.05$ ) feeding costs by \$4.10/pig (i.e., -5%), \$6.90/pig (i.e., -8%) and \$8.70/pig (i.e., -10%) in relation to the MPG, 3P and COM treatments, respectively. When the cost of the feed consumed per kg of BW gain (¢ /kg of BW gain) is compared, it can be seen that the MPI treatment also reduced ( $P < 0.05$ ) feeding cost by 8% and 13% relative to the 3P and COM treatments, respectively, whereas the MPG group showed an intermediate value similar to that for the 3P group.

The effect of increasing the number of dietary phases on feeding costs is well documented in the literature (Pomar et al., 2014b). According to previous research, switching from two-phase feeding to daily-phase feeding program may increase the financial return on investment for finishing pig farms by up to 3% (Niemi et al., 2010). Individual tailored and

daily-phase feeding programs can result in a 10% reduction in feeding costs relative to conventional programs (Pomar et al., 2010), a finding that supports the economic benefit found in the present study. Feeding pigs just two feeds may also be a promising option for commercial pig production systems, because only two feeds have to be prepared, transported and stored (Pomar et al., 2009).

The economic impact of switching from one feeding system to another may vary over time depending on the cost of feed ingredients (Brossard et al., 2011). Precision feeding permits a reduction in the excess use of the most costly nutrients/ingredients in most situations. In comparison with the 3P feeding program, the daily-phase feeding systems used a higher proportion of corn and wheat and a lower proportion of soybean meal and dicalcium phosphate, which are among the most expensive ingredients used in the present study.

In conclusion, the method used to estimate real-time daily Lys requirements, that is, tracking the pigs' feed intake and growth patterns, seems appropriate and allowed a significant increase in nutrient efficiency throughout the entire growing-finishing period. The results of this study clearly indicate that precision feeding is an effective approach for reducing nutrient excretion and decreasing feeding costs of pig production systems. However, one of the most significant implications of the proposed precision feeding system (MPI treatment) is that it represents a paradigm shift in pig feeding, since it takes into account between-animal differences in nutrient requirements within a population and their dynamic evolution over time.

## REFERENCES

- AAFC. 1993. Recommended code of practice for the care and handling of farm animals: Pigs. Agriculture and Agri-Food Canada Publication, Ottawa, ON, Canada.
- AOAC. 1990. Official methods of analysis. 15th ed. Assoc. Off. Anal. Chem., Arlington, VA.

- Bertolo, R. F., S. Moehn, P. B. Pencharz, and R. O. Ball. 2005. Estimate of the variability of the lysine requirement of growing pigs using the indicator amino acid oxidation technique. *J. Anim. Sci.* 83: 2535–2542.
- Bourdon, D., J.-Y. Dourmad, and Y. Henry. 1995. Réduction des rejets azotés chez le porc en croissance par la mise en oeuvre de l'alimentation multiphase, associée à l'abaissement du taux azoté. In: *Proc. 27th Journées de la Recherche Porcine*, Paris, France. p. 269–278.
- BPEX. 2012. Pig cost of production in selected countries. Agriculture and Horticulture Development Board, Kenilworth, Warwickshire, England.
- Brossard, L., J.-Y. Dourmad, J. Rivest, and J. van Milgen. 2009. Modelling the variation in performance of a population of growing pig as affected by lysine supply and feeding strategy. *Animal* 3: 1114–1123.
- Brossard, L., N. Quiniou, J.-Y. Dourmad, and J. van Milgen. 2012. Prise en compte de la variabilité individuelle dans la modélisation de la réponse des porcs en croissance aux apports alimentaires. *Inra Prod. Anim.* 25: 17–28.
- Brossard, L., N. Quiniou, J. Y. Dourmad, and J. van Milgen. 2011. A herd modelling approach to determine the economically and environmentally most interesting dietary amino acid level during the fattening period. In: D. Sauvant, J. Milgen, P. Faverdin, and N. Friggens, editors, *Modelling nutrient digestion and utilisation in farm animals*. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands. p 335–346.
- Canh, T. T., A. J. A. Aamink, J. B. Schutte, A. Sutton, D. J. Langhout, M. W. A., Verstegen. 1998. Dietary protein affects nitrogen excretion and ammonia emission from slurry of growing–finishing pigs. *Livest. Prod. Sci.* 56: 181–191.
- CCAC. 2009. Guidelines on: the care and use of farm animals in research, teaching and testing. Canadian Council on Animal Care, Ottawa, ON, Canada.

- Ferket, P. R., E. van Heugten, T. A. T. G. van Kempen, and R. Angel. 2002. Nutritional strategies to reduce environmental emissions from nonruminants. *J. Anim. Sci.* 80: E168–E182.
- Fuller, M. F., R. McWilliam, T. C. Wang, and L. R. Giles. 1989. The optimum dietary amino acid pattern for growing pigs. 2. Requirements for maintenance and for tissue protein accretion. *Br. J. Nutr.* 62: 255–267.
- Hauschild, L., P. A. Lovatto, J. Pomar, and C. Pomar. 2012. Development of sustainable precision farming systems for swine: estimating real-time individual amino acid requirements in growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 90: 2255–2263.
- Hauschild, L., C. Pomar, and P. A. Lovatto. 2010. Systematic comparison of the empirical and factorial methods used to estimate the nutrient requirements of growing pigs. *Animal* 4: 714–723.
- Kerr, B. J., J. T. Yen, J. A. Nienaber, and R. A. Easter. 2003. Influences of dietary protein level, amino acid supplementation and environmental temperature on performance, body composition, organ weights and total heat production of growing pigs. *J. Anim. Sci.* 81: 1998–2007.
- Le Bellego, L., J. van Milgen, and J. Noblet. 2002. Effect of high temperature and low-protein diets on the performance of growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 80: 691–701.
- Madrid, J., S. Martínez, C. López, J. Orengo, M. J. López, and F. Hernández. 2013. Effects of low protein diets on growth performance, carcass traits and ammonia emission of barrows and gilts. *Anim. Prod. Sci.* 53: 146–153.
- Mahan, D. C., and R. G. Shields. 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.

- McConnel, J. C., G. C. Skelley, D. L. Handlin, and W. E. Johnston. 1975. Corn, wheat, milo and barley with soybean meal or roasted soybeans and their effect on feedlot performance, carcass traits and pork acceptability. *J. Anim. Sci.* 41: 1021–1030.
- Möhn, S., A. M. Gillis, P. J. Moughan, and C. F. de Lange. 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.
- Niemi, J. K., M.-L. Sevón-Aimonen, K. Pietola, and K. J. Stalder. 2010. The value of precision feeding technologies for grow-finish swine. *Livest. Sci.* 129: 13–23.
- NRC. 2012. Nutrient requirements of swine. 11th ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC.
- Pomar, C., L. Hauschild, G.H. Zhang, J. Pomar, and P. A. Lovatto. 2009. Applying precision feeding techniques in growing-finishing pig operations. *R. Bras. Zootec.* 38: 226–237.
- Pomar, C., L. Hauschild, G. H. Zhang, J. Pomar, and P. A. Lovatto. 2010. Precision feeding can significantly reduce feeding cost and nutrient excretion in growing animals. In: D. Sauvant, J. Milgen, P. Faverdin, and N. Friggens, editors, *Modelling nutrient digestion and utilisation in farm animals*. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands. p. 327–334.
- Pomar, C., I. Kyriazakis, G. C. Emmans, and P. W. Knap. 2003. Modeling stochasticity: Dealing with populations rather than individual pigs. *J. Anim. Sci.* 81: E178–E186.
- Pomar, C., J. Pomar, F. Dubeau, E. Joannopoulos, and J.-P. Dussault. 2014a. The impact of daily multiphase feeding on animal performance, body composition, nitrogen and phosphorous excretions, and feed costs in growing-finishing pigs. *Animal in press*.
- Pomar, C., J. Pomar, J. Rivest, L. Cloutier, M.-P. Letourneau-Montminy, I. Andretta, and L. Hauschild. 2014b. Estimating real-time individual amino acid requirements in growing-finishing pigs: towards a new definition of nutrient requirements in growing-finishing

- pigs? In: N. K. Sakomura, R. M. Gous, I. Kyriazakis, and L. Hauschild, editors, *Nutritional modelling in pigs and poultry*. CABI, Wallingford, Oxon, England.
- Pomar, C., and J. Rivest. 1996. The effect of body position and data analysis on the estimation of body composition of pigs by dual energy x-ray absorptiometry (DEXA). In: *Proc. 46th Annual Conference of the Canadian Society of Animal Science*, Lethbridge, Alberta, Canada. p. 26.
- Pomar, J., V. López, and C. Pomar. 2011. Agent-based simulation framework for virtual prototyping of advanced livestock precision feeding systems. *Comput. Electron. Agric.* 78: 88–97.
- Szabó, C., A. J. Jansman, L. Babinszky, E. Kanis, and M. W. Verstegen. 2001. Effect of dietary protein source and lysine:DE ratio on growth performance, meat quality, and body composition of growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 79: 2857–2865.
- Vautier, B., N. Quiniou, J. van Milgen, and L. Brossard. 2013. Accounting for variability among individual pigs in deterministic growth models. *Animal* 7: 1265–1273.
- Warriss, P. D., and S. N. Brown. 1983. The influence of preslaughter fasting on carcass and liver yield in pigs. *Livest. Prod. Sci.* 10: 273–282.
- Wathes, C. M., H. H. Kristensen, J. M. Aerts, and D. Berckmans. 2008. Is precision livestock farming an engineer's daydream or nightmare, an animal's friend or foe, and a farmer's panacea or pitfall? *Comput. Electron. Agric.* 64: 2–10.

**Table 2.1.** Ingredient and chemical composition of the experimental feeds

	Experimental feeds		Commercial feeds		
	A High density	B Low density	Phase 1 (1 to 28 d)	Phase 2 (29 to 56 d)	Phase 3 (57 to 84 d)
<b>Ingredient (as-fed basis), %</b>					
Wheat	18.2	51.0	0.50	10.0	15.0
Corn	40.1	30.1	66.6	68.0	68.3
Barley	8.85	16.2	-	-	-
Wheat middlings	5.50	-	-	-	-
Soybean meal	17.2	-	24.8	18.9	14.1
Gluten meal (60%)	4.50	-	-	-	-
Soybean oil	1.50	-	-	-	-
Limestone	1.72	1.34	1.69	1.43	1.26
Dicalcium phosphate (21%)	0.34	-	0.42	0.17	-
Salt	0.60	0.57	0.38	0.38	0.39
DL-Met	0.16	-	0.10	0.09	0.03
L-Lys HCL	0.52	0.20	0.33	0.34	0.28
L-Thr	0.19	-	0.10	0.11	0.07
L-Trp	0.05	-	-	-	-
Phytase (5000 U/g)	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Choline (51.7%)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Vitamin and mineral premix <sup>1</sup>	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
<b>Chemical composition</b>					
Dry matter, %	90.9	89.0	88.4	91.4	90.1
Crude protein, %	18.1	11.2	16.3	13.2	11.8
Total Lys, %	1.19	0.50	1.16	1.02	0.86
SID <sup>2</sup> Lys (calculated), %	1.06	0.40	1.02	0.89	0.74
NE (calculated), Mcal/kg	2.33	2.49	2.45	2.50	2.53
Ca, %	0.81	0.56	0.82	0.67	0.56
Total P, %	0.46	0.31	0.43	0.37	0.32
Digestible P (calculated), %	0.19	0.08	0.19	0.13	0.09
Crude fiber (calculated), %	2.87	2.77	2.53	2.47	2.43
Ash, %	5.36	3.57	4.88	3.68	3.31

<sup>1</sup> Premix should provide per kilogram at least the following nutrients: vitamin A, 2280000 IU; vitamin D, 228000 IU, vitamin E, 7000 IU, vitamin K, 400 mg, vitamin B12, 6 mg; niacin, 4000 mg; pantothenic acid, 3 g; pyridoxine, 0.4 g; riboflavin, 0.6 mg; thiamine, 0.4 g; cooper, 24.4 g; iodine, 60 mg; iron, 20 g, manganese, 12.6 g, selenium, 60 mg; zinc, 30.4 g.

<sup>2</sup> Standardized ileal digestible.

**Table 2.2.** Performance and body composition of pigs fed in three-phase (3P), commercial (COM), daily-phase-group (MPG) and daily-phase-individual (MPI) feeding programs

Variable	Feeding program <sup>1</sup>				SEM	P value <sup>2</sup>
	3P	COM	MPG	MPI		
<b>Initial conditions</b>						
BW, kg	40.1	40.9	41.6	42.7	0.49	0.75
Backfat thickness, mm	6.15	5.57	5.95	5.48	0.18	0.90
Loin muscle depth, mm	37.9	37.9	36.3	36.2	0.57	0.79
Body protein content, kg	6.69	6.87	6.97	7.20	0.10	0.15
Body lipid content, kg	4.85	4.83	5.05	5.11	0.59	0.99
Bone mineral content, kg	0.68	0.69	0.72	0.73	0.01	0.29
Bone mineral density, g/cm <sup>2</sup>	0.77	0.77	0.78	0.78	0.01	0.80
<b>Phase 1 (1 to 28 d) – Means and final condition</b>						
ADFI, kg/day	2.42 <sup>ab</sup>	2.33 <sup>a</sup>	2.64 <sup>b</sup>	2.61 <sup>b</sup>	0.04	0.02
ADG, kg/day	1.13	1.11	1.13	1.13	0.01	0.97
G:F, kg/kg	0.47 <sup>ab</sup>	0.48 <sup>a</sup>	0.43 <sup>c</sup>	0.44 <sup>bc</sup>	0.01	<0.01
Avg daily protein gain, g/day	202	201	195	191	0.21	0.49
Avg daily lipid gain, g/day	180 <sup>bc</sup>	165 <sup>c</sup>	217 <sup>ab</sup>	231 <sup>a</sup>	0.49	0.03
BW, kg	71.9	72.2	73.4	74.6	0.72	0.68
Backfat thickness, mm	9.8	9.88	10.5	10.2	0.19	0.89
Loin muscle depth, mm	48.7	49.2	51.4	47.8	0.89	0.47
Body protein content, kg	12.4	12.5	12.4	12.5	0.13	0.99
Body lipid content, kg	9.97	9.54	11.2	11.7	0.29	0.28
Bone mineral content, kg	1.21	1.20	1.25	1.30	0.02	0.21
Bone mineral density, g/cm <sup>2</sup>	0.95	0.94	0.97	0.98	0.01	0.19
<b>Phase 2 (29 to 56 d) – Means and final condition</b>						
ADFI, kg/day	3.32 <sup>b</sup>	2.95 <sup>a</sup>	3.25 <sup>b</sup>	3.11 <sup>ab</sup>	0.04	<0.01
ADG, kg/day	1.17 <sup>ab</sup>	1.06 <sup>c</sup>	1.19 <sup>a</sup>	1.10 <sup>bc</sup>	0.02	0.02
G:F, kg/kg	0.35	0.36	0.37	0.36	0.01	0.81
Avg daily protein gain, g/day	161	149	154	145	0.32	0.19
Avg daily lipid gain, g/day	401	355	423	397	0.14	0.06
BW, kg	105	102	107	105	0.90	0.28
Backfat thickness, mm	17.4	15.4	17.4	17.1	0.42	0.12
Loin muscle depth, mm	63.6	62.6	64.9	60.8	0.81	0.33
Body protein content, kg	16.9	16.7	16.9	16.6	0.14	0.94
Body lipid content, kg	21.3 <sup>ab</sup>	19.5 <sup>b</sup>	23.1 <sup>a</sup>	22.9 <sup>a</sup>	0.52	0.01
Bone mineral content, kg	1.94	1.86	2.02	2.03	0.03	0.17
Bone mineral density, g/cm <sup>2</sup>	1.15	1.13	1.14	1.15	0.01	0.65
<b>Phase 3 (57 to 84 d) – Means and final condition</b>						
ADFI, kg/day	3.43 <sup>b</sup>	2.92 <sup>a</sup>	3.33 <sup>b</sup>	3.44 <sup>b</sup>	0.05	<0.01
ADG, kg/day	1.04	1.03	1.00	1.09	0.02	0.35
G:F, kg/kg	0.30 <sup>b</sup>	0.35 <sup>a</sup>	0.30 <sup>b</sup>	0.32 <sup>b</sup>	0.01	<0.01
Avg daily protein gain, g/day	121	115	111	125	0.35	0.40
Avg daily lipid gain, g/day	447	457	459	478	0.94	0.68
BW, kg	134	131	135	136	1.12	0.24
Backfat thickness, mm	19.1 <sup>a</sup>	16.8 <sup>b</sup>	19.5 <sup>a</sup>	19.1 <sup>a</sup>	0.50	0.03
Loin muscle depth, mm	70.1	70.2	71.5	70.2	0.74	0.91
Body protein content, kg	20.2	19.9	19.9	20.1	0.20	0.94
Body lipid content, kg	33.9 <sup>ab</sup>	32.4 <sup>b</sup>	36.0 <sup>a</sup>	36.4 <sup>a</sup>	0.70	<0.01
Bone mineral content, kg	2.60	2.59	2.70	2.81	0.03	0.19
Bone mineral density, g/cm <sup>2</sup>	1.24	1.23	1.25	1.27	0.01	0.19
<b>Global performance (1 to 84 d)</b>						
ADFI, kg/day	3.05 <sup>b</sup>	2.73 <sup>a</sup>	3.07 <sup>b</sup>	3.05 <sup>b</sup>	0.04	<0.01
ADG, kg/day	1.11	1.07	1.11	1.10	0.01	0.58
G:F, kg/kg	0.38 <sup>b</sup>	0.40 <sup>a</sup>	0.37 <sup>b</sup>	0.37 <sup>b</sup>	0.01	0.01
Avg daily protein gain, g/day	161	155	155	154	0.23	0.65
Avg daily lipid gain, g/day	343	326	366	369	0.91	0.16
Feeding cost, \$/pig	85.5 <sup>ab</sup>	87.3 <sup>a</sup>	82.7 <sup>b</sup>	78.6 <sup>c</sup>	0.94	<0.01
Feeding cost, ¢/kg of weight gain	92.4 <sup>ab</sup>	97.7 <sup>a</sup>	89.8 <sup>bc</sup>	85.3 <sup>c</sup>	0.01	<0.01

<sup>1</sup> Within a row, means without a common superscript differ ( $P < 0.05$ ) according to Tukey's test. Data are means of 15 pigs per treatment, except in treatment MPI in which the means represent 14 pigs.

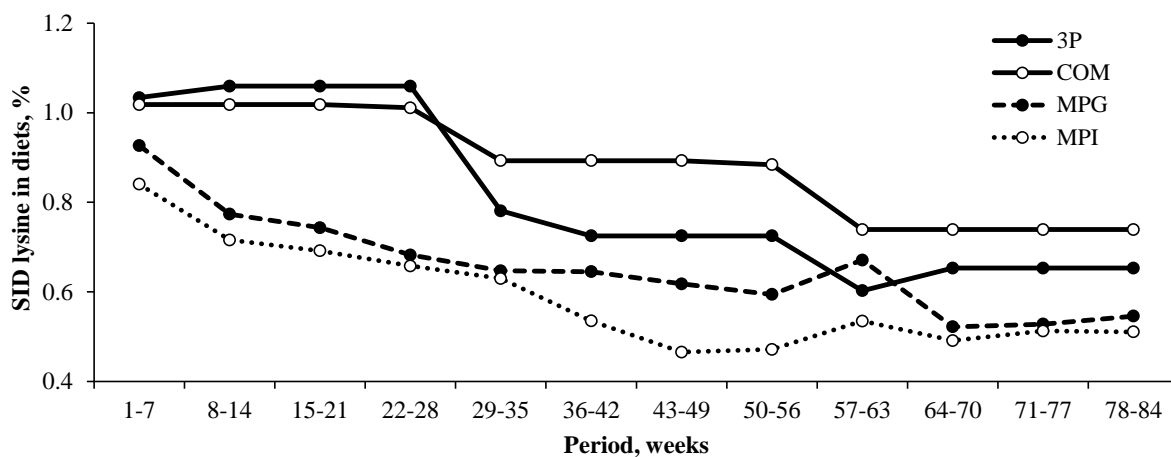
<sup>2</sup> Feeding phase effect was significant (at  $P < 0.01$ ) for all the variables. Interaction treatment\*feeding phase effect was significant (T\*P) for ADFI ( $P < 0.01$ ), ADG ( $P = 0.02$ ), G:F ( $P < 0.01$ ) and daily fat gain ( $P = 0.01$ ).



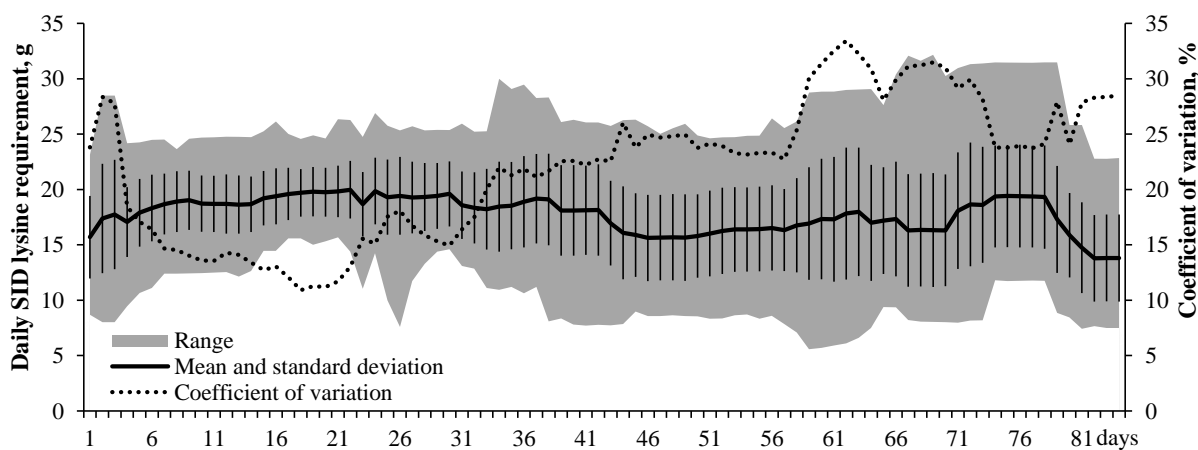
**Table 2.3.** Viscera weights, carcass traits and cutting yields for pigs fed in three-phase (3P), commercial (COM), daily-phase-group (MPG) and daily-phase-individual (MPI) feeding programs

Variable	Feeding program <sup>1</sup>				SEM	P value
	3P	COM	MPG	MPI		
<b>Organ weights</b>						
Viscera + blood, kg	16.3	15.7	16.1	16.5	0.18	0.36
Gastrointestinal tract, kg	4.05	3.99	4.00	4.14	0.07	0.83
Liver + biliary vesicle, kg	1.54	1.54	1.55	1.56	0.02	0.98
Kidneys, kg	0.34	0.35	0.35	0.34	0.01	0.91
<b>Carcass</b>						
Warm left carcass weight, kg	50.5	49.4	51.1	51.7	0.53	0.32
Loin area, cm <sup>2</sup>	57.4	55.1	54.3	55.5	0.50	0.67
Chilling losses, %	2.39	2.42	2.47	2.42	0.02	0.31
Freezing losses, %	0.68	0.65	0.63	0.63	0.05	0.97
Thawing losses, %	0.64	0.81	0.71	0.78	0.05	0.59
Muscle weight, kg	24.7	24.4	24.1	24.6	0.57	0.84
Fat weight, kg	15.4	14.3	16.0	15.9	0.49	0.23
<b>Shoulder</b>						
Weight, kg	12.4	12.0	12.3	12.4	0.31	0.49
Skinless and boneless weight, kg	10.5	10.1	10.4	10.5	0.32	0.46
Muscle weight, kg	6.56	6.45	6.41	6.75	0.19	0.78
Fat weight, kg	3.88	3.57	3.88	3.65	0.16	0.74
<b>Ham</b>						
Weight, kg	12.0	11.7	11.8	12.2	0.32	0.48
Skinless and boneless weight, kg	10.6	10.3	10.3	10.7	0.31	0.35
Muscle weight, kg	7.48	7.37	7.21	7.47	0.19	0.58
Fat weight, kg	3.02	2.84	3.05	3.15	0.09	0.25
<b>Loin</b>						
Weight, kg	14.1	13.5	14.0	14.3	0.41	0.38
Skinless and boneless weight, kg	12.2	11.6	12.1	12.3	0.27	0.39
Muscle weight, kg	7.19	7.12	7.03	7.06	0.18	0.90
Fat weight, kg	4.89	4.39	4.98	5.18	0.20	0.20
<b>Belly</b>						
Weight, kg	8.07	7.92	8.48	8.24	0.23	0.26
Skinless and boneless weight, kg	7.17	7.03	7.52	7.32	0.19	0.32
Muscle weight, kg	3.48	3.48	3.43	3.36	0.09	0.82
Fat weight, kg	3.65	3.51	4.05	3.91	0.13	0.11

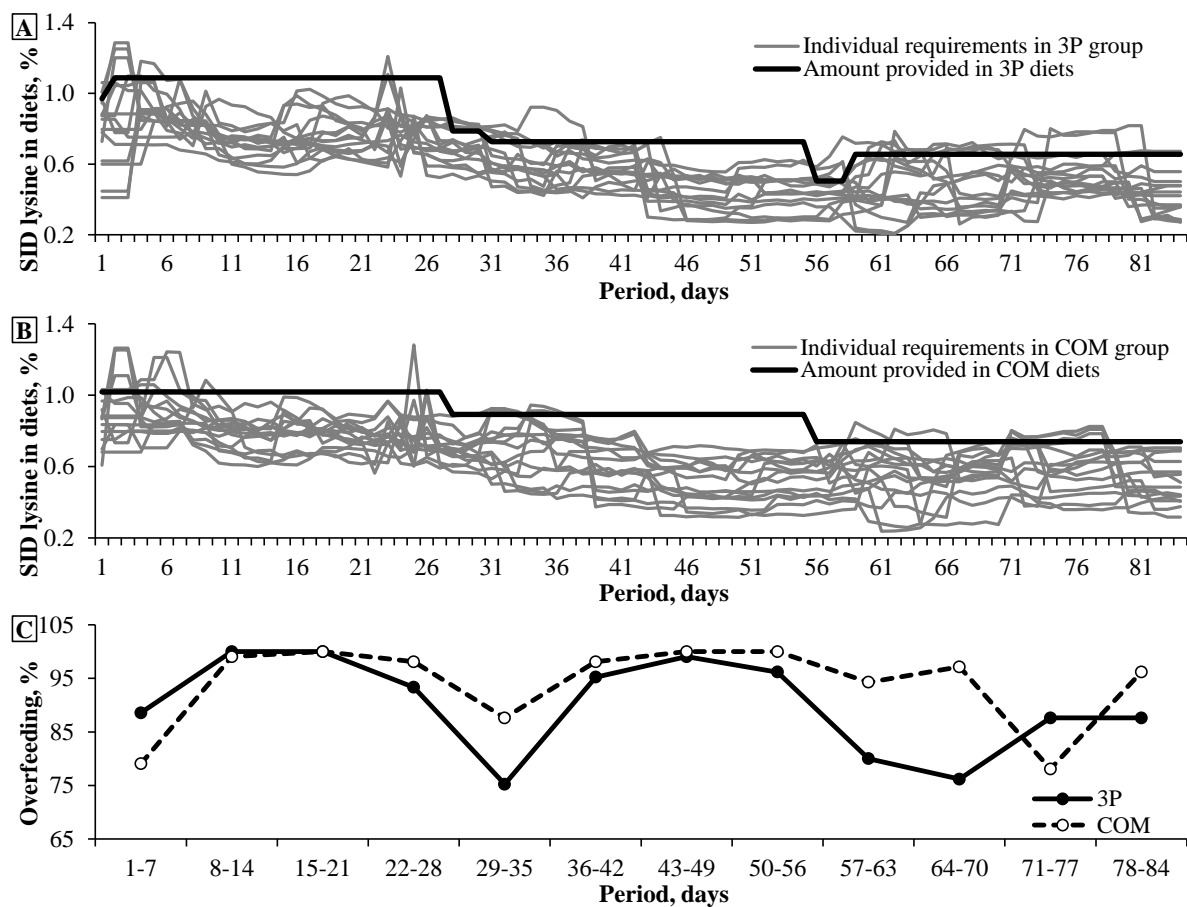
<sup>1</sup> Within a row, means without a common superscript differ ( $P < 0.05$ ) according to Tukey's test. Data are means of 15 pigs per treatment, except in treatment MPI in which the means represent 14 pigs.



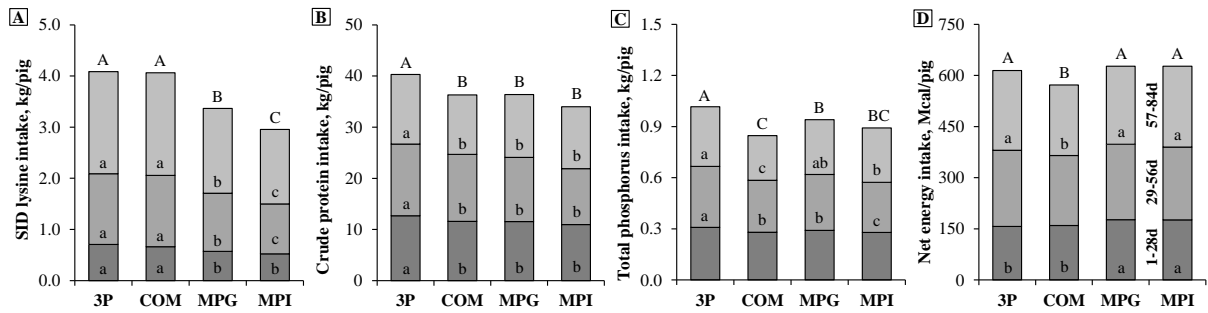
**Figure 2.1.** Weekly means of standardized ileal digestible (SID) lysine content in diets for pigs fed in three-phase (3P), commercial (COM), daily-phase-group (MPG) and daily-phase-individual (MPI) feeding programs



**Figure 2.2.** Standardized ileal digestible (SID) lysine requirements estimated for each pig in the trial and measures of dispersion

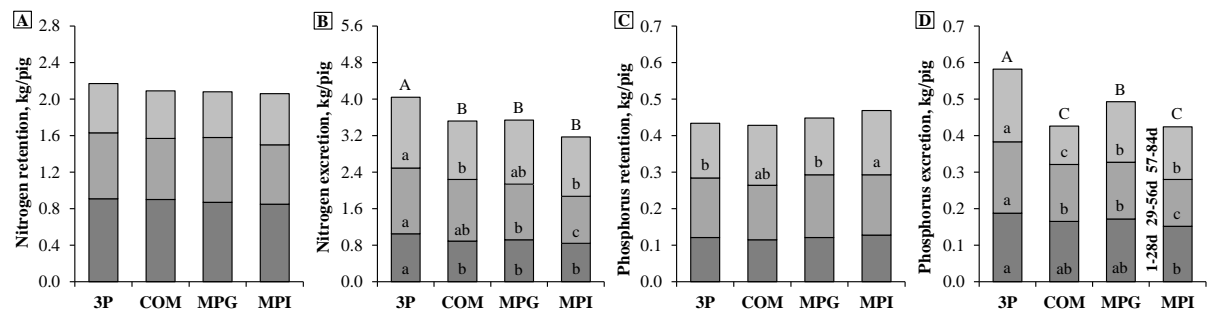


**Figure 2.3.** Ratio between estimated requirements and standardized ileal digestible (SID) lysine content of diets (sections A and B) and the resulting proportion of overfed animals (section C) in three-phase (3P) and commercial (COM) feeding programs



**Figure 2.4.** Total intake<sup>1</sup> of standardized ileal digestible (SID) lysine (section A), CP (B), total P (C) and NE (D) of pigs fed in three-phase (3P), commercial (COM), daily-phase-group (MPG) and daily-phase-individual (MPI) feeding programs

<sup>1</sup> Data presented for each feeding phase: ■ phase 1 (from 1 to 28 d), ■ phase 2 (29 to 56 d) and ■ phase 3 (57 to 84 d). Within a row, means without a common superscript (lower letters compare treatments within feeding phases and capital letters compare global values) differ ( $P < 0.05$ ) according to Tukey's test. Data are means of 15 pigs per treatment, except treatment MPI in which the means represent 14 pigs. Standard error of the mean (SEM) and probabilities of treatment effect per variable: SID Lys intake, SEM = 0.01,  $P < 0.01$ ; CP intake, SEM = 0.16,  $P < 0.01$ ; Total P intake, SEM = 0.01,  $P < 0.01$ ; NE intake, SEM = 2.24,  $P < 0.03$ . Feeding phase and interaction treatment\*feeding phase effects were significant (at  $P < 0.01$ ) for all the variables.



**Figure 2.5.** Nitrogen (sections A and B) and P (sections C and D) retention and excretion of pigs fed in three-phase (3P), commercial (COM), daily-phase-group (MPG) and daily-phase-individual (MPI) feeding programs<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Data presented for each feeding phase: ■ phase 1 (from 1 to 28 d), ■ phase 2 (29 to 56 d) and ■ phase 3 (57 to 84 d). Within a row, means without a common superscript (lowercase letters compare treatments within feeding phases and capital letters compare global values) differ ( $P < 0.05$ ) according to Tukey's test. Data are means of 15 pigs per treatment, except treatment MPI in which the means represent 14 pigs. Standard error of the mean (SEM) and probabilities of treatment effect per variable: Nitrogen retention, SEM = 0.02,  $P = 0.64$ ; Nitrogen excretion, SEM = 0.07,  $P < 0.01$ ; P retention, SEM = 0.06,  $P < 0.14$ ; P excretion, SEM = 0.12,  $P < 0.01$ . Feeding phase effect was significant (at  $P < 0.01$ ) for all the variables. Interaction treatment\*feeding phase effect was significant (at  $P < 0.05$ ) for nitrogen excretion, P retention and P excretion.

## **CAPÍTULO 3**

Este capítulo é apresentado de acordo com as normas para publicação na Revista **Animal** (artigo será submetido em março de 2014).

### **Precision feeding can reduce lysine intake by 26% and nitrogen excretion by 30% without compromising the performance of growing pigs**

#### **Abstract**

This study was developed to assess the impact of switching from conventional to precision feeding program on performance, nutrient balance, serum parameters and feeding cost of growing-finishing pigs. Seventy pigs ( $30.4 \pm 2.2$  kg BW) were used in a performance trial (84 days) evaluating: a three-phase group feeding program (3P) obtained by fixed blending proportions of feed A (high nutrient density) and B (low nutrient density); and multi-phase feeding programs in which blending proportions of feeds A and B were updated daily to meet 110%, 100%, 90% or 80% of the nutritional requirements estimated considering each pig individually. Feed intake was recorded automatically through a computerized device in the feeders and pigs were weighed weekly during the project. Body composition traits were estimated through ultrasound device and densitometer scanning each 28 days. Nitrogen and phosphorus excretions were estimated as the ratio between retention and intake. Feeding costs were assessed using 2013 ingredient cost data. Feed intake, feed efficiency, backfat thickness, body fat mass and serum contents of total protein and phosphorus were similar among treatments. Feeding pigs in a daily basis program considering 110%, 100% or 90% of the estimated individual lysine requirements also

did not influence BW, body protein mass, weight gain and nitrogen retention compared to animals in the 3P feeding program. However, feeding pigs individually with tailored diets to match 100% of nutrient requirements allowed reducing ( $P < 0.05$ ) the digestible lysine intake by 26%, the estimated nitrogen excretion by 30%, and feeding costs by \$7.6 per pig (-10%) relative to control 3P treatment. Precision feeding is an effective approach to improve the sustainability of pig production without compromising growth performance.

**Keywords:** nutrition, nutrient requirements, precision farming, protein, swine

### **Implications**

A method to estimate real-time daily lysine requirements by tracking the pigs' feed intake and growth patterns was proposed recently and the impact of using this model in a sustainable precision feeding program was validated in the present study. Current results clearly indicate that precision feeding is an effective approach for reducing nutrient excretion and decreasing feeding costs of pig production systems. Feeding pigs individually tailored diets considering 100% of estimated requirements can reduce lysine intake by 26% and nitrogen excretion by 30% without compromising the performance of growing pigs. The proposed precision feeding system represents a paradigm shift in pig production, since it takes into account between-animal differences in nutrient requirements within a population and their dynamic evolution over time.

### **Introduction**

Conventional feeding programs are designed to maximize animal performance by providing a single feed to all the pigs of the herd during a certain period of time.

However, the pigs' nutritional requirements change dynamically during the growing period and also vary greatly among individuals even in age- and sex-homogeneous populations (Pomar *et al.*, 2003, Brossard *et al.*, 2009). By disregarding these variability issues, the conventional group phase-feeding programs lead to inaccurate nutrient supply, usually with diets over-formulated in comparison to the real demands.

Multi-phase feeding techniques allow a smooth adjustment of feed composition over time to better match the continuously changing nutrient requirements (Niemi *et al.*, 2010). The economic and environmental advantages of this method have been demonstrated previously (Bourdon *et al.*, 1995, Pomar *et al.*, 2014). In addition to this adjustment, it is important to go further taking into account the variability among individuals within a given population. Precision feeding arises in this context as a tool that aims to improve the sustainability of pig production chain by providing feed with the exact nutrient composition at the right time to each animal of the group (Wathes *et al.*, 2008, Pomar *et al.*, 2010).

Preliminary results are very promising (Pomar *et al.*, 2010, Andretta *et al.*, 2014, Pomar *et al.*, 2014), but precision feeding is a new concept and just few trials have been conducted to assess the use of this approach. The current study was performed, therefore, to evaluate the impact of switching from conventional feeding system to precision feeding program on pig performance, nutrient balance, serum parameters and feeding cost during growing-finishing phase.

## **Material and methods**

### *Animals, housing and management*

Seventy pigs (35 females and 35 barrows) of the same high-performance genotype (Fertilis 25 × G-Performer 8.0, Genetiporc inc., Saint-Bernard, Quebec,

Canada) with good health status were shipped in a single batch to the Agriculture and Agri-Food Canada research center in Sherbrooke, Quebec, Canada. The pigs had free access to feed and fresh water throughout the experiment and were cared for in accordance to a recommended code of practice (AAFC, 1993) and the guidelines of the Canadian Council on Animal Care (CCAC, 2009).

The pigs were fed a commercial starter diet during the two pre-experimental weeks, after which, the animals ( $30.4 \pm 2.2$  kg BW) were randomly assigned to the experimental treatments. Pigs were housed in a 48 m<sup>2</sup> pen with fully slatted floor in a mechanically ventilated room. The pen area allowance was adjusted progressively during the project to meet the space requirements for finishing pigs. The room temperature was progressively decreased from 22°C at the piglets' arrival until 18°C when the pigs reached around 100 kg BW, thus ensuring thermo neutral conditions. Water was provided with low pressure nipple drinkers and feed was provided individually with automatic and intelligent precision feeders (**AIPF**) especially designed for the trial. The functioning of these feeders was previously described by Pomar *et al.* (2011). The AIPF identifies each pig and, afterwards, it blends and delivers feeds upon the animal request according to the estimated optimal lysine concentration and assigned experimental treatment. Pigs tend to leave the feeder hopper empty or leave very small amounts of feed behind at each visit. Feeders were designed to provide each pig with the required feed blend and this feature allowed all animals of the trial to be housed in the same pen. Scales placed in front of the AIPF allowed to measure frontal leg weight of each pig at each feeder visit. Weekly weights obtained with conventional whole body scales were used to convert frontal leg weight to BW.



### *Diets and feeding*

Two experimental feeds (named A and B) were independently formulated on the basis of net energy and standardized ileal digestible (**SID**) amino acids using the same ingredient composition database, without growth promoters or any other additives (Table 3.1). Experimental feeds were provided in steam-pelleted form and differed in nutrient concentration, with feed A being formulated with a high nutrient density (to satisfy the estimated requirements of the most demanding pig at the beginning of the trial), and feed B formulated with a low nutrient density (to meet the estimated requirements of the least demanding pig at the end of the trial). The right final feed composition was obtained by blending the two feeds in such a way to satisfy animal lysine demands. Requirements of other amino acids were assumed to be proportional to lysine requirement, according to the profiles proposed by NRC (2012). The ratio between calcium and digestible phosphorus was 2.9:1 in both feeds, as suggested by Jongbloed et al. (1999).

The performance trial consisted of three feeding phases of 28 days each. Five feeding programs (treatments) were tested in this study. The control treatment (**3P**) consisted of a three-phase feeding program providing to all pigs of this group a fixed blend of feeds A and B within each period. Each blend was determined during the three first days of the phase to satisfy the requirements of the 80th percentile pig of the population, thus to maximize population BW gain (Hauschild et al., 2010).

Pigs assigned to the different multi-phase treatments were fed a blend of feeds A and B which was adjusted daily to match 110% (**MP110**), 100% (**MP100**), 90% (**MP90**) or 80% (**MP80**) of the estimated nutrient requirements of each individual pig. The required daily concentration of lysine was estimated with a mathematical model using individual daily feed intake and BW information (Hauschild et al., 2012). From

this data, the empirical component of the model estimated the expected BW, feed intake and daily gain for the next day, whereas the mechanistic component used these three estimates to calculate with a factorial method the optimal concentration of amino acids that should be offered that day to each pig in the herd to meet requirements. In this mechanistic model compartment, daily lysine requirements are calculated by assuming that maintenance requirements are  $0.036 \text{ g} \times \text{BW}^{0.75}$  (Fuller et al., 1989), that 7% of the body protein is lysine (Mahan and Shields, 1998) and that the retention efficiency from dietary digestible lysine is 72% (Möhn et al., 2000). Weight gain composition in terms of protein was estimated based on the feed conversion ratio. During the first phase of the trial, the BW information used in the model were measured weekly using conventional scales. The BW data from the scales coupled to the feeders were validated (compared to conventional weightings) during this first phase and used in the model to estimate the lysine requirements during the second and the third phases of the trial.

#### *Performance and body composition*

Pigs were weighed individually in conventional scales at arrival, twice during the pre-experimental phase to calibrate the model, and weekly during the trial. At the beginning of each feeding phase (on days 0, 28 and 56) and at the end of the performance trial (on day 84), backfat thickness and loin muscle depth were measured using a B mode ultrasound device (Ultrascan 50, Alliance Médicale Inc., Montreal, Canada; transducer of 120 mm, 3.5 MHz) between the third- and fourth-last ribs at 5 cm from the midline. Total body fat, lean, bone mineral content and bone mineral density were measured by dual-energy X-ray absorptiometry (**DXA**) on days 0, 28, 56 and 84 with a densitometry device (GE Lunar Prodigy Advance, Madison,

WI, USA). Pigs were scanned in prone position using the total body scanning mode (Lunar enCORE, version 8.10.027). Anesthesia was induced with sevoflurane (5%) and maintained with isoflurane (4%) during the scans. The DXA body lean and fat mass values were converted to their protein and lipid chemical equivalents, as proposed by Pomar and Rivest (1996). Body phosphorus was determined by estimating that this element constitutes 25% of DXA bone mineral content (unpublished data). Nitrogen and phosphorus excretion values were obtained by subtracting the respective nutrient retention from the nutrient intake values. Nutrient efficiencies were calculated by dividing the gain of protein or lysine (estimated considering that 7% of the body protein is lysine) by the crude protein or SID lysine intake.

#### *Blood sampling*

Blood samples (around 20 mL per pig) were collected on days 0, 28, 56 and 84 via anterior vena cava puncture in heparinized tubes and stored in ice. After the collection procedure, plasma were separated by centrifugation (15 minutes, 4°C, 2990 rotations per minute using Accuspin 1R centrifuge, Thermo Fisher Scientific, Ontario, Canada) and then stored at -20°C until analysis. Animals were not fasted before blood collection. This procedure is in accordance with the observations of Cai et al. (1994), because blood sampling at any time reflects average plasmatic urea concentrations for the whole 24h period in pigs with free access to feed.

#### *Analytical procedures*

Representative samples of the feeds were taken upon delivery and once weekly throughout the experiment. The samples of each feed were mixed together at the

end of the experiment to obtain a representative composite sample. The composite samples of feeds were analyzed using Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 1990) standard methods for lyophilization and for determination of total protein, lipids, dry matter and ash. Calcium and phosphorus concentrations in the samples were obtained by colorimetric and atomic absorption methods. The amino acids content of the feeds was measured by gas chromatography coupled to mass spectrometry. Blood concentrations of total protein and urea were determined using enzymatic colorimetric kits.

#### *Economic evaluation*

Feeds were formulated originally using the least-cost method. To perform the economic evaluation, the price of each ingredient used in the feeds was identified (April 2013 in Quebec, Canada; expressed in U.S. dollars). Individual feeding cost was obtained multiplying total feed intake by feed cost.

#### *Statistical analysis*

Each pig was considered as an experimental unit. Variables that did not provide normally distributed residuals in Shapiro-Wilk test (feed efficiency, lean content and bone mineral content) were transformed logarithmically. Performance data were submitted to variance analysis to evaluate the treatment effect over time using the MIXED procedure, while responses without repetition in time-series (e.g., feeding cost) were studied using the GLM procedure of SAS version 9.2 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). Sex and interactions (treatment × feeding phase, treatment × sex, period × sex, and treatment × feeding phase × sex) were also included in the models.

## Results and discussion

Pigs consumed feed and gained weight normally throughout the entire project. Previous studies using pigs of the same genetic reported lower (Zhang *et al.*, 2012, Cloutier *et al.*, 2013) and higher (Andretta *et al.*, 2014) average daily feed intake (**ADFI**) and average daily weight gain (**ADG**) than the values observed in the present trial, with the difference probably due to the variation on initial BW. No health problems were detected during the experimental period, except for three barrows that were identified with severe inflammatory problems (not related to the treatments) during the last feeding phase. The animals concerned were separated from the group and their data was not considered in the analysis. Thus, information presented in this paper are means of 14 pigs per treatment, except treatment MP100 and MP80 in which the means represent 12 and 13 pigs, respectively.

The effect of growth phase was significant ( $P < 0.05$ ) for all studied responses, except for plasmatic content of phosphorus. Sex effect was found for most of performance responses, with barrows showing higher ( $P < 0.05$ ) ADFI, nutrient intake, ADG, BW, backfat thickness, protein mass, lipid mass, bone mineral density, bone mineral content, nutrient retention, nutrient excretion and feeding cost than females. Sex effect was not significant for feed efficiency (**G:F**), loin muscle deep and neither for plasmatic responses. The sex by treatment interaction was not significant for any of the studied variables and, therefore, only the across sex pooled means are presented in this document.

### *Performance and body composition*

The ADFI, G:F, backfat thickness and body lipid mass were similar for all treatments over the entire project (Tables 3.2 and 3.3). Feeding pigs in a daily basis

program considering 110%, 100% or 90% of the estimated individual lysine requirements also did not influence ADG, BW and body protein mass in comparison to the 3P treatment. However, a further decrease bringing the nutritional supply level down to 80% of individual requirements interfered ( $P < 0.05$ ) on pig performance, decreasing by 11% the ADG, by 9% the final BW and by 9% the final body protein mass relative to 3P group. The MP80 treatment also reduced ( $P < 0.05$ ) by 10% the ADG relative to MP100 group.

The similarity between MP100 and MP90 treatments could be explored in particular farming conditions. The similarity between performance of pigs fed 3P and MP100 programs support previous findings, as it had been demonstrated that no effect on pig performance is expected when increasing the number or feeding phases to better adjust dietary supply and nutrient requirements (Bourdon *et al.*, 1995, Andretta *et al.*, 2014, Pomar *et al.*, 2014). Current performance results are also consistent with those obtained earlier through simulation (Pomar *et al.*, 2010).

#### *Lysine requirements and intake*

The intra-day difference in SID lysine requirements between the most demanding and the least demanding pig of the population was 15.2 g/d on average during the trial and the maximum intra-day range was 27 g/d on the 13rd day (Figure 3.1). The maximum intra-day coefficient of variation was 32.3% (on the 82nd day) and the minimum value was 9.7% (on the 25th day), for an overall average of 20.3%. The between animal variation on lysine requirements may be associated to the heterogeneity of the population in terms of age, BW and genetic potential for protein and lipid growth (Noblet and Quiniou, 1999). But even studying a homogeneous population in terms of genetic type and initial age, the variation (between animals and

across time) observed in this study is considerably high. Knowing this variability is a valuable tool for defining feeding strategies under different scenarios (Pomar *et al.*, 2003, Brossard *et al.*, 2009).

Accounting for requirement variation allowed reducing the average inclusion of feeds A (nutrient dense) in the diets from 76.8% in 3P to 56.9% in MP110, 49.2% in MP100, 39.4% in MP90 and 34.2% in MP80 treatments. As both feeds were formulated to have similar energy composition, the net energy intake did not differ among the treatments (data not shown). Switching from 3P to precision feeding (MP100) allowed reducing the dietary content of SID lysine by 14% in the first phase, by 34% in the second phase and by 31% in the last phase (Figure 3.2). In addition, the SID lysine intake was reduced ( $P < 0.05$ ) by 19% in MP110, by 26% in MP100, by 33% in MP90 and by 44% in MP80 when compared to 3P group (Table 3.4). The MP100 program also showed a 27% reduction in the ratio between ingested SID lysine and protein deposition in comparison with the 3P treatment (data not shown). These findings further support previous publication that reported a reduction on lysine intake in pigs fed daily tailored and individually adjusted diets, with no compromising on performance or protein retention (Pomar *et al.*, 2010, Andretta *et al.*, 2014). The current results are important because improving nutrient-use efficiency is essential to ensure environmental sustainability of pig production.

#### *Nitrogen intake, retention and excretion*

Pigs tend to increase their appetite faster than their rate of protein deposition. So, to improve nutrient efficiency, the optimal dietary concentration of lysine should be progressively decreased during the growing period, allowing the concomitant adjustment of the dietary concentration of nutrients to the estimated requirements

(NRC, 2012). The crude protein intake was reduced ( $P < 0.05$ ) by 13% in MP110, by 16% in MP100, by 21% in MP90 and by 31% in MP80 relative to 3P treatment. Even reducing protein intake, pigs fed 3P, MP110, MP100 and MP90 retained similar amounts of nitrogen during the growing-finishing period. Pigs fed MP100 program showed higher ( $P < 0.05$ ) crude protein efficiency in comparison to 3P treatment, with the results observed in MP100 treatment being consistent with the values reported previously by Zhang *et al.* (2012) for pigs fed individually with daily tailored diets.

The nitrogen excretion was reduced ( $P < 0.05$ ) by 24% in MP110, by 30% in MP100, by 33% in MP90 and by 47% in MP80 treatment in comparison to 3P group. The reduction on nitrogen excretion obtained through precision feeding was allowed by a combination of features, such as the reduction on nutrient supply, the increasing number of feeding phases and the adjustment to the individual nutrient requirements. Thus, accounting for the variation of nutritional requirements over time and within the population was effective reducing nutrient excretion to the environment. However, a previous study estimated that precision feeding could reduce even further the crude protein intake (-25%) and the nitrogen excretion (-38%) of growing pigs (Pomar *et al.*, 2010). Despite the significant benefits found in the current study, better results could be reached by improving formulas' amino acids balances in order to maintain lysine concentration and reducing further the dietary levels of crude protein.

#### *Intake, retention and excretion of phosphorus and bone mineralization*

Total phosphorus intake was reduced ( $P < 0.05$ ) by 14% in MP110, by 18% in MP100, by 22% in MP90 and by 33% in MP80 treatment compared to 3P program. However, compared to 3P treatment, the bone mineral content, bone mineral density and phosphorus retention were reduced ( $P < 0.05$ ) by MP110 (-11%, -7% and -13%,



respectively), MP100 (-20%, -12% and -23%), MP90 (-25%, -15% and -30%) and MP80 (-32%, -18% and -39%) treatments. The estimated excretion of phosphorus was also reduced ( $P < 0.05$ ) by MP100 (-14%), MP90 (-17%) and MP80 (-29%) in comparison to 3P treatment, with the phosphorus excretion being similar across the daily-phase (MP) treatments.

Although feeding treatments influenced the phosphorus retention, no signs of lameness, slow gait, paralysis, rickets or fractures were observed in the tested pigs. Current results do not support previous publication that reported no effect of daily-phase feeding on bone mineralization or phosphorus retention (Pomar et al., 2007). However, the dietary levels and the intake of digestible phosphorus were lower in the current project than those previously studied. Thus, the severe reduction on dietary phosphorus levels is probably responsible for the alterations observed on bone characteristics and on phosphorus retention. The average levels of digestible phosphorus provided in MP100 diets were 0.26%, 0.18% and 0.14% in the first, second and third phases, respectively. These levels are lower than the recommended for growing-finishing pigs by NRC (2012), which were 0.26 and 0.18 g of digestible phosphorus for pigs weighing 25 and 100kg, respectively. However, all pigs of the current study showed higher ratio between digestible apparent phosphorus intake (g) and weight gain (kg) than the average value of 5.7 g estimated in several trials and presented in NRC (2012). This ratio was on average 11.9 g in 3P, 10.3 g in MP110, 10 g in MP100, 9.8 g in MP90 and 9.1 g in MP80 treatment. Nonetheless, it has been clearly established that dietary requirements for maximum growth performance are lower than the requirements for maximum phosphorus retention and bone mineralization (Nicodemo *et al.*, 1998, NRC, 2012). Further

research should be performed to predict accurately the reduction rates on dietary phosphorus supply that are safe for pigs under precision feeding programs.

#### *Plasmatic parameters*

The fasting interval before blood collection (time between the last recorded meal and collection) was in average 156 minutes. This interval was not correlated with the studied plasmatic contents. Plasmatic amount of phosphorus showed no correlation with intake, retention and excretion of phosphorus. The plasmatic contents of total protein and urea were correlated ( $P < 0.05$ ) with nitrogen excretion (0.266 and 0.397, respectively) and crude protein efficiency (-0.407 and -0.127).

The serum parameters were similar across treatments at the beginning of the trial (Table 3.5). Feeding programs also did not influence the plasmatic contents of total protein and phosphorus during the experiment. However, precision feeding (MP100) reduced ( $P < 0.05$ ) the plasmatic concentration of urea at 28th (-30%), 56th (-33%) and 84th (-22%) days comparing to 3P treatment. Major reductions ( $P < 0.05$ ) on plasmatic urea concentration were achieved with MP80 treatment. Previous studies found that urinary nitrogen is closely related to plasma urea, which is affected by dietary protein quality and quantity (Cai *et al.*, 1994). Based on this relationship, the plasmatic concentration of urea can be used as a metabolism indicator.

#### *Economic evaluation*

Precision feeding technique (MP100) reduced ( $P < 0.05$ ) feeding costs by \$7.6/pig (i.e., -10%) relative to 3P treatment. The ratio between feeding cost and weight gain was also reduced ( $P < 0.05$ ) by MP110 (-6%), MP100 (-6%) and MP90 (-5%) comparing to 3P program. Corroborating to the current findings, the economic

benefits of precision feeding programs were already reported previously (Niemi *et al.*, 2010, Pomar *et al.*, 2010). Economical results may vary on the current and local context of ingredient prices, but the precision feeding technique allows reducing the excess of the most expensive nutrients/ingredients. Comparing to 3P diets, the MP100 treatment reduced the formula inclusion of soybean meal by 7 percentage units and di-calcium phosphate by 0.33 percentage unit. In addition, precision feeding could represent greater economic benefits in a global scenario, because the system demands only two diets to be prepared, transported and stored.

In conclusion, feeding growing pigs individually with daily tailored diets may be a key tool to optimize the sustainability of pig farming. Precision feeding has a great potential to improve nutrient-use efficiency comparing to conventional group phase-feeding programs. Feeding pigs individually tailored diets considering 100% of estimated requirements can reduce lysine intake by 26% and nitrogen excretion by 30% without compromising the performance of growing pigs. According to the current findings, precision feeding technique is an effective approach to reduce nutrient excretion and to decrease raising costs in pig industry.

## References

- AAFC 1993. Recommended code of practice for the care and handling of farm animals: Pigs. In, p. 4. Agriculture and Agri-Food Canada, Ottawa.
- Andretta I, Pomar C, Rivest J, Pomar J, Lovatto PA and Radünz Neto J 2014. Effet de l'alimentation de précision sur les performances, l'excrétion de nutriments et le coût d'alimentation du porc charcutier. Journées de la Recherche Porcine, *in press*.
- AOAC 1990. Official methods of analysis. In Association of Official Analytical Chemists, Washington.
- Bourdon D, Dourmad J-Y and Henry Y 1995. Réduction des rejets azotés chez le porc en croissance par la mise en oeuvre de l'alimentation multiphase, associée à l'abaissement du taux azoté. Journées de la Recherche Porcine 27, 269-278.

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, 1114-1123.

Cai Y, Zimmerman DR and Ewan RC 1994. Diurnal variation in concentrations of plasma urea nitrogen and amino acids in pigs given free access to feed or fed twice daily. *The Journal of Nutrition* 124, 1088-1093.

CCAC 2009. Guidelines on: the care and use of farm animals in research, teaching and testing. In Canadian Council on Animal Care, Ottawa.

Cloutier L, Letourneau-Montminy MP, Bernier JF, Pomar J and Pomar C 2013. Effet d'un protocole de déplétion-réplétion en lysine chez le porc en croissance. *Journées de la Recherche Porcine* 45, 149-154.

Fuller MF, McWilliam R, Wang TC and Giles LR 1989. The optimum dietary amino acid pattern for growing pigs. 2. Requirements for maintenance and for tissue protein accretion. *British Journal of Nutrition* 62, 255-267.

Hauschild L, Pomar C and Lovatto PA 2010. Systematic comparison of the empirical and factorial methods used to estimate the nutrient requirements of growing pigs. *Animal* 4, 714-723.

Hauschild L, Lovatto PA, Pomar J and Pomar C 2012. Development of sustainable precision farming systems for swine: estimating real-time individual amino acid requirements in growing-finishing pigs. *Journal of Animal Science* 90, 2255-2263.

Jongbloed AW, Everts H, Kemme PA and Mroz Z 1999. Quantification of absorbability and requirements of macroelements. In *A Quantitative Biology of the Pig* (ed. I Kyriazakis), pp. 275-298, CABI International, Wallingford, UK.

Mahan DC and Shields RG 1998. Essential and nonessential amino acid composition of pigs from birth to 145 kilograms of body weight, and comparison to other studies. *Journal of Animal Science* 76, 513-521.

Möhn S, Gillis AM, Moughan PJ and de Lange CF 2000. Influence of dietary lysine and energy intakes on body protein deposition and lysine utilization in the growing pig. *Journal of Animal Science* 78, 1510-1519.

Nicodemo M, Scott D, Buchan W, Duncan A and Robins S 1998. Effects of variations in dietary calcium and phosphorus supply on plasma and bone osteocalcin concentrations and bone mineralization in growing pigs. *Experimental Physiology* 83, 659-665.

Niemi JK, Sevón-Aimonen M-L, Pietola K and Stalder KJ 2010. The value of precision feeding technologies for grow-finish swine. *Livestock Science* 129, 13-23.

Noblet J and Quiniou N 1999. Principaux facteurs de variation du besoin en acides aminés du porc en croissance. *Techni-Porc* 22, 9-16.

NRC 2012. *Nutrient Requirements of Swine: Eleventh Revised Edition*. The National Academies Press.

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). In 46th annual conference of the Canadian Society of Animal Science, Lethbridge, Alberta, Canada.

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-E186.

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, Hauschild L, Zhang GH, Pomar J and Lovatto PA 2010. Precision feeding can significantly reduce feeding cost and nutrient excretion in growing animals. In *Modelling nutrient digestion and utilisation in farm animals* (eds. D Sauvant, J Milgen, P Faverdin and N Friggens), pp. 327-334, Wageningen Academic Publishers.

Pomar C, Pomar J, Dubeau F, Joannopoulos E and Dussault J-P 2014. The impact of daily multiphase feeding on animal performance, body composition, nitrogen and phosphorous excretions, and feed costs in growing-finishing pigs. *Animal*, *in press*.

Pomar J, López V and Pomar C 2011. Agent-based simulation framework for virtual prototyping of advanced livestock precision feeding systems. *Computers and Electronics in Agriculture* 78, 88-97.

Wathes CM, Kristensen HH, Aerts JM and Berckmans D 2008. 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* 64, 2-10.

Zhang GH, Pomar C, Pomar J and Del Castillo JRE 2012. L'alimentation de précision chez le porc charcutier: Estimation des niveaux dynamiques de lysine digestible nécessaires à la maximisation du gain de poids. *Journées de la Recherche Porcine* 44, 171-176.

**Table 3.1** *Ingredient formulas and chemical composition of experimental feeds*

	Feed A High density	Feed B Low density
Ingredient formulas, as feed basis (%)		
Wheat	15.0	15.0
Corn	54.8	83.2
Soybean meal	25.4	0.17
Limestone	1.61	0.42
Di-calcium phosphate, 21%	1.22	-
Salt	0.63	0.50
DL-Methionine	0.09	-
L-Lysine HCL	0.44	0.09
L-Threonine	0.13	-
Choline 60, 51.7%	0.10	0.10
Vitamin and mineral premix <sup>1</sup>	0.50	0.50
Chemical composition		
Dry matter (%)	89.6	87.9
Crude protein (%)	16.4	7.78
Total lysine (%)	1.37	0.33
SID <sup>2</sup> lysine, calculated (%)	1.15	0.26
Net energy, calculated (MJ/kg)	9.66	10.6
Calcium (%)	0.92	0.21
Total phosphorus (%)	0.60	0.29
Digestible phosphorus, calculated (%)	0.32	0.07
Crude fiber	2.46	2.09
Ash (%)	5.36	2.33

<sup>1</sup> Premix should provide per kilogram at least the following nutrients: vitamin A, 456000 IU; vitamin D, 145600 IU, vitamin E, 1400 IU, vitamin K, 80 mg, vitamin B12, 1.2 mg; niacin, 800 mg; pantothenic acid, 600 mg; pyridoxine, 80 mg; riboflavin, 120 mg; thiamine, 80 mg; cooper, 4.9 g; iodine, 12 mg; iron, 4 g, manganese, 2.5 g, selenium, 12 mg; zinc, 6.1 g.

<sup>2</sup> Standardized ileal digestible.

**Table 3.2** Performance of pigs in three-phase feeding program (3P) or daily-phase feeding program (MP) provided individually considering 110%, 100%, 90% or 80% of the estimated nutritional requirements

	Treatments <sup>1</sup>					Sex		r.s.d.	P <sup>2</sup>
	3P	MP110	MP100	MP90	MP80	M	F		
Phase 1									
ADFI <sup>3</sup> (kg/day)	2.11	2.00	2.09	2.26	2.07	2.24	1.98	0.37	ns
ADG <sup>4</sup> (kg/day)	1.11	1.08	1.08	1.09	1.00	1.10	1.05	0.08	ns
G:F <sup>5</sup> (kg/kg)	0.53	0.54	0.52	0.48	0.48	0.49	0.53	0.01	ns
Phase 2									
ADFI (kg/day)	2.46	2.46	2.60	2.54	2.38	2.73	2.28	0.34	ns
ADG (kg/day)	1.04	1.02	1.03	0.94	0.91	1.05	0.93	0.10	ns
G:F (kg/kg)	0.42	0.41	0.40	0.37	0.38	0.39	0.41	0.01	ns
Phase 3									
ADFI (kg/day)	2.73	2.85	2.89	2.90	2.54	3.10	2.51	0.46	ns
ADG (kg/day)	1.00	1.05	0.98	0.97	0.88	1.06	0.89	0.16	ns
G:F (kg/kg)	0.37	0.37	0.34	0.33	0.35	0.34	0.36	0.01	ns
Global performance									
ADFI (kg/day)	2.44	2.43	2.53	2.57	2.33	2.69	2.26	0.33	ns
ADG (kg/day)	1.05 <sup>a</sup>	1.05 <sup>a</sup>	1.03 <sup>a</sup>	1.00 <sup>ab</sup>	0.93 <sup>b</sup>	1.07	0.96	0.08	**
G:F (kg/kg)	0.43	0.43	0.41	0.39	0.40	0.40	0.42	0.01	ns
Feeding cost (\$/pig)	80.5 <sup>a</sup>	74.8 <sup>ab</sup>	72.8 <sup>b</sup>	72.8 <sup>b</sup>	68.0 <sup>c</sup>	79.9	66.8	1.84	*
Feeding cost (\$/ADG)	89.7 <sup>a</sup>	84.4 <sup>b</sup>	84.6 <sup>b</sup>	84.8 <sup>b</sup>	86.3 <sup>ab</sup>	89.1	84.5	0.08	*

<sup>1</sup> Data are means of 14 pigs per treatment, except treatment MP100 and MP80 in which the means represent 12 and 13 pigs, respectively.

<sup>2</sup> Treatment effect indicated by ns  $P > 0.05$ , \*  $P \leq 0.05$ , \*\*  $P \leq 0.01$ , \*\*\*  $P \leq 0.001$ . Models also included: feeding phase ( $P < 0.01$  for all the variables), interaction treatment  $\times$  feeding phase ( $P > 0.05$  for all the variables), sex ( $P < 0.01$  for ADFI and ADG;  $P < 0.05$  for feeding costs), interaction treatment  $\times$  sex ( $P > 0.05$  for all the variables), interaction period  $\times$  sex ( $P < 0.01$  for ADFI and ADG) and interaction treatment  $\times$  feeding phase  $\times$  sex ( $P < 0.05$  for ADFI).

<sup>3</sup> Average daily feed intake.

<sup>4</sup> Average daily gain of weight.

<sup>5</sup> Feed efficiency.

<sup>a,b</sup> Values within a row with different superscripts differ significantly at  $P < 0.05$  according to Tukey's test.

**Table 3.3** Body weight and body composition of pigs in three-phase feeding program (3P) or daily-phase feeding program (MP) provided individually considering 110%, 100%, 90% or 80% of the estimated nutritional requirements

	Treatments					Sex		r.s.d.	P <sup>1</sup>
	3P	MP110	MP100	MP90	MP80	M	F		
Initial condition									
Body weight (kg)	30.7	30.4	29.6	30.5	30.3	31.0	29.7	2.10	ns
Backfat thickness (mm)	7.54	7.81	6.72	7.54	7.69	7.69	7.21	0.89	ns
Loin muscle deep (mm)	32.6	34.0	32.5	31.2	31.1	31.8	32.7	3.45	ns
Body protein mass (kg)	4.83	4.78	4.63	4.80	4.73	4.88	4.63	0.41	ns
Body lipid mass (kg)	4.25	4.22	4.14	4.25	4.34	4.32	4.17	0.19	ns
BMC <sup>2</sup> (kg)	0.49	0.47	0.46	0.46	0.47	48.6	45.3	0.55	ns
BMD <sup>3</sup> (g/cm <sup>2</sup> )	0.71	0.70	0.69	0.68	0.69	0.70	0.69	0.03	ns
Day 28									
Body weight (kg)	61.9	60.6	59.9	61.0	58.2	61.7	59.1	3.63	ns
Backfat thickness (mm)	9.70	10.2	9.21	10.9	9.92	10.3	9.66	2.01	ns
Loin muscle deep (mm)	49.6	49.3	49.0	47.8	45.0	48.5	47.8	5.03	ns
Body protein mass (kg)	10.6	10.4	10.4	10.4	9.87	10.5	10.1	0.64	ns
Body lipid mass (kg)	8.07	8.18	7.48	8.43	8.20	8.47	7.71	0.13	ns
BMC (kg)	0.99 <sup>a</sup>	0.94 <sup>ab</sup>	0.87 <sup>ab</sup>	0.84 <sup>ab</sup>	0.79 <sup>b</sup>	0.92	0.86	0.08	***
BMD (g/cm <sup>2</sup> )	0.90 <sup>a</sup>	0.86 <sup>ab</sup>	0.83 <sup>b</sup>	0.82 <sup>b</sup>	0.80 <sup>b</sup>	0.85	0.83	0.04	***
Day 56									
Body weight (kg)	90.8	89.2	88.7	87.4	83.7	91.2	85.1	4.92	ns
Backfat thickness (mm)	13.5	14.0	12.9	13.9	13.4	14.8	12.4	2.15	ns
Loin muscle deep (mm)	63.6	64.3	62.3	60.0	59.5	62.1	61.9	6.16	ns
Body protein mass (kg)	15.1 <sup>a</sup>	14.9 <sup>ab</sup>	14.9 <sup>ab</sup>	14.5 <sup>ab</sup>	13.8 <sup>b</sup>	15.0	14.3	0.83	***
Body lipid mass (kg)	15.7	15.5	15.1	15.7	15.3	17.1	14.0	0.25	ns
BMC (kg)	1.63 <sup>a</sup>	1.40 <sup>b</sup>	1.31 <sup>bc</sup>	1.21 <sup>c</sup>	1.14 <sup>c</sup>	1.38	1.30	0.12	***
BMD (g/cm <sup>2</sup> )	1.07 <sup>a</sup>	0.99 <sup>b</sup>	0.96 <sup>bc</sup>	0.92 <sup>c</sup>	0.90 <sup>c</sup>	0.98	0.95	0.04	***
Final condition									
Body weight (kg)	119 <sup>a</sup>	118 <sup>a</sup>	116 <sup>ab</sup>	114 <sup>ab</sup>	108 <sup>b</sup>	121	110	7.57	*
Backfat thickness (mm)	15.6	17.0	15.5	16.1	15.2	17.5	14.4	3.73	ns
Loin muscle deep (mm)	72.4 <sup>a</sup>	74.1 <sup>a</sup>	69.7 <sup>ab</sup>	64.6 <sup>b</sup>	64.6 <sup>b</sup>	69.7	68.4	7.40	**
Body protein mass (kg)	18.9 <sup>a</sup>	18.8 <sup>a</sup>	18.6 <sup>ab</sup>	18.1 <sup>ab</sup>	17.1 <sup>b</sup>	18.7	17.9	0.10	***
Body lipid mass (kg)	25.8	26.3	24.7	25.7	24.0	2.89	2.21	0.41	ns
BMC (kg)	2.26 <sup>a</sup>	2.01 <sup>b</sup>	1.81 <sup>bc</sup>	1.69 <sup>cd</sup>	1.55 <sup>d</sup>	1.94	1.79	0.19	***
BMD (g/cm <sup>2</sup> )	1.20 <sup>a</sup>	1.11 <sup>b</sup>	1.06 <sup>bc</sup>	1.02 <sup>c</sup>	0.99 <sup>c</sup>	1.09	1.06	0.06	***

<sup>1</sup> Treatment effect indicated by *ns*  $P > 0.05$ , \*  $P \leq 0.05$ , \*\*  $P \leq 0.01$ , \*\*\*  $P \leq 0.001$ . Models also included: feeding phase ( $P < 0.01$  for all the variables), interaction treatment  $\times$  feeding phase ( $P < 0.01$  for BW, body protein mass, BMC and BMD), sex ( $P < 0.01$  for BW, backfat thickness, body protein, body lipid and BMC;  $P < 0.05$  for BMD), interaction treatment  $\times$  sex ( $P > 0.05$  for all the variables), interaction period-sex ( $P < 0.01$  for BW, backfat thickness, body protein, body lipid and BMC) and interaction treatment  $\times$  feeding phase  $\times$  sex ( $P > 0.05$  for all the variables).

<sup>2</sup> Bone mineral content.

<sup>3</sup> Bone mineral density.

<sup>a,b</sup> Values within a row with different superscripts differ significantly at  $P < 0.05$  according to Tukey's test.



**Table 3.4** Nutrient balance of pigs in three-phase feeding program (3P) or daily-phase feeding program (MP) provided individually considering 110%, 100%, 90% or 80% of the estimated nutritional requirements

	Treatments					Sex		r.s.d.	P <sup>1</sup>
	3P	MP110	MP100	MP90	MP80	M	F		
Phase 1									
SID <sup>2</sup> lysine intake (g/day)	23.3 <sup>a</sup>	20.5 <sup>ab</sup>	19.4 <sup>b</sup>	18.6 <sup>bc</sup>	15.3 <sup>c</sup>	20.3	18.5	2.85	***
CP intake (g/day)	373 <sup>a</sup>	335 <sup>ab</sup>	328 <sup>ab</sup>	328 <sup>ab</sup>	280 <sup>b</sup>	346	313	50.7	***
N retention (g/pig)	930	894	917	896	823	904	881	6.66	<i>ns</i>
N excretion (g/pig)	677 <sup>a</sup>	551 <sup>ab</sup>	495 <sup>ab</sup>	517 <sup>ab</sup>	382 <sup>b</sup>	585	466	20.5	**
P intake (g/day)	12.3 <sup>a</sup>	11.1 <sup>ab</sup>	10.8 <sup>ab</sup>	10.7 <sup>ab</sup>	9.10 <sup>b</sup>	11.3	10.3	1.65	***
P retention (g/pig)	113 <sup>a</sup>	106 <sup>ab</sup>	91.8 <sup>abc</sup>	87.1 <sup>bc</sup>	73.2 <sup>c</sup>	97.3	91.5	1.03	***
P excretion (g/pig)	233	204	210	213	182	220	196	4.34	<i>ns</i>
Phase 2									
SID lysine intake (g/day)	24.3 <sup>a</sup>	17.5 <sup>b</sup>	16.3 <sup>bc</sup>	13.8 <sup>cd</sup>	12.0 <sup>d</sup>	17.8	15.9	2.30	***
CP intake (g/day)	403 <sup>a</sup>	326 <sup>b</sup>	319 <sup>bc</sup>	288 <sup>bc</sup>	259 <sup>c</sup>	342	298	39.8	***
N retention (g/pig)	719	722	720	650	625	710	669	9.10	<i>ns</i>
N excretion (g/pig)	1016 <sup>a</sup>	681 <sup>b</sup>	653 <sup>b</sup>	590 <sup>b</sup>	489 <sup>b</sup>	765	615	18.1	***
P intake (g/day)	13.3 <sup>a</sup>	10.6 <sup>b</sup>	10.3 <sup>bc</sup>	9.22 <sup>bc</sup>	8.25 <sup>c</sup>	11.1	9.66	1.29	***
P retention (g/pig)	145 <sup>a</sup>	105 <sup>b</sup>	99.6 <sup>b</sup>	84.6 <sup>b</sup>	79.9 <sup>b</sup>	105	99.9	1.53	***
P excretion (g/pig)	227 <sup>a</sup>	191 <sup>ab</sup>	189 <sup>ab</sup>	175 <sup>b</sup>	151 <sup>b</sup>	204	170	3.42	***
Phase 3									
SID lysine intake (g/day)	19.7 <sup>a</sup>	16.2 <sup>ab</sup>	13.9 <sup>bc</sup>	12.4 <sup>c</sup>	10.4 <sup>c</sup>	15.4	13.7	2.63	***
CP intake (g/day)	364 <sup>a</sup>	331 <sup>ab</sup>	306 <sup>abc</sup>	290 <sup>bc</sup>	249 <sup>c</sup>	334	285	49.3	***
N retention (g/pig)	597	622	598	579	537	602	571	10.0	<i>ns</i>
N excretion (g/pig)	970 <sup>a</sup>	804 <sup>ab</sup>	722 <sup>bc</sup>	671 <sup>bc</sup>	536 <sup>c</sup>	838	655	17.0	***
P intake (g/day)	11.8 <sup>a</sup>	10.6 <sup>ab</sup>	9.75 <sup>bc</sup>	9.18 <sup>bc</sup>	7.86 <sup>c</sup>	10.7	9.12	1.58	***
P retention (g/pig)	140 <sup>a</sup>	136 <sup>b</sup>	114 <sup>c</sup>	108 <sup>cd</sup>	90.8 <sup>d</sup>	126	111	2.70	***
P excretion (g/pig)	191 <sup>a</sup>	161 <sup>ab</sup>	159 <sup>ab</sup>	149 <sup>ab</sup>	129 <sup>b</sup>	173	145	3.69	**
Global values									
SID lysine intake (g/day)	22.4 <sup>a</sup>	18.1 <sup>b</sup>	16.5 <sup>bc</sup>	15.0 <sup>c</sup>	12.5 <sup>d</sup>	17.8	16.0	2.05	***
CP intake (g/day)	380 <sup>a</sup>	331 <sup>b</sup>	318 <sup>b</sup>	302 <sup>bc</sup>	262 <sup>c</sup>	341	298	38.3	**
N retention (kg/pig)	2.25 <sup>a</sup>	2.24 <sup>a</sup>	2.24 <sup>a</sup>	2.13 <sup>ab</sup>	1.99 <sup>b</sup>	2.22	2.12	0.15	**
CP efficiency (%)	45.1 <sup>b</sup>	50.5 <sup>ab</sup>	52.8 <sup>a</sup>	52.3 <sup>a</sup>	56.7 <sup>a</sup>	49.3	53.6	0.82	***
SID Lys efficiency (%)	53.3 <sup>d</sup>	64.3 <sup>c</sup>	70.9 <sup>b</sup>	74.1 <sup>b</sup>	83.1 <sup>a</sup>	67.3	70.8	0.57	***
N excretion (kg/pig)	2.66 <sup>a</sup>	2.04 <sup>b</sup>	1.87 <sup>bc</sup>	1.78 <sup>bc</sup>	1.41 <sup>c</sup>	2.19	1.74	0.45	**
P intake (g/day)	12.5 <sup>a</sup>	10.8 <sup>b</sup>	10.3 <sup>b</sup>	9.71 <sup>bc</sup>	8.41 <sup>c</sup>	11.0	9.69	1.24	**
P retention (g/pig)	398 <sup>a</sup>	348 <sup>b</sup>	305 <sup>c</sup>	278 <sup>cd</sup>	244 <sup>d</sup>	328	302	3.65	**
P excretion (g/pig)	650 <sup>a</sup>	556 <sup>b</sup>	558 <sup>b</sup>	537 <sup>b</sup>	462 <sup>b</sup>	597	511	9.46	**

<sup>1</sup> Treatment effect indicated by *ns*  $P > 0.05$ , \*  $P \leq 0.05$ , \*\*  $P \leq 0.01$ , \*\*\*  $P \leq 0.001$ . Models also included: feeding phase ( $P < 0.01$  for all the variables), interaction treatment  $\times$  feeding phase ( $P < 0.01$  for crude protein intake, lysine intake, phosphorus intake, phosphorus retention;  $P < 0.05$  for nitrogen excretion), sex ( $P < 0.01$  for all the variables), interaction treatment  $\times$  sex ( $P > 0.05$  for all the variables), interaction period-sex ( $P > 0.05$  for all the variables) and interaction treatment  $\times$  feeding phase  $\times$  sex ( $P > 0.05$  for all the variables).

<sup>2</sup> Standardized ileal digestible.

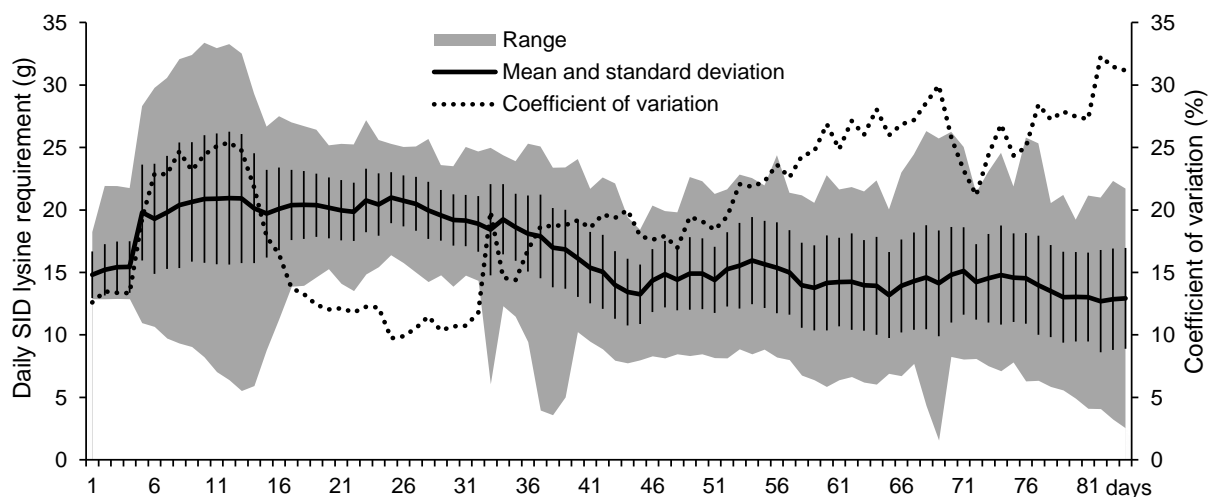
<sup>a,b</sup> Values within a row with different superscripts differ significantly at  $P < 0.05$  according to Tukey's test.

**Table 3.5** *Plasmatic concentration of total protein, urea and phosphorus of pigs in three-phase feeding program (3P) or daily-phase feeding program (MP) provided individually considering 110%, 100%, 90% or 80% of the estimated nutritional requirements*

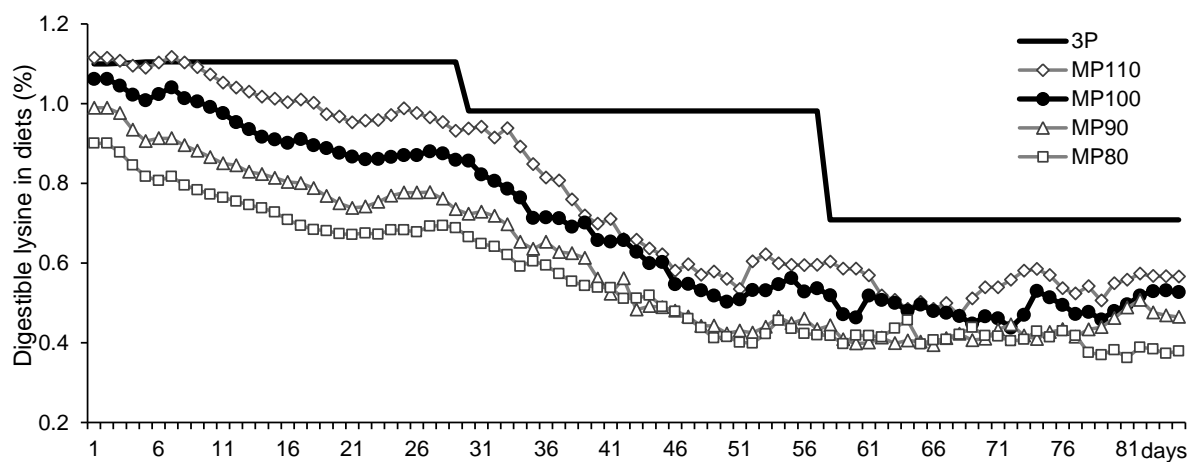
	Treatments					Sex		r.s.d.	P <sup>1</sup>
	3P	MP110	MP100	MP90	MP80	M	F		
Initial condition									
Total protein (mg/mL)	50.1	51.2	51.7	50.1	48.9	50.2	50.7	3.75	ns
Urea (mg/mL)	6.46	6.07	5.55	5.36	5.83	6.22	5.51	2.11	ns
Phosphorus (mg/dL)	12.8	12.5	12.2	12.0	12.8	12.6	12.3	1.21	ns
Day 28									
Total protein (mg/mL)	55.1	52.9	53.7	55.1	52.9	53.9	54.3	4.79	ns
Urea (mg/mL)	12.1 <sup>a</sup>	9.96 <sup>ab</sup>	8.43 <sup>bc</sup>	8.07 <sup>bc</sup>	6.56 <sup>c</sup>	9.38	8.70	1.98	**
Phosphorus (mg/dL)	13.2	12.3	12.8	12.7	12.6	12.9	12.6	1.06	ns
Day 56									
Total protein (mg/mL)	57.8	54.3	55.9	54.2	57.3	57.1	54.8	4.98	ns
Urea (mg/mL)	11.1 <sup>a</sup>	7.67 <sup>b</sup>	7.42 <sup>b</sup>	7.48 <sup>b</sup>	6.84 <sup>b</sup>	9.13	7.21	1.69	**
Phosphorus (mg/dL)	12.7	12.8	12.9	12.3	13.5	13.0	12.6	0.92	ns
Final condition									
Total protein (mg/mL)	59.8	59.5	60.9	56.9	60.1	60.3	58.5	4.52	ns
Urea (mg/mL)	9.08 <sup>a</sup>	8.59 <sup>ab</sup>	7.12 <sup>bc</sup>	7.19 <sup>bc</sup>	6.43 <sup>c</sup>	8.46	6.67	2.00	*
Phosphorus (mg/dL)	12.2	13.0	12.6	12.6	12.9	12.7	12.6	1.12	ns

<sup>1</sup> Treatment effect indicated by *ns*  $P > 0.05$ , \*  $P \leq 0.05$ , \*\*  $P \leq 0.01$ , \*\*\*  $P \leq 0.001$ . Models also included: feeding phase ( $P < 0.01$  for total protein and urea), interaction treatment  $\times$  feeding phase ( $P < 0.01$  for urea), sex ( $P > 0.05$  for all the variables), interaction treatment  $\times$  sex ( $P > 0.05$  for all the variables), interaction period-sex ( $P > 0.05$  for urea) and interaction treatment  $\times$  feeding phase  $\times$  sex ( $P > 0.05$  for all the variables).

<sup>a,b</sup> Values within a row with different superscripts differ significantly at  $P < 0.05$  according to Tukey's test.



**Figure 3.1** Mean, range and coefficient of variation on standardized ileal digestible lysine requirements estimated for each pig of the project.



**Figure 3.2** Dietary lysine level for pigs in three-phase feeding program (3P) or daily-phase feeding program (MP) provided individually considering 110%, 100%, 90% or 80% of the estimated nutritional requirements.

## **CAPÍTULO 4**

### **Discussão Geral**

Este capítulo está dividido em três seções principais. A primeira delas apresenta um comparativo entre os resultados observados nos projetos de validação (capítulos 2 e 3). A seguir, são descritos alguns dados complementares coletados nos mesmos experimentos. Por último, são feitas considerações sobre os resultados observados e as áreas onde o sistema de precisão pode ser aperfeiçoado.

#### **4.1 Comparação dos resultados obtidos nos experimentos de validação**

A variabilidade é uma característica inerente a todas as populações. Nos suínos, a heterogeneidade entre os animais existe ainda antes do nascimento, sendo que um coeficiente de variação de 9% foi observado no peso de embriões com 33 dias de idade (QUESNEL et al., 2008). Informações a respeito do grau de variabilidade entre animais em crescimento são importantes para definir a melhor estratégia de alimentação a ser aplicada à população (POMAR et al., 2003; BROSSARD et al., 2012). Porém, os resultados de estudos na área são comumente interpretados com pouca ênfase neste critério.

Os animais utilizados em ambos os experimentos apresentados nesta tese foram selecionados ao acaso para que a variabilidade nos grupos fosse representativa de um cenário comercial. Animais com a mesma idade e linhagem genética foram escolhidos ao início de cada experimento. Mesmo assim, os pesos iniciais dos leitões apresentaram coeficientes de variação de 8% no primeiro estudo e 14% no segundo experimento (Figura 4.1). Os maiores intervalos de variação nos pesos dos animais foram observados ao final dos experimentos, sendo que a diferença entre o animal mais pesado e o mais leve do grupo foi de 45 kg no primeiro estudo e de 44 kg no segundo experimento.

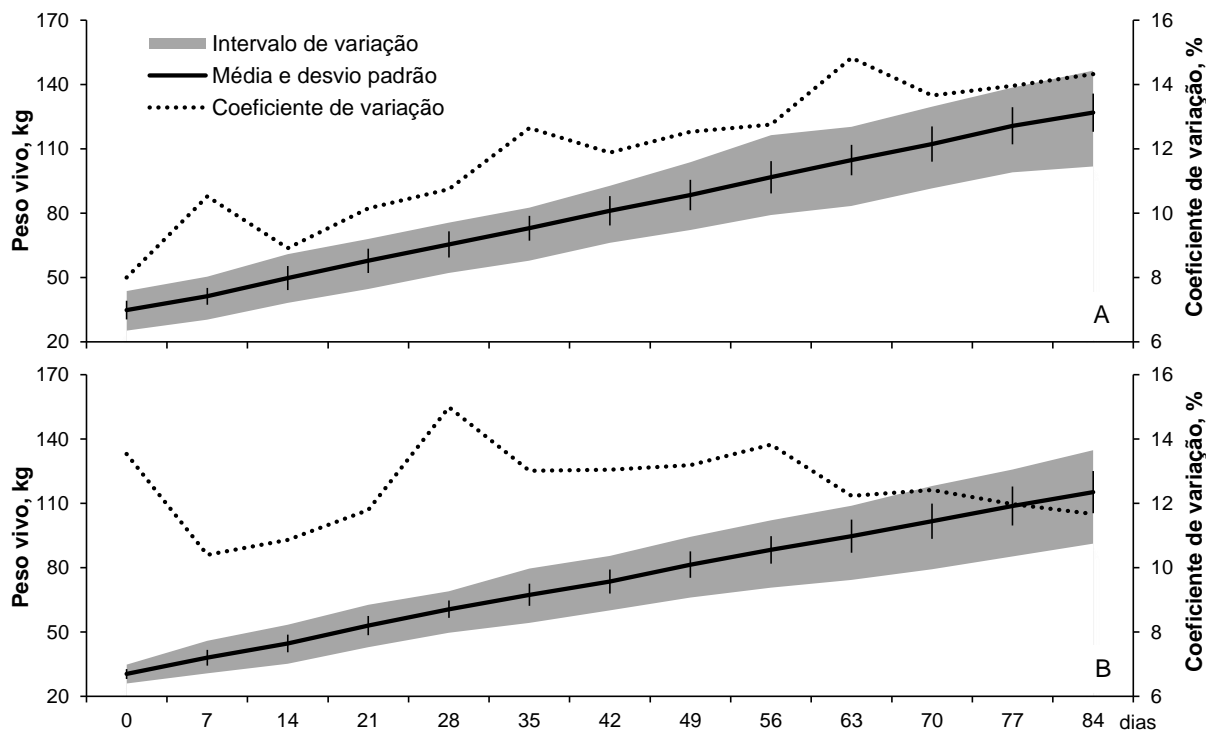


Figura 4.1 - Evolução da média e das estimativas de variação no peso vivo dos suínos no primeiro (A) e no segundo (B) experimento

A heterogeneidade no peso vivo dos suínos é um dos fatores que colaborou para a alta variação (entre animais) das exigências nutricionais estimadas durante os projetos. A variação diária média nas demandas de lisina digestível dos suínos com a maior e a menor exigência no grupo foi 16,7 g no primeiro experimento e 15,2 g no segundo projeto.

Embora os experimentos previamente apresentados tenham sido desenvolvidos separadamente e com enfoques diferenciados, ambos possuem o objetivo comum de avaliar a alimentação de precisão como alternativa aos programas convencionais para suínos em crescimento-terminação. Um resumo comparativo entre os resultados observados para estes programas alimentares é apresentado na Figura 4.2. Nesta representação, os resultados médios obtidos com a alimentação de precisão (tratamentos descritos como MPI no capítulo 2 e MP100 no capítulo 3) são apresentados em relação percentual ao seu respectivo grupo controle (programas convencionais com três fases, descritos nos capítulos anteriores como tratamentos 3P).

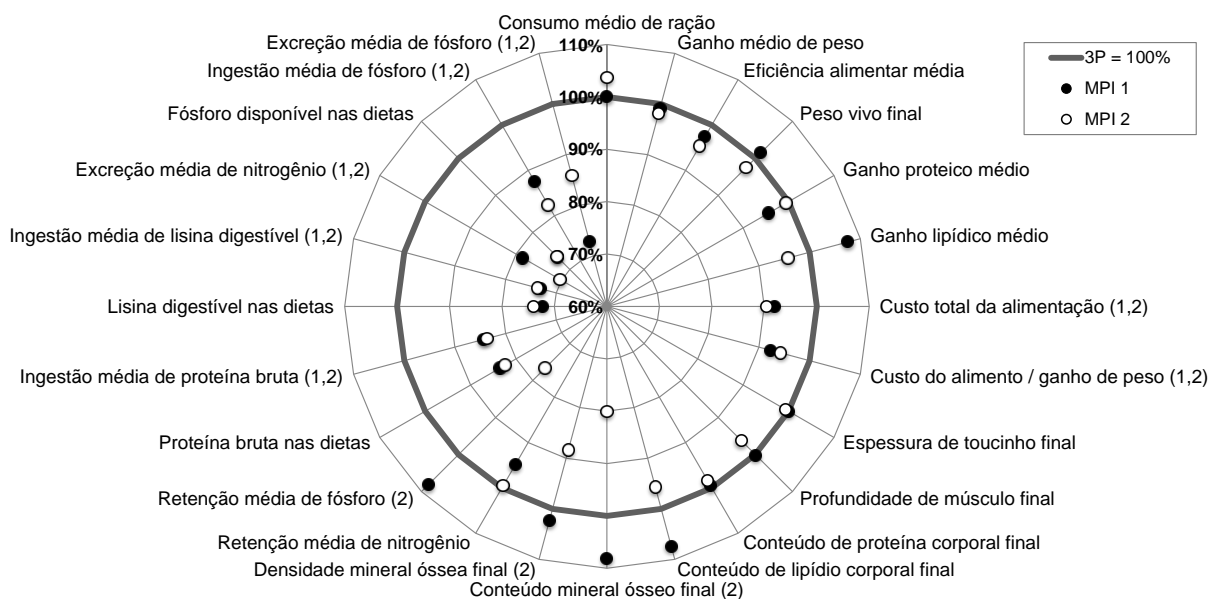


Figura 4.2 - Comparativo<sup>1</sup> entre os resultados médios/finais observados nos suínos alimentados em um programa convencional com três fases (3P) ou no programa de alimentação de precisão durante o primeiro (MPI 1) e o segundo (MPI 2) experimento

<sup>1</sup> Os resultados médios/finais observados em cada tratamento com alimentação de precisão (MPI) foi ajustado em uma relação percentual ao respectivo grupo controle (3P = 100%). Quando as médias dos tratamentos 3P e MPI apresentaram diferença significativa, as variáveis foram assinaladas com os números 1 ( $P < 0,05$  observado no primeiro experimento) ou 2 ( $P < 0,05$  observado no segundo experimento) entre parênteses ao final da sua descrição.

Em ambos os estudos, a alimentação de precisão não alterou as respostas médias de desempenho (consumo de ração, ganho de peso, eficiência alimentar, ganho proteico, ganho lipídico, peso vivo final, espessura de toucinho, profundidade de músculo, massa proteica corporal e massa lipídica corporal) em relação ao programa de alimentação convencional. Porém, a alimentação de precisão permitiu reduzir o custo total de alimentação em 8% no primeiro experimento e em 10% no segundo estudo em comparação com o sistema convencional.

Como a simulação anterior foi baseada no cenário produtivo canadense, uma nova simulação de custos de alimentação foi realizada considerando os preços praticados no estado do Rio Grande do Sul no mês de janeiro de 2014. Seguindo o mesmo procedimento descrito nos capítulos anteriores, os preços dos ingredientes foram obtidos em indústrias locais e as rações foram reformuladas pelo método de mínimo custo. Os resultados desta simulação mostraram que o uso da alimentação de precisão pode representar uma importante economia também na condição

brasileira. A simulação considerando os dados de desempenho do primeiro experimento apontou uma redução de 13% ( $P < 0,05$ ) nos custos de alimentação do sistema de precisão em relação ao sistema convencional. Considerando os dados do segundo experimento, a alimentação de precisão reduziu em 10% ( $P < 0,05$ ) os custos de alimentação em relação ao sistema convencional. Assim, os benefícios simulados nas condições brasileira e canadense corroboram com a economia de 10% nos custos de alimentação estimada anteriormente por Pomar et al. (2010).

As respostas econômicas irão variar de acordo com o contexto regional e sazonal de preços de ingredientes. Porém, a vantagem do sistema de alimentação de precisão deve se manter, uma vez que o programa permite reduzir o uso de diversos ingredientes (e nutrientes) caros nas dietas. Em ambos os experimentos, o consumo de farelo de soja e de fosfato bicálcico foi menor no sistema de precisão em relação ao convencional. Por se tratar de dois dos ingredientes mais caros nas formulações, as vantagens econômicas da técnica são muito relevantes.

Algumas observações importantes foram feitas no que se refere aos dados de composição corporal dos suínos. Como as exigências foram supridas adequadamente, os grupos não diferiram quanto à retenção média de nitrogênio. Porém, os resultados do segundo experimento mostraram que é preciso cautela quanto aos níveis de fósforo utilizados nas dietas para a alimentação de precisão. No primeiro estudo, a redução de 12% na ingestão de fósforo alcançada com o uso da alimentação de precisão não alterou as respostas de mineralização óssea. Como os níveis de fósforo foram reduzidos mais drasticamente nas dietas do segundo estudo, foi observada uma diminuição de 18% na ingestão de fósforo pelos animais e, conseqüentemente, alteração no conteúdo mineral ósseo final, na densidade mineral óssea final e na retenção total de fósforo. Embora não tenham sido observados problemas com os animais durante o experimento (como quebras de ossos ou dificuldades de locomoção), o limite seguro nos níveis mínimos de fósforo no sistema de alimentação de precisão deve ser determinado em pesquisas futuras.

Em comparação com os tratamentos convencionais, a alimentação de precisão permitiu reduzir a ingestão de lisina digestível em 27% no primeiro e em 26% no segundo estudo. Ainda na mesma comparação, a alimentação de precisão reduziu em 16% a ingestão de proteína bruta em ambos os experimentos. A diminuição observada na ingestão de proteína bruta foi menor que o valor de 25% estimado anteriormente por Pomar et al. (2010). Esta diferença se deve a relação

entre os níveis de lisina digestível e de proteína bruta nas dietas utilizadas. Em ambos os experimentos, os animais foram alimentados de acordo com as exigências de lisina digestível. Assim, aperfeiçoar a formulação das dietas para que os níveis de proteína bruta sejam reduzidos e os níveis de aminoácidos essenciais sejam mantidos será uma ferramenta importante para melhorar ainda mais as respostas de ingestão e excreção de nitrogênio no sistema de alimentação de precisão. Uma simulação sobre o efeito dos aminoácidos sintéticos nas dietas sobre a eficiência de uso da proteína será apresentada posteriormente neste capítulo.

No primeiro experimento, os suínos alimentados no sistema de precisão excretaram 22% menos nitrogênio e 27% menos fósforo para o ambiente em relação aos animais alimentados em programas convencionais. No segundo estudo, a alimentação de precisão permitiu reduzir em 30% a excreção de nitrogênio e em 14% a excreção de fósforo. Considerando os resultados observados e as excreções estimadas de poluentes pela suinocultura brasileira (LOVATTO et al., 2005), pode-se inferir que a adoção das técnicas de alimentação de precisão poderia potencialmente reduzir a excreção de nitrogênio em até 44,1 mil toneladas/ano e a excreção de fósforo em até 9,45 mil toneladas/ano.

Em relação ao total ingerido, os suínos do tratamento controle com três fases retiveram em média 40,5% do nitrogênio e 45% do fósforo, enquanto os animais no programa de alimentação de precisão retiveram 44,2% do nitrogênio e 46,3% do fósforo ingerido. Os suínos alimentados no sistema com três fases excretaram 55,8% do nitrogênio e 55,1% do fósforo ingerido. Na mesma comparação, o programa de alimentação de precisão permitiu reduzir a fração excretada para 52,1% do nitrogênio e 53,8% do fósforo ingerido, o que representa um benefício para a sustentabilidade ambiental da suinocultura.

Regressões quadráticas segmentadas com platô obtidas pelo procedimento NLIN (SAS version 9.2; Cary, NC, USA) foram utilizadas para um estudo complementar dos tratamentos com níveis de fornecimento de nutrientes (80, 90, 100 ou 110%) no segundo experimento. De acordo com estas equações, o nível de fornecimento para maximizar a resposta de peso vivo final foi 99,7%, para o ganho de peso foi 100,4% e para a eficiência alimentar foi de 98,3%. Estes resultados (valores próximos de 100% das recomendações do modelo) corroboram com os dados anteriormente apresentados, mostrando que o método utilizado para estimar as exigências diárias de lisina dos suínos está adequadamente calibrado.



## 4.2 Comportamento alimentar e estratégias de alimentação

Um estudo complementar foi realizado durante o segundo experimento (descrito no capítulo 3) com o objetivo de avaliar o impacto dos programas testados (tratamentos) sobre algumas características de comportamento alimentar. Para esta avaliação, foram utilizados dados de 59.701 visitas aos comedouros para as quais se conhecia a identidade do animal, a hora de entrada e saída do comedouro e a quantidade de alimento consumido no período.

O padrão de alimentação dos animais foi predominantemente diurno (Figura 4.3), com 73% das visitas aos comedouros sendo realizadas no período entre 6:00 e 18:00 (horas que correspondiam ao período de luz). Embora o número de refeições tenha sido bem distribuído durante o período de luz, outras variáveis apresentaram picos durante o dia. Assim, durante o período entre 15:00 e 19:00, os suínos consumiram 21% mais alimento por refeição e apresentaram uma velocidade de consumo de ração 8% maior em comparação com o restante do tempo de luz.

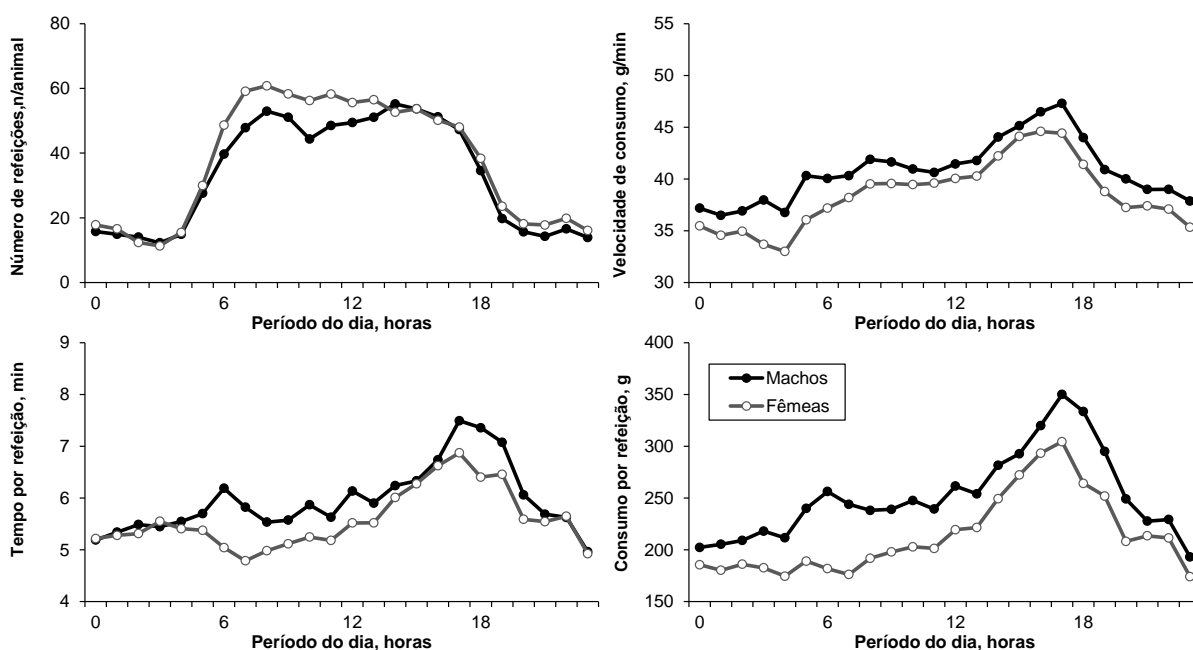


Figura 4.3 - Variações circadianas do número de refeições por grupo, velocidade média de consumo, tempo gasto e consumo médio de ração em cada refeição de suínos do tratamento controle (3P) ou do programa de alimentação de precisão (MP100)

Os suínos alimentados no programa convencional com três fases (3P) mostraram uma maior proporção de refeições diurnas ( $P<0,05$ ) em relação aos animais nos tratamentos com fases diárias (MP110, MP100, MP90 e MP80; Tabela 4.1). O caráter diurno da ingestão de alimentos também aumentou ( $P<0,05$ ) com a idade dos animais, o que pode ser observado no comparativo entre as fases de crescimento utilizadas no projeto.

Tabela 4.1 - Comportamento alimentar de suínos em um programa convencional com três fases (3P) ou em programas de alimentação individuais multi-fase (MP) suprindo 110%, 100%, 90% ou 80% das exigências nutricionais estimadas diariamente para cada animal <sup>1</sup>

	Intervalo entre refeições, min	Ocupação do comedouro, min/dia	Número de visitas por dia	Visitas diurnas, %
<b>Tratamentos</b>				
3P	280	62,5	9,81	76,9 <sup>a</sup>
MP110	275	59,0	10,1	72,6 <sup>b</sup>
MP100	234	62,2	10,8	72,9 <sup>b</sup>
MP90	241	63,4	11,1	72,8 <sup>b</sup>
MP80	241	60,2	11,1	71,4 <sup>b</sup>
<b>Sexo</b>				
Machos	263	63,7	10,5	73,4
Fêmeas	267	59,5	10,7	73,2
<b>Fase</b>				
1	227 <sup>c</sup>	65,9 <sup>a</sup>	11,0 <sup>a</sup>	64,1 <sup>c</sup>
2	301 <sup>a</sup>	57,7 <sup>c</sup>	9,42 <sup>b</sup>	73,9 <sup>b</sup>
3	268 <sup>b</sup>	61,3 <sup>b</sup>	11,3 <sup>a</sup>	82,0 <sup>a</sup>
<b>Probabilidades</b>				
Tratamentos (T)	0,07	0,75	0,46	0,04
Sexo (S)	0,79	0,04	0,82	0,78
T*S	0,72	0,69	0,79	0,67
Fase (F)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
T*F	0,08	0,12	0,06	0,25
F*S	0,99	<0,01	0,36	0,47
T*F*S	0,66	0,94	0,99	0,65
Erro padrão	1,63	1,04	0,28	0,18

<sup>1</sup> Na mesma coluna e dentro da comparação entre os tratamentos ou fases alimentares, medias com diferentes letras subscritas diferem ( $P<0,05$ ) pelo teste de Tukey.

As fêmeas ingeriram 19% menos alimento por refeição, apresentaram uma velocidade de consumo de ração 6% menor e também um tempo diário de ocupação

do comedouro 6,5% menor em relação aos machos ( $P<0,05$ ; Tabela 4.2). Publicações anteriores também relataram que machos realizaram mais refeições por dia do que as fêmeas (HYUN et al., 1997). No entanto, o efeito do sexo ainda é incerto e outros estudos não o observaram (YOUNG e LAWRENCE, 1994). As interações entre sexo e tratamento não foram significativas nas respostas de comportamento estudadas.

Tabela 4.2 - Comportamento durante a alimentação de suínos em um programa convencional com três fases (3P) ou em programas de alimentação individuais multi-fase (MP) suprindo 110%, 100%, 90% ou 80% das exigências nutricionais estimadas diariamente para cada animal <sup>1</sup>

	Tempo médio em cada refeição, min	Consumo médio em cada refeição, g	Velocidade de consumo, g/min
Tratamentos			
3P	6,39	258	39,8
MP110	5,85	250	41,5
MP100	5,77	243	41,7
MP90	5,70	239	41,0
MP80	5,44	217	39,7
Sexo			
Machos	6,46	286	42,7
Fêmeas	5,82	231	39,9
Fase			
1	6,21 <sup>a</sup>	194 <sup>c</sup>	31,4 <sup>c</sup>
2	6,44 <sup>a</sup>	279 <sup>b</sup>	42,4 <sup>b</sup>
3	5,76 <sup>b</sup>	301 <sup>a</sup>	50,2 <sup>a</sup>
Probabilidades			
Tratamentos (T)	0,50	0,46	0,61
Sexo (S)	0,08	<0,01	0,04
T*S	0,87	0,49	0,45
Fase (F)	<0,01	<0,01	<0,01
T*F	0,63	0,03	<0,01
F*S	0,02	0,02	0,97
T*F*S	0,74	0,21	0,11
Erro padrão	0,02	0,91	0,12

<sup>1</sup> Na mesma coluna e dentro da comparação entre os tratamentos ou fases alimentares, médias com diferentes letras subscritas diferem ( $P<0,05$ ) pelo teste de Tukey.

Todas as variáveis de comportamento alimentar foram influenciadas ( $P<0,05$ ) pelo período (fases), sendo que o consumo de ração por refeição e a velocidade de

consumo de ração aumentaram ao longo do crescimento dos animais. Estes resultados corroboram com publicações anteriores (NIELSEN, 1999).

O comportamento alimentar dos animais não diferiu entre os tratamentos, exceto pela proporção de refeições diurnas como apresentado anteriormente. O teor médio de proteína bruta, lisina digestível ou energia líquida nas dietas não apresentou correlação com as variáveis estudadas. Em publicação anterior, Hyun et al. (1997) relataram que o aumento dos níveis de proteína e lisina nas dietas diminuiu o número de refeições por dia e aumentou o consumo de ração por refeição. O aumento nos níveis de atividade também foi relatado como consequência da restrição de proteína bruta em suínos em crescimento (JENSEN et al., 1993). Mesmo que o efeito dos programas de alimentação não esteja totalmente claro, é importante que este fator seja considerado em pesquisas futuras.

Apoiando resultados anteriores (AUFFRAY et al., 1980), a quantidade de alimento ingerido em uma refeição foi correlacionada positivamente (0,277) com o tempo para iniciar a próxima refeição (período pós-prandial) e também com a quantidade de alimento ingerido na próxima refeição (0,213). As correlações entre as variáveis de desempenho e de comportamento alimentar foram baixas na sua maioria. Essas correlações indicaram que os animais com os resultados mais altos para ganho de peso passaram mais tempo se alimentando (0,459). Porém, não houve correlação significativa entre as variáveis de desempenho e o número de visitas ao comedouro.

O consumo de ração por refeição apresentou correlação positiva com o conteúdo proteico corporal (0,492). Este resultado concorda com publicações anteriores, que apontaram que o comportamento alimentar pode estar relacionado com a composição corporal em suínos (RENAUDEAU et al., 2006).

A eficiência alimentar (ganho/consumo) foi negativamente correlacionada com o intervalo entre as refeições (-0,235), com o consumo de ração por refeição (-0,550) e com a velocidade de consumo de ração (-0,736). Da mesma forma, as eficiências de deposição da proteína bruta e da lisina digestível apresentaram correlação negativa com a velocidade de consumo de ração (-0,547 e -0,204; respectivamente para proteína e lisina). Estes resultados estão de acordo com as publicações anteriores que descreveram o consumo de ração por refeição e a velocidade de consumo de ração como os critérios comportamentais mais associados com as características produtivas (LABROUE et al., 1997). O tamanho das refeições e a

velocidade de consumo parecem influenciar negativamente a utilização de nutrientes, provavelmente através de efeitos sobre a taxa de passagem no trato digestório ou uma possível influência no desempenho das enzimas digestivas (DE HAER e DE VRIES, 1993; DE HAER et al., 1993).

Os padrões de uso do comedouro por suínos alojados coletivamente podem ser afetados por diversos fatores, tais como a fotoperiodicidade, o tamanho do grupo, a interação social, o manejo, o fornecimento do alimento, os equipamentos e as variáveis ambientais (NIELSEN, 1999; CHAPINAL et al., 2008). Algumas regulações de *feedback* relacionadas com a ingestão de nutrientes e com balanços metabólicos também podem influenciar o comportamento alimentar dos animais, especialmente na regulação de curto prazo. No entanto, é evidente que não há um mecanismo único atuando na regulação da ingestão de alimento (MERTENS, 1996). São necessários novos estudos para compreender melhor o efeito dos programas de alimentação sobre o comportamento alimentar dos suínos em crescimento. Neste sentido, os alimentadores AIPF podem ser adequadamente utilizados para estudar o comportamento alimentar de suínos em crescimento.

#### **4.3 Temperatura de superfície corporal e estratégias de alimentação**

Ao final do segundo experimento (descrito no capítulo 3), foi realizada também uma avaliação de temperatura de superfície corporal dos suínos utilizando imagens de infravermelho. As câmeras de infravermelho têm sido utilizadas em estudos recentes para diagnóstico precoce de doenças em animais de produção (SCHAEFER et al., 2012), para monitorar a atividade metabólica (FERREIRA et al., 2011) e também para prever a qualidade da carne (WESCHENFELDER et al., 2013). Porém, esta área de pesquisa é ainda nova e carece de mais informações.

Pesquisas anteriores demonstraram que o uso de dietas com baixos níveis de proteína pode diminuir a produção de calor em suínos mantidos em ambientes termoneutros (KERR et al., 2003). A redução na produção de calor resultaria da diminuição no catabolismo e nas taxas de excreção de aminoácidos. Como o sistema de alimentação de precisão utiliza dietas com nível proteico reduzido, a produção de calor poderia ser influenciada neste programa alimentar.

Uma câmera de infravermelho de alta resolução (FLIR E60, FLIR Systems Inc., Canada) foi utilizada para coletar imagens (Figura 4.4) e avaliar a temperatura de superfície corporal em 67 suínos no último dia do segundo experimento de validação. Os suínos foram fotografados em duas condições distintas. A primeira delas foi com os animais anestesiados em decúbito ventral, a fim de avaliar a temperatura da superfície do globo ocular direito e da área interna da orelha. Outras regiões foram estudadas quando os animais estavam em condição normal dentro das baias. Para fotografar os animais nas baias, o operador da câmera caminhou em torno dos animais até ser capaz de capturar as imagens das regiões dorso-cervical, facial (para acessar as áreas da bochecha e dos olhos), dorso-caudal e posterior de cada suíno. A temperatura das salas permaneceu constante durante os procedimentos. Foram analisados apenas os termogramas com foco correto. As temperaturas de cada região (máxima, mínima e média) foram obtidas por meio de análise utilizando um software específico (FLIR Tools, FLIR Systems Inc., Canada).

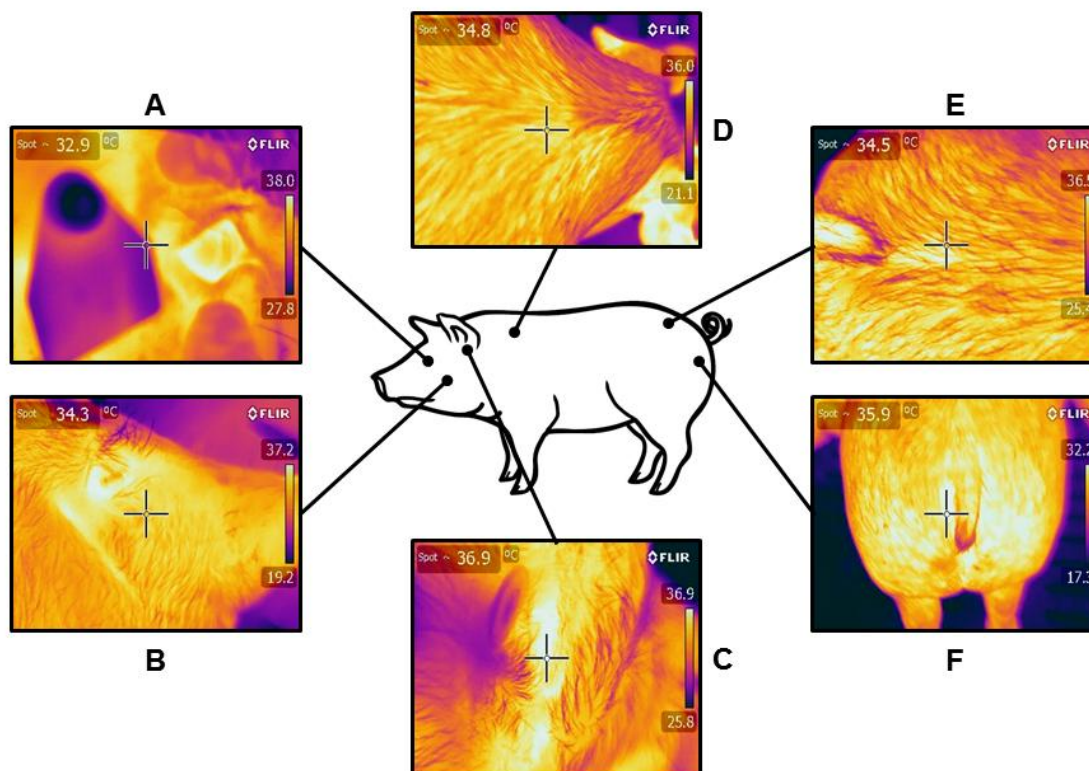


Figura 4.4 - Imagens termográficas do globo ocular direito (A), da área interna da orelha (C) e das regiões facial (B), dorso-cervical (D), dorso-caudal (E) e posterior (F) dos suínos

O coeficiente de variação nos valores de temperatura retal foi menor que nos dados coletados na superfície corporal dos animais (Tabela 4.3). Os menores coeficientes de variação nas temperaturas máximas e médias foram observados na região do olho dos animais, o que justifica a escolha desta região como área de interesse na maioria das pesquisas que utilizam a técnica de infravermelho.

As temperaturas mínimas apresentaram coeficientes de variação mais altos em relação aos valores máximos e médios independentemente da região avaliada. É provável que esta variação esteja relacionada com a leitura da temperatura mínima em pontos da superfície corporal sujos com materiais como água ou fezes. Em vista desta alta variação, as temperaturas mínimas foram excluídas das análises.

Tabela 4.3 - Estatísticas descritivas da temperatura (°C) retal e da superfície corporal dos suínos

	Média	DP	CV	Intervalo
Temperatura retal				
Anestesiados	37,93	0,039	1,18	2,30
Nas baias	38,76	0,055	1,15	3,10
Temperatura mínima				
Dorso-cervical	30,88	0,293	7,66	11,9
Dorso-caudal	31,52	0,272	6,90	9,40
Posterior	28,80	0,333	9,33	13,1
Bochecha	30,70	0,280	7,13	13,2
Região do olho	30,77	0,227	5,61	9,10
Globo ocular	34,91	0,105	3,42	6,30
Interior da orelha	34,65	0,151	4,78	7,90
Temperatura máxima				
Dorso-cervical	36,37	0,212	4,69	12,5
Dorso-caudal	36,40	0,177	3,89	11,1
Posterior	37,34	0,207	4,47	13,5
Bochecha	36,45	0,108	2,31	4,40
Região do olho	37,45	0,078	1,59	2,60
Globo ocular	37,81	0,080	2,41	4,50
Interior da orelha	38,01	0,081	2,34	4,60
Temperatura média				
Dorso-cervical	34,49	0,211	4,93	9,40
Dorso-caudal	34,78	0,159	3,65	6,40
Posterior	34,90	0,145	3,33	6,90
Bochecha	34,04	0,128	2,93	3,90
Região do olho	35,23	0,118	2,56	4,40
Globo ocular	36,57	0,088	2,72	5,00
Interior da orelha	37,10	0,098	2,90	6,00

As temperaturas da superfície corporal dos suínos de acordo com os sistemas de alimentação são apresentadas na Tabela 4.4. As temperaturas médias e máximas do globo ocular, do interior da orelha e das regiões dorso-cervical, dorso-caudal, posterior e da bochecha não foram influenciadas pelos tratamentos testados no projeto. Embora a temperatura máxima na região dos olhos não tenha sido influenciada pelos tratamentos, os animais do grupo multi-fase que recebiam 80% das exigências nutricionais estimadas (MP80) apresentaram temperatura média inferior ( $P<0,05$ ) nesta mesma região em comparação com os animais do tratamento MP100.

Tabela 4.4 - Temperaturas (°C) retais e da superfície corporal de suínos em um programa convencional com três fases (3P) ou em programas de alimentação individuais multi-fase (MP) suprindo 110%, 100%, 90% ou 80% das exigências nutricionais estimadas diariamente para cada animal <sup>1</sup>

	Tratamentos				Sexo		ep <sup>2</sup>	Probabilidade <sup>3</sup>			
	3P	MP			M	F		T	S	T*S	
		110	100	90							80
Temperatura retal											
Anestesiados	37,9	37,9	38,0	37,9	38,0	38,1	37,7	0,3	0,87	<0,01	0,06
Nas baias	38,5	38,6	38,9	38,8	38,9	38,9	38,6	0,3	0,05	0,06	0,47
Temperatura máxima											
Dorso-cervical	35,9	36,2	36,7	36,7	36,4	36,7	36,1	1,6	0,73	0,61	0,39
Dorso-caudal	36,5	36,3	36,9	36,8	35,5	36,6	36,3	0,7	0,19	0,56	0,06
Posterior	37,5	37,5	37,5	37,6	36,6	37,3	37,4	0,5	0,88	0,01	0,29
Bochecha	36,5	36,4	36,8	36,7	35,8	36,7	36,2	0,7	0,10	0,06	0,88
Região do olho	37,4	37,4	37,6	37,5	37,1	37,5	37,3	0,6	0,54	0,64	0,81
Globo ocular	37,7	37,6	37,8	38,3	37,6	37,8	37,8	0,8	0,05	0,29	0,21
Interior da orelha	37,9	37,6	38,2	38,2	38,1	38,2	37,9	0,8	0,07	0,31	0,06
Temperatura média											
Dorso-cervical	34,6	34,3	34,7	34,7	34,1	34,7	34,3	1,2	0,89	0,30	0,49
Dorso-caudal	34,6	34,6	35,1	35,0	34,6	34,7	34,9	1,1	0,36	0,85	0,05
Posterior	34,6	35,1	35,1	34,9	34,8	34,5	35,3	1,2	0,82	0,11	0,75
Bochecha	34,1	34,2	34,2	34,3	33,4	34,2	33,9	0,9	0,14	0,17	0,59
Região do olho	35,0 <sup>ab</sup>	35,3 <sup>ab</sup>	35,7 <sup>a</sup>	35,4 <sup>ab</sup>	34,6 <sup>b</sup>	35,3	35,1	0,8	0,04	0,39	0,31
Globo ocular	36,4	36,3	36,6	37,0	36,4	36,5	36,6	0,9	0,05	0,33	0,72
Interior da orelha	36,9	36,8	37,5	37,3	37,1	37,2	36,9	0,9	0,65	0,64	0,08

<sup>1</sup> Na mesma linha, medias com diferentes letras subscritas diferem ( $P<0,05$ ) pelo teste de Tukey.

<sup>2</sup> Erro padrão da média.

<sup>3</sup> Efeito de tratamento (T), sexo (S) e interações tratamento\*sexo (T\*S).



As temperaturas de superfície corporal também não foram influenciadas pelo sexo dos animais, exceto a temperatura máxima na região posterior que foi mais alta nas fêmeas ( $P < 0,05$ ) em relação aos machos. Nenhuma interação entre sexo e tratamento ( $P < 0,05$ ) foi observada para as temperaturas de superfície corporal dos suínos.

A temperatura média na região dos olhos também foi positivamente correlacionada ( $P < 0,05$ ) com o consumo de ração no dia das avaliações (0,277) e também com a ingestão de proteína (0,276), de lisina (0,232) e de energia (0,272). As temperaturas médias no globo ocular apresentaram correlação positiva ( $P < 0,05$ ) com o consumo de ração no dia das avaliações (0,198). A duração do período de jejum (imediatamente antes das fotos) apresentou correlação inversa ( $P < 0,05$ ) com as temperaturas máxima (-0,224) e média (-0,209) avaliadas no interior da orelha e com as temperaturas máxima (-0,224) e média (-0,240) na região dorso-cervical. Apesar da significância estatística, todas as correlações entre a temperatura da superfície corporal dos suínos e as características de alimentação foram baixas.

As imagens de infravermelho podem ser utilizadas na produção animal para a avaliação de temperatura de superfície corporal. Porém, as correlações observadas são baixas e é preciso desenvolver melhor a metodologia para seu uso em projetos futuros como indicador de variáveis alimentares ou de desempenho.

#### **4.4 Avaliação geral do sistema de alimentação e dos resultados observados**

A técnica de alimentação de precisão para suínos vem apresentando resultados muito promissores nos estudos recentes (POMAR et al., 2010, 2014; ANDRETTA et al., 2014). A adoção deste sistema de alimentação pode representar um grande avanço para a suinocultura moderna. No entanto, ainda há algumas áreas onde o sistema pode ser aperfeiçoado.

A formulação das dietas para os programas de alimentação de precisão é um dos pontos que merecem atenção. No primeiro experimento, alguns dos resultados observados podem ter sido influenciados pela composição nutricional das dietas. Isto porque a concentração de lisina digestível na ração B não foi suficientemente baixa para atender com precisão as exigências dos animais menos exigentes da

população no estudo. Por isso, o nível de lisina em parte das dietas do programa de alimentação de precisão (MPI) foi maior que as exigências estimadas para os animais (26% das dietas na segunda fase e 33% das dietas na terceira fase do experimento). O inverso aconteceu em 1% das fórmulas no mesmo tratamento, onde a exigência de lisina era mais alta do que a ração A poderia suprir. Considerando este problema, as dietas para o segundo experimento foram formuladas com níveis mais adequados de lisina digestível (ou seja, com variação mais ampla entre as rações A e B).

Além dos níveis nutricionais a serem utilizados, o próprio método de formulação pode ser mais bem ajustado ao sistema de alimentação proposto. Em um estudo recente, Joannopoulos et al. (2013) demonstrou que as vantagens econômicas do uso da alimentação de precisão podem ser maiores se ambas as rações (A e B) forem formuladas simultaneamente como premixes e não como 'dietas completas'.

A adoção de algumas técnicas simples, como o uso dos conceitos de proteína ideal, também é importante na formulação das dietas. Uma simulação foi realizada para estimar o consumo de proteína bruta (total durante o período de crescimento e terminação) e a eficiência de deposição da proteína em função do uso de aminoácidos sintéticos nas fórmulas. Dez dietas A e B foram formuladas para conter os mesmos níveis de lisina digestível, inicialmente sem o uso de aminoácidos sintéticos e em seguida acrescentando-os um a um nas formulações de modo a corrigir a composição das dietas para cada aminoácido em relação ao conteúdo de lisina (Figura 4.5). Para a simulação, foram considerados o consumo das dietas A e B, a composição de lisina digestível nas rações, o ganho de peso e a deposição proteica observados no tratamento MPI do experimento descrito no capítulo 2 desta tese. Por se tratar de uma simulação simples, não foram considerados os possíveis efeitos da composição das dietas sobre as variáveis de consumo de alimento e deposição de proteína corporal nos animais.

Na medida em que os aminoácidos sintéticos foram incluídos na formulação, houve uma redução no conteúdo de proteína bruta das dietas (dieta A: de 22,1% na ração sem aminoácidos sintéticos para 14,6 na fórmula com nove aminoácidos sintéticos; dieta B: de 11,7% na ração sem aminoácidos sintéticos para 8,5 na fórmula com nove aminoácidos sintéticos). Consequentemente, o uso de diversos aminoácidos sintéticos nas formulações permitiu reduzir o consumo simulado de

proteína bruta e aumentar a eficiência de deposição de proteína. Alimentar os animais em um programa que considere as exigências individuais e diárias de lisina utilizando rações formuladas sem aminoácidos sintéticos representou uma eficiência proteica de 40%. Incluir lisina e metionina sintéticas na formulação das dietas elevou esta eficiência simulada para 47%. É provável que o custo e a disponibilidade de alguns aminoácidos industriais inviabilizem o seu uso nas formulações. Porém, o uso dos aminoácidos mais comuns e a aplicação dos conceitos de proteína ideal já podem representar uma grande vantagem do ponto de vista produtivo e ambiental.

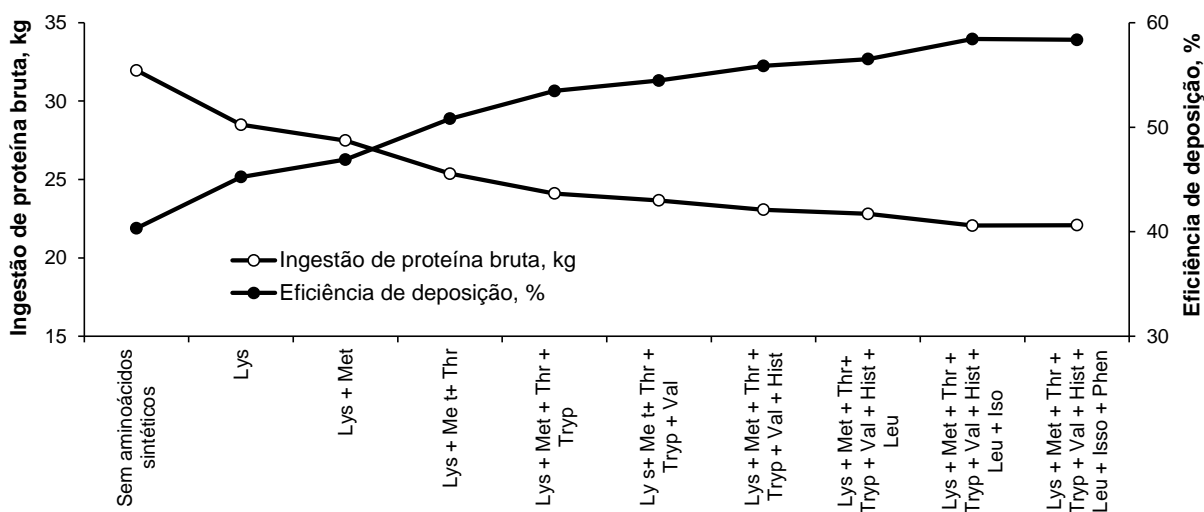


Figura 4.5 - Ingestão e eficiência de deposição da proteína bruta simuladas de acordo com o uso de aminoácidos sintéticos na formulação das dietas

Além das questões envolvendo a formulação das dietas, alguns estudos de comportamento alimentar serão necessários para que sejam definidas as capacidades técnicas do comedouro, especialmente em relação ao número de animais alimentados com segurança em cada equipamento. A lotação máxima utilizada nos estudos descritos anteriormente foi de 14 animais por comedouro, mas é possível que um número maior de animais possa ser manejado por equipamento sem prejuízos produtivos.

O modelo matemático proposto por Hauschild et al. (2012) tem funcionado bem na tarefa de estimar as exigências seguindo o padrão de cada animal. Apesar disto, quando for aplicado a campo, o sistema proposto por Pomar et al. (2009)

deverá trabalhar com uma diversidade de fatores (sexo e genética dos animais, desafios sanitários, variações de temperatura, variação na composição do ganho de peso ou relação com aditivos alimentares de uso frequente como a ractopamina). Assim, a validação da técnica de alimentação de precisão em diversas realidades produtivas será útil para garantir a confiabilidade do sistema. Por fim, o principal fator que irá determinar o sucesso na implantação deste programa de alimentação a campo será a capacidade do setor produtivo de se adaptar frente à nova tecnologia. O sistema proposto é uma ferramenta sustentável para a suinocultura moderna, que pode contribuir muito para a redução do impacto ambiental da suinocultura em áreas de alta densidade de animais e para a redução nos custos com a alimentação dos suínos. Porém, a adoção deste sistema exigirá disposição para a mudança e capacitação técnica de produtores e demais profissionais da indústria.

## **CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS**

O método utilizado para estimar as exigências diárias de lisina dos suínos a partir de seus padrões individuais de consumo de alimento e de crescimento se mostrou apropriado e permitiu melhorar expressivamente a eficiência de uso dos nutrientes durante o período de crescimento e terminação dos animais. Os resultados observados nos testes de validação mostraram que o programa de alimentação de precisão não altera as variáveis de desempenho em relação ao programa convencional de alimentação por fase e por grupo, mas é eficaz na redução da excreção de nutrientes para o ambiente e na minimização dos custos de alimentação dos suínos.

A alimentação de precisão é, portanto, uma ferramenta importante para favorecer a sustentabilidade da suinocultura. O programa proposto representará uma mudança de paradigma na área de alimentação animal, uma vez que é capaz de considerar as diferenças entre os indivíduos de uma população e a evolução dinâmica das exigências nutricionais de cada animal durante seu crescimento.

## REFERÊNCIAS

ANDRETTA, I. et al. Effet de l'alimentation de précision sur les performances, l'excrétion de nutriments et le coût d'alimentation du porc charcutier. In: JOURNÉES DE LA RECHERCHE PORCINE, 46., 2014, Paris, **Anais...** Paris: Institut National de la Recherche Agronomique, 2014. *in press*.

AUFFRAY, P. et al. Analyse de la séquence alimentaire du porc, du sevrage à l'état adulte. **Reproduction Nutrition Development**, Les Ulis Cedex, v. 20, n. 5B, p. 1625-1632, Sept. 1980.

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, v. 83, n. 11, p. 2535-2542, Nov. 2005.

BOURDON, D.; DOURMAD, J.-Y.; HENRY, Y. Réduction des rejets azotés chez le porc en croissance par la mise en oeuvre de l'alimentation multiphase, associée à l'abaissement du taux azoté. In: JOURNÉES DE LA RECHERCHE PORCINE, 27., 1995, Paris, **Anais...** Paris: Institut National de la Recherche Agronomique, 1995. p. 269-278.

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 v. 3, n. 08, p. 1114-1123, Aug. 2009.

BROSSARD, L. et al. Prise en compte de la variabilité individuelle dans la modélisation de la réponse des porcs en croissance aux apports alimentaires. **Inra Productions Animales**, Paris, v. 25, n. 1, p. 17-28, Janv. 2012.

CANH, T. T. et al. Dietary protein affects nitrogen excretion and ammonia emission from slurry of growing–finishing pigs. **Livestock Production Science**, Wageningen, v. 56, n. 3, p. 181-191, Dec. 1998.

CHAPINAL, N. et al. Feeder use patterns in group-housed pregnant sows fed with an unprotected electronic sow feeder (Fitmix). **Journal of Applied Animal Welfare Science**, Ann Arbor, v. 11, n. 4, p. 319-336, Sept. 2008.

CLOUTIER, L. et al. Effet d'un protocole de déplétion-réplétion en lysine chez le porc en croissance. In: JOURNÉES DE LA RECHERCHE PORCINE, 45., 2013, Paris, **Anais...** Paris: Institut National de la Recherche Agronomique, 2013. p. 149-154.

DE HAER, L. C. M.; DE VRIES, A. G. Feed intake patterns of and feed digestibility in growing pigs housed individually or in groups. **Livestock Production Science**, Wageningen, v. 33, n. 3-4, p. 277-292, Feb. 1993.

DE HAER, L. C. M.; LUITING, P.; AARTS, H. L. M. Relations among individual (residual) feed intake, growth performance and feed intake pattern of growing pigs in group housing. **Livestock Production Science**, Wageningen, v. 36, n. 3, p. 233-253, Sept. 1993.

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**, Wageningen, v. 112, n. 3, p. 192-198, Dec. 2007.

FAOSTAT. **FAO Statistical Databases**: Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma, 2013. Disponível em: <<http://faostat.fao.org>>. Acesso em: 14 Dez. 2013.

FERREIRA, V. et al. Infrared thermography applied to the evaluation of metabolic heat loss of chicks fed with different energy densities. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v. 13, p. 113-118, June 2011.

FULLER, M. F. et al. The optimum dietary amino acid pattern for growing pigs. 2. Requirements for maintenance and for tissue protein accretion. **British Journal of Nutrition**, London, v. 62, n. 2, p. 255-267, Sept. 1989.

HAUSCHILD, L. et al. Development of sustainable precision farming systems for swine: estimating real-time individual amino acid requirements in growing-finishing pigs. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 90, n. 7, p. 2255-2263, July 2012.

HAUSCHILD, L.; POMAR, C.; LOVATTO, P. A. Systematic comparison of the empirical and factorial methods used to estimate the nutrient requirements of growing pigs. **Animal**, Cambridge v. 4, n. 5, p. 714-723, May 2010.

HEGER, J. et al. Individual response of growing pigs to lysine intake. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, Malden, v. 93, n. 5, p. 538-546, Oct. 2009.

HONEYMAN, M. S. Sustainability issues of U.S. swine production. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 74, p. 1410-1417, June 1996.

HYUN, Y. et al. Feed intake pattern of group-housed growing-finishing pigs monitored using a computerized feed intake recording system. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 75, n. 6, p. 1443-1451, June 1997.

JENSEN, M. B.; KYRIAZAKIS, I.; LAWRENCE, A. B. The activity and straw directed behaviour of pigs offered foods with different crude protein content. **Applied Animal Behaviour Science**, Midlothian, v. 37, n. 3, p. 211-221, Aug. 1993.

JOANNOPOULOS, E. et al. Impacts économiques et environnementaux de différents programmes de formulation et d'alimentation chez le porc charcutier. In: JOURNÉES DE LA RECHERCHE PORCINE, 45., 2013, Paris, **Anais...** Paris: Institut National de la Recherche Agronomique, 2013. p. 161-162.

KERR, B. J. et al. Influences of dietary protein level, amino acid supplementation and environmental temperature on performance, body composition, organ weights and total heat production of growing pigs. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 81, n. 8, p. 1998-2007, Aug. 2003.

LABROUE, F.; GUEBLEZ, R.; SELIER, P. Genetic parameters of feeding behaviour and performance traits in group-housed Large White and French Landrace growing pigs. **Genetics Selection Evolution**, Les Ulis Cedex, v. 29, n. 4, p. 451-468, Sept. 1997.

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. In: JOURNÉES DE LA RECHERCHE PORCINE, 37., 2005, Paris, **Anais...** Paris: Institut National de la Recherche Agronomique, 2005. p. 25-32.

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

MADRID, J. et al. Effects of low protein diets on growth performance, carcass traits and ammonia emission of barrows and gilts. **Animal Production Science**, Collingwood, v. 53, n. 2, p. 146-153, Jan. 2013.

MAIN, R. G. et al. Determining an optimum lysine:calorie ratio for barrows and gilts in a commercial finishing facility. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 86, p. 2190-2207, Sept. 2008.

MERTENS, D. Methods in modelling feeding behaviour and intake in herbivores. **Annales de Zootechnie**, Paris, v. 45, n. S1, p. 153-164, Jan. 1996.

NIELSEN, B. L. On the interpretation of feeding behaviour measures and the use of feeding rate as an indicator of social constraint. **Applied Animal Behaviour Science**, Midlothian, v. 63, n. 1, p. 79-91, Mar. 1999.



NIEMI, J. K. et al. The value of precision feeding technologies for grow-finish swine. **Livestock Science**, Wageningen, v. 129, n. 1, p. 13-23, Apr. 2010.

NRC. **Nutrient Requirements of Swine: eleventh revised edition**. Washington: The National Academies Press, 2012. 400 p.

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

POMAR, C. et al. Precision feeding can significantly reduce feeding cost and nutrient excretion in growing animals. In: SAUVANT, D.; MILGEN, J., et al (Org.). **Modelling nutrient digestion and utilisation in farm animals**. Wageningen: Wageningen Academic Publishers, 2010. p. 327-334.

POMAR, C. et al. Modeling stochasticity: dealing with populations rather than individual pigs. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 81, n. 14 S2, p. E178-E186, Feb. 2003.

POMAR, C. et al. Estimating real-time individual amino acid requirements in growing-finishing pigs: towards a new definition of nutrient requirements in growing-finishing pigs? In: SAKOMURA, N. K.; GOUS, R. M., et al (Org.). **Nutritional Modelling in Pigs and Poultry**. Wallingford: CABI, 2014, *in press*.

QUESNEL, H. et al. Influence of some sow characteristics on within-litter variation of piglet birth weight. **Animal**, Cambridge v. 2, n. 12, p. 1842-1849, Dec. 2008.

RENAUDEAU, D. et al. Effect of breed (lean or fat pigs) and sex on performance and feeding behaviour of group housed growing pigs in a tropical climate. **Asian-Australasian Journal of Animal Production Societies**, Seoul, v. 19, n. 4, p. 593-600, Apr. 2006.

RIVEST, J. et al. Estimating optimal smoothing parameters for the daily feed intake and weight forecasts required to implement sustainable precision farming systems for swine. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v. 91, p. 720 (Abstr.), Dec. 2012.

ROSTAGNO, H. S. et al. **Tabelas brasileiras para aves e suínos - Composição de alimentos e exigências nutricionais**. Viçosa: UFV, 2011. 252 p.

SAKOMURA, N. K.; ROSTAGNO, H. S. **Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos**. Jaboticabal: Funep, 2007. 283 p.

SCHAEFER, A. L. et al. The non-invasive and automated detection of bovine respiratory disease onset in receiver calves using infrared thermography. **Research in Veterinary Science**, Philadelphia, v. 93, n. 2, p. 928-935, Oct. 2012.

SIMMONS, J. Making safe, affordable and abundant food a global reality. **Technology's Role in the 21<sup>st</sup> Century**, Greenfield, p. 1-12, Mar. 2011.

TILMAN, D. et al. Agricultural sustainability and intensive production practices. **Nature**, London, v. 418, p. 671-677, Aug. 2002.

VAN MILGEN, J.; NOBLET, J. Partitioning of energy intake to heat, protein, and fat in growing pigs. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 81, n. 2, p. E86-E93, Feb. 2003.

VAUTIER, B. et al. Accounting for variability among individual pigs in deterministic growth models. **Animal**, Cambridge v. 7, n. 8, p. 1265-1273, Aug. 2013.

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**, Aveiro, v. 64, n. 1, p. 2-10, Nov. 2008.

WELLOCK, I. J.; EMMANS, G. C.; KYRIAZAKIS, I. Modeling the effects of stressors on the performance of populations of pig. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 82, p. 2442-2450, Aug. 2004.

WESCHENFELDER, A. V. et al. Use of infrared ocular thermography to assess physiological conditions of pigs prior to slaughter and predict pork quality variation. **Meat Science**, Cowra, v. 95, n. 3, p. 616-620, Nov. 2013.

YOUNG, R. J.; LAWRENCE, A. B. Feeding behaviour of pigs in groups monitored by a computerized feeding system. **Animal Science**, Cambridge, v. 58, n. 01, p. 145-152, Feb. 1994.

ZHANG, G. H. et al. L'alimentation de précision chez le porc charcutier: estimation des niveaux dynamiques de lysine digestible nécessaires à la maximisation du gain de poids. In: JOURNÉES DE LA RECHERCHE PORCINE, 44., 2012, Paris, **Anais...** Paris: Institut National de la Recherche Agronomique, 2012. p. 171-176.