

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**NÍVEIS DE ENERGIA LÍQUIDA EM DIETAS COM PROTEÍNA  
BRUTA REDUZIDA PARA SUÍNOS PESADOS**

**Cintia Fracaroli**

Zootecnista

2017

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**NÍVEIS DE ENERGIA LÍQUIDA EM DIETAS COM PROTEÍNA  
BRUTA REDUZIDA PARA SUÍNOS PESADOS**

**Cintia Fracaroli**

**Orientador: Prof. Dr. Luciano Hauschild**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Zootecnia.

**2017**

F825n Fracaroli, Cintia  
Níveis de energia líquida em dietas com proteína bruta reduzida para suínos pesados / Cintia Fracaroli. -- Jaboticabal, 2017  
xi, 62 p. : il. ; 29 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2017  
Orientador: Luciano Hauschild  
Banca examinadora: Maria Cristina Thomaz, Dirlei Antonio Berto  
Bibliografia

1. Carcaça. 2. Comportamento alimentar. 3. Eficiência alimentar. 4. Gordura. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 636.084.5:636.4

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.


**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**


**TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: NÍVEIS DE ENERGIA LÍQUIDA EM DIETAS COM PROTEÍNA BRUTA REDUZIDA PARA SUÍNOS PESADOS**

**AUTORA: CINTIA FRACAROLI**

**ORIENTADOR: LUCIANO HAUSCHILD**

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em ZOOTECNIA, pela Comissão Examinadora:

  
Prof. Dr. LUCIANO HAUSCHILD  
Departamento de Zootecnia / FCAV / UNESP - Jaboticabal

  
Prof. Dr. DIRLEI ANTONIO BERTO  
Departamento de Produção Animal / Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia de Botucatu

  
Profa. Dra. MARIA CRISTINA THOMAZ  
Departamento de Zootecnia / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 02 de março de 2017

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

Cintia Fracaroli, nascida em Pederneiras - SP, no dia 10 de fevereiro de 1984. Zootecnista, pela Universidade Estadual Paulista – UNESP, Campus de Botucatu, título obtido em dezembro de 2007. Durante a graduação foi bolsista de iniciação científica (FAPESP), sob a orientação do Prof. Dr. Dirlei Antônio Berto. Realizou o estágio de conclusão de curso na empresa Sadia SA (atual BRF SA) entre julho e novembro de 2007. Em dezembro de 2007 foi contratada pela mesma empresa para o cargo de Zootecnista Jr, atuando como extensionista no setor de terminação de suínos, onde permaneceu até fevereiro de 2011. Entre os anos de 2009 e 2010 cursou uma especialização em produção de suínos pela Universidade Tuiuti do Paraná, sendo o trabalho de monografia orientado pelo Prof. Dr. Fernando Rutz, docente da Universidade Federal de Pelotas. Em fevereiro de 2011 ingressou na empresa Nutron Alimentos LTDA (atual Cargill Alimentos LTDA) e atuou nos cargos de analista técnica de qualidade assegurada e analista de assuntos regulatórios até julho de 2014. Em março de 2015 iniciou o curso de mestrado pelo Programa de Pós Graduação em Zootecnia da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da UNESP, Campus de Jaboticabal. Foi bolsista do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e obteve o título de Mestre em Zootecnia em março de 2017, sob a orientação do Prof. Dr. Luciano Hauschild.

“Busque oportunidade e não segurança. Um barco no porto está seguro, mas com o tempo o fundo vai apodrecer.”

S. Brown

Aos meus pais José e Laila e a meu irmão Gustavo, por sempre apoiarem minhas decisões e me confortarem nas horas difíceis. Ao meu eterno professor Dirlei Antonio Berto, pelo suporte acadêmico, profissional e pelo incentivo na eterna caminhada do aprendizado, dedico.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, força soberana que rege o universo e nos guia pelas leis do amor.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Luciano Hauschild, por acreditar em mim e me dar condições de desenvolver habilidades, tanto nos aspectos profissionais como pessoais. Pela sua grandiosa humildade e capacidade de compreensão, demonstrando sua amizade e parceria em todos os momentos.

Aos meus amigos e companheiros de equipe, ordenados aqui em ordem alfabética: Alícia, Aline, Alini, Dani, Jaqueline, Luan e Welex. Minha eterna gratidão pela paciência, disponibilidade, amizade e parceria. Por se tornarem parte da minha família, por estarem ao meu lado durante o trabalho pesado, nas horas difíceis e também nas horas de lazer e estudo.

Aos parceiros do setor de suinocultura, José e Wilson, e da fábrica de ração, Helinho e Lucas. Por me ajudarem nas tarefas, onde muitas vezes a coragem e a força física faltaram. Por contagiarem o meu trabalho com otimismo e bom humor.

Ao meu namorado, Valmir, pela paciência, apoio, amor e dedicação durante essa fase tão importante da minha vida. Por muitas vezes escutar meus desabafos e aguentar meus momentos de mau humor e chatice.

Aos meus colegas de trabalho da Cargill, que me apoiaram quando decidi sair da empresa para fazer mestrado. Um agradecimento especial a minha ex-chefe e grande amiga, Érika Prieto. Por sempre me encorajar e apontar meus pontos fortes, para que eu pudesse fortalecê-los e meus pontos fracos, para que eu pudesse corrigi-los, em busca da melhoria contínua.

À banca de qualificação e defesa, pelos apontamentos e correções, os quais foram essenciais para a construção deste trabalho.

À FAPESP pelo apoio financeiro ao projeto de pesquisa.

Ao CNPq pela bolsa de estudos.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da FCAV-UNESP, pelo conhecimento compartilhado através das disciplinas, reuniões, palestras e conversas de corredor.

Ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da FCAV-UNESP, pelo suporte durante toda a realização do curso de Mestrado.

## SUMÁRIO

CERTIFICADO DA COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS...	ix
RESUMO.....	x
ABSTRACT .....	xi
CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	12
1. INTRODUÇÃO .....	12
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	13
2.1. Suíno pesado .....	13
2.2. Formulação de dietas com proteína bruta reduzida .....	16
2.3. A energia na nutrição de suínos.....	18
2.3.1. Sistemas de energia dos alimentos.....	18
2.3.2. Exigência de energia para suínos .....	22
2.3.3. Consumo de energia .....	24
2.4. Comportamento alimentar e regulação do consumo voluntário .....	27
3. REFERÊNCIAS.....	30
CAPÍTULO 2 – NET ENERGY LEVELS OF REDUCED CRUDE PROTEIN, AMINO ACID-SUPPLEMENTED DIETS FOR HEAVY PIGS.....	38
ABSTRACT .....	39
1. INTRODUCTION.....	40
2. MATERIAL AND METHODS.....	42
2.1. Animals, experimental design and management.....	42
2.2. Experimental diets .....	43
2.3. Performance and feeding behavior.....	44
2.4. Carcass characteristics .....	46
2.5. Statistical analysis .....	47
3. RESULTS.....	47

3.1. Feeding behavior.....	47
3.2. Performance.....	49
3.3. Carcass characteristics .....	49
4. DISCUSSION.....	51
4.1. Feeding behavior.....	51
4.2. Performance.....	53
4.3. Carcass characteristics .....	55
5. CONCLUSION .....	56
6. ACKNOWLEDGEMENTS .....	56
7. REFERENCES.....	57

## CERTIFICADO DA COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
Câmpus de Jaboticabal



### CEUA – COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS

#### CERTIFICADO

Certificamos que o Projeto intitulado "**Níveis de energia líquida em dietas com proteína bruta reduzida, suplementadas com aminoácidos, sobre o desempenho e características de carcaças de suínos pesados**", protocolo nº 14226/15, sob a responsabilidade do Prof. Dr. Luciano Hauschild, que envolve a produção, manutenção e/ou utilização de animais pertencentes ao Filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto o homem), para fins de pesquisa científica (ou ensino) - encontra-se de acordo com os preceitos da lei nº 11.794, de 08 de outubro de 2008, no decreto 6.899, de 15 de junho de 2009, e com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle da Experimentação Animal (CONCEA), e foi aprovado pela COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS (CEUA), da FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS, UNESP - CÂMPUS DE JABOTICABAL-SP, em reunião ordinária de 14 de setembro de 2015.

Vigência do Projeto	2015 a 2016
Espécie / Linhagem	Suínos
Nº de animais	65
Peso / Idade	100 Kg / 140 dias
Sexo	Machos castrados
Origem	Agroceres Pic

Jaboticabal, 14 de setembro de 2015.

  
Profª Drª Paola Castro Moraes  
Coordenadora – CEUA

## NÍVEIS DE ENERGIA LÍQUIDA EM DIETAS COM PROTEÍNA BRUTA REDUZIDA PARA SUÍNOS PESADOS

**RESUMO** – O objetivo dessa dissertação foi estudar níveis de energia líquida (EL) para suínos pesados em dietas com proteína bruta (PB) reduzida. O primeiro passo foi realizar uma revisão de literatura para compreender as características e demandas do suíno pesado, e como o uso da formulação com base em EL e PB reduzida contribui para uma nutrição de maior precisão. Um estudo foi realizado para investigar o efeito de diferentes níveis de EL em dietas com PB reduzida, suplementada com aminoácidos, sobre comportamento alimentar, desempenho e características de carcaça de suínos pesados (100 a 130 kg). Os suínos foram distribuídos aleatoriamente em blocos ao acaso, utilizando o peso inicial como critério, com 5 tratamentos (níveis EL: 2300, 2388, 2475, 2563 e 2650 kcal EL/kg) e 13 animais por tratamento, sendo o animal a unidade experimental. As dietas foram à base de milho, farelo de soja e farelo de trigo. Os níveis de PB foram semelhantes entre as dietas e aproximadamente 2% abaixo da exigência (13,9%). Os suínos foram pesados no início e no final do experimento. Os sistemas de alimentação automáticos registraram as visitas aos comedouros, a duração das refeições e a quantidade de alimento consumido por refeição. Com base nestes registros, calcularam-se os parâmetros de desempenho e de comportamento alimentar. No final do experimento, os suínos foram abatidos para avaliação da carcaça. Os níveis de energia líquida não afetaram o consumo médio diário de ração ( $P>0,05$ ), contudo, influenciaram o comportamento alimentar dos suínos. Os suínos alimentados com as dietas de 2388, 2475 e 2563 kcal EL/kg apresentaram menos ( $P<0,05$ ) refeições diárias do que os alimentados com as de 2300 e 2650 kcal EL/kg. Assim, estes animais ocuparam os comedouros menos tempo diariamente ( $P<0,05$ ) em comparação àqueles alimentados com 2300 e 2650 kcal EL/kg dietas. O consumo médio diário de EL aumentou linearmente ( $P<0,01$ ) com o aumento da EL, porém, o ganho médio diário de peso não diferiu ( $P>0,05$ ) entre os tratamentos. Foi observado efeito quadrático ( $P<0,01$ ) para a eficiência alimentar em função dos níveis crescentes de EL. A eficiência alimentar observada para o tratamento com 2563 kcal de EL/kg não diferiu ( $P>0,05$ ) da observada para os tratamentos com 2388 e 2475 kcal EL/kg, mas foi 9% maior ( $P<0,05$ ) em relação à apresentada pelos tratamentos com 2300 e 2650 kcal EL/kg. Aumentando-se a EL da dieta de 2300 para 2650 kcal EL/kg não foram constatadas diferenças ( $P>0,05$ ) para profundidade de lombo e área de olho de lombo. Entretanto, observou-se efeito linear ( $P<0,01$ ) no rendimento de carcaça quente e tendência para efeito quadrático ( $P<0,10$ ) para peso de carcaça quente, espessura de toucinho e percentual de carne na carcaça resfriada. Dentre os níveis de EL estudados em dietas práticas com PB reduzida para suínos pesados, os níveis de 2388, 2475 e 2563 kcal EL/kg apresentaram os melhores resultados, uma vez que os suínos demonstraram menor tempo de ocupação diário do comedouro e melhor eficiência alimentar.

**Palavras-chaves:** carcaça, comportamento alimentar, eficiência alimentar, gordura

## NET ENERGY LEVELS OF REDUCED CRUDE PROTEIN DIETS FOR HEAVY PIGS

**ABSTRACT** – The aim of this dissertation was to study net energy levels for heavy pigs in diets with reduced crude protein. The first step was to perform a literature review to understand the characteristics and demands of heavy pig and how the use of the formulation based on liquid energy and reduced crude protein contributes to a more accurate nutrition. A study was carried out to investigate the effect of different net energy (NE) levels on diets with reduced crude protein (CP), supplemented with amino acids, on feed behavior, performance and carcass characteristics of heavy pigs (100 to 130 kg). Pigs were randomly allotted to a randomized complete block, using initial body weight as the blocking criterion, with 5 treatments (NE levels: 2300, 2388, 2475, 2563 and 2650 Kcal NE/kg), and 13 pigs per treatment, being the animal the experimental unit. The diets were based on corn, soybean meal and wheat bran. CP levels were similar between diets and approximately 2% below the requirement (13.9%). Pigs were weighed at the beginning and end of the experiment. Electronic feeder systems automatically recorded the visits to the feeder, the time of the meals, and the amount of feed consumed per meal. Based on these recorded, data daily feed intake and feeding behavior were calculated. At the end of the experiment, the pigs were slaughtered for carcass evaluation. Net energy levels did not affect the average daily feed intake ( $P > 0.05$ ), but they influenced the feeding behavior of the pigs. The pigs fed the 2388, 2475 and 2563 kcal NE/ kg diets had less ( $P < 0.05$ ) daily meals than those fed the 2300 and 2650 kcal NE/kg diets. Thus, these animals occupied the feeders less time daily ( $P < 0.05$ ) compared to those fed the 2300 and 2650 kcal NE/kg diets. Average daily NE intake increased linearly ( $P < 0.01$ ) with increasing NE, however, average daily gain did not differ ( $P > 0.05$ ) between treatments. There was a quadratic effect ( $P < 0.01$ ) for feed efficiency with increasing NE levels. The feed efficiency of pigs fed 2563 kcal NE/kg diet did not differ ( $P > 0.05$ ) from the 2388 and 2475 kcal NE/kg treatments, but it was 9% higher ( $P < 0.05$ ) than the 2300 and 2650 kcal NE/kg treatments. Furthermore, loin depth and loin eye area did not change significantly ( $P > 0.05$ ) when NE levels increased from 2300 to 2650 kcal NE/kg in the diets. However, a linear effect ( $P < 0.01$ ) was observed on hot carcass yield and a trend to a quadratic effect ( $P < 0.10$ ) on hot carcass weight, backfat thickness and lean percentage. Among the studied levels, 2388, 2475 and 2563 kcal NE/kg showed the best results for reduced CP diets fed to heavy pigs, since the pigs occupied the feeders less time and had better feed efficiency.

**Keywords:** carcass, feeding behavior, feed efficiency, fat

## **CAPÍTULO 1 – Considerações gerais**

### **1. INTRODUÇÃO**

A suinocultura é uma atividade agropecuária de grande destaque no Brasil e no mundo. A produção de carne suína no Brasil em 2015 foi de 3.643 mil toneladas, estando o país em 4º lugar no ranking dos países de maiores produção e exportação (ABPA, 2016). Neste cenário, a seleção genética para animais com alto potencial de ganho de peso tem incentivado os suinocultores a produzirem suínos mais pesados ao abate.

O abate de suínos pesados é comum em países como Espanha e Itália, onde a tradicional fabricação de presuntos exige peças de maior tamanho. No Brasil o suíno é considerado pesado quando apresenta, ao abate, peso igual ou superior a 130 kg (MAPA, 2000). Esta prática pode ser vantajosa à medida que permite diluição dos custos fixos de produção (PARCK; LEE, 2011), tanto em nível de campo como de indústria. De forma geral, o período de terminação exige atenção devido à grande quantidade de ração utilizada, associada à baixa eficiência energética para deposição de carne magra. Em função disso, é constante a busca por estratégias nutricionais que otimizem o potencial de crescimento dos animais, principalmente quando o período de terminação é estendido em busca de maior peso ao abate.

O uso da formulação com proteína bruta reduzida e a suplementação de aminoácidos industriais é uma técnica que tem sido abordada por diversos pesquisadores (LE BELLEGO et al., 2001; FIGUEROA et al., 2002; HEO et al., 2008; VIDAL et al., 2010). Esta prática é comum entre os nutricionistas em função dos benefícios em relação à redução de custo da dieta, precisão no atendimento das exigências em aminoácidos e redução na excreção de nitrogênio. Contudo, esta técnica requer ajustes mais precisos no conteúdo energético da dieta, principalmente para animais em terminação, afim de não gerar desperdícios de energia que venham a ser incorporados na forma de gordura na carcaça.

O sistema de energia mais utilizado para formular dietas para suínos no Brasil tem sido o digestível ou o metabolizável. Estes sistemas não consideram, em sua totalidade, as diferenças de partição de energia existente entre os alimentos no

metabolismo animal. Em função disso, podem determinar respostas negativas em termos de carne magra na carcaça (NOBLET, 2006). Nesse sentido, a formulação pela energia líquida é considerada mais precisa e tem despertado o interesse dos nutricionistas. Entretanto, existe uma carência de informações quanto ao nível mais adequado de energia líquida para suínos pesados, sobretudo quando alimentados com dietas com baixo nível de proteína bruta.

Este trabalho teve como objetivo investigar efeitos de diferentes níveis de energia líquida em dietas com proteína bruta reduzida, suplementada com aminoácidos industriais, sobre o comportamento alimentar, desempenho e características de carcaça de suínos pesados (100 a 130 kg). No capítulo 1 buscou-se realizar uma revisão de literatura abordando o conceito de suíno pesado, formulação com proteína bruta reduzida, energia na nutrição de suínos e aspectos do comportamento alimentar. Esta revisão irá embasar a compreensão do capítulo 2, no qual está descrito o experimento científico propriamente dito e a discussão dos resultados obtidos.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. Suíno pesado**

Os avanços em melhoramento genético e nutrição animal têm elevado os índices de produtividade da suinocultura mundial nos últimos anos. A produção mundial de suínos passou de 91 milhões de toneladas no ano de 2000 (ABIPECS, 2000) para 112 milhões de toneladas no ano de 2015 (ABPA, 2016), um crescimento de 23%. No Brasil, neste mesmo período, houve um crescimento de 42% na produção de carne suína, passando de 2556 mil toneladas em 2000 para 3643, em 2015 (ABPA, 2016). O Brasil tem mantido uma posição de destaque no cenário mundial como 4º maior produtor de carne suína, atrás somente de China, União Europeia e Estados Unidos (ABPA, 2016). Esse crescimento está relacionado, principalmente, à melhora na produtividade e aumento no peso ao abate.

De forma geral, o peso vivo entre 90 e 120 kg tem sido o mais comum para o abate de suínos em diversos países (WOOD; WHITTEMORE, 2006). A produção de suínos com elevado peso ao abate é mais comum na Itália e Espanha, onde o

interesse é a fabricação de produtos curados, especialmente o tradicional presunto Parma (Itália) e o Teruel (Espanha). Para garantir melhores padrões de qualidade na produção do presunto Parma, os animais devem ser abatidos com peso vivo entre 160 e 170 kg (MANINI et al., 1997). O presunto Teruel requer animais com peso de abate próximo aos 125 kg (LATORRE; GARCÍA-BELENGUER; ARIÑO, 2008). Contudo, o abate de suínos com elevado peso ao abate tem alcançando fatias maiores de mercado. Os altos índices de ganho diário de peso, alcançado por animais selecionados para produção de carne magra, têm incentivado os produtores de suínos a aumentar o peso ao abate.

O suíno abatido com peso mínimo de 130 kg é designado, no Brasil, como “suíno pesado” pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2000). O abate destes animais vem se tornando uma tendência na suinocultura industrial. Com a adoção desta prática, a cadeia produtiva consegue reduzir custos operacionais (Tabela 1) e ampliar o valor agregado de cortes nobres, como pernil, lombo e paleta (WOOD; WHITTEMORE, 2006). Cerca de 80% das exportações brasileiras de carne suína são na forma de cortes (ABPA, 2016), o que reforça ainda mais o interesse em abater suínos pesados.

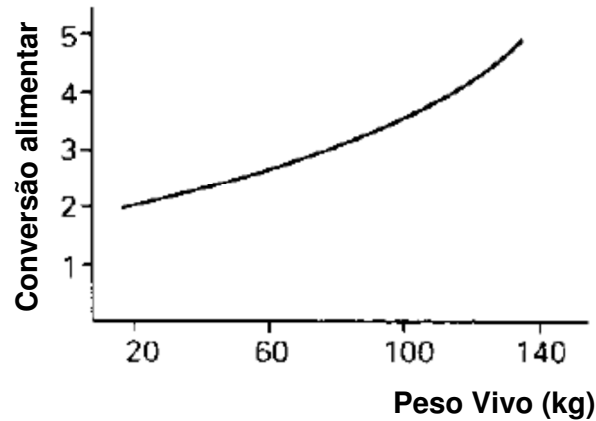
**Tabela 1.** Influência do peso vivo de abate sobre os custos de produção de 1 kg de carcaça suína<sup>1</sup>.

Peso Vivo (kg)	Peso de Carcaça (kg)	Custo fixo por kg de carcaça	Custo da ração por kg carcaça	Custo total por kg de carcaça
50	35	188	58	125
75	55	133	75	104
100	75	100	100	100
125	95	88	167	101
150	117	83	150	113

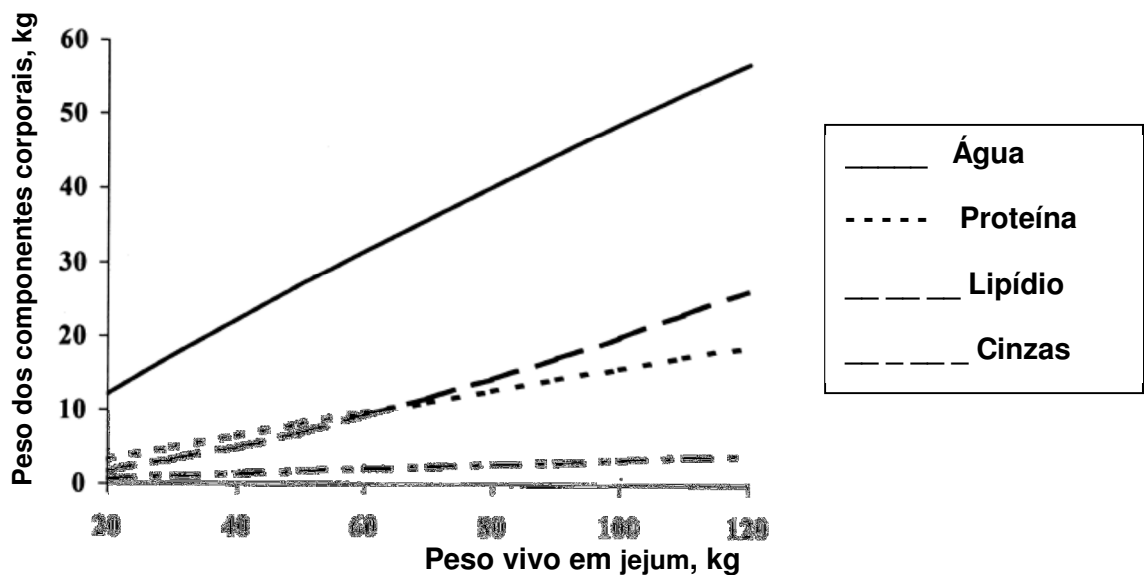
<sup>1</sup> Os custos estão expressos em percentual relativo a 100 kg de peso vivo. Adaptado de Wood e Whittemore (2006).

O aumento do peso de abate, entretanto, requer atenção com relação à deposição de gordura na carcaça e eficiência alimentar. A fase de terminação é um período que envolve grandes volumes de ração devido à alta capacidade de consumo dos animais, e a conversão alimentar dos suínos tende a piorar conforme o aumento do peso vivo (Figura 1). Embora os genótipos disponíveis atualmente sejam de animais selecionados para alta deposição de carne magra, a partir de

determinado peso vivo, a quantidade de lipídeo supera a de proteína na composição corporal dos suínos (Figura 2). Normalmente, entre 80 e 90 kg de PV, grande parte da energia ingerida é convertida em gordura, com conseqüente piora na eficiência alimentar e redução no percentual de carne magra na carcaça (AZAIN, 2001).



**Figura 1.** Comportamento da conversão alimentar em relação ao peso vivo de suínos, adaptado de Wood e Whittemore (2006).



**Figura 2.** Mudanças na composição química corporal com o aumento no peso vivo, adaptado de De Lange, Birket e Morel (2001).

Além do aspecto fisiológico, o aumento do peso ao abate influencia diretamente o manejo alimentar dos animais, uma vez que, quanto maior o PV, maior a densidade de alojamento e maior a competitividade por espaço de comedouro. Um consumo diário inadequado afetará o ganho de peso, originando lotes desuniformes, o que é bastante indesejado pela indústria frigorífica. Em função destes fatores e ciente de que o aumento do peso ao abate é uma tendência na

suinocultura industrial, o segmento tem buscado estratégias que permitam otimizar o processo produtivo como um todo. Contudo, ainda há carência de informações com relação aos níveis nutricionais para essa fase, necessitando mais estudos.

## 2.2. Formulação de dietas com proteína bruta reduzida

A formulação de rações para suínos era, inicialmente, baseada em composição química de proteína bruta e ou aminoácidos totais dos alimentos, o que normalmente resultava em dietas com conteúdo de aminoácidos acima do exigido (CHIARADIA, 2008). O conhecimento do metabolismo proteico e do perfil de aminoácidos dos alimentos, bem como de tecnologias para determinar a digestibilidade dos ingredientes de uma dieta, tem permitido formular rações com base em aminoácidos digestíveis. Isso tem permitido um melhor ajuste entre oferta de nutrientes e exigências nutricionais dos animais, com consequente melhora na eficiência de utilização do nitrogênio ingerido (MOREIRA; POZZA, 2014).

Dietas elaboradas apenas com cereais, farelos e farinhas não atendem, com exatidão, as necessidades em aminoácidos dos animais, sendo necessário o uso de aminoácidos industriais. A suplementação de aminoácidos essenciais permite um balanço aminoacídico mais próximo ao perfil da proteína ideal. A proteína ideal foi definida por Mitchell (1964), como sendo uma mistura de aminoácidos ou proteínas cuja composição atende às exigências dos animais para os processos de manutenção e crescimento, sem excessos ou deficiências, com o intuito de maximizar a eficiência de deposição proteica.

Quando os aminoácidos ingeridos estão acima das necessidades do organismo, o excesso deve ser catabolizado. Este catabolismo inicia-se pela desaminação, que acontece no fígado. Trata-se de um processo oneroso energeticamente para o organismo, em que o grupo amino do aminoácido é separado do grupo carboxila. O esqueleto de carbono, do grupo carboxila, pode ser convertido em glicose, pelo processo de neoglicogênese, e o nitrogênio, do grupo amino, é convertido em ureia e eliminado na urina (MOREIRA; POZZA, 2014). Desta forma, o excesso de aminoácidos na dieta contribui para elevar o conteúdo de nitrogênio nos dejetos, o que representa uma preocupação ambiental.

Uma estratégia para reduzir a quantidade de nitrogênio nos dejetos é reduzir o conteúdo de proteína das rações, suplementando-as com aminoácidos industriais (OLIVEIRA et al., 2007). Um ponto percentual de redução no nível de proteína bruta da dieta, associado à suplementação de aminoácidos, permite um decréscimo de 7,6% no total de nitrogênio excretado (DENG et al., 2007). Outros autores também observaram menor excreção de nitrogênio quando utilizaram dietas com menor teor de proteína (FIGUEROA et al., 2002; SHRIVER et al., 2003; LEEK et al., 2005). A redução do catabolismo dos aminoácidos em excesso também pode ser evidenciada pela menor concentração de nitrogênio ureático encontrado no plasma sanguíneo de animais alimentados com dietas com baixa proteína bruta (SHRIVER et al., 2003; HEO et al., 2008; YUE; QIAO, 2008).

A maximização da eficiência de utilização do nitrogênio pelo organismo é dependente de um aporte adequado de aminoácidos essenciais e de fonte de nitrogênio para síntese dos não essenciais. Deste modo, ao optar por trabalhar com proteína bruta reduzida, o nutricionista deve atentar-se para os limites críticos desta redução, para que não haja prejuízo ao desempenho dos animais. Com o uso de lisina sintética, em dietas à base de milho e farelo de soja, foi possível reduzir a proteína bruta em até dois pontos percentuais (FIGUEROA; CERVANTES; CUCA, 1999). No entanto, adicionando-se outros três aminoácidos limitantes (metionina, treonina e triptofano), foi possível reduzir até quatro unidades percentuais, ou cinco, adicionando também valina e isoleucina (FIGUEROA et al., 2002).

Outro aspecto importante é que as proteínas têm maior incremento calórico que os carboidratos e a gordura. O incremento calórico é o calor liberado durante os processos digestivos e metabólicos no organismo (KERR et al., 2003). Reduzindo-se a proteína bruta da dieta, também haverá menor desaminação de aminoácidos (LE BELLEGO et al., 2001) e, como consequência, menor produção de calor (NOBLET; SHI, 1994). Contudo, alguns estudos mostraram que animais alimentados com dietas com proteína bruta reduzida podem produzir carcaças mais gordas (TUITOEK et al., 1997; FERREIRA et al., 2005; OLIVEIRA et al., 2006, MADRID et al., 2013). O provável aumento de gordura na carcaça pode estar relacionado à maior disponibilidade de energia da dieta, como resultado da redução do gasto energético com a degradação do excesso de aminoácidos (KERR et al., 2003). Desta forma, a

estratégia de redução da proteína bruta requer também um adequado ajuste no conteúdo de energia da dieta, a fim de produzir carcaças com maior percentual de carne magra (NOBLET, 1996).

### 2.3. A energia na nutrição de suínos

O alto custo com alimentação e a crescente preocupação com a poluição ambiental desafiam os nutricionistas na escolha dos ingredientes da ração, bem como do sistema de energia a ser adotado na formulação. Os ingredientes que fornecem energia constituem a maior parcela do custo total da ração. Portanto, quanto maior a precisão no atendimento da exigência em energia do animal maior a possibilidade de redução dos custos de produção (NOBLET; SHI, 1994).

A ingestão de alimentos pelos suínos sofre influência da concentração energética da dieta, ou seja, os suínos são capazes de regular seu consumo para atender sua exigência em energia (NYACHOTI et al., 2004). A energia ingerida é priorizada para atender as exigências de manutenção e o restante é retido na forma de proteína ou gordura no corpo (LIZARDO et al., 2002). Essa partição, contudo, ocorre em função do estágio de crescimento, genética e condições ambientais (KIL; KIM; STEIN, 2013).

Os animais na fase de terminação depositam mais tecido adiposo que proteico em relação aos suínos na fase de crescimento (STEWART et al., 2013). Embora este conhecimento esteja consolidado, o nível de energia preconizado tem sido o mesmo para as duas fases (NRC, 2012). Além disso, no que se refere a animais pesados, onde esse efeito é mais acentuado, poucos estudos têm sido realizados para determinar o nível ideal de energia na dieta. Porém, antes de estimar o nível ideal de energia, é necessário estabelecer o sistema de energia mais adequado a ser utilizado na formulação.

#### 2.3.1. Sistemas de energia dos alimentos

O valor energético de um alimento resulta de todos seus componentes orgânicos tais como carboidratos, gorduras e proteínas, os quais, devido à sua

composição química orgânica de átomos de carbono e hidrogênio, podem ser oxidados a dióxido de carbono e água, gerando energia. A energia liberada na forma de calor quando uma substância orgânica é completamente oxidada a dióxido de carbono e água é denominada energia bruta e representa o primeiro sistema de energia do alimento, podendo ser mensurado em laboratório, com o uso de bomba calorimétrica (FERNANDES; TORO-VELASQUEZ, 2014).

Os vários constituintes de uma dieta variam quanto a sua digestibilidade e ao seu metabolismo de absorção, sendo que apenas uma parte da energia bruta de um alimento é aproveitada pelo animal. A porção não digerida representa a primeira perda de energia que sofre o alimento e irá constituir o bolo fecal. Esta porção será tanto maior quanto menor for o coeficiente de digestibilidade da matéria seca deste alimento (NOBLET, 1996). A variação no coeficiente de digestibilidade da energia bruta de um alimento está bastante relacionada ao conteúdo de fibra, a qual é menos digestível que outros componentes, tais como amido, proteína e gordura (NOBLET, 2006). Ao se deduzir a energia excretada nas fezes da energia bruta do alimento ingerido, obtém-se o segundo sistema de energia, a energia digestível, que representa entre 70 e 90% da energia bruta na maioria das dietas para suínos (SAUVANT; PEREZ; TRAN, 2004).

Além das perdas energéticas nas fezes, há também uma parte de energia perdida na forma de gases e urina. Ao se subtrair estas perdas de energia (gases e urina) da energia digestível, teremos o terceiro sistema de energia do alimento, a energia metabolizável. A energia metabolizável representa aproximadamente 96% da energia digestível e está bastante ligada à perda de energia pela urina, podendo ser observada pela concentração de nitrogênio existente na mesma (NRC, 1998). Em média, 50% do nitrogênio absorvido é eliminado na urina (SAUVANT; PEREZ; TRAN, 2004) e para cada grama de nitrogênio absorvido em excesso são necessários 7,43 kcal de energia para eliminá-lo na urina (NOBLET; LE GOFF, 2001).

A energia gasta nos processos digestivos e metabólicos durante a digestão gera calor e denomina-se incremento calórico. A energia despendida no incremento calórico subtraída da energia metabolizável, resulta no quarto sistema de energia do alimento, a energia líquida. A energia líquida pode ser direcionada para manutenção

(atendimento das atividades normais do organismo, sem ganho ou perda de peso) e para a produção (tecidos, lactação, gestação e outros). Em média, a energia líquida corresponde a 74% da energia metabolizável.

A razão entre as energias líquida e metabolizável de um alimento denomina-se eficiência de utilização da energia metabolizável para manutenção e produção e varia de acordo com as características químicas do alimento, de modo que os nutrientes não são utilizados com a mesma eficiência (KIL; KIM; STEIN, 2013). A eficiência de utilização da energia metabolizável é maior para gorduras (90%) e amidos (82%) e mais baixa para fibras e proteína bruta (60%) (NOBLET et al., 1994). Isso significa que o incremento calórico associado ao metabolismo de fibras e proteínas é maior em relação ao metabolismo de amidos e gorduras. Uma utilização prática deste conceito é o uso de dietas com baixa proteína e ou inclusão de gordura, considerada uma estratégia para reduzir o incremento calórico, muito utilizada em animais sob condições de estresse térmico (RENAUDEAU; QUINIOU; NOBLET, 2001).

O sistema de energia líquida representa, de forma mais precisa, a energia disponível nos ingredientes da ração em comparação aos sistemas de energia digestível ou metabolizável, pois considera as diferenças de eficiência de utilização de energia existente entre os nutrientes (MOEHN; ATAKORA; BALL, 2005). Deste modo, os sistemas de energia digestível e metabolizável podem subestimar os valores de energia para ingredientes ricos em lipídios e amido e superestimar valores de energia para aqueles ricos em proteína (NOBLET, 2007). A determinação da energia líquida de um alimento é mais difícil e complexa que a determinação das energias digestível e metabolizável. Essa é uma das razões pelas quais é menos utilizada nas formulações de ração. Contudo, muitos pesquisadores têm desenvolvido equações de predição para tornar o sistema de energia líquida mais aplicável (NOBLET et al., 1994; SAUVANT; PEREZ; TRAN, 2004).

No caso de suínos em terminação, principalmente suínos pesados, o uso do sistema de energia líquida pode permitir melhor atendimento das exigências nutricionais com o objetivo de maximizar a deposição de tecido magro na carcaça. Isso é justificado pois, nessa fase, a capacidade de ingestão é maior que a ingestão necessária para atender a exigência de energia, conseqüentemente, haverá maior

deposição de tecido adiposo. Nos estudos com animais alimentados com concentrações crescentes de energia líquida tem sido observada diminuição do consumo, aumento do ganho de peso e melhora na eficiência alimentar, contudo, há uma tendência em aumento na espessura de toucinho (QUINIOU; NOBLET, 2012). Isso ratifica ainda mais a necessidade de explorar melhor a resposta dos animais em relação ao nível ideal de energia líquida a ser utilizado para suínos pesados.

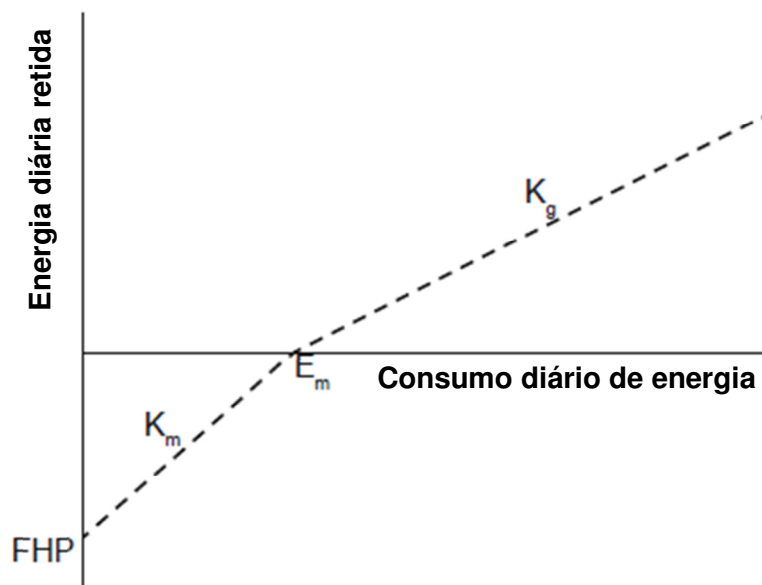
Outro enfoque das pesquisas com energia líquida diz respeito à sua relação com a proteína da dieta. A redução da proteína, com suplementação de aminoácidos industriais, objetivando minimizar a excreção de nitrogênio e permitir melhor atendimento das exigências em aminoácidos dos animais, tem direcionado a atenção dos pesquisadores para o conteúdo de energia líquida dessas dietas. A energia usada no processo de degradação da proteína e excreção do nitrogênio diminui quando os suínos recebem dietas com proteína bruta reduzida. Isso resulta em menor produção de calor e, conseqüentemente, maior disponibilidade de energia líquida para deposição de gordura (ZHANG et al., 2011). Cada grama de redução na ingestão de proteína bruta resulta em 1,7 kcal a menos de energia na forma de calor e 1,12 kcal a mais de energia líquida disponível para deposição de gordura (LE BELLEGO et al., 2001).

A compreensão da modulação do consumo pelo animal, para o atendimento de sua necessidade em energia, representa um desafio para o nutricionista no sentido de estabelecer uma dieta com a densidade energética ideal, a qual possibilite ao animal receber diariamente todos os nutrientes necessários para seu máximo desempenho. A formulação de dietas utilizando-se o sistema de energia líquida pode ser uma alternativa para minimizar custos e atender as exigências dos animais de forma mais precisa, permitindo, também, a obtenção de carcaças com menor percentual de gordura. Contudo, estudos mais detalhados sobre a determinação dos níveis ótimos de energia líquida para atingir tais resultados ainda são necessários, principalmente quando se trata de suínos pesados e dietas com proteína bruta reduzida.

### 2.3.2. Exigência de energia para suínos

A exigência de energia de um suíno pode ser determinada considerando três fatores: manutenção, deposição de proteína e deposição de lipídio. Baseado nisso, o consumo de energia pode ser expresso pela seguinte equação:  $E_{\text{consumo}} = E_m + PD/k_p + LD/k_l$ ; onde  $E_m$  é a energia para manutenção, PD é a energia para deposição de proteína, LD é a energia para deposição de lipídio e  $k_p$  e  $k_l$  são os coeficientes de utilização da energia para deposição de proteína e lipídio, respectivamente (KIELANOWSKI, 1965).

A energia utilizada para manutenção refere-se ao gasto energético para o metabolismo basal, *turnover* proteico, digestão e absorção de nutrientes, termo regulação, função imune e mecanismos relacionados ao stress (KNAP, 2009). Também pode ser definida como sendo o valor de energia consumido que resulta em retenção de energia no organismo igual a zero (Figura 3).



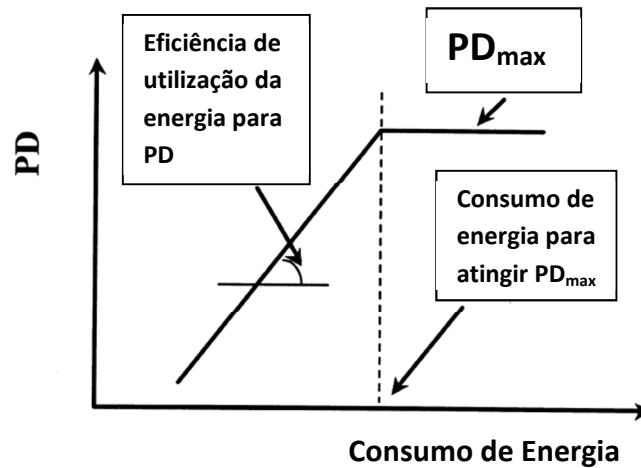
**Figura 3.** Representação gráfica da relação entre consumo e retenção de energia em suínos em crescimento.  $E_m$  = energia ingerida para manutenção; FHP = calor produzido em jejum;  $K_g$  = eficiência de utilização da energia para crescimento;  $K_m$  = eficiência de utilização da energia para manutenção (PATIENCE, 2012).

O requerimento de energia para manutenção pode ser obtido indiretamente medindo-se o calor produzido em jejum (câmaras calorimétricas) e adicionando o gasto energético com atividade física (VAN MILGEN; NOBLET, 2003). O gasto com

atividade física corresponde entre 8 a 15% do total consumido de energia metabolizável, variando conforme as condições sócio ambientais do local de alojamento (LE BELLEGO et al., 2001). Trata-se de um valor de difícil medição e acuracidade, pois só pode ser obtido em câmaras respirométricas, onde a atividade física apresentada pelos animais pode não necessariamente representar o que ocorre em condições de campo (PATIENCE, 2012).

Em geral, os nutricionistas utilizam equações de predição para estimar a exigência de energia para manutenção. Segundo o NRC (2012) a energia para manutenção de suínos nas fases de crescimento e terminação pode ser calculada pela equação  $E_m \text{ (kcal)} = 197 \times BW^{0.60}$ , onde BW é o peso vivo do animal (kg). Logo, quanto maior o peso vivo, maior a exigência de energia para manutenção. Além disso, a massa visceral corpórea demanda mais energia de manutenção comparada à massa muscular (PATIENCE, 2012). Esses fatores devem ser considerados quando se pretende elevar o peso de abate dos animais.

Após o atendimento da exigência de manutenção, o restante da energia ingerida será destinado ao crescimento. A exigência de energia por unidade de ganho de peso compreende o montante necessário para deposição de proteína e lipídio, dependendo do estágio de crescimento do animal (EWAN, 2001). A relação existente entre consumo de energia e deposição de proteína esta representada na Figura 4. Dentro de um determinado intervalo de peso vivo, e assumindo que não há nutrientes limitantes na dieta, a deposição de proteína aumenta linearmente conforme o aumento do consumo de energia até atingir o  $PD_{max}$  (BIKKER et al., 1995). O  $PD_{max}$  é determinado pelo genótipo e sexo, mas só pode ser alcançado se houver adequada suplementação de energia e ausência de limitadores de crescimento, tais como doenças e fatores de estresse sociais e ou ambientais (DE LANGE et al., 2001). O montante de energia ingerida acima do necessário para alcançar o  $PD_{max}$  é depositada como gordura, com conseqüente piora na eficiência alimentar (EWAN, 2001).



**Figura 4.** Representação gráfica da relação entre consumo de energia e deposição de proteína (PD) em suínos, adaptado de De Lange, Birkett e Morel (2001).

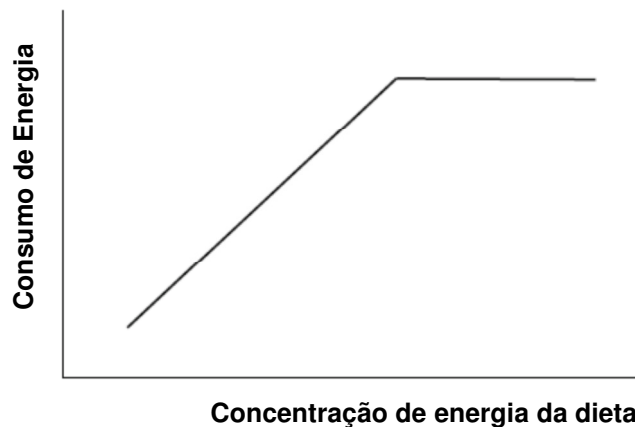
Em média, para depositar um grama de proteína e lipídio são necessárias, respectivamente, 10,03 e 11,65 kcal de energia metabolizável (PATIENCE, 2012). O fato de o tecido muscular conter grande quantidade de água contribui para que a eficiência de utilização da energia para deposição de proteína seja melhor em relação à deposição de lipídio (DE LANGE; BIRKETT; MOREL, 2001).

A deposição de proteína aumenta rapidamente nas fases iniciais, atinge um platô entre o final da fase de crescimento e início da terminação e tende à zero na maturidade (DE LANGE et al., 2001). Suínos selecionados para alta deposição de proteína podem atingir o PD<sub>max</sub> pesando entre 80 e 90 kg (BIKKER et al., 1995). Assumindo-se que o consumo de energia é o principal fator limitante para o crescimento dos suínos, então, as fases iniciais são mais energia-dependentes comparadas às finais (CAMPBELL et al., 1985). Isso aumenta a importância de caracterizar a relação entre consumo de energia e deposição de proteína entre diferentes intervalos de peso vivo, a fim de melhor definir os parâmetros nutricionais da dieta e obter carcaças de melhor qualidade.

### 2.3.3. Consumo de energia

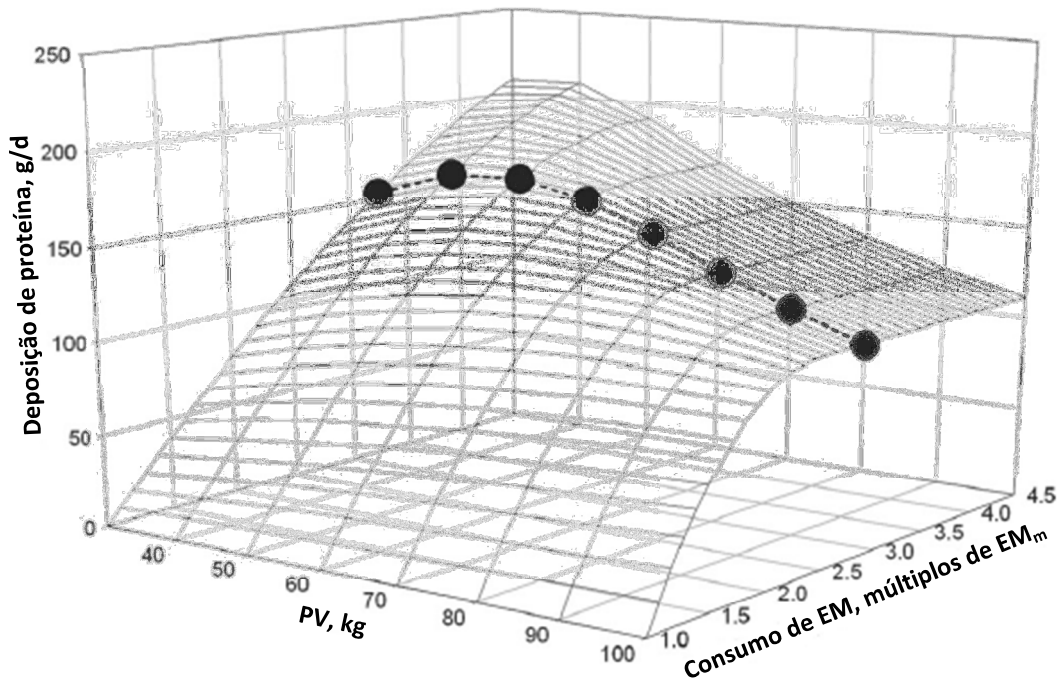
A máxima eficiência alimentar em suínos ocorre quando o consumo de energia disponível para o metabolismo é suficiente para permitir a máxima taxa de deposição de proteína em relação ao peso vivo e genótipo do animal (PATIENCE, 2012). Em geral, o suíno possui a capacidade de regular seu consumo de ração de

forma a atender sua exigência diária de energia. Na Figura 5 é possível observar que mesmo aumentando o nível de energia de uma dieta, em condições de consumo à vontade, o consumo de energia cresce linearmente até determinado ponto, a partir do qual se mantém constante. Este nível máximo de consumo de energia varia entre as fases de crescimento e está bastante relacionado à capacidade física de ingestão de alimento pelo animal.



**Figura 5.** Representação gráfica da relação entre consumo de energia e concentração de energia da dieta, adaptado de Patience (2012).

De acordo com Van Milgen e Noblet (2003), ilustrado pela Figura 6, suínos até 50 kg de peso vivo, possuem exigência diária de energia que pode superar sua capacidade física de ingestão de ração. Em outras palavras, o consumo diário de energia, neste período, pode ser insuficiente para atingir o  $PD_{max}$ . Nas fases posteriores do crescimento, menor quantidade de energia é necessária para alcançar a máxima deposição de proteína. Em suínos acima de 100 kg de peso vivo, a capacidade de ingestão pode superar a necessidade diária de energia do animal para alcançar o  $PD_{max}$ . Em função disso, as fases iniciais do crescimento são geralmente mais sensíveis às mudanças na concentração de energia da dieta quando comparadas as fases finais.



**Figura 6.** Deposição de proteína em função da ingestão de energia metabolizável (EM) e peso vivo (PV).  $EM_m$  = energia metabolizável para manutenção, adaptado de Van Milgen e Noblet (2003).

A literatura demonstra grande variabilidade de resultados relacionados ao consumo de energia de suínos em crescimento e terminação. Por exemplo, Suarez Belloch et al. (2013), estudando o aumento da concentração de energia líquida das dietas (2280 a 2420 kcal/kg) de fêmeas dos 90 aos 130 kg de peso vivo, encontrou diminuição no consumo de ração conforme houve aumento no nível de energia da dieta, contudo, não observou efeito sobre o ganho de peso e consumo de energia. Este estudo corrobora o de Cámara et al. (2016) que também observaram queda no consumo de ração ao aumentar a energia da dieta em suínos dos 80 aos 100 kg de peso vivo. No entanto, alguns trabalhos não observaram efeitos do aumento de energia da dieta sobre o consumo de ração de suínos em terminação (CHEN et al., 2011; KERR et al., 2003; ZHANG et al., 2011).

## 2.4. Comportamento alimentar e regulação do consumo voluntário

Uma das formas de proporcionar bem estar aos animais é oferecer condições para se alimentarem adequadamente, sem que haja fome e prejuízo à sua saúde e crescimento. De acordo com Phillips (2016), as cinco liberdades ligadas ao bem estar animal, desenvolvidas pela Farm Animal Welfare Council (FAWC, 2009), podem estar relacionadas com o impacto que a nutrição exerce sobre o bem estar animal (Tabela 2)

**Tabela 2.** As cinco liberdades para avaliação do bem estar e sua relação com a nutrição.

Liberdades	Relação com a nutrição
Livre de fome e sede	A desnutrição faz com que os animais expressem fome e sede.
Livre de desconforto	A desnutrição provoca desconfortos como inchaços, acidose, quetose, toxicidades etc. Algumas doenças são causadas pela deficiência de nutrientes. A claudicação, por exemplo, causa grande desconforto aos animais.
Livre de dor, injúrias ou doenças	A desnutrição acarreta doenças que vêm acompanhadas de dor. A restrição alimentar ocasiona competitividade entre os animais, trazendo injúrias.
Livre para expressar o comportamento normal	As dietas são frequentemente concentradas em energia e nutrientes essenciais. A manipulação das dietas pode alterar o comportamento alimentar normal dos animais à medida que torna a digestão mais ou menos lenta.
Livre de medo e estresse	Agressões associadas à restrição de comida podem provocar reações de medo e estresse.

Adaptado de Phillips (2016).

Alimentar-se é um comportamento natural de todos os animais e está profundamente ligado à sobrevivência das espécies. O comportamento alimentar pode sofrer influência de fatores como temperatura ambiente, dieta, interações sociais, densidade de alojamento e estado sanitário (BROWN-BRANDL; ROHRER; EIGENBERG, 2013). O estudo do comportamento alimentar pode fornecer informações para melhorar a produtividade dos suínos à medida que ajuda a compreender os fatores que influenciam o consumo de ração. Um animal com livre

acesso ao alimento demonstra seu comportamento alimentar por meio de suas refeições. Uma refeição pode ser definida como um período distinto de alimentação que pode apresentar pequenas pausas separadas por intervalos de tempo maiores (FORBES, 1995). Assume-se que os animais finalizam uma refeição quando se encontram saciados (FORBES, 1995). A próxima refeição terá início quando a sensação de saciedade estiver abaixo de um ponto crítico (MASELYNE; SAEYS; VAN NUFFEL, 2015), dando lugar à sensação de fome, a qual irá motivar o animal a buscar novamente o alimento.

O comportamento alimentar pode ser avaliado por indicadores, tais como número diário de refeições, quantidade consumida por refeição, tempo de permanência no comedouro, taxa de ingestão e intervalo entre refeições. Estes indicadores são ferramentas muito úteis que podem revelar como os animais percebem a dieta oferecida e se motivam a consumi-la. Além disso, auxiliam na avaliação do programa alimentar adotado e de como as características das dietas influenciam o comportamento alimentar dos suínos. Por exemplo, animais submetidos à restrição alimentar costumam consumir o alimento mais rapidamente, especialmente se houver competição por comedouro (NIELSEN, 1999). Essa condição pode ser observada mais claramente pela taxa de ingestão.

Os suínos e demais animais de produção geralmente alimentam-se em grupos, envolvendo competição entre os membros. Isso ocorre, pois além da fome, o animal sente-se motivado a procurar alimento ao visualizar o outro fazer o mesmo (NIELSEN; JONG; DE VRIES, 2016). Esta situação pode ser agravada quando há falta de espaço na baia e/ ou comedouros, muito comum em grandes criações, principalmente nas fases de terminação, quando o consumo diário de ração é alto. Esta competição, embora natural, deve ser levada em consideração, pois pode acarretar prejuízos ao desempenho dos animais e desuniformidade de lotes.

Ainda é pouco frequente, a nível comercial, a avaliação do comportamento alimentar dos suínos. Se considerarmos a dificuldade existente para mensurar o consumo individual diário dos animais, obter dados como tempo de permanência no comedouro e número diário de refeições, também é difícil para os suinocultores. Contudo, já existem alguns equipamentos capazes de fornecer essas medidas, como as estações de alimentação automática que registram, em tempo real, todos

os eventos de consumo de cada animal. Muitos países já possuem este tipo de equipamento, como o AIPF (Automatic and Intelligent Precision Feeder), desenvolvido pela University of Lleida, na Espanha.

Para compreender as medidas de comportamento alimentar é necessário saber de que forma o organismo regula o consumo voluntário de alimento. A regulação do consumo é controlada pelo sistema nervoso central por intermédio de estímulos físicos e químicos liberados pelo trato gastrointestinal (FORBES, 1995). Trata-se de um sofisticado mecanismo envolvendo interações neurais e endócrinas. De acordo com Black, Williams e Gidley (2009), o consumo voluntário é controlado por dois principais processos: (1) capacidade do trato gastrointestinal, que está relacionado com a taxa de passagem da digesta e (2) controle da saciedade e fome, que resulta da absorção dos produtos da digestão e metabólitos gerados pelos processos bioquímicos.

A presença de alimento no estômago ou no intestino faz com que haja contrações gástricas, as quais, por sua vez, atuam sobre o sistema nervoso central, por meio do estímulo ao nervo vago, induzindo uma resposta de saciedade (FORBES, 1995). Trata-se de um estímulo físico desencadeado, principalmente, pela distensão das paredes estomacais em um dado volume de enchimento gástrico. Dietas com mais constituintes fibrosos geralmente acarretam rápido enchimento gástrico e acelerada taxa de passagem (NOBLET; LE GOFF, 2001). Em função disso, a sensação de saciedade é rapidamente substituída pela de fome.

O hormônio colecistoquinina (CCK) é secretado pelas células do intestino quando há presença de glicose e lipídeos. A CCK atua sobre o sistema nervoso central por meio de um *feed back* negativo que resulta em sensação de saciedade e diminuição no consumo (RYAN; WOODS; SEELEY, 2012). Quando alimentados com dietas energeticamente densas, os suínos tendem a consumir menos ração (KYRIAZAKIS; WHITTEMORE, 2006). Isso é particularmente importante em situações de estresse por calor, quando, para compensar o baixo consumo de ração dos animais e garantir adequada ingestão de nutrientes, elabora-se uma dieta de maior conteúdo energético.

A expressão do comportamento de consumo é uma consequência da demanda de energia pelo organismo. Quando uma dieta pobre energeticamente é

oferecida a um animal com alta demanda de energia, o consumo de ração tende a aumentar até atingir sua exigência, salvo em condições em que a capacidade do trato digestivo não suporta esse aumento (KYRIAZAKIS; WHITTEMORE, 2006). Em função disso, o aporte de aminoácidos, vitaminas e minerais deve ser feito em função do consumo de energia do animal de modo a não limitar a ingestão dos mesmos. Nesse sentido, os indicadores de comportamento alimentar podem auxiliar a evidenciar possíveis falhas nutricionais e evitar prejuízos ao desempenho dos animais.

A ausência de dados consistentes sobre o consumo diário de energia para suínos em fase de terminação dificulta a formulação de dietas e a definição de programas nutricionais. O conteúdo energético de uma dieta pode ser melhor determinado conhecendo-se o consumo médio de ração diário dos animais. Além disso, outro aspecto importante é o conhecimento do efeito do nível de energia sobre o comportamento alimentar dos animais. Esta é uma condição dificilmente encontrada a campo, onde os produtores raramente gerenciam este tipo de informação. Dado que a energia é um componente de alto custo na dieta, definir corretamente a concentração energética de uma dieta é essencial para viabilizar a produção comercial de suínos.

### 3. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA PRODUTORA E EXPORTADORA DE CARNE SUÍNA (ABIPECS), 2000, São Paulo. **Relatório Anual**. Disponível em: <<http://abpa-br.com.br/files/publicacoes/6c8d7f5aa4793dfca5577b2862fe0452.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL (ABPA), 2016, São Paulo. **Relatório Anual**. Disponível em: <<http://abpa-br.com.br/files/publicacoes/c59411a243d6dab1da8e605be58348ac.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2016.

AZAIN, M. J., 2001. Fat in Swine Nutrition. In: LEWIS, A. J., SOUTHERN, L. L. (Eds.). **Swine Nutrition**. 2th ed. New York: CRC Press, 2001. cap. 6. p. 95-106.

BIKKER, P.; KARABINAS, V.; VERSTEGEN, M. V.; CAMPBELL, R. G. Protein and lipid accretion in body components of growing gilts (20 to 45 kilograms) as affected by energy intake. **Journal of Animal Science**, v. 73, n. 8, p. 2355-2363, 1995.

BLACK, J. L.; WILLIAMS, B. A.; GIDLEY, M. J. Metabolic regulation of feed intake in monogastric mammals. In: TORRALLARDONA, D.; ROURA, G. **Voluntary feed intake in pigs**. Wageningen: Wageningen Academic Publishers, 2009. p. 187-211.

BROWN-BRANDL, T. M.; ROHRER, G. A.; EIGENBERG, R. A. Analysis of feeding behaviour of group housed growing-finishing pigs. **Computers and Eletrons in Agriculture**, v. 96, p. 246-252, 2013.

CÁMARA, L.; BERROCOSO, J. D.; COMA, J.; LÓPEZ-BOTE, C. J.; MATEOS, G. G. Growth performance and carcass quality of crossbreds pigs from two Pietrain sire lines fed isoproteic diets varying in energy concentration. **Meat Science**, v. 114, p. 69-74, 2016.

CAMPBELL, R. G.; TAVERNER, M. R.; CURIC, D. M. The influence of feeding level on the protein requirement of pigs between 20 and 45 kg live weight. **Animal Production**, v. 40, 489-496, 1985.

CHEN, H.; YI, X.; ZHANG, G.; LU, N.; CHU, L.; THACKER, P. A.; QIAO, S. Studies on reducing nitrogen excretion: 1. Net energy requirements of finishing pigs maximizing performance and carcass quality fed low crude protein diets supplemented with crystalline amino acids. **Jounal of Animal Science and Biotechnology**. v. 2, p. 84-93, 2011.

CHIARADIA, R.C.F. **Níveis de lisina e energia em rações formuladas com baixo teor de proteína bruta para suínos em crescimento**. 2008. 85f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

DE LANGE, C. F. M.; BIRKETT, S. H.; MOREL, P. C. H. Protein, fat, and bone tissue growth in swine. In: LEWIS, A. J., SOUTHERN, L. L. (Eds.). **Swine Nutrition**. 2th ed. New York: CRC Press, 2001. cap. 4. p. 65-81.

DE LANGE, C. F. M.; MARTY, B. J., BIRKETT, S., MOREL, P., SZKOTNICKI, B. Application of pig growth models in commercial pork production. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 81, p. 1-8, 2001.

DENG, D.; HUANG, R. L.; LI, T. J.; WU, G. Y.; XIE, M. Y.; TANG, Z. R.; KANG, P.; ZHANG, Y. M.; FAN, M. Z.; KONG, X. F.; RUAN, Z.; XIONG, H.; DENG, Z. Y.; YIN, Y-L. Nitrogen balance in barrows fed low-protein diets supplemented with essential amino acids. **Livestock Science**, v.109, p. 220–223, 2007.

EWAN, R. C. Energy utilization in swine nutrition. In: LEWIS, A. J.; SOUTHERN, L. L.; (Eds.). **Swine Nutrition**. 2th ed. New York: CRC Press, 2001. cap. 5. P. 82-93.

FARM ANIMAL WELFARE COUNCIL (FAWC), 2009. London. Farm animal welfare in Great Britain: past, present and future. Farm Animal Welfare Council. Disponível em: <[http://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/animalwelfare/annualreview09-10.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/animalwelfare/annualreview09-10.pdf)>. Acesso em: 18 nov. 2016.

FERNANDES, M. H. M. R.; TORO-VELASQUEZ, P.A. Metabolismo energético. In: SAKOMURA, N. K.; SILVA, J. H. V.; COSTA, F. G. P.; FERNANDES, J. B. K.; HAUSCHILD, L. (Eds.). **Nutrição de não ruminantes**. 1ª ed. Jaboticabal: Funep, 2014. p. 79-93.

FERREIRA, R. A.; OLIVEIRA, R. F. M.; DONZELE, J. L.; ARAUJO, C. V.; SILVA, F. C. O.; FONTES, D. O.; SARAIVA, E. P. Redução do nível de proteína bruta e suplementação de aminoácidos em rações para suínos machos castrados mantidos em ambiente termoneutro dos 30 aos 60 kg. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n.2, p. 548-556, 2005.

FIGUEROA, J. L.; LEWIS, A. J.; MILLER, P. S.; FISCHER, R. L.; GÓMEZ, R. S.; DIEDRICHSEN, R. M. Nitrogen metabolism and growth performance of gilts fed standard cornsoybean meal diets or low-crude protein, amino acid supplemented diets. **Journal of Animal Science**, v.80, p.2911-2919, 2002.

FIGUEROA, J.L.; CERVANTES, M.; CUCA, M. Lysine and threonine sources for growing pigs under heat stress. **Cuban Journal of Agricultural Science**, v.33, p.183-189, 1999.

FORBES, J. M., 1995. Feeding Behaviour. in: \_\_\_\_\_. (Ed.). **Voluntary food intake and diet selection in farm animals**. Wallingford: CAB International, 1995. p. 11-37.

HEO, J-M.; KIM, J. C.; HANSEM, C. F.; MULLAN, B. P.; HAMPSON, D. J.; PLUSKE, J. R. Effects of feeding low protein diets to piglets on plasma urea nitrogen, faecal ammonia nitrogen, the incidence of diarrhoea and performance after weaning. **Archives of Animal Nutrition**, v. 62, n.5, p.343–358, 2008.

KERR, B. J.; SOUTHERN, L. L.; BIDNER, T. D.; FRIESEN, K. G.; EASTER, R. A. Influence of dietary protein level, amino acid supplementation, and dietary energy levels on growing-finishing pig performance and carcass composition. **Journal of Animal Science**, v. 81, p. 3075-3087, 2003.

KIELANOWSKI, J. Estimates of the energy cost of protein deposition in growing pigs. In: BLAXTER, K. L. (Ed.). **Energy Metabolism**. London: Academic Press, 1965. p. 13-20.

KIL, D.Y, KIM, B.G, STEIN, H. H. Feed Energy Evaluation for Growing Pigs. **Asian Australasian Journal of Animal Science**, v. 26, p. 1205-1217, 2013.

KNAP, P. W. Allocation of resources to maintenance. In: RAUW, W. M. (ed). **Resource Allocation theory applied to farm animal production**. Cambridge: CAB International, 2009, p. 110-129.

KYRIAZAKIS, I.; WHITTEMORE, C. T. Appetite and voluntary feed intake. In: \_\_\_\_\_. (Eds.). **Whittemore's science and practice of pig production**. 3th ed. Oxford: Blackwell Publishing Ltd, 2006. p. 417-436.

LATORRE, M. A.; GARCÍA-BELENGUER, E.; ARIÑO, L. The effects of sex and slaughter weight on growth performance and carcass traits of pigs intended for dry-cured ham from Teruel (Spain). **Journal of Animal Science**, v. 86, p. 1933-1942, 2008.

LE BELLEGO, L.; VAN MILGEN, J.; DUBOIS, S.; NOBLET, J. Energy utilization of low-protein diets in growing pigs. **Journal of Animal Science**, v.79, p.1259-1271, 2001.

LEEK, A. B. G.; CALLAN, J. J.; HENRY, R. W.; O'DOHERTY, J. V. The application of low crude protein wheat-soyabean diets to growing and finishing pigs, 2. The effects on nutrient digestibility, nitrogen excretion, faecal volatile fatty acid concentration and ammonia emission from boars. **Irish Journal of Agricultural and Food Research**, v.44, p.247–260, 2005.

LIZARDO, R.; VAN MILGEN, J. MOUROT, J.; NOBLET, J.; BONNEAU, M. Nutritional model of fatty acid composition in the growing-finishing pig. **Livestock Production Science**, v.75, p.167-182, 2002.

MADRID, J.; MARTÍNEZ, S.; LÓPEZ, C.; ORENCO, J.; LÓPEZ, M. J.; HERNÁNDEZ, F. Effects of low protein diets on growth performance, carcass traits and ammonia emission of barrows and gilts. **Animal Production Science**, v. 53, p. 146-153, 2013.

MANINI, R.; PIVA, A.; PRANDINI, A.; MORDENTI, A.; PIVA, G.; DOURMAD, J. Y. Protein retention in Italian heavy pigs: Development of a factorial approach for the determination of lysine requirement. **Livestock Production Science**, v. 47, p. 253-259, 1997.

MASELYNE, J.; SAEYS, W.; VAN NUFFEL, A. Review: Quantifying animal feeding behaviour with a focus on pigs. **Physiology & Behaviour**, v. 138, p. 37-51, 2015.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA), 2000. **Instrução normativa** nº 22. Anexo III. Disponível em <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=consultarLegislacaoFederal>>. Acesso em: 15 nov. 2016.

MITCHELL, H. H. Comparative nutrition of man and domestic animals. In: \_\_\_\_\_. (Ed.). **Comparative nutrition of man and domestic animals**. New York: Academic Press, 1964, p. 567-647.

MOEHN, S.; ATAKORA, J.; BALL, R.O. Using net energy for diet formulation: Potential for the Canadian pig industry. **Advances in Pork Production**, v. 16, p. 119-129, 2005.

MOREIRA, I; POZZA, P.C. Metabolismo proteico. In: SAKOMURA, N. K.; SILVA, J. H. V.; COSTA, F. G. P.; FERNANDES, J. B. K.; HAUSCHILD, L. (Eds.). **Nutrição de não ruminantes**. 1ª ed. Jaboticabal: Funep, 2014. p.112-125.

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**, v. 63 n. 1, p. 79-91, 1999.

NIELSEN, B. L.; JONG, I. C.; DEVRIES, T. J. The use of feeding behavior in the assessment of animal welfare. In: PHILLIPS, C. J. C. (Ed.). **Nutritional and the welfare of farm animals**, vol. 16. Gattón: Springer International Publishing Switzerland, 2016. p. 59-84.

NOBLET, J. Digestive and metabolic utilization of dietary energy in pig feeds: comparison of energy systems. In: GARNSWORTHY, P.C.; WISEMAN, J.; HARESIGN, W. (Ed.). **Recent advances in Animal Nutrition**. Nottingham: Nottingham University Press, 1996. p. 207-231.

NOBLET, J. Energy Evaluation of Feeds for Pigs: Consequences on Diet Formulation and Environment Protection. **Lohmann Information**, v.41, p.38-50, 2006.

NOBLET, J. Net energy evaluation of feeds and determination of net energy requirements for pigs. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, *suplemento especial*, p. 277-284, 2007.

NOBLET, J.; FORTUNE, H.; SHI, X. S.; DUBOIS, S. Prediction of net energy value of feeds for growing pigs. **Journal of Animal Science**, v.72, p. 344-353, 1994.

NOBLET, J.; LE GOFF, G. Effect of dietary fibre on the energy value of feeds for pigs. **Animal Feed Science Technology**, v. 90, p. 35-52, 2001.

NOBLET, J.; SHI, X. S. Effect of body weight on digestive utilization of energy and nutrients of ingredients and diets in pigs. **Livestock Production Science**, v.37, n.3, p. 323-338, 1994.

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

NRC. 2012. **Nutrient requirements of swine**. 11th ed. National. Academy Press, Washington, DC.

NYACHOTI, C. M.; ZILJLSTRA, R. T.; DE LANGE, C. F. M.; PATIENCE, J. F. Voluntary feed intake in growing-finishing pigs: A review of the main determining factors and potential approaches for accurate predictions. **Canadian Journal of Animal Science**, v.84, p. 549-566, 2004.

OLIVEIRA, V.; FIALHO, E. T.; LIMA, J. A. F.; ARAUJO, J. S. Metabolismo do nitrogênio em suínos alimentados com dietas contendo baixos teores de proteína bruta. **Revista Brasileira de Agrociências**, v.13, n.2, p. 257-260, 2007.

OLIVEIRA, V.; FIALHO, E. T.; LIMA, J. A. F.; FREITAS, R. T. F.; BERTECHINI, A. G.; ARAUJO, J. S. Desempenho e composição corporal de suínos alimentados com rações com baixos teores de proteína bruta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.12, p. 1775-1780, 2006.

PARCK, B.; LEE, C. Feasibility of increasing the slaughter weight of finishing pigs. **Journal of Animal Science and Technology**, v. 53, p. 211-212, 2011.

PATIENCE, J. F. The influence of dietary energy on feed efficiency in grow-finish swine. In: \_\_\_\_\_. (Ed.). **Feed efficiency in swine**. Wageningen: Wageningen Academic Publishers, 2012, p. 101-129.

PHILLIPS, C. J. C. Introduction to welfare and nutrition. In: \_\_\_\_\_. (Ed.). **Nutritional and the welfare of farm animals**, vol. 16. Gattton: Springer International Publishing Switzerland, 2016. p. 1-9.

QUINIOU, N.; NOBLET, J. Effect of the dietary net energy concentration on feed intake and performance of growing finishing pigs housed individually. **Journal of Animal Science**, v.90, p.4362–4372, 2012.

RENAUDEAU, D.; QUINIOU, N.; NOBLET, J. Effect of high ambient temperature and dietary protein level on performance of multiparous lactating sows. **Journal of Animal Science**, v.79, p.1240-1249, 2001.

RYAN, K. K.; WOODS, S. C.; SEELEY, R. J. Central Nervous System Mechanisms Linking the Consumption of Palatable High-Fat Diets to the Defense of Greater Adiposity. *Cell Metabolism*, v. 15, p. 137-149, 2012.

SAUVANT, D.; PEREZ, J.M.; TRAN, G. **Tablas de composición y de valor nutritivo de las materias primas destinadas a los animales de interés ganadero: cerdos, aves, bovinos, ovinos, caprinos, conejos, caballos, peces**. Madrid: Ediciones Mundi Prensa, 2004.

SHRIVER, J. A.; CARTER S. D.; SUTTON, A. L.; RICHERT, B. T.; SENNE, B. W.; PETTEY, L. A. Effects of adding fiber sources to reduced-crude protein, amino acid-supplemented diets on nitrogen excretion, growth performance, and carcass traits of finishing pigs. **Journal of Animal Science**, v.81, p.492–502, 2003.

STEWART, L. L.; KIL, D. Y.; JI, F.; HINSON, R. B.; BEAULIEU, A. D.; ALLEE, G. L.; PATIENCE, J. F.; PETTIGREW, J. E.; STEIN, H. H. Effects of dietary soybean hulls and wheat middlings on body composition, nutrient and energy retention, and the net energy of diets and ingredients fed to growing and finishing pigs. **Journal of Animal Science**, v. 91, p. 2756-2765, 2013.

SUAREZ-BELLOCH, J.; SANZ, M. A.; JOY, M.; LATORRE, M. A. Impact of increasing dietary energy level during the finishing period on growth performance, pork quality and fatty acid profile in heavy pigs. **Meat Science**, v. 93, p. 796-801, 2013.

TUITOEK, K.; YOUNG, L. G.; DE LANGE, C. F. M.; KERR, B. J. The effect of reducing excess dietary amino acids on growing-finishing pig performance: an elevation of the ideal protein concept. **Journal of Animal Science**, v. 75, p. 1575-1583, 1997.

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

VIDAL, T. Z. B.; FONTES, D. O.; SILVA, F. C. O.; VASCONCELLOS, C. H. F.; SILVA, M. A.; KILL, J. L.; SOUZA, L. P. O.; et al. Efeito da redução da proteína bruta e da suplementação de aminoácidos para suínos machos castrados, dos 70 aos 100kg. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.62, n.4, p.914-920, 2010.

WOOD, J.; WHITTEMORE, C. T. Pig Meat and carcass quality. In: KYRIAZAKIS, I.; WHITTEMORE, C. T. (Eds.). **Whittemore's science and practice of pig production**. 3th ed. Oxford: Blackwell Publishing Ltd, 2006. cap. 2, p. 4-61.

YUE, L.Y.; QIAO, S.Y. Effects of low-protein diets supplemented with crystalline amino acids on performance and intestinal development in piglets over the first 2 weeks after weaning. **Livestock Science**, v.115, p.144–152, 2008.

ZHANG, G.-J., YI, X.-W., CHU, L.-C., NING, L. U., HTOO, J., QIAO, S.-Y. Effects of dietary net energy density and standardized ileal digestible lysine: net energy ratio on the performance and carcass characteristic of growing-finishing pigs fed low crude protein supplemented with crystalline amino acids diets. **Agricultural Sciences in China**, v. 10, p. 602-610, 2011.

## **CAPÍTULO 2 – Net energy levels of reduced crude protein, amino acid-supplemented diets for heavy pigs**

Este capítulo é apresentado de acordo com as normas da **Livestock Science**

**Net energy levels of reduced crude protein, amino acid-supplemented diets for heavy pigs**

Cintia Fracaroli<sup>1\*</sup>, Dani Perondi<sup>1</sup>, Luan Sousa dos Santos<sup>1</sup>, Welex Cândido da Silva<sup>1</sup>, Alini Mari Veira<sup>1</sup>, Luciano Hauschild<sup>1</sup>

<sup>1</sup>São Paulo State University (Unesp), School of Agricultural and Veterinarian Sciences, Jaboticabal, Brazil. Animal Science Department. Cep14883-108.

\*Corresponding author: Cintia Fracaroli, [cifracaroli@yahoo.com.br](mailto:cifracaroli@yahoo.com.br) (+55-16 3209 7443)

**ABSTRACT**

This study aimed to investigate the effect of different net energy (NE) levels on diets with reduced crude protein (CP), supplemented with amino acids, on feed behavior, performance and carcass characteristics of heavy pigs (100 to 130 kg). Pigs were randomly allotted to a randomized complete block, using initial body weight as the blocking criterion, with 5 treatments (NE levels: 2300, 2388, 2475, 2563 and 2650 Kcal NE/kg), and 13 pigs per treatment, being the animal the experimental unit. The diets were based on corn, soybean meal and wheat bran. CP levels were similar between diets and approximately 2% below the requirement (13.9%). Pigs were weighed at the beginning and end of the experiment. Electronic feeder systems automatically recorded the visits to the feeder, the time of the meals, and the amount of feed consumed per meal. Based on these recorded, data daily feed intake and feeding behavior were calculated. At the end of the experiment, the pigs were slaughtered for carcass evaluation. Net energy levels did not affect the average daily feed intake ( $P > 0.05$ ), but they influenced the feeding behavior of the pigs. The pigs fed the 2388, 2475 and 2563 kcal NE/ kg diets had less ( $P < 0.05$ ) daily meals than those fed the 2300 and 2650 kcal NE/kg diets. Thus, these animals occupied the feeders less time daily ( $P < 0.05$ )

compared to those fed the 2300 and 2650 kcal NE/kg diets. Average daily NE intake increased linearly ( $P < 0.01$ ) with increasing NE, however, average daily gain did not differ ( $P > 0.05$ ) between treatments. There was a quadratic effect ( $P < 0.01$ ) for feed efficiency with increasing NE levels. The feed efficiency of pigs fed 2563 kcal NE/kg diet did not differ ( $P > 0.05$ ) from the 2388 and 2475 kcal NE/kg treatments, but it was 9% higher ( $P < 0.05$ ) than the 2300 and 2650 kcal NE/kg treatments. Furthermore, loin depth and loin eye area did not change significantly ( $P > 0.05$ ) when NE levels increased from 2300 to 2650 kcal NE/kg in the diets. However, a linear effect ( $P < 0.01$ ) was observed on hot carcass yield and a trend to a quadratic effect ( $P < 0.10$ ) on hot carcass weight, backfat thickness and lean percentage. Among the studied levels, 2388, 2475 and 2563 kcal NE/kg showed the best results for reduced CP diets fed to heavy pigs, since the pigs occupied the feeders less time and had better feed efficiency.

**Keywords:** carcass; feeding behavior; feed efficiency; fat

## 1. Introduction

Pigs with high slaughtering weight are more commonly produced in Italy, where the interest is to obtain animals weighing between 160 and 170 kg destined to the manufacture of cured products, especially the traditional Parma ham (Manini et al., 1997). In Brazil, recently, slaughtering pigs with approximately 130 kg (considered heavy) of body weight (BW) has become a trend in industrial swine farming. By adopting such practices, the slaughterhouses were able to reduce operating costs and increase the added value of noble cuts, such as ham, loin, and shoulder, since the yield per worked hour increased (Wood and Whittemore, 2006).

In addition, about 80% of Brazilian pork is exported as cuts (ABPA, 2016), further increasing the interest in slaughtering heavy pigs.

However, higher BW implies in high-stocking densities and high ingestion capacity, thus increasing the competitiveness per feeder (Kyriazakis and Whittemore, 2006). These aspects make the finishing phase quite costly to the pig farmer, especially due to the high volume of feed demanded. Furthermore, for BW higher than 90 kg, much of the energy consumed is converted to fat, with consequent worsening of feed efficiency and decreasing lean percentage on the carcass (Azain, 2001). Therefore, the search for nutritional strategies to minimize production costs and improve carcass quality for the industry has been a constant among the nutritionists.

The formulation of diets with reduced CP and supplemented with crystalline amino acids (ideal protein) is a technique that has been widely approached in several works in the last decades (Ball et al., 2013; Kerr et al., 2003; Le Bellego et al., 2001; Tuitoek et al., 1997). This nutritional strategy allows fulfilling the amino acids requirement more precisely and beyond that decrease body whole energy expenditure to metabolize excess protein and reduces nitrogen excretion (Madrid et al., 2013). However, the energy saved in the protein deamination and nitrogen excretion processes might be directed toward fat deposition on the carcass (Le Bellego et al., 2001). This process can be even more intense in heavy pigs, which may require greater adjustments of diet energy levels.

Energy and protein are important nutritional factors affecting carcass quality and representing more than 80% of the nutritional cost of practical diets for pigs (De Lange et al., 2001a). Thus, the diet nutrient composition should adequately meet the energy requirement of the animal and optimal amino acid balance. In contrast to digestible and metabolizable energy (ME) systems, the net energy (NE) allows to express the energy content of the diet more

precisely since it takes into account the differences in the use of ME between nutrients from different ingredients (Noblet and Van Milgen, 2004). Moreover, it is the only system where the animal energy requirement and diet energy content are expressed on the same basis, regardless of diet composition (Noblet and Van Milgen, 2004).

The NE system has attracted the interest of nutritionists because it is considered more precise. However, there is a lack of information regarding the recommended level of NE for heavy pigs, especially for reduced CP diets. Studies that contemplate this demand are fundamental to foster interest in using this technology (reduced CP and NE) to pig production. Therefore, this study aimed to investigate the effect of different net energy (NE) levels on diets with reduced crude protein (CP), supplemented with amino acids, on feed behavior, performance and carcass characteristics of heavy pigs (100 to 130 kg).

## **2. Material and Methods**

All experimental procedures were reviewed and approved by the Ethical Committee for the Care and Use of Experimental Animals of the university (protocol No. 14226/15).

### **2.1. Animals, experimental design and management**

Sixty-five castrated male pigs of the same high-performance genotype (Camborough × AGPIC337; Agrocere PIC Inc.), with good health status were shipped in a single batch to the swine research facilities of School of Agricultural and Veterinarian Sciences of São Paulo State University, Jaboticabal, Brazil. Pigs were housed in a single pen (78 m<sup>2</sup>; density 1.2 m<sup>2</sup>/animal) with fully concrete floor, equipped with automatic feeders and nipple drinkers.

The pigs underwent a 15-day adaptation period, feeding on a commercial diet based on corn and soybean meal, formulated to meet the nutritional requirements (NRC, 2012). Upon reaching the BW required to start the experiment ( $100 \pm 6.0$  kg), the animals were randomly

allocated to a randomized complete block, using initial BW as the blocking criterion, with 5 treatments and 13 replicates, being the animal as an experimental unit. The treatments consisted of diets with 5 different levels of NE (2300, 2388, 2475, 2563 and 2650 Kcal NE/kg) while the 2475 kcal NE/ kg is the level proposed by the NRC (2012) for this phase.

The experiment lasted 32 days. Feed and water were provided *ad libitum* throughout the adaptation and experimental periods. The feed was provided with 5 automatic feeding stations (AIPF, Automatic and Intelligent Precision Feeder, University of Lleida, Lleida, Spain). The feeder operation was described by Pomar et al. (2011). A transponder was attached to the right ear of each pig so that AIPF could identify it during each visit to the feeder. The AIPF released the corresponding diet for each animal according to the mixing ratios established for each treatment (see experimental diets topic). The AIPFs automatically recorded each pig consumption in real time; the daily records displayed feeder entry and exit times and amount of feed consumed in each visit. The equipment was calibrated three times a week to ensure that all these parameters were working correctly.

## 2.2. Experimental diets

The experimental diets were formulated with corn, soybean meal and wheat bran. The compositions of these ingredients regarding crude protein (CP), ether extract (EE), starch (ST) and crude fiber (CF) were previously analyzed by Near Infrared Reflectance Spectroscopy (NIRS). Subsequently, the NE level was determined using the equation, proposed by Noblet et al. (1994):  $NE \text{ (kcal/kg)} = 0.73ME + 13.1EE + 3.7ST - 6.7CP - 9.7CF$ . ME is expressed in Kcal/kg; EE, ST, CP and CF are expressed as a percentage.

The chemical analysis results for corn, soybean meal, wheat bran and their respective NE calculations are shown in Table 1. The nutritional composition of the raw materials used

in the formulation, except for the values obtained by analysis (corn, soybean meal and wheat bran), were obtained from the Brazilian Poultry and Swine Tables (Rostagno et al., 2011).

**Table 1.** Chemical composition and net energy of the ingredients used in the experimental diets (as-fed basis).

<i>Ingredients</i>	Corn	Soybean meal	Wheat bran
Dry matter, %	87.39	89.07	88.79
Crude Protein, %	7.94	46.61	15.64
Ether extract, %	4.10	2.50	3.80
Starch, %	62.10	4.90	25.20
Crude Fiber, %	1.70	5.30	7.70
Metabolizable energy <sup>1</sup> , kcal/kg	3340	3154	2390
Net energy <sup>2</sup> , kcal/kg	2652	1990	1708

<sup>1</sup>Rostagno et al. (2011); <sup>2</sup>From equation by Noblet et al. (1994)

Two diets were formulated to meet the nutritional requirements proposed by the NRC (2012): Diet A (high NE - 2650 kcal NE/kg) and Diet B (low NE - 2300 kcal NE/kg) (Table 2), which served as the basis for the intermediate diets (2388, 2475 and 2563 kcal NE/kg) by mixing the appropriate proportions. The A and B feeds were blended at each service to each pig according to its assigned NE level treatment. The CP level was similar between diets and approximately 2% lower than that suggested by Rostagno et al. (2011) for this phase, with crystalline amino acids supplementation. The standardized ileal digestible lysine content, as well as the other amino acids, was also similar among the diets. Feed were steam-pelleted at 3 mm.

### 2.3. Performance and feeding behavior

The animals were weighed at the beginning (day 0) and the end (day 32) of the experiment and the feed intake of each animal was recorded daily by the AIPF. At the end of the experimental period, the recorded data were used to calculate the average daily gain (ADG), average daily feed intake (ADFI), average daily NE intake, feed efficiency (ADG:ADFI) and NE efficiency (ADG:NE intake, kg/Mcal).

**Table 2.** Composition of experimental diets<sup>1</sup> (as-fed basis)

Item	High net energy	Low net energy
<i>Ingredients, %</i>	<i>Diet A</i>	<i>Diet B</i>
Corn	76.67	71.47
Soybean meal	6.96	7.11
Wheat bran	9.42	13.53
Soybean oil	4.00	0.00
Dicalcium phosphate	0.72	0.67
Limestone	0.70	0.72
Salt	0.21	0.23
Kaolin	0.00	5.00
Dextrin	0.50	0.50
L- Lysine HCl	0.44	0.43
DL- Methionine	0.03	0.02
L- Threonine	0.10	0.10
L- Tryptophan	0.04	0.02
Choline chloride 60%	0.06	0.06
Vitamin and mineral premix <sup>2</sup>	0.15	0.15
<i>Calculated composition</i>		
Metabolizable energy kcal/kg	3349	2959
Net energy , kcal/kg	2650	2300
Crude protein, %	11.41	11.70
Ether extract, %	7.67	3.62
Ash, %	3.10	8.11
Crude fiber, %	2.34	2.60
SID <sup>3</sup> Lysine, %	0.70	0.70
SID Methionine, %	0.20	0.19
SID Methionine + cysteine, %	0.39	0.38
SID Threonine, %	0.42	0.42
SID Tryptophan, %	0.13	0.12
Calcium, %	0.47	0.47
Total phosphorus, %	0.45	0.46
Available phosphorus, %	0.23	0.23

<sup>1</sup>The three intermediate diets were prepared by mixing A and B diets in suitable proportions to achieve the net energy level for each treatment (2388 kcal/kg=25A:75B, 2475 kcal/kg=50A:50B and 2563 kcal/kg=75A:25B); <sup>2</sup>Mineral vitamin supplement (per kg of diet): Vit. A (5.250 UI); Vit. D3 (750 UI); Vit. E (11 UI); Vit. K3 (1.5 mg); Vit. B1 (1 mg); Vit. B2 (2,4 mg); Vit. B6 (1 mg); Niacin (30 mg); Pantothenic acid (8.1 mg); Folic acid (0.53 mg); Biotin (0.05 mg); Vit. B12 (16.5 mcg); Copper (13.5 mg); Iodine (0.19 mg); Manganese (37.5 mg); Selenium (0.15 mg); Zinc (72 mg); Iron (72 mg); Cobalt (0.19 mg); <sup>3</sup>Standardized ileal digestible

On day 0 of the experiment, ultrasound images were collected for the initial evaluation of backfat thickness and loin depth using ALOKA® equipment (500v series with linear probe

of 3.5 - MHZ, 13.5 -cm). The measurements were taken at the boundary of the thoracic and lumbar vertebrae (P2, behind the last rib), at six centimeters of the midline (ABCS, 1973). The measurements were performed by the Image-Pro Plus® software (version 4.5).

For the feeding behavior evaluation, the records of feeder visits by AIPF were used. Feeder visits by the same pig with intervals that were less than 1 min apart were combined together as a single meal in a revised spreadsheet. Feeding information collected on days on which animals were handled (weighed or scanned) was removed from the data set. After this preliminary review procedure, the database was used to calculate the number of meals per day, feeder occupancy (min/day), feeding time per meal (min), intervals between meals (min), feed intake per meal (g), and feed intake rate (feed intake divided by feeding time per meal, expressed in g/min) of each animal.

#### 2.4. Carcass characteristics

At the end of the experiment, animals were slaughtered at about 130 kg after an 18h fasting period. The pigs were desensitized by electronarcosis and submitted to the standard slaughtering procedure. After evisceration, the carcasses were sectioned longitudinally (cut along the spinal column) and weighed to obtain hot carcass weight (HCW). The half-carcasses were placed in a cold room at 2°C for 24 hours (ABCS, 1973). The hot carcass yield (HCY) was given by the ratio percentage HCW: BW before slaughtering (last pre-shipment weighing).

The left half-carcass of each animal was sectioned at P2, perpendicular to the dorso-lumbar line, to measure backfat thickness, loin depth and loin eye area. The backfat thickness and loin depth were measured from point P2 using a pachymeter (0.5 mm accuracy). Backfat thickness was measured at 90° formed between one of the opening ends of the caliper with the skin surface and extending the other end to the fat-muscle interface. Then, in the same

direction, loin depth was measured in the space between the backfat thickness boundary and the opposite extremity of the *Longissimus Dorsi* muscle. Subsequently, the P2 region was drawn on vegetal paper according to the methodology proposed by ABCS (1973). From this drawing, loin eye area was determined using the Image-Pro Plus® software. The lean percentage was obtained by the equation proposed by Guidoni (2000): % Lean = 65.92 - (0.685 backfat thickness) + (0.094 loin depth) - (0.026HCW); where backfat thickness and loin depth are expressed in mm and obtained in the cooled carcass, and HCW, in kg.

## 2.5. Statistical analysis

The data were submitted to statistical analysis to evaluate the presence of outliers, through residual analysis, and to the BoxCox and Shapiro-Wilk tests to verify homogeneity of variances and normality of the studentized errors, respectively. The analysis of variance was performed by the MIXED procedure of the statistical SAS® package version 9.3 (SAS Inst. Inc., Cary, NC, USA), considering block as random effect and NE level as fixed effect. Differences were considered significant if  $P < 0.05$ , and as trend, if  $P < 0.10$ . When there was significant effect for treatment, the adjusted means were compared using the Tukey-Kramer test. In addition to the Tukey-Kramer test, orthogonal contrasts were performed to detect linear and quadratic effects on the performance and carcass characteristics variables.

## 3. Results

### 3.1. Feeding behavior

The results of feeding behavior variables are presented in Table 3. The animals fed the 2300 and 2650 kcal NE/kg diets had a higher number of meals per day ( $P < 0.05$ ) than those fed the intermediate diets. Among the intermediate diets, a significant difference ( $P < 0.05$ ) was observed between the responses of the animals fed 2563 kcal NE/kg and 2475 kcal

NE/kg. However, the animals in the groups fed the 2388 and 2475 kcal NE/kg diets had similar responses ( $P > 0.05$ ).

The time of daily feeder occupancy was similar ( $P > 0.05$ ) for the 2300 and 2650 kcal NE/kg diets. The animals fed intermediate diets had similar ( $P > 0.05$ ) time of daily feeder occupancy, but approximately 9% lower ( $P < 0.05$ ) than the other two NE levels (2300 and 2650 kcal NE/kg). Regarding the feeding time per meal, the responses found for the lowest and highest NE levels did not differ ( $P > 0.05$ ) and were similar ( $P > 0.05$ ) to the result observed for 2563 kcal NE/kg. However, the animals fed the 2388 and 2475 kcal NE/kg diets showed higher feeding time per meal ( $P < 0.05$ ) compared to other treatments.

The pigs fed the 2300 and 2650 kcal NE/kg diets had the same ( $P > 0.05$ ) feed intake rate which were lower ( $P < 0.05$ ) compared to the intermediate diets. The feed intake per meal was lower ( $P < 0.05$ ) for the 2300 and 2650 kcal NE/kg diets compared to other treatments. The group fed the 2563 kcal NE/kg diet had higher ( $P < 0.05$ ) feed intake per meal than those fed the 2388 and 2475 kcal NE/kg diets, which did not differ ( $P > 0.05$ ).

Likewise, the interval between meals was also the same ( $P > 0.05$ ) for animals fed the 2300 and 2650 kcal NE/kg diets. The pigs fed the 2388, 2475 and 2563 kcal NE/kg diets had similar interval between meals, which was on average 20% higher ( $P < 0.05$ ) than the 2300 and 2650 kcal NE/kg diets.

**Table 3.** Feeding behavior of heavy pigs fed diets with different levels of NE<sup>1</sup>

Item	NE (kcal/kg)					SEM <sup>2</sup>	Pvalor
	2300	2388	2475	2563	2650		
Number of meals per day	6.7 <sup>a</sup>	5.2 <sup>bc</sup>	5.1 <sup>c</sup>	5.6 <sup>b</sup>	6.6 <sup>a</sup>	0.169	<0.01
Feeder occupancy, min/day	67.3 <sup>a</sup>	61.0 <sup>b</sup>	62.0 <sup>b</sup>	62.2 <sup>b</sup>	68.4 <sup>a</sup>	2.832	<0.01
Feeding time per meal, min	10.4 <sup>b</sup>	12.0 <sup>a</sup>	12.7 <sup>a</sup>	11.4 <sup>b</sup>	10.9 <sup>b</sup>	0.722	<0.01
Feed intake rate, g/min	41.9 <sup>b</sup>	46.1 <sup>a</sup>	46.4 <sup>a</sup>	45.9 <sup>a</sup>	42.8 <sup>b</sup>	0.765	<0.01
Feed intake per meal, g	433 <sup>c</sup>	551 <sup>a</sup>	585 <sup>a</sup>	523 <sup>b</sup>	469 <sup>c</sup>	29.554	<0.01
Interval between meals, min	158 <sup>b</sup>	195 <sup>a</sup>	207 <sup>a</sup>	203 <sup>a</sup>	163 <sup>b</sup>	6.278	<0.01

<sup>1</sup>Adjusted means; <sup>2</sup>Standard error of the mean; Within a row, means with a common superscript letter not differ ( $P < 0.05$ )

### 3.2. Performance

The performance results are shown in Table 4. No differences ( $P > 0.05$ ) were observed for initial BW and measurements of backfat thickness and loin depth obtained on day 0 of the experiment. This result proves the effectiveness of the distribution of the animals in blocks, adopting the initial BW as criterion.

Over the entire experimental period the animals consumed 2.8 kg/animal/day on average. The NE levels did not influence ( $P > 0.05$ ) ADFI. Consequently, NE intake increased linearly ( $P < 0.01$ ) with increasing NE levels in the diets. Animals fed from 2388 to 2650 kcal NE/kg diets showed similar NE intake ( $P > 0.05$ ). The lowest NE intake was observed in animals fed the 2300 kcal NE/kg diet. The final BW showed a trend to increase ( $P = 0.097$ ) with increasing NE levels of the diets. However, ADG was not significantly ( $P > 0.05$ ) affected by the different NE levels studied.

The feed efficiency was influenced by NE levels (quadratic;  $P < 0.01$ ). Animals fed the 2388, 2475 and 2563 kcal NE/kg diets showed similar feed efficiency ( $P > 0.05$ ). However, the feed efficiency of pigs fed the 2563 kcal NE/kg diet was about 9% higher ( $P < 0.05$ ) than the groups fed the 2300 and 2650 kcal NE/kg diets. NE efficiency showed quadratic response ( $P < 0.01$ ) with increasing NE levels of the diets. The animals fed the 2650 kcal NE/kg diet had the worst NE efficiency, which was 11% lower ( $P < 0.05$ ) than the other treatments.

### 3.3. Carcass characteristics

The results obtained for the carcass characteristics are shown in Table 5. The HCW showed a trend to quadratic effect ( $P = 0.09$ ) with increasing NE level of the diets. However, the HCY increased linearly ( $P < 0.01$ ). The animals fed the lowest NE level (2300 kcal NE/kg) had 1.5% lower HCY ( $P < 0.05$ ) compared to the highest level (2650 kcal NE/kg). However,

the HCY was not significantly ( $P > 0.05$ ) different as the NE level increased from 2388 to 2650 kcal NE/kg.

**Table 4.** Performance of heavy pigs fed diets with different levels of NE<sup>1</sup>

Item	NE (kcal/kg)					SEM <sup>2</sup>	P-value <sup>3</sup>	
	2300	2388	2475	2563	2650		L	Q
<i>Initial conditions</i>								
BW, kg	100.86	100.91	100.41	100.38	99.86	3.960	0.234	0.787
Backfat thickness, mm	15.48	15.12	15.35	14.94	16.14	0.717	0.546	0.261
Loin depth, mm	64.00	65.53	63.95	62.76	64.11	1.725	0.547	0.993
<i>0-32 days</i>								
Final BW, kg	131.02	133.14	133.10	134.58	131.61	5.454	0.551	0.097
ADFI, kg/d	2.80	2.77	2.86	2.78	2.90	0.133	0.350	0.645
ADG, Kg/d	0.975	1.007	1.020	1.045	0.994	0.049	0.460	0.198
Feed efficiency, Kg/kg	0.342 <sup>b</sup>	0.364 <sup>ab</sup>	0.358 <sup>ab</sup>	0.375 <sup>a</sup>	0.343 <sup>b</sup>	0.006	0.534	<0.01
NE intake, kcal/d	6440 <sup>b</sup>	6620 <sup>ab</sup>	7070 <sup>ab</sup>	7130 <sup>ab</sup>	7690 <sup>a</sup>	0.335	<0.01	0.598
NE efficiency, kg/Mcal	0.147 <sup>a</sup>	0.152 <sup>a</sup>	0.145 <sup>a</sup>	0.146 <sup>a</sup>	0.130 <sup>b</sup>	0.003	<0.01	<0.01

<sup>1</sup>Adjusted means; <sup>2</sup>Standard error of the mean; <sup>3</sup>P-value for linear (L) and quadratic (Q) contrasts ( $P < 0.05$ ); Within a row, means with a common superscript letter not differ ( $P < 0.05$ );

The NE levels did not influence ( $P > 0.05$ ) loin depth and loin eye area. However, backfat thickness showed a trend to quadratic effect ( $P < 0.10$ ) as the NE levels of the diets increased. Nevertheless, lean percentage was not affected for NE levels, only a trend towards quadratic effect ( $P < 0.10$ ).

**Table 5.** Carcass characteristics of heavy pigs fed diets with different levels of NE<sup>1</sup>

Item	NE (kcal/kg)					SEM <sup>2</sup>	P-value <sup>3</sup>	
	2300	2388	2475	2563	2650		L	Q
Hot carcass weight, kg	102.95	105.45	105.83	106.57	105.33	4.398	0.104	0.099
Hot carcass yield, %	79.77 <sup>b</sup>	80.71 <sup>ab</sup>	80.77 <sup>ab</sup>	80.47 <sup>ab</sup>	81.01 <sup>a</sup>	0.263	<0.01	0.247
Backfat thickness, mm	22.46	22.23	27.42	24.38	23.62	2.259	0.310	0.082
Loin depth, mm	69.68	69.30	66.16	69.42	70.13	1.477	0.815	0.112
Lean percentage <sup>4</sup> , %	55.86	55.97	51.88	54.42	55.05	1.683	0.377	0.075
Loin eye area, cm <sup>2</sup>	63.57	67.71	60.98	64.13	63.44	2.224	0.500	0.975

<sup>1</sup>Adjusted means; <sup>2</sup>Standard error of the mean; <sup>3</sup>P-value for linear (L) and quadratic (Q) contrasts ( $P < 0.05$ ); <sup>4</sup>Estimated by equation from Guidoni (2000); Within a row, means with a common superscript letter not differ ( $P < 0.05$ );

## 4. Discussion

The average air temperature during the experiment ( $21.1 \pm 0.94^{\circ}\text{C}$ ) was within the thermoneutral zone proposed by Le Bellego et al. (2002) that considered  $22^{\circ}\text{C}$  as comfortable for pigs in the finishing phase. Although the experiment was conducted in the winter, the experimental unit is located in a predominantly hot and dry region, for this reason, daily environmental management was intensified. Also, the density of  $1.2 \text{ m}^2/\text{animal}$  was adopted to facilitate movement and allow the animals to designate a waste area only. Carr (2006) suggests a minimum space of  $1 \text{ m}^2/\text{animal}$  for pigs over 110 kg.

### 4.1. Feeding behavior

The feeding behavior of pigs is influenced by several factors such as housing density, BW, genotype, sex, environment, sanitary conditions, feed (mash or pelleted), feeding system and diet characteristics (Ellis and Augspurger, 2001; Maselyne et al., 2015). The concentration of energy in the diet influences greatly the modulation of daily feed intake of pigs (Patience, 2012). In the present study, NE levels did not affect the ADFI of the animals but influenced feeding behavior. The feeding behavior responses of the pigs in this experiment were similar to those reported by Boumans et al. (2015) for the same BW range.

Feed intake is controlled by the central nervous system through physical and chemical stimuli released by the gastrointestinal tract, which signals animal satiety (Forbes, 1995; Ryan et al., 2012). These signals can be expressed by distension of the stomach (De Castro et al., 1981) and by the entry of nutrients in the intestine, mainly lipids and fatty acids, which stimulate the release of cholecystokinin, a peptide signaling satiety (Ryan et al. 2012). The 2300 kcal NE/kg diet contained a considerable amount of wheat bran (13.53%), which may have contributed to anticipate the satiety sensation of the animals by distending the stomach, resulting in lower feed intake per meal. The pig regulates feed consumption to maintain an

appropriate balance between energy supply and requirement (Martin et al., 1989). In this sense, the animals fed the lowest NE level diet (2300 kcal NE/kg) had more daily meals to meet the energy requirement due to lower consumption per meal. Similar results were found in rats fed diets with low caloric density (Kanarel, 1976; Johnson et al., 1986).

The animal feed intake motivation is also influenced by the palatability of the feed (Boumans et al., 2015), which is more intense when fat levels in the diet are higher (Azain, 2001). The diet with 2650 kcal NE/kg had higher levels of soybean oil (4%), which may have motivated the pigs to visit the feeder more often during the day. However, the high caloric content may have limited feed intake per meal due to the sensation of satiety, probably triggered by the increase in the plasma concentration of cholecystokinin, in response to the high dietary lipid content (Ryan et al., 2012).

The duration and amount of feed eaten per meal are determined by the animal satiation status (Forbes, 1995). Under ad libitum fed condition, the animal ends to feed when it is satiated while the next meal begins when its satiety feeling is below a critical point (Maselyne et al., 2015). The critical point depends on the amount of feed consumed in the previous meal, determining longer or shorter intervals between meals. Therefore, the animals fed the 2300 and 2650 kcal NE/kg diets had a shorter interval between meals because feed intake per meal was lower compared to other treatments. The low feed intake per meal of these two groups shortened the feeding time per meal, resulting in lower feed intake rate. However, the higher number of meals per day increased the time of daily feeder occupancy in the groups fed the 2300 and 2650 kcal NE/kg diets compared to others.

Likewise, the responses to diets with three intermediate levels of NE were similar for daily feeder occupancy, feed intake rate and interval between meals. This result suggests a range of energy level in which pig feeding behavior varies little. Also, the time of daily feeder

occupancy of animals fed the intermediate diets was about 9% lower compared to the 2300 and 2650 kcal NE/kg diets. Shorter feeding times to meet energy requirement are desirable due to the feeder space disputes in high-stocking densities conditions. Furthermore, the energy saved when less physical activity is required during feed consumption can optimize animal performance.

#### 4.2. Performance

Pigs tend to ingest feed until the daily energy requirement is met (Kill et al., 2013). Thus, diet energy density affects the ADFI greatly (Noblet and Van Milgen, 2004). In the present study, however, increasing NE levels did not influence ADFI. As a result, the NE intake increased linearly. Similarly, other studies reported no difference in the ADFI with increasing NE levels in finishing pig diets (Chen et al., 2011; Kerr et al., 2003; Zhang et al., 2011). The results of this study corroborated with De la Llata et al. (2001) and Kerr et al. (2003), suggesting that in later growth stages, the pigs are affected little by changes in dietary energy. However, the same is not observed in animals below 40 kg, where ADFI and consequently performance are dependent on diet energy level (Campbell et al., 1985). Thus, the range of NE levels of the studied diets seemed sufficient to meet pig energy demand.

The ADG results are in agreement with those obtained by Cámara et al. (2016), De La Llata et al. (2001) and Suarez-Belloch et al. (2013). These authors also reported no differences for ADG with the increasing NE of finishing pig diets. In the early stages of growth, it is observed that protein deposition increased linearly with increasing energy intake (Bikker et al., 1996). In these stages, the energy required for growth may exceed the feed intake capacity. However, in the finishing phase, the ingestion capacity exceeds the energy requirement for animal growth (Van Milgen and Noblet, 2003). Assuming that the NE intake of the animals in the present study was sufficient to meet the requirement, the increasing NE

levels did not affect the ADG and consequently the final BW. However, even if there is no statistical difference, the numerical behavior of the ADG data may explain the quadratic effect trend with increasing NE levels, observed for final BW. The consequence of this response can be evidenced in feed efficiency.

Diet energy level affects pig feed efficiency strongly (Patience, 2012). Studies have shown that feed efficiency improved with the increasing energy in diets (Apple et al., 2004, Beaulieu et al., 2009, Hinson et al., 2011). Energy requirements in growing animals can be partitioned into priority requirements for maintenance, thermoregulation, and energy deposition in body tissues (NRC, 1998). Thus, in reduced NE intake, the lower is the NE availability for body weight gain (Patience, 2012). This fact may explain the low feed efficiency observed by the animals fed the 2300 kcal NE/kg diet. However, it does not apply to that observed result in the treatment with 2650 kcal NE/kg, which presented similar feed efficiency with 2300 kcal NE/kg and worse NE efficiency in relation to the others. This result seems contradictory because, theoretically, there would be more available NE for gain for these animals. The energy requirement for normal physical activity (without challenges) has been considered part of maintenance in energy partitioning models (Van Milgen et al., 2001). Thus, it is possible that the NE balance available for weight gain in the animals fed the 2650 kcal NE/kg diet was reduced as a function of the additional energy expenditure caused by changed eating behavior (higher number of visits to the feeder) and contributing to worsen the NE efficiency of these animals.

The animals fed the 2563 kcal NE/kg diet had better feed efficiency compared to those fed the 2300 and 2650 kcal NE/kg diets. The feed efficiency of animals fed the 2388 and 2475 kcal NE/kg diets was similar to those fed the 2563 kcal NE/kg diet. This suggests a NE interval (2388 to 2563 kcal NE/kg), in which animal performance can be optimized. The NRC

(2012) recommends the 2475 kcal NE/kg level for this phase. However, the existence of this interval increases the possibilities of choosing the ideal NE level for heavy pigs, which can be better determined through an economic evaluation.

#### 4.3. Carcass characteristics

The NE level of the diets did not influence the HCW of the animals according to the study of Cámara et al. (2014), Cámara et al. (2016), Liu et al. (2007), Suarez-Belloch et al. (2013) and Zhang et al. (2011). However, the HCY increased linearly with increasing NE levels of the diets. Normally, low energy diets have higher amounts of fiber than high energy diets (Noblet and Le Goff, 2001). The fiber intake might increase the weight of the gastrointestinal tract and, consequently, lower carcass yield (Cámara et al., 2016). The CF content varied about 10% between the high and low NE diets. Considering the daily feed intake, this difference may explain the 1.5% lower HCY of the animals fed the 2300 kcal NE/kg diet compared to those fed higher NE level. This difference becomes more important taking into account the cost of energy in the diet and the form of payment of the producer, which, in most cases, considers the HCY (Guidoni, 2000).

In pigs, protein deposition increases linearly with energy intake up to reach the maximal protein deposition (PD<sub>max</sub>) (De Lange et al., 2001b). Pigs heavier than 100 kg BW need to consume a feed level of 2 to 2.5 times the ME for maintenance to reach PD<sub>max</sub> (Van Milgen and Noblet, 2003). In the present study, NE intake appears to have been sufficient for animals to reach PD<sub>max</sub>, even in the case of pigs fed the diet with the lowest energy level (2.7 times the ME for maintenance). Once PD<sub>max</sub> has been reached, increased NE intake does not result in increasing protein deposition (Van Milgen and Noblet, 2003), which may explain the fact that loin depth and loin eye were not different between treatments. Similar responses were found by Chen et al. (2011), Quiniou and Noblet (2012) and Zhang et al. (2011).

The NE intake above the level required to reach PDmax is incorporated as fat (De Lange et al., 2001b). In the present study, assuming that NE intake was sufficient to achieve PDmax, a linear effect on backfat thickness (increasing) and lean percentage (decreasing) would be expected with increasing dietary NE. However, backfat thickness and lean percentage showed a trend to quadratic effect with increasing dietary NE. The reasons for this discrepancy are not very clear. However, the probable cause for low feed efficiency for the 2300 and 2650 kcal NE/kg diets compared to the others, possibly also applies to backfat thickness and lean percentage. The additional NE expenditure of these animals with physical activity may have resulted in a lower NE balance available for fat deposition, consequently reducing the backfat thickness and increasing lean percentage.

## **5. Conclusion**

This study indicated that feeding heavy pigs with net energy levels of reduced crude protein, amino acid-supplemented diets from 2388 to 2563 kcal NE/kg allow the best response. Below or above of these NE levels in the diets, pigs spend more time in the feeder and present worse feed efficiency.

## **6. Acknowledgements**

The authors thank the National Council for Scientific and Technological Development (CNPq - Brazil) for the scholarships granted to the first author and the São Paulo Research Foundation (FAPESP - Brazil) for the financial support to this study (Process No. 2012/03781-0).

## 7. References

- ABCS, Associação Brasileira dos Criadores de Suínos, 1973. Método Brasileiro de Classificação de Carcaças, pub. tec. n.2, Estrela, Rio Grande do Sul.
- ABPA, 2016. Associação Brasileira de Proteína Animal. Relatório Anual. <http://abpa-br.com.br/files/publicacoes/c59411a243d6dab1da8e605be58348ac.pdf> (accessed 02.09.16).
- Apple, J. A., Maxwell, C. V., Brown, D. C., Friesen, K. G., Musser, R. E., Johnson, Z. B., Armstrong, T. A., 2004. Effects of dietary lysine and energy density on performance and carcass characteristics of finishing pigs fed ractopamine. *J. Anim. Sci.* 82, 3277-3287.
- Azain, M. J., 2001. Fat in Swine Nutrition, in: Lewis, A. J., Southern, L. L. (Eds.). *Swine Nutrition*, 2th ed. CRC Press, New York, pp. 95-106.
- Ball, M. E. E., Magowan, E., McCracken, K. J., Beattie, V. E., Bradford, R., Gordon, F. J., Robinson, M. J., Smyth, S., Henry, W., 2013. The effect of level of crude protein and available lysine on finishing pig performance, nitrogen balance and nutrient digestibility. *Asian Australas. J. Anim. Sci.* 26, 564.
- Beaulieu, A. D., Williams, N. H., Patience, J. F., 2009. Response to dietary digestible energy concentration in growing pigs fed cereal grain-based diets. *J. Anim. Sci.* 87, 965-976.
- Bikker, P., Verstegen, M. W., Campbell, R. G., 1996. Performance and body composition of finishing gilts (45 to 85 kilograms) as affected by energy intake and nutrition in earlier life: II. Protein and lipid accretion in body components. *J. Anim. Sci.* 74, 817-826.
- Boumans, I.J.M.M., Bokkers, E.A.M., Hofstede, G.J., de Boer, I.J.M., 2015. Understanding feeding patterns in growing pigs by modeling growth and motivation. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 171, 69-80.

- Cámara, L., Berrocoso, J.D., Sánchez, J.L., López-Bote, C.J., Mateos, G.G., 2014. Influence of net energy content of the diets on productive performance and carcass merit of gilts, boars and immunocastrated males slaughtered at 120 kg BW. *Meat Sci.* 98, 773-780.
- Cámara, L., Berrocoso, J. D., Coma, J., López-Bote, C. J., Mateos, G. G., 2016. Growth performance and carcass quality of crossbreeds pigs from two Pietrain sire lines fed isoproteic diets varying in energy concentration. *Meat Sci.* 114, 69-74.
- Campbell, R. G., Taverner, M. R., Curic, D. M., 1985. The influence of feeding level on the protein requirement of pigs between 20 and 45 kg live weight. *Anim. Prod.* 40, 489-496.
- Carr, J., 2006. The maintenance of health, in: Kyriazakis, I., Whittemore, C. T (Eds.). *Whittemore's science and practice of pig production*, 3th ed. Blackwell Publishing Ltd, Oxford, pp. 263-315.
- Chen, H., Yi, X., Zhang, G., Lu, N., Chu, L., Thacker, P A., Qiao, S., 2011. Studies on reducing nitrogen excretion: 1. Net energy requirements of finishing pigs maximizing performance and carcass quality fed low crude protein diets supplemented with crystalline amino acids. *J. Anim. Sci. Biotech.* 2, 84-93.
- De Castro, J.M., 1981. The stomach energy content governs meal patterning in the rat. *Physiol. Behav.* 26, 795-798.
- De la Llata, M., Dritz, S. S., Tokach, M. D., Goodband, R. D., Nelssen, J. L., Loughin, T. M., 2001. Effects of dietary fat on growth performance and carcass characteristics of growing-finishing pigs reared in a commercial environment. *J. Anim. Sci.* 79, 2643-2650.
- De Lange, C., Marty, B. J., Birkett, S., Morel, P., Szkotnicki, B., 2001a. Application of pig growth models in commercial pork production. *Can. J. Anim. Sci.* 81, 1-8.

- De Lange, C. F. M., Birkett, S., Morel, P., 2001b. Protein, fat, and bone tissue growth in swine, in: Lewis, A. J., Southern, L. L. (Eds.). *Swine Nutrition*, 2th ed. CRC Press, New York, pp. 65-81.
- Ellis, M., Augspurger, N., 2001. Feed Intake in Growing-Finishing Pigs, in: Lewis, A. J., Southern, L. L. (Eds.). *Swine Nutrition*, 2th ed. CRC Press, New York, pp. 447-468.
- Forbes, J. M., 1995. Feeding Behavior, in: Forbes, J. M (Ed.). *Voluntary Food Intake and Diet Selection in Farm Animals*. CAB International, Wallingford, pp. 11-37.
- Guidoni, A. L., 2000. Melhoria de processos para a tipificação e valorização de carcaças suínas no Brasil. In: *Anais da conferência internacional virtual sobre qualidade de carne suína*. Embrapa Suínos e Aves, Concórdia, Brasil, pp. 221-234.
- Hinson, R. B., Wiegand, B. R., Ritter, M. J., Allee, G. L., Carr, S. N., 2011. Impact of dietary energy level and ractopamine on growth performance, carcass characteristics, and meat quality of finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 89, 3572-3579.
- Johnson, D.F., Ackroff, K., Peters, J., Collier, G.H., 1986. Changes in rat's meal patterns as a function of the caloric density of the diet. *Physiol. Behav.* 36, 929-936.
- Kanarek, R.B., 1976. Energetics of meal patterns in rats. *Physiol. Behav.* 17, 395-399.
- Kerr, B. J., Southern, L. L., Bidner, T. D., Friesen, K. G., Easter, R. A., 2003. Influence of dietary protein level, amino acid supplementation, and dietary energy levels on growing-finishing pig performance and carcass composition. *J. Anim. Sci.* 81, 3075-3087.
- Kil, D.Y, Kim, B.G, Stein, H. H., 2013. Feed Energy Evaluation for Growing Pigs. *Asian Australas. J. Anim. Sci.* 26, 1205-1217.

- Kyriazakis, I., Whittemore, C. T., 2006 Appetite and voluntary feed intake, in: Kyriazakis, I., Whittemore, C. T. (Eds.). *Whittemore's science and practice of pig production*, 3th ed. Blackwell Publishing Ltd, Oxford, pp. 417-436.
- Le Bellego, L., Van Milgen, J., Dubois, S., Noblet, J., 2001. Energy utilization of low-protein diets in growing pigs. *J. Anim. Sci.* 79, 1259-1271.
- Le Bellego, L., Van Milgen, J., Noblet, J., 2002. Effect of high temperature and low-protein diets on the performance of growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 80, 691-701.
- Liu, Z. H., Yang, F. Y., Kong, L. J., Lai, C. H., Piao, X. S., Gu, Y. H., Ou, X. Q., 2007. Effects of dietary energy density on growth, carcass quality and mRNA expression of fatty acid synthase and hormone-sensitive lipase in finishing pigs. *Asian Australas. J. Anim. Sci.* 20, 1587-1593.
- Madrid, J., Martínez, S., López, C., Orengo, J., López, M. J., Hernández, F., 2013. Effects of low protein diets on growth performance, carcass traits and ammonia emission of barrows and gilts. *Anim. Prod. Sci.* 53, 146-153.
- Manini, R., Piva, A., Prandini, A., Mordenti, A., Piva, G., Dourmad, J.Y., 1997. Protein retention in Italian heavy pigs: Development of a factorial approach for the determination of lysine requirement. *Livest. Prod. Sci.* 47, 253-259.
- Martin, R. J., Beverly, J. L., Truett, G. E., 1989. Energy Balance Regulation, in: Campion, R. D., Hausman, G. J., Martin, R. J. (Eds.). *Animal Growth Regulation*. Plenum Press, New York, pp. 211-236.
- Maselyne, J., Saeys, W., Van Nuffel, A., 2015. Review: Quantifying animal feeding behaviour with a focus on pigs. *Physiol. Behav.* 138, 37-51.
- Noblet, J., Fortune, H., Shi, X. S., Dubois, S., 1994. Prediction of net energy value of feeds for growing pigs. *J. Anim. Sci.* 72, 344-354.

- Noblet, J., Le Goff, G., 2001. Effect of dietary fibre on the energy value of feeds for pigs. *Anim. Feed Sci. Tech.* 90, 35-52.
- Noblet, J., Van Milgen, J., 2004. Energy value of pig feeds: Effect of pig body weight and energy evaluation system. *J. Anim. Sci.* 82, E229-E238.
- NRC, 1998. Nutrient requirements of swine, 10th rev. ed. National Academy Press, Washington, DC.
- NRC, 2012. Nutrient requirements of swine, 11th rev. ed. National Academy Press, Washington, DC.
- Patience, J. F., 2012. The influence of dietary energy on feed efficiency in grow-finish swine, in: Patience, J. F. (Ed.). *Feed efficiency in swine*. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, pp. 101-129.
- Pomar, J., López, V., Pomar, C., 2011. Agent-based simulation framework for virtual prototyping of advanced livestock precision feeding systems. *Comput. Electron. Agr.* 78, 88-97.
- Quiniou, N., Noblet, J., 2012. Effect of the dietary net energy concentration on feed intake and performance of growing-finishing pigs housed individually. *J. Anim. Sci.* 90, 4362-4372.
- Rostagno, H. S., Albino, L. F. T., Donzele, J. L., Gomes, P. C., Oliveira, R. F., Lopes, D. C., Ferreira, A. S., Barreto, S. L. T., Euclides, R. F., 2011. *Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos: Composição de Alimentos e Exigências Nutricionais*. Editora UFV, Viçosa.
- Ryan, K. K., Woods, S. C., Seeley, R. J., 2012. Central Nervous System Mechanisms Linking the Consumption of Palatable High-Fat Diets to the Defense of Greater Adiposity. *Cell Metabolism* 15, 137-149.

- Suarez-Belloch, J., Sanz, M. A., Joy, M., Latorre, M. A., 2013. Impact of increasing dietary energy level during the finishing period on growth performance, pork quality and fatty acid profile in heavy pigs. *Meat Sci.* 93, 796-801.
- Tuitoek, K., Young, L. G., De Lange, C. F. M., Kerr, B. J., 1997. The effect of reducing excess dietary amino acids on growing-finishing pig performance: an elevation of the ideal protein concept. *J. Anim. Sci.* 75, 1575-1583.
- Van Milgen, J., Noblet, J., 2003. Partitioning of energy intake to heat, protein, and fat in growing pigs. *J. Anim. Sci.* 81, E86-E93.
- Van Milgen, J., Noblet, J., Dubois, S., 2001. Energetic efficiency of starch, protein and lipid utilization in growing pigs. *J. Nutr.* 131, 1309-1318.
- Wood, J., Whitemore, C. T., 2006. Pig Meat and carcass quality, in: Kyriazakis, I., Whitemore, C. T (Eds.). *Whitemore's science and practice of pig production*, 3th ed. Blackwell Publishing Ltd, Oxford, pp. 4-61.
- Zhang, G.-j., Yi, X.-w., Chu, L.-c., Ning, L. U., Htoo, J., Qiao, S.-y., 2011. Effects of dietary net energy density and standardized ileal digestible lysine: net energy ratio on the performance and carcass characteristic of growing-finishing pigs fed low crude protein supplemented with crystalline amino acid