

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

TRIPTOFANO PARA LEITÕES E SUA RELAÇÃO COM A  
LISINA NA FASE INICIAL

Autor: Tiago Junior Pasquetti  
Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Pozza  
Coorientador: Prof. Dr. Ivan Moreira

MARINGÁ  
Estado do Paraná  
Setembro - 2014

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

TRIPTOFANO PARA LEITÕES E SUA RELAÇÃO COM A  
LISINA NA FASE INICIAL

Autor: Tiago Junior Pasquetti  
Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Pozza  
Coorientador no Brasil: Prof. Dr. Ivan Moreira

“Tese apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de DOUTOR EM ZOOTECNIA, no Programa de Pós-graduação em Zootecnia da Universidade Estadual de Maringá - Área de concentração Produção Animal”

MARINGÁ  
Estado do Paraná  
Setembro – 2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
(Biblioteca Central - UEM, Maringá, PR, Brasil)

P284t Pasquetti, Tiago Junior  
Triptofano para leitões e sua relação com a lisina na fase inicial / Tiago Junior Pasquetti. -- Maringá, 2014.  
117 f. : il., figs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Pozza.  
Coorientador: Prof. Dr. Ivan Moreira.  
Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, 2014.

1. Nutrição - Suínos. 2. Suínos - Nutrição - Aminoácidos digestíveis. 3. Exigência nutricional Triptofano. 4. Exigência nutricional Lisina. 5. Suínos - Nutrição - Desempenho. 6. Coleta ileal. 7. Superfície resposta. 8. Triptofano serotonina estresse desempenho. I. Pozza, Paulo Cesar orient. II. Moreira, Ivan coorient. III. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Zootecnia. IV. Título.

CDD 21.ed. 636.4

MN-001408



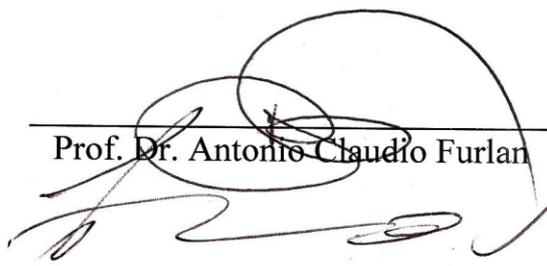
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

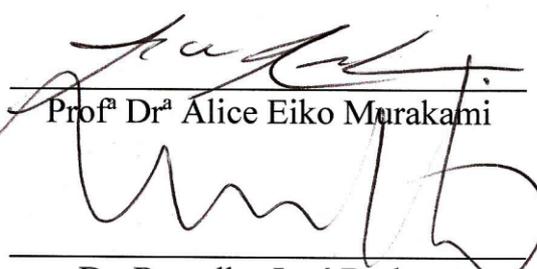
**TRIPTOFANO PARA LEITÕES E SUA RELAÇÃO  
COM A LISINA NA FASE INICIAL**

Autor: Tiago Junior Pasquetti  
Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Pozza

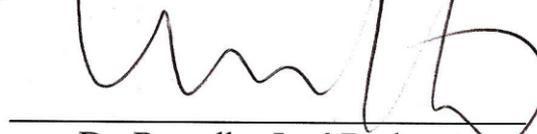
TITULAÇÃO: Doutor em Zootecnia - Área de Concentração Produção  
Animal

APROVADA em 19 de setembro de 2014.

  
Prof. Dr. Antonio Claudio Furlan

  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Alice Eiko Murakami

  
Prof. Dr. Ivan Moreira

  
Dr. Ramalho José Barbosa  
Rodrigues

  
Prof. Dr. Paulo Cesar Pozza  
(Orientador)

*“O Importante não é a maneira de se realizar os sonhos. O Importante é a maneira de se conduzir a vida. Se você conduz a vida de maneira correta, o carma se resolve por si. E então...os sonhos virão até você”*

*"As dificuldades não estão aí para nos impedir de conseguir as coisas, mas sim, para que mostremos, com que intensidade realmente às queremos. E para impedir, as pessoas que não às querem com força suficiente”*

A Deus, pelo dom da vida, e por tudo que me proporciona.

Aos meus pais, Leoclides e Maria, e aos meus irmãos, Volnei, Marcos, Eugênio, Silvia e Silvania, a quem amo e admiro acima de todos. Obrigado pelo apoio e confiança em mim depositados, pelas suas orações, incentivo, apoio, amizade e pelos momentos que passamos juntos.

Aos meus sobrinhos e sobrinhas, Franciele, Daniele, Rafael, Pâmela, Camila, Lucas, Mateus, Felipe, Luis Henrique, Guilherme e, aos meus sobrinhos neto, Kauã Gabriel e João Vitor. Amo muito todos vocês.

A minha namorada Laura Marcela Diaz Huepa, por todo o apoio durante o doutorado, pela paciência e companheirismo. Amo você.

Aos meus cunhados Jairo, Sandra e Neiva, pela amizade, incentivo e apoio.

Aos meus amigos, por proporcionarem momentos felizes e pelo apoio durante esta caminhada. Aos que hoje estão distantes, seja em qualquer parte do mundo, obrigado por todos os momentos que passamos juntos. Vocês são essenciais em minha vida.

DEDICO

## AGRADECIMENTOS

A toda minha família, exemplo de vida, meu alicerce e meu amparo, a razão de meu empenho, obrigado pelo amor, pela compreensão, preocupação em todos os momentos, e pelo incentivo a sempre ir além.

À Universidade Estadual de Maringá, por ter possibilitado desenvolver este trabalho.

À North Carolina State University, por ter possibilitado realizar o Doutorado Sanduíche onde foi possível desenvolver parte de minha Tese.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos no Brasil e pelo Programa Ciências Sem Fronteiras (CAPES/CNPq), pela concessão da bolsa de estudos no exterior.

À Empresa Evonik<sup>®</sup>, pela realização das análises de aminoácidos, sem as quais seria impossível a realização deste trabalho.

A minha eterna gratidão, aos Professores e amigos, Drs. Paulo Cesar Pozza, Antonio Claudio Furlan e Ivan Moreira pela oportunidade da realização do mestrado e doutorado, pela dedicada orientação, paciência, ensinamentos e incentivo.

Ao Professor Dr. Paulo Cesar Pozza, pelo apoio e incentivo na realização do doutorado sanduíche, e ao Professor Dr. Sung Woo Kim, pela oportunidade de realizá-lo, pela orientação, ensinamentos e por terem contribuído para a realização deste sonho.

Aos demais Professores do departamento do Animal Science da North Carolina State University, em especial ao Prof. Dr. Jack Odle, pelo apoio na realização do experimento e pela amizade. Ao Prof. Ramon Malheiros, pela possibilidade de conduzir um experimento no Poultry Science, pelos ensinamentos e amizade.

Aos demais professores do Programa de Pós-graduação em Zootecnia, da UEM, em especial, Alice Eiko Murakami, Carlos A. L. de Oliveira, Ricardo Vasconcellos, Tatiana Carlesso dos Santos e Priscila Bustos Mac Lean, pelos ensinamentos e fundamental contribuição na realização deste trabalho.

Aos colegas e amigos do grupo de pesquisa, Paulo L. de O. Carvalho, Leandro D. Castilha, Dani Perondi, Clodoaldo de L. C. Filho, Wesley Tanamati, Vinicius R. C. de Paula, Lucas A. C. Esteves, Lucas P. Bonagúrio, Camila F. Muniz, Marcelise R. Fachinello, Daniel D. Mollano, e à minha namorada Laura, pela amizade, apoio e companheirismo no decorrer dos experimentos, meu reconhecimento e gratidão, porque certamente sem vocês não seria possível a condução deste trabalho.

A todos os amigos da Pós-graduação, em especial, Bruna P. Neto, Ana Paula S. Ton, Ana Paula Possamai, Daiane de O. Grieser, Vittor Zancanela, Cinthia Eyng, Cristiane Duarte, Carla Picoli, Mayra D. Vargas, Ivan G. Araújo, Ludmila C. Gomes, Marcio A. Baliscai, Nadine W. Santos, Pilar Rodriguez, Lina M. P. Sierra e Roman Castañeda, obrigado pela amizade, por toda a ajuda, apoio, e pelos momentos de estudo e descontração.

A todos os amigos, em especial, Ana C. Radis, Guilherme W. Bueno, Leslié Defante, Leiliane C. de Souza, Liliane Borsatti, Maikel Possamai, Marli Busanello, João de M. P. Junior, Wagner T. M. da Silva, Matias Appelt, Fernando O. M. Almeida “Paraíba”, Iderson Venturi “Véio”, Johnata Vicentino, Maicon Carard “Corbélia”, Jorge P. Junior, Raphael Pagliarini e Carlos E. Shimanko, obrigado pela amizade e companheirismo, pelos momentos que passamos juntos, sem dúvidas, vocês foram fundamentais em minha vida.

Aos amigos que estiveram comigo durante o período de doutorado sanduíche nos Estados Unidos, em especial, Wilmer J. Pacheco, Manuel Costa, Oswaldo M. Ramirez, Juan Fer Dueñas, Adsos A. dos Passos, Ana Lúcia Sevarolli, Diego V. Bohórquez, Miguel Castillo e Catalina A. Burneo, Petra Shang, Rafaela Pereira, Kristie Yamamoto, Rodolfo Vieira, Rafael Crivellari, Tatiane Souza, Liliana Borges, Rodrigo de La Fuente, David Mirabedin, Inkyung Park, Jiyao Gu, Yawang Sung, Hongyu, Dr. Bae Dong Jung, Wanpuech Parnsen, YanBin Shen, Maurício Diaz e Kory Moran, SantaMaria Mendoza, Ivan E. G. Ibarra, Sofia Feng, David, Fabrício Castelini, Luiz Victor Carvalho, Francesco Tiezzi e Sofia Pinzi, pela imensa ajuda, apoio, pela amizade e companheirismo, com certeza lembrarei de vocês por toda a vida.

Aos amigos de república, Alexandre krutzmann, Cleiton L. Tonello, Dani Perondi e Helio A. C. Garcia, pela amizade e companheirismo durante esses anos de convivência.

Aos funcionários do Laboratório de Nutrição Animal - UEM, Cleuza Volpato, Creuza Azevedo e Augusto, pelo auxílio na realização das análises.

Ao Denílson dos Santos Vicentin, secretário do Programa de Pós-graduação em Zootecnia, sempre prestativo, obrigado pela ajuda, paciência e amizade.

A todos os funcionários da FEI (Fazenda Experimental Iguatemi – UEM), em especial aos Srs. João S. Rodrigues, Carlos José da Silva “Hulk”, Antonio Donizete “Toninho” e Antonio Silvério Sobrinho “Toninho”, pelo auxílio prestado no decorrer dos experimentos e pela amizade.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

## BIOGRAFIA DO AUTOR

TIAGO JUNIOR PASQUETTI, filho de Leocides Maria Pasquetti e Maria Carbonari Pasquetti, nasceu em Renascença, Paraná, no dia 07 de abril, de 1984.

Cursou o Ensino Fundamental e Médio no Colégio Estadual de Renascença – CER/PR, e concluiu o ensino Médio no Colégio Estadual de Marmeleiro – CEM/PR, no ano de 2001.

Em março de 2004, iniciou no curso de Graduação em Zootecnia pela UNIOESTE - Universidade Estadual do Oeste do Paraná - *Campus* de Marechal Cândido Rondon, concluindo-o em dezembro de 2008.

Em março de 2009, iniciou no Programa de Pós-graduação em Zootecnia, em nível de Mestrado, na Universidade Estadual de Maringá-UEM, concentrando seus estudos na área de Produção Animal, Nutrição de Monogástricos. No dia 11 de março de 2011, submeteu-se à banca para defesa da Dissertação.

Em março de 2011 iniciou o Doutorado na UEM. Em abril de 2013 iniciou na North Carolina State University, Raleigh, Estados Unidos, o doutorado sanduíche com duração de um ano. No dia 07 de julho de 2014 submeteu-se a banca para qualificação da Tese.

No dia 19 de setembro de 2014, submeteu-se à banca para defesa da Tese de doutorado.

## SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS.....	xi
LISTA DE FIGURAS.....	xiii
RESUMO.....	xiv
ABSTRACT.....	xvi
I – REVISÃO DE LITERATURA .....	18
1.1. Introdução geral.....	18
1.2. Funções biológicas do triptofano e seus benefícios na nutrição de suínos .....	20
1.3. Digestibilidade ileal de aminoácidos para suínos.....	21
1.4. Determinação das exigências de aminoácidos para suínos .....	23
1.5. Balanço ideal entre aminoácidos .....	25
1.6. Metabolismo do triptofano .....	26
1.7. Metabolismo da lisina .....	30
1.8. Relações triptofano: lisina digestíveis para suínos.....	31
1.9. Literatura citada.....	35
II – OBJETIVOS GERAIS .....	40
III – A SUPLEMENTAÇÃO ORAL DE TRIPTOFANO PARA LEITÕES EM ALEITAMENTO AUMENTA A SÍNTESE DE SEROTONINA E MELHORA O DESEMPENHO APÓS O DESMAME .....	41
RESUMO.....	41
ABSTRACT.....	42
3.1. Introdução.....	43
3.2. Material e métodos .....	44
3.3. Análise estatística .....	49
3.4. Resultados.....	49
3.5. Discussão.....	52
3.6. Conclusão .....	56
3.7. Literatura citada.....	56

IV – A AVALIAÇÃO SIMULTÂNEA DOS NÍVEIS DE TRIPTOFANO E LISINA DIGESTÍVEIS PARA SUÍNOS MACHOS CASTRADOS NA FASE INICIAL MOSTRA AUMENTO DAS EXIGÊNCIAS E REDUÇÃO NA RELAÇÃO IDEAL .	59
RESUMO: .....	59
ABSTRACT .....	60
4.1. Introdução.....	61
4.2. Material e métodos .....	62
4.3. Resultados.....	71
4.4. Discussão.....	78
4.5. Conclusão .....	85
4.6. Literatura citada.....	86
V - TRIPTOFANO E LISINA DIGESTÍVEIS PARA FÊMEAS SUÍNAS DOS 15 AOS 30 KG DE PESO VIVO.....	92
RESUMO .....	92
ABSTRACT .....	93
5.1. Introdução.....	94
5.2. Material e métodos .....	95
5.3. Resultados.....	99
5.4. Discussão.....	105
5.5. Conclusão .....	111
5.6. Literatura citada.....	111
VI. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	116

## LISTA DE TABELAS

Página

### **III – A suplementação oral de Triptofano para leitões em aleitamento aumenta a síntese de serotonina e melhora o desempenho após o desmame ..... 41**

Tabela 1 – Efeitos da suplementação oral de Triptofano (Trp) sobre o desempenho de leitões na maternidade (14-21 dias), no primeiro dia após o desmame (21-22) e ..... 50

Tabela 2 – Efeito da suplementação oral de Triptofano (Trp) sobre a concentração hipotalâmica de serotonina (5-HT) e ácido 5-hidroxi-indol-acético (5-HIAA) . ..... 51

Table 3 – Efeito da suplementação oral de Triptofano (Trp) sobre o comportamento normal dos leitões no primeiro dia após o desmame.<sup>1,2</sup> ..... 51

Tabela 4 – Efeito da suplementação oral de Triptofano (Trp) sobre o comportamento agressivo dos leitões no primeiro dia após o desmame.<sup>1,4</sup> ..... 52

### **IV – A avaliação simultânea dos níveis de triptofano e lisina digestíveis para suínos machos castrados na fase inicial mostra aumento das exigências e redução na relação ideal..... 59**

Tabela 1. Composição centesimal da ração basal (Basal) e da dieta isenta de proteína (DIP). ..... 63

Tabela 2 – Composição em aminoácidos (%) da ração basal (RB) e da dieta isenta de proteína (DIP). ..... 66

Tabela 3. Composição centesimal das rações contendo diferentes níveis de triptofano (Trp) e lisina (Lys) digestíveis para suínos machos castrados, dos 15 aos 30 kg de peso vivo. .... 69

Tabela 4. Valores médios de aminoácidos endógenos ileais (AEI), determinados por meio de uma dieta isenta de proteína (DIP), coeficientes de digestibilidade ileal aparente (CDIA)..... 71

Tabela 5. Desempenho, profundidade do músculo *Longissimus dorsi* (PLD) e espessura de toucinho (ET) de suínos machos castrados, dos 15 aos 30 kg, alimentados com rações contendo diferentes níveis de triptofano (Trp) e lisina (Lys) digestíveis (dig). .. 73

Tabela 6. Parâmetros bioquímicos sanguíneos (mg/dL) e hematócrito (%) de suínos machos castrados. .... 75

Tabela 7. Temperatura (°C) do dorso, da cabeça, reto e tímpano de suínos, machos castrados..... 77

## **V - Triptofano e lisina digestíveis para fêmeas suínas dos 15 aos 30 kg de peso vivo** ..... 92

Tabela 1. Composição centesimal das rações contendo diferentes níveis de triptofano (Trp) e lisina (Lys) digestíveis para fêmeas suínas, dos 15 aos 30 kg de peso vivo. .... 96

Tabela 2. Desempenho, profundidade do músculo *Longissimus dorsi* (PLD) e espessura de toucinho (ET) de fêmeas suínas, dos 15 aos 30 kg, alimentadas com rações contendo diferentes níveis de triptofano (Trp) e lisina (Lys) digestíveis (dig). .... 100

Tabela 3. Parâmetros bioquímicos sanguíneos (mg/dL) e hematócrito (%) de fêmeas suínas (15 aos 30 kg), alimentadas com rações contendo diferentes níveis de triptofano e lisina digestíveis..... 102

Tabela 4. Temperatura do dorso, da cabeça, reto e tímpano de fêmeas suínas, dos 15 aos 30 kg, alimentadas com rações contendo diferentes níveis de triptofano e lisina digestíveis. .... 104

## LISTA DE FIGURAS

	Página
<b>I – REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	18
Figura 1. Catabolismo do triptofano em animais.....	27
Figura 2. Catabolismo da lisina em animais. ....	30
Figura 3. Vias envolvendo o metabolismo do triptofano.....	33
<b>IV – A avaliação simultânea dos níveis de triptofano e lisina digestíveis para suínos machos castrados na fase inicial mostra aumento das exigências e redução na relação ideal</b> .....	59
Figura 1 – Conversão alimentar (A) e Profundidade do músculo <i>Longissimus dorsi</i> (B) de suínos machos castrados (15 aos 30 kg) alimentados com dietas contendo diferentes níveis de Trp e Lys digestíveis .....	74
<b>V - Triptofano e lisina digestíveis para fêmeas suínas dos 15 aos 30 kg de peso vivo</b> .....	92
Figura 1 – Conversão alimentar (A) e ganho de peso diário (B) de fêmeas suínas (15 aos 30 .....	101
Figura 2 - Temperatura dorsal (A) e temperatura retal (B) de fêmeas suínas (15 a 30 kg) alimentadas com dietas contendo diferentes níveis de Trp e Lys digestíveis.....	105

## RESUMO

Foram conduzidos quatro experimentos. No experimento I objetivou-se avaliar o efeito da suplementação oral de Triptofano (Trp) sobre a concentração hipotalâmica de serotonina (5-HT) e do ácido-5-hidroxi-indol-acético (5-HIAA); sobre o desempenho dos leitões na maternidade (dos 14 aos 21 dias) e na fase de creche (dos 21 aos 22 dias e dos 21 aos 56 dias de idade); e sobre o comportamento (normal e agressivo) dos leitões submetidos ao estresse social no primeiro dia após o desmame. Os leitões foram distribuídos em duas dietas experimentais, uma contendo Trp em quantidade quatro vezes acima da exigência, e outra dieta (controle) contendo Alanina (Ala) e glicose. Concluiu-se que a suplementação de Trp, na maternidade, aumenta a concentração de serotonina e ácido 5-hidroxi-indol-acético no hipotálamo dos leitões, sem influenciar o desempenho na maternidade e o comportamento agressivo após o desmame. O Trp aumenta a frequência de visita dos leitões aos comedouros no primeiro dia após o desmame e melhora a conversão alimentar (CA) na primeira semana. No experimento II objetivou-se determinar a digestibilidade ileal estandardizada dos aminoácidos da ração basal (RB) com os menores níveis de Trp (0,150%) e Lisina (0,900%). Para a coleta da digesta ileal, foram utilizados 10 suínos, machos castrados e mestiços, com peso médio inicial de  $21,5 \pm 1,57$  kg. Os níveis de Trp e Lisina (Lys) digestíveis ileais estandardizados foram de 0,155 e 0,972%, respectivamente, os quais foram considerados na formulação das rações dos experimentos de desempenho (III e IV). Os experimentos de desempenho foram conduzidos com o objetivo de determinar os níveis ótimos, a exigência em g/dia, bem como a relação ideal entre Trp e Lys

digestíveis. Nos Experimentos III e IV, foram utilizados 64 suínos machos castrados ( $15 \pm 1,63$  kg) e 64 fêmeas suínas ( $15,04 \pm 1,44$  kg), respectivamente, os quais foram distribuídos em um delineamento de blocos casualizados (DBC), com 16 tratamentos e quatro repetições, em esquema fatorial 4x4 (quatro níveis de Trp digestível: 0,155, 0,185, 0,215, 0,245% e quatro níveis de Lys digestível: 0,972, 1,112, 1,252 e 1,392%). No final dos experimentos, foram mensuradas as variáveis de desempenho, a espessura de toucinho (ET), a profundidade do músculo *Longissimus dorsi* (PLD) e os parâmetros sanguíneos. Adicionalmente, foi mensurada a temperatura corporal (dorso, cabeça, tímpano e reto) dos animais. No experimento III, o peso vivo final (PVF), consumo diário de ração (CDR) e ganho de peso diário (GPD) aumentaram linearmente ( $P < 0,05$ ) com o aumento dos níveis de Trp digestível. Foi observado efeito quadrático dos níveis de Trp e Lys digestível sobre a CA, em que foram estimados os ótimos níveis em 0,210 e 1,198%, que correspondem à exigência de 2,56 e 14,6 g/dia, respectivamente, resultando na relação Trp:Lys digestíveis de 17,5:100. Foi observado efeito quadrático dos níveis de Trp ( $P=0,021$ ) e Lys ( $P=0,026$ ) sobre a PLD, em que os níveis ótimos de Trp e Lys foram de 0,208 e 1,136%, respectivamente, resultando na relação Trp:Lys digestíveis de 18,3:100. Com base na CA, conclui-se que a exigência de Trp e Lys digestíveis para suínos machos castrados, é de 2,56 e 14,6 g/dia, respectivamente, proporcionando uma relação de 17,5:100. No experimento IV (fêmeas), obteve-se efeito quadrático ( $P=0,038$ ) dos níveis de Trp digestível sobre o PVF e o GPD, e o CDR aumentou linearmente ( $P=0,005$ ) com o aumento nos níveis de Trp digestível. Foram estimados 0,225 e 0,224% de Trp digestível para o PVF e GPD, respectivamente. Foi observada interação entre os níveis de Trp e Lys digestíveis para a CA ( $P=0,007$ ), que aumentou em função dos níveis destes aminoácidos e reduziu nos maiores níveis de Trp e Lys. A ET aumentou linearmente ( $P=0,021$ ) de acordo com os níveis de Trp digestível. Houve efeito quadrático ( $P=0,034$ ) dos níveis de Trp digestível sobre a PLD, sendo estimado o nível ótimo de 0,205%. Com base no GPD, conclui-se que o nível ótimo de Trp digestível para fêmeas suínas é de 0,224%, que corresponde à exigência de 2,99 g/dia.

**Palavras-chaves:** aminoácidos digestíveis, comportamento, digestibilidade ileal estandardizada, serotonina.

## **ABSTRACT**

Four experiments were carried out. In the first experiment it was aimed to evaluate the effect of oral Tryptophan (Trp) supplementation on the concentration of serotonin (5-HT) and 5-Hydroxyindoleacetic acid (5-HIAA); on performance of piglets in suckling phase (from 14 to 21 days old) and nursery phase (from 21 to 22 and from 21 to 56 days old); and on normal and aggressive behavior of piglets under social stress in the first day after weaning. Piglets were allotted in two experimental diets, a test diet, containing Trp four times above the requirements, and a control diet, containing Alanine (Ala) and glucose. It was concluded that Trp supplementation in suckling phase, increases the concentration of serotonin and 5-hydroxyindoleacetic acid in the hypothalamus of piglets and do not affect neither the performance in the suckling phase nor the aggressive behavior in the first day after weaning. Trp increases the frequency of visits to the feeders in the first day after weaning and improves feed conversion ratio of piglets in the first week after weaning. In experiment II, it was aimed to determine the standardized ileal digestibility of amino acids in the basal diet (BD) with the lowest Trp (0.150%) and Lys (0.900%) levels. For collection of ileal digesta, a total of 10 crossbred barrows were used, with an average initial weight of  $21.5 \pm 1.57$  kg. The ileal digestible standardized levels of Trp and Lys were 0.155 and 0.972%, respectively, which were considered in diet formulation for the performance assays (III and IV). The performance assays were performed in order to determine the optimum levels, the requirements in g/day, as well as the ideal ratio between digestible Trp and Lys levels. In Experiments III and IV, 64 barrows ( $15 \pm 1.63$  kg) and 64 gilts ( $15.04 \pm 1.44$  kg) were used, respectively, which were allotted in a randomized block design (RBD), with 16 treatments and four replications in a factorial scheme 4x4 (four levels of digestible Trp:

0.155, 0.185, 0.215, 0.245% and four levels of digestible Lys: 0.972, 1.112, 1.252 and 1.392%). At the end of the trials, performance, *Longissimus dorsi* depth (LDD), backfat thickness (BT) and blood parameters were measured. In additionally, body temperature (back, head, tympanum and recto) was measured. In the experiment three, the final body weight (FBW), average daily feed intake (ADFI) and average daily gain (ADG) increased linearly ( $P < 0.05$ ) with increasing levels of digestible Trp. A quadratic effect of Trp and Lys levels on feed conversion ratio (FCR) was observed, which were estimated the optimal levels of digestible Trp and Lys at 0.210% and 1.198%, respectively, resulting in a digestible Trp:Lys ratio of 17.5:100. Quadratic effect of Trp ( $P = 0.021$ ) and Lys (0.026) levels were noted on the LDD, in which the optimal levels of Trp and Lys were 0.208% and 1.136%, respectively, resulting in a digestible Trp:lys ratio of 18.3:100. Based on FCR, it was concluded that digestible Trp and Lys requirements for barrows are 0.210% and 1.198%, respectively, which corresponds in a ratio of 17.5:100. In experiment IV (females), a quadratic effect ( $P = 0.038$ ) of digestible Trp levels on the FBW and ADG was observed, while the ADFI increased linearly ( $P = 0.005$ ) with increasing levels of digestible Trp. For the FBW and ADG, 0.225 and 0.224% of digestible Trp were estimated, respectively. An interaction between digestible Trp and Lys levels was observed for FCR ( $P = 0.007$ ), which increased according to the levels of these amino acids, and reduced in the largest levels of Trp and Lys. The BT increased linearly ( $P = 0.021$ ) according to the digestible Trp levels. There was a quadratic effect ( $P = 0.034$ ) of digestible Trp levels on the LDD, in which the optimal level was estimated at 0.205%. Based on the ADG, it was concluded that the optimum level of digestible Trp for gilts, from 15 to 30 kg of body weight, is 0.224%, which corresponds to 2.99 g/day.

**Key Words:** digestible amino acids, behavior, standardized ileal digestibility, serotonin.

## I – REVISÃO DE LITERATURA

### 1.1. Introdução geral

A utilização de aminoácidos (AAs) industriais na nutrição de suínos cresceu consideravelmente nos últimos anos. Os benefícios da utilização destes AAs incluem a redução da proteína bruta com melhor balanceamento das dietas, a melhor utilização dos AAs pelos animais e, conseqüentemente, a redução na excreção de nitrogênio no ambiente.

Todos os AAs têm uma função específica no organismo, sendo a lisina (Lys) exclusivamente utilizada para a deposição de proteína corporal, enquanto o triptofano (Trp), além de participar na síntese proteica, é o precursor da serotonina (5-HT), que por sua vez é precursora do neuro-hormônio melatonina. Isto gera interesse para a condução de estudos científicos cuja dosagem de Trp, acima das exigências, pode ser benéfica para os suínos.

A 5-HT estimula o consumo de alimento, parecendo estar relacionado com a maior liberação do hormônio grelina no fundo gástrico (Zhang et al., 2007). Além disso, a 5-HT está associada à redução do estresse, entretanto, os resultados em relação a este último tema são ainda controversos.

Quanto maior a ingestão de Trp, maior será a produção de 5-HT (Shen et al., 2012ab), em consequência da maior taxa de passagem do Trp pela barreira hematoencefálica. Sendo assim, uma vez que é possível, por parte dos animais, o aproveitamento (turnover) de grande parte da 5-HT produzida, seu efeito no consumo de ração e possivelmente na redução do estresse poderá melhorar o desempenho dos suínos.

Na suinocultura, logo após o desmame, deparam-se dois fatores extremamente importantes para o desenvolvimento dos leitões. Um deles é o estresse, causado pela separação da mãe, mudança de ambiente e pelo compartilhamento da baia com animais provenientes de diferentes leitegadas. O outro fator está associado ao reduzido consumo de alimento, uma vez que neste período ocorre a transição da dieta líquida (leite) para a sólida (ração). Em consequência disso, nos primeiros dias após o desmame, grande parte dos animais perdem peso, que será recuperado somente após a adaptação ao novo ambiente, a melhor interação social com o companheiro de baia e após considerável aumento no consumo de ração.

Neste sentido, a suplementação de Trp, no período que antecede o desmame, pode ser uma estratégia para reduzir o estresse e aumentar o consumo de alimento após o desmame (fase de creche). Não há estudos que abordem a suplementação de Trp para leitões na maternidade visando à melhor adaptação e o melhor desempenho dos leitões após o desmame.

Uma vez comprovado o benefício do Trp para os leitões, a adição de Trp ao “Creep feeding” (fornecimento de ração aos leitões na maternidade), em quantidades acima da exigência, pode ser uma alternativa para reduzir o estresse e aumentar o consumo de ração após o desmame, promovendo melhoria no desempenho subsequente.

A formulação das dietas para suínos é geralmente baseada em exigências propostas por tabelas nacionais (Rostagno et al., 2011) e internacionais (NRC, 2012). Esses valores tabelados são baseados, principalmente, em experimentos de dose-resposta, e são fundamentais para a adequada formulação das dietas. Entretanto, os valores de AAs digestíveis tabelados, para determinada fase de produção, podem apresentar grande variação por causa das diferenças no potencial genético dos animais utilizados para os diferentes estudos, da raça, do sexo, da idade, dos modelos estatísticos utilizados para a análise dos dados, do ambiente, da temperatura e entre outros fatores.

Além disso, as formulações de dietas baseadas em AAs digestíveis, bem como a condução de experimentos para determinar as exigências de AAs, demandam o conhecimento das interações metabólicas entre os AAs no organismo. Muitos AAs competem pelo mesmo transportador no organismo, enquanto outros possuem rotas metabólicas em comum, ou contribuem para a produção do mesmo metabólito, como é o caso da Lys e do Trp, em que a Lys pode contribuir com o esqueleto de carbono para

a produção de ácido  $\alpha$ -cetoadípico, inibindo a oxidação do Trp pela sua principal via, o que pode aumentar a produção de niacina.

Adicionalmente, para proceder com a formulação de dietas capazes de atender as exigências dos animais é imprescindível o conhecimento prévio da digestibilidade ileal dos AAs. Posteriormente, a exigência de determinado aminoácido (AA), bem como sua relação com a Lys, pode ser determinada por meio de experimentos de dose-resposta.

São relatadas na literatura as exigências de Trp e Lys digestíveis, bem como suas relações (NRC, 2012; Rostagno et al., 2011; Baker e Chung, 1992; Lynch et al.; 2000; Simongiovanni et al., 2009) porém, pelo fato de serem determinadas em regiões e condições diferentes, os resultados têm apresentado grandes variações.

## **1.2. Funções biológicas do triptofano e seus benefícios na nutrição de suínos**

Dentre os 20 AAs que constituem as proteínas o Trp é encontrado em menor quantidade no organismo, bem como no plasma (Le Floc'h et al., 2011). A produção de 5-HT é uma das principais funções fisiológicas desempenhadas pelo Trp, embora, de acordo com Wolf (1974), menos de 1% do Trp ingerido seja utilizado para sua produção. A 5-HT é produzida principalmente no intestino, nas plaquetas e no cérebro (Le Floc'h e Seve, 2007).

De acordo com Jansman et al. (2007) a 5-HT estimula o consumo de alimento, e a deficiência de Trp na dieta está associada à redução do consumo de ração (Eder et al., 2001). A suplementação de Trp, acima das exigências nutricionais, aumenta os níveis de 5-HT hipotalâmica e melhora o desempenho dos leitões a partir de seis semanas de idade (Shen et al., 2012a, 2012b).

A deficiência de Trp aumentou a ansiedade e a irritabilidade em humanos com desordens psiquiátricas (Russo et al., 2003). Estudos com suínos mostraram que a administração de doses farmacológicas de Trp influenciou as respostas ao estresse (Guzik et al., 2006; Koopmans et al., 2005). Por outro lado, suplementando diferentes níveis de Trp, durante quatro dias consecutivos, para leitões submetidos ao estresse, Shen et al. (2012a) não observaram efeitos sobre o comportamento agressivo, porém a melhora no ganho de peso diário foi associada à possível contribuição do Trp na adaptação ao estresse.

Suínos submetidos ao estresse social e suplementados com 7g/kg de Trp (com base na digestibilidade ileal estandardizada), apresentaram menor concentração de

cortisol e noradrenalina plasmática. É importante destacar que para leitões após o desmame, as dietas costumam ser formuladas com 2 g de Trp por kg de dieta, (Koopmans et al., 2006; 2005).

A 5-HT, além de influenciar o consumo de alimento e ser o regulador central deste processo, tem sido associada com os efeitos na redução do estresse. De acordo com Le Floch e Seve (2007), o estresse induz ao aumento da atividade serotoninérgica no cérebro, envolvendo a quebra da 5-HT em ácido 5-hidroxi-indol-acético (5-HIAA). Assim sendo, a relação entre 5-HT e o 5-HIAA é usada como indicador da atividade serotoninérgica no cérebro.

Trabalhando com diferentes níveis de L-Trp para leitões submetidos ao estresse social, Shen et al. (2012a) observaram aumento nas concentrações de 5-HT e de 5-HIAA, entretanto, não houve efeito na relação (5-HIAA/5-HT), indicando que não houve aumento na atividade serotoninérgica em função do estresse. Além disso, o comportamento agressivo dos animais não foi alterado pelos níveis de suplementação de Trp.

São contraditórios, até o presente momento, os efeitos do Trp dietético e da 5-HT sobre o estresse e depressão, necessitando mais pesquisas na tentativa de verificar os possíveis benefícios do Trp sobre os parâmetros comportamentais dos leitões, sobre o consumo de alimento e o desempenho.

### **1.3. Digestibilidade ileal de aminoácidos para suínos**

A suplementação proteica representa em torno de 20% da dieta, contribuindo com, aproximadamente, 35% dos custos com a formulação. Uma das estratégias para diminuir os custos das rações é a redução da proteína bruta nas dietas, com a correta suplementação aminoacídica (sem excesso ou deficiência). Entretanto, para que isso seja realizado eficientemente é necessário conhecer, primeiramente, as exigências dos animais e a quantidade de AA digestível nas dietas (Mosenthin; Rademacher, 2003).

A primeira técnica utilizada para suínos foi a digestibilidade fecal dos AAs (Eggum, 1973; Dammers, 1964), em que os valores de AAs digestíveis são superestimados se comparados aos valores de digestibilidade ileal aparente (DIA), pelo fato de considerar que todos os AAs que “desapareceram” no intestino são realmente absorvidos.

No entanto, sabe-se que existe a ação microbiana no intestino grosso, em que os microrganismos degradam grande parte dos AAs provenientes do íleo distal. Assim, menos de 10% do total de AAs que aparecem nas fezes são provenientes da dieta, sendo o restante correspondente às fontes endógena e bacteriana (Low, 1982). Além disso, alguns trabalhos mostraram que a digestão de proteínas, a partir da atividade microbiana, não contribuiu para a manutenção ou síntese de tecido corporal dos animais monogástricos (Mosenthin et al., 1992; Wünsche et al., 1982; Zebrowska, 1973).

Desta forma, e com base no trabalho realizado por Dierick et al. (1988), foi reconhecido que a DIA seria o método mais eficaz do que a digestibilidade fecal. Entretanto, deve-se ressaltar que a DIA não considera as perdas endógenas de AAs e nitrogênio, provenientes da descamação do epitélio. Assim, a DIA, tanto dos AAs como da proteína, pode variar de acordo com os valores relativos de perda endógena (Mosenthin e Rademacher, 2003).

As perdas endógenas podem ser não específicas (perda basal) ou específicas. Denominam-se não específicas as perdas que não variam em função do nível de AA das dietas, ou seja, é uma perda constante. Por outro lado, a perda endógena específica está relacionada à presença de fibra, lectina, taninos e inibidores de protease contidos em um determinado alimento ou dieta, e, portanto, estas perdas podem variar em função do conteúdo de AA da dieta (Mosenthin e Rademacher, 2003).

Quando realizada a correção da digestibilidade aparente dos AAs para a perda endógena não específica, obtém-se a digestibilidade ileal estandardizada (DIE) (Mariscal-Landin, 1992), e quando as correções são realizadas para as perdas específicas, somadas com as não específicas, obtém-se a digestibilidade “real” dos AAs (Low, 1982), que é atualmente conhecida como digestibilidade ileal verdadeira (DIV). É comum o confundimento entre os termos, e isso pode acontecer porque a DIV também foi, previamente, denominada de DIE.

Embora a DIV pareça ser de grande relevância científica, o seu uso na formulação de dietas práticas para suínos é limitado (Mosenthin e Rademacher, 2003). Isso porque os valores de DIV, para os ingredientes, são raramente disponíveis em consequência da dificuldade em mensurar as perdas endógenas totais de forma eficiente (Stein et al., 2007).

Qualquer variação da fração endógena, relacionada às características específicas do alimento, ou dieta, será completamente eliminada a partir de seus valores de

digestibilidade, ou seja, a DIE já inclui a variação da fração endógena do próprio alimento ou dieta (Mosenthin; Rademacher, 2003). Outro fator, que limita o uso da DIV, é que seus valores não distinguem os níveis de perda endógena específica entre os ingredientes e, portanto, não predizem a quantidade de AA que está disponível para a síntese proteica no organismo (Stein et al., 2007).

Tem sido proposta a determinação da DIV dos AAs pelo método indireto, a partir dos valores de DIA. Por este método, a DIA é corrigida para as perdas endógenas não específicas por meio de equações propostas por Furuya e Kaji (1989) e, uma vez corrigida, obtêm-se o que é originalmente denominada de DIE (Mosenthin; Rademacher, 2003).

A determinação das perdas ileais endógenas não específicas é realizada, principalmente, pelo fornecimento de uma dieta isenta de proteína (Furuya e Kaji, 1989), ou uma dieta com baixa quantidade de caseína (Traylor et al., 2001). Dessa forma, pode-se inferir que todo o nitrogênio ou AAs encontrados no íleo distal não são inerentes à dieta, sendo provenientes da descamação do epitélio (Taverner et al., 1981), da saliva e das secreções gástricas e biliares (Tamminga et al., 1995).

#### **1.4. Determinação das exigências de aminoácidos para suínos**

As exigências nutricionais dos suínos são constantemente estudadas ao longo do tempo, por causa, principalmente, do melhoramento genético dos animais. Um exemplo disso são as exigências propostas por Rostagno et al. (2011), porque ao comparar as exigências de Lys e Trp para suínos machos castrados (15 aos 30 kg) de desempenho médio (1,037 e 0,187%, respectivamente), com suínos machos castrados de desempenho superior (1,093 e 0,197%, respectivamente), observa-se aumento de 5,40 e 5,34% para Lys e Trp, respectivamente. Esta mesma comparação, porém para suínos fêmeas de desempenho médio e superior, mostra que as exigências de Lys e Trp são de 1,074 e 0,193 e de 1,081% e 0,195%, correspondendo ao aumento de 0,65 e 1,03%, respectivamente.

O sexo também influencia os valores de exigências. Suínos machos castrados, por exemplo, consomem maior quantidade de ração e ganham peso com mais facilidade do que as fêmeas. Entretanto, estas são mais eficientes para converter o alimento ingerido em tecido corporal, depositando maior quantidade de tecido muscular do que adiposo,

em relação aos machos castrados. Em consequência disso, as exigências aminoacídicas das fêmeas são superiores (Henry, 1995).

Isso pode ser confirmado com os valores de Lys e Trp anteriormente mencionados (Rostagno et al., 2011), para suínos machos e fêmeas de desempenho médio (dos 15 aos 30 kg de peso vivo), em que as fêmeas necessitam de maior aporte destes nutrientes. Entretanto, ao se comparar machos e fêmeas de desempenho superior, as exigências de machos castrados são superiores às das fêmeas.

Fatores como a idade, o ambiente físico, a temperatura, o nível de alimentação, a composição da dieta, os métodos experimentais utilizados (Moughan e Fuller, 2003), o estágio de desenvolvimento do animal, o consumo de ração, o nível energético da ração, a disponibilidade de nutrientes, a umidade do ar, o estado sanitário do animal (Rostagno et al., 2011), os métodos estatísticos, o local e região da condução dos experimentos, bem como a variável resposta utilizada, podem influenciar na estimativa das exigências nutricionais.

A temperatura ambiente também é um fator que influencia diretamente as exigências nutricionais. Quando os animais recebem ração à vontade (*add libitum*), eles ajustam o consumo para compensar a variação na temperatura ambiente (Noblet et al., 2001). Sendo assim, em condições de altas temperaturas, em que ocorre redução do consumo de ração, as exigências podem não ser atendidas, prejudicando o desempenho.

Grande parte dos trabalhos para determinar as exigências nutricionais para monogástricos utiliza o método dose-resposta, que se baseia na resposta do animal em detrimento ao aumento na ingestão de um determinado nutriente (Sakomura e Rostagno, 2007).

A adição de um nutriente limitante na dieta, mantendo adequados os demais nutrientes, causará uma resposta em que o crescimento irá aumentar até ocorrer a faixa de estabilização com posterior redução no desempenho, dependendo do nutriente (Euclides e Rostagno, 2001). Dessa forma, os níveis ótimos do nutriente em estudo podem ser determinados na fase que compreende o início da resposta do animal até o fim da fase de estabilização do crescimento. Entretanto, algumas vezes ocorrem variações nos valores de exigências em razão dos vários critérios utilizados para interpretar os resultados (Sakomura e Rostagno, 2007), que também são consequências dos diferentes métodos estatísticos utilizados para determinar as exigências nutricionais.

O método de regressão (quadrática) e o Linear Response Plateau (LRP) ou Broken Line são muito utilizados. Porém, são conhecidos por superestimar e subestimar as exigências, respectivamente, levando os nutricionistas a fazerem o uso da interseção do platô do LRP com a curva quadrática.

Normalmente, para determinar as exigências nutricionais de um determinado AA, seus níveis são aumentados nas dietas, mantendo todos os outros em níveis adequados. Porém, deve-se considerar que ocorrem interações metabólicas entre determinados AAs e a adição simultânea de dois nutrientes em uma mesma dieta, associada à utilização de métodos estatísticos que permitem determinar os níveis ótimos de mais de um nutriente ao mesmo tempo, pode ser uma técnica aplicável na determinação das exigências aminoacídicas. Geralmente as interações metabólicas não são consideradas nos estudos, no entanto, podem influenciar diretamente as exigências dos animais.

Um exemplo são os modelos propostos por Rostagno et al. (2011) e pelo NRC (2012) para determinar as exigências nutricionais em que a maioria dos dados são provenientes de experimentos que determinaram a exigência de somente um AA, não considerando as interações metabólicas que existem entre eles.

A metodologia de superfície resposta é uma ferramenta estatística que permite determinar a exigência de dois AA, simultaneamente. De acordo com Freund e Littell (2000), este método é de grande aplicabilidade prática, possibilitando modelar mais de um fator simultaneamente e testar a interação entre os fatores envolvidos na pesquisa.

Aminoácidos como a Lys e o Trp apresentam sinergismo, produzindo um metabólito comum (ácido  $\alpha$ -cetoadípico). Uma vez que a Lys pode ser utilizada para a produção de ácido  $\alpha$ -cetoadípico, o Trp pode ser poupado, e assim, mais Trp pode ser desviado para outras vias de degradação. Portanto, níveis diferentes destes dois AAs em uma mesma dieta, podem promover respostas diferentes no organismo dos suínos, proporcionando diferenças nos seus valores de exigência.

### **1.5. Balanço ideal entre aminoácidos**

A formulação de rações baseadas no conceito de proteína bruta, geralmente, resulta em dietas desbalanceadas e com conteúdo de AA superior à exigência nutricional.

O desequilíbrio de AA pode levar a alterações fisiológicas que influenciam o comportamento alimentar dos animais, influenciando a concentração dos AAs no plasma e tecidos, com redução substancial do AA limitante, implicando na redução do desempenho animal. O AA limitante é incorporado nas proteínas do fígado, reduzindo sua concentração plasmática. Assim, essa mudança no perfil de AAs plasmáticos influencia o consumo de alimento, pois existe um mecanismo cerebral que é sensível à variação no pool de AAs plasmáticos e, quando estimulado, provoca diminuição no consumo (Bertechini, 2006).

O desequilíbrio de AAs parece influenciar o consumo de alimento por causa da modulação na síntese e metabolismo de neurotransmissores no cérebro (D'Mello, 2003). Dessa forma, a redução na eficiência de utilização de proteínas tem sido atribuída, em partes, ao desequilíbrio de AAs (Moughan, 1991).

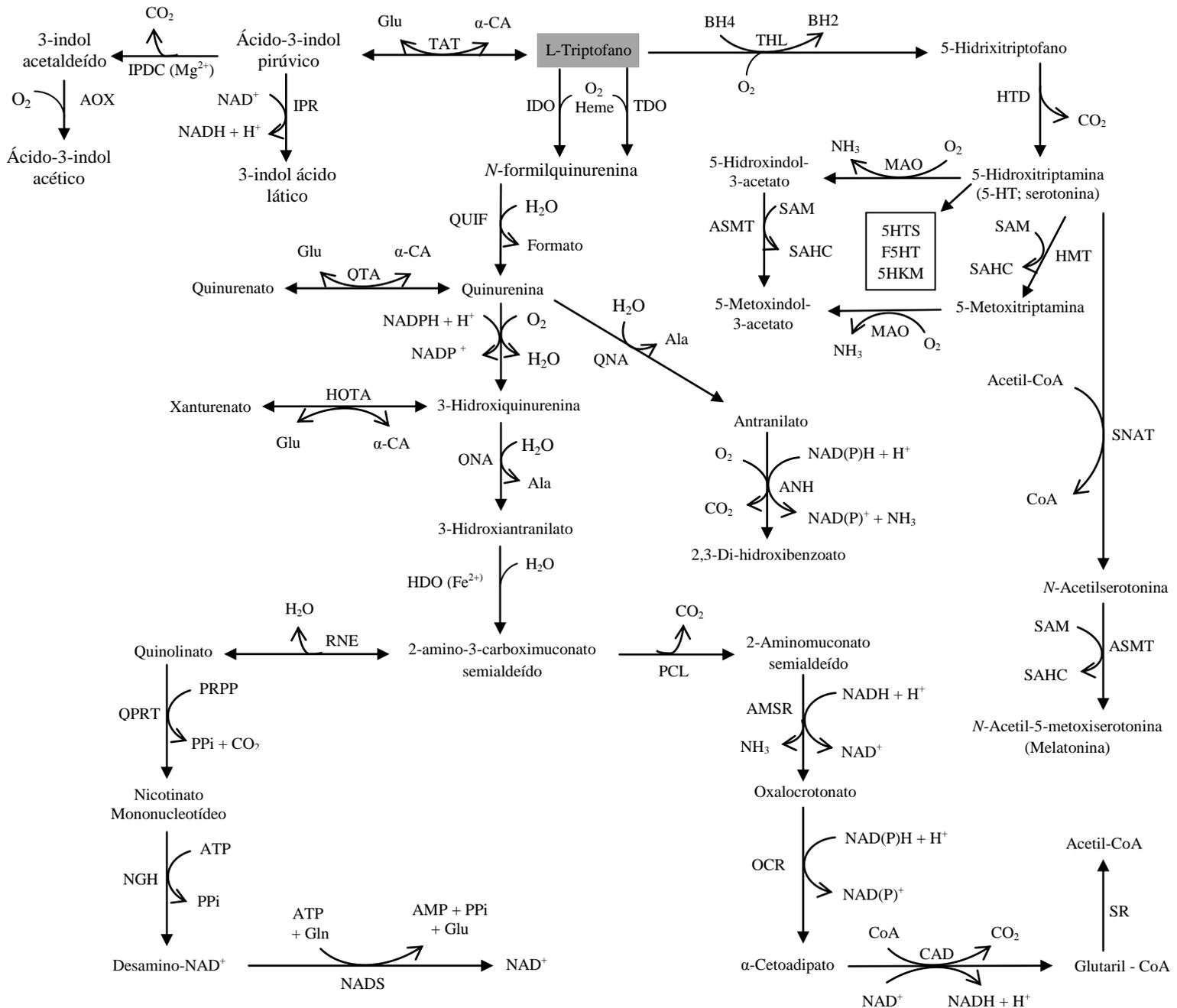
Além do desequilíbrio, causado pelo excesso ou deficiência de um determinado AA, ocorrem ainda os antagonismos, definidos como a interação entre AAs estruturalmente similares (D'Mello, 2003), que competem pelo mesmo transportador, prejudicando o desenvolvimento de suas funções específicas no organismo.

Para a formulação de dietas que atendam adequadamente as exigências para as diferentes fases de produção, é importante determinar as corretas relações dos demais AAs com a Lys. Assim, criou-se o conceito de proteína ideal, em que a Lys tem sido utilizada como referência no estabelecimento das exigências dos demais AAs, expressos como relação ou porcentagem do valor da Lys (Haese, 2005). A aplicação desse conceito, além de permitir a formulação de dietas mais adequadas às exigências nutricionais, promove a redução na excreção de resíduos ao meio ambiente, principalmente os nitrogenados (Zangeronimo et al., 2006).

O fornecimento dietético de outros AAs, em particular todos os AAs essenciais, é de significativa importância. A exigência de um AA específico só pode ser estabelecida se o provimento alimentar de todos os outros AAs essenciais, bem como de proteína bruta, são adequados, ou seja, não estão limitando as respostas do AA que está sendo estudado (Boisen, 2003).

### **1.6. Metabolismo do triptofano**

O Trp pertence ao grupo dos AAs aromáticos, com cadeias laterais aromáticas e relativamente apolar. O Trp apresenta a mais complexa de todas as vias do catabolismo dos AAs nos tecidos animais (Figura 1).



**Figura 1.** Catabolismo do triptofano em animais. Adaptado de Wu (2013). A degradação do L-Triptofano é iniciada pela indol-amina-2,3-dioxigenase (IDO), triptofano-2,3-dioxigenase (TDO), e triptofano hidrolase (THL). Estas vias são específicas para células e tecidos. A serotonina, a melatonina, e seus metabólitos podem formar sulfato e glicuronatos conjugados para excreção na urina e nas fezes. Os produtos do catabolismo do triptofano incluem NAD, serotonina, melatonina, quinurenina, indol, e acetil CoA. AMSR, 2-aminomuconato semialdeído redutase; ANH, antranilato hidroxilase [(conhecido como antranilato 3-monoxigenase (deaminação)]; AOX, aldeído oxidase; ASMT, *N*-acetil-serotonina *O*-metiltransferase; F5HT, formil 5-hidroxitriptamina; HDO, 3-hidroxi-antranilato dioxigenase; HMT, 5-hidroxi-indol-*O*-metiltransferase; 5HKM, 5-hidroxi-quinurenina; HOTA, 3-hidroxi-quinurenina transaminase; 5-HT, 5-hidroxitriptamina; HTD, 5-hidroxitriptofano descarboxilase; 5HTS, 5-hidroxitriptamina sulfato; 5-HTP, 5-hidroxi-1-triptofano, IPDC; indol-3-piruvato descarboxilase (uma enzima difosfato dependente de tiamina). IPR, indol-3-piruvato redutase; CAD,  $\alpha$ -cetoadipato desidrogenase; QHL, quinurenina hidroxilase, QNA, quinureninase; QTA, quinurenina transaminase; QUN, quinurenina; QUNF, quinurenina formamidase; MAO, monoamina oxidase; NADS, NAD sintase; RNE, reação não enzimática; NGH, NAD glico hidrolase; OCR, oxalocrotonato redutase; PCL, picolinato carboxilase; PLP, piridoxal fosfato; PRPP, 5-fosforibosil-1-pirofosfato; QPRT, quinolinato fosforibosil transferase; SNAT, serotonina-*N*-acetiltransferase; SAM, S-adenosilmetionina; SAHC, S-adenosilhomocisteína; SR, uma série de reações para conversão de glutaril CoA em acetil-CoA; TAT, triptofano aminotransferase. As seguintes enzimas requerem piridoxal fosfato para as atividades catalíticas: HTD, HKTA, KNA, KTA, e TAT. QRPT é inibida por altas concentrações de leucina.

Em humanos a via principal no metabolismo do Trp se inicia com a oxidação do Trp a N-formilquinurenina por meio da enzima triptofano dioxigenase (TDO), também conhecida como triptofano pirolase (Devlin, 2002). Esta rota é irreversível, e a secreção da TDO é estimulada pelos níveis séricos de Trp e corticoides, ou seja, quanto maiores os níveis séricos de Trp maior será a secreção da enzima (Young e Oravec, 1979; Joseph et al., 1976).

O glucagon também é um estimulante da TDO, que é encontrada no fígado. A formamidase hidrolisa a formilquinurenina a formato e quinurenina e nesse ponto a via começa a se ramificar. Na via dominante as reações levam a 3-hidroxiquinurenina, ácido 3-hidroxi-antranílico e alanina, semialdeído aminocarboximucônico e, por descarboxilação, a semialdeído aminomucônico. Este pode ser metabolizado em várias etapas, a glutarato e, eventualmente, a acetoacetil-CoA, ou reciclado não enzimaticamente a ácido picolínico, que é excretado na urina (Devlin, 2002).

O Trp é considerado cetogênico e gliconeogênico. Pode ser degradado diretamente a Acetoacetil-CoA e posteriormente a Acetil-CoA, ou então ao piruvato, que pode entrar no ciclo do ácido cítrico por meio do oxaloacetato ou Acetil-CoA (Nelson e Cox, 2011).

Depois de absorvido, o Trp pode ser conduzido até o sistema nervoso central (SNC), onde será convertido em 5-HT no cérebro, ou poderá permanecer na periferia. No SNC a baixa permeabilidade da barreira hematoencefálica, ao Trp, exige que este utilize a proteína transportadora de AAs neutros, num processo de transporte ativo. O Trp não é o único representante desse grupo e sua ligação ao transportador será disputada com os demais AAs (Oldendorf e Szabo, 1976), como a valina, leucina, isoleucina, tirosina e fenilalanina.

O Trp é o substrato para a produção de 5-HT no cérebro, assim, estas interações entre o Trp e os AAs neutros sugerem a necessidade de se conduzir estudos para determinar as relações entre estes AAs.

Em humanos, supõe-se que, em consequência da ingestão de uma refeição com excesso de proteína, ocorre aumento dos níveis séricos de Trp, possibilitando maior passagem dele ao SNC. Por outro lado, ocorre o inverso após as refeições, pois os níveis de Trp decrescem (Fernstrom e Faller, 1978). O Trp é um dos AAs menos abundante na dieta, sendo assim, o transportador será saturado pelos demais AAs, os quais terão acesso automático ao SNC, enquanto o metabolismo do Trp ocorrerá na via periférica (Oldendorf e Szabo, 1976).

O metabolismo periférico ocorre de duas maneiras, sendo uma rota reversível e a outra não. A primeira compreende incorporação do Trp na síntese proteica no fígado e em outros tecidos (Christensen, 1964). Esses depósitos de Trp podem ser mobilizados, sendo posteriormente ofertado ao SNC (Bloxam et al., 1974). A rota irreversível envolve a enzima TDO.

A ingestão de refeições ricas em carboidratos pode aumentar o Trp no plasma e, conseqüentemente, a disponibilidade de Trp no cérebro, enquanto as refeições ricas em proteínas podem reduzir a quantidade de Trp no cérebro. Uma alimentação rica em proteínas aumenta a concentração plasmática de outros AAs, o que diminui o transporte de Trp, por causa da competição pelo transporte através da barreira hemato-encefálica, resultando em insônia (Devlin, 2002).

Sendo assim, a redução da proteína bruta da dieta, associada à suplementação de AAs industriais, poderá promover maior disponibilidade de Trp no cérebro aumentando a produção de 5-HT, podendo reduzir a exigência de Trp.

Os carboidratos estimulam a liberação de insulina (Devlin, 2002). Esse hormônio anabolizante estimula a captação dos AAs de cadeia ramificada (leucina, isoleucina e valina) pelos músculos. Desse modo, diminui a competição pelo transportador (Fernstrom e Wurtman, 1971) com conseqüente aumento de Trp no cérebro (Devlin, 2002).

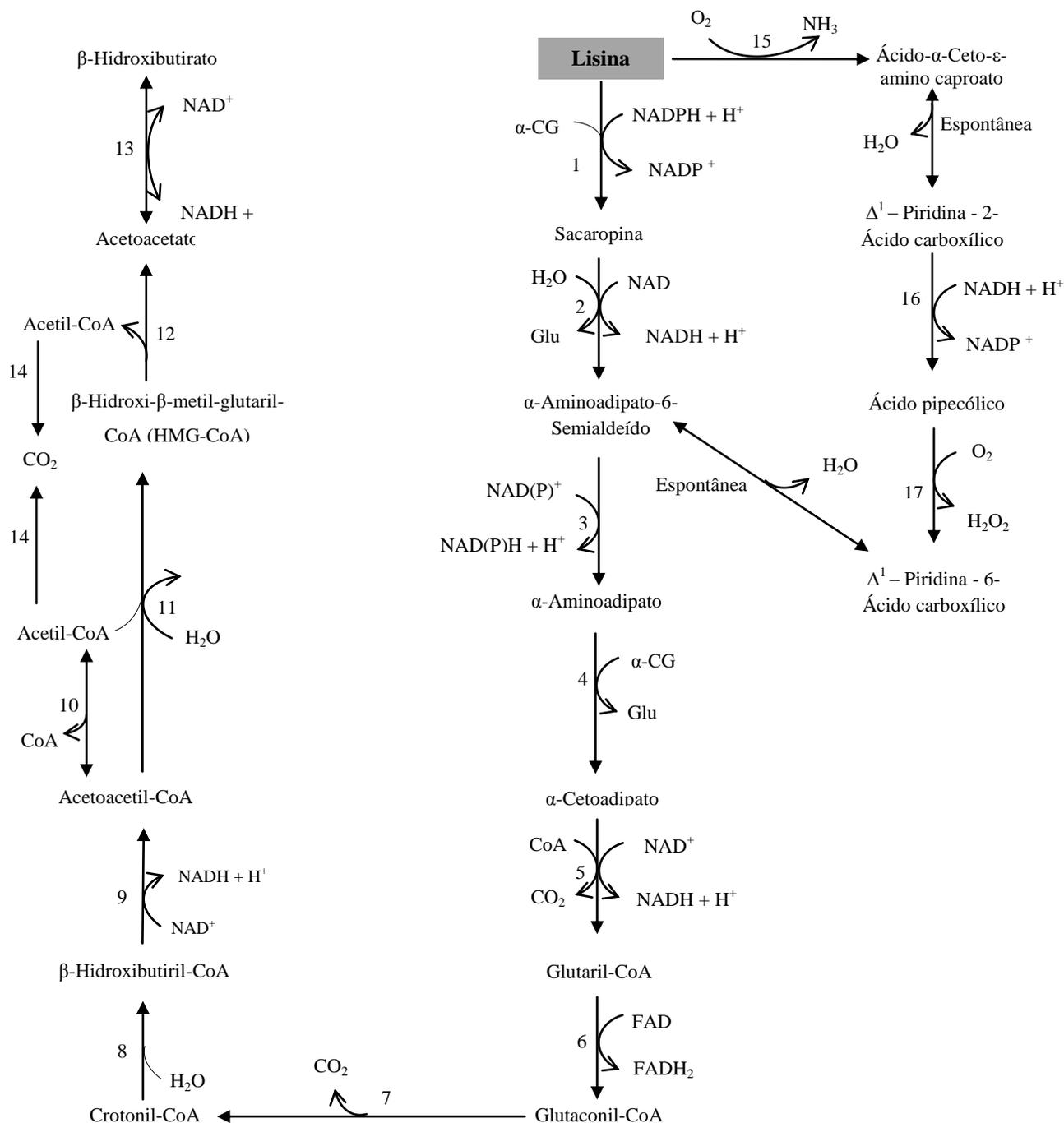
A via de oxidação do Trp leva à produção de 5-HT no cérebro, que é produzida, especificamente, dentro dos corpos dos neurônios serotoninérgicos (Gallagher e Aghajantan, 1976). A primeira enzima envolvida neste processo é a triptofano hidroxilase, que é a enzima limitante para a síntese de 5-HT.

O metabolismo subsequente da 5-HT resulta na produção de melatonina, um neuro-hormônio (Guzik, 2002) que induz ao sono (Devlin, 2002). A melatonina é produzida em quantidades variadas no organismo e está envolvida na regulação do ritmo biológico (dia/noite) que é influenciado pela luz (Lydic e Baghdoyan, 1999).

A melatonina circulante é ocupada por todos os tecidos, incluindo o cérebro, mas é rapidamente metabolizada por hidroxilação, seguida por conjugação com sulfato ou com ácido glicurônico. O tecido renal e hepático, assim como as bactérias fecais convertem o Trp em triptamina, e então a indol 3-acetato. Os principais catabólitos urinários normais do Trp são o ácido 5-hidroindol acético e o indol 3-acetato (Harper et al., 1970).

## 1.7. Metabolismo da lisina

Não há evidência da presença de enzimas que catabolisam a Lys nos enterócitos (Chu e Hegsted, 1976; Hutzler e Dancis, 1975). O catabolismo da Lys (Figura 2) ocorre principalmente no fígado (Fellows e Lewis, 1973; Hutzler e Dancis, 1970).



**Figura 2.** Catabolismo da lisina em animais. Fonte: Adaptado de Wu (2013). A lisina é degradada por meio da via mitocondrial da sacaropina e da via pipicolato peroxissomal. As enzimas que catalisam as reações indicadas são: (1) lisina: $\alpha$ -cetoglutarato redutase; (2) sacaropina desidrogenase ( $\text{NAD}^+$ , formando glutamato); (3) amino adipato semialdeído desidrogenase; (4) amino adipato aminotransferase; (5)  $\alpha$ -cetoácido desidrogenase; (6) glutaril CoA desidrogenase; (7) glutaconil-CoA descarboxilase; (8) enoil-CoA hidratase; (9)  $\beta$ -hidroxiacil-CoA desidrogenase; (10) tiolase; (11) HMG-CoA sintase; (12) HMG-CoA liase; (13)  $\beta$ -hidroxibutirato desidrogenase; (14) enzimas do ciclo de Krebs; (15) lisina oxidase (uma proteína peroxissomal); (16) piperidina-2-caboxilico ácido redutase; e (17) pipicolato oxidase (uma proteína peroxissomal).

O catabolismo da Lys pode iniciar a partir da proteína dietética ou da quebra de proteína intracelular. A absorção intestinal de Lys envolve transportadores específicos de proteínas. Na maioria dos tecidos, os AAs catiônicos são transportados, principalmente, por um sistema de transporte  $\text{Na}^+$  independente. Um sistema de transporte adicional, sendo este  $\text{Na}^+$  dependente, pode ser inibido pela leucina com alta afinidade também pela alanina. Uma vez absorvida no intestino, a Lys pode ser incorporada às proteínas ou catabolizada (King, 2014).

A Lys é exclusivamente cetogênica, sendo que os carbonos entram no metabolismo intermediário como Acetoacetil-CoA. A transaminação inicial do grupo  $\epsilon$ -amino requer  $\alpha$ -cetoglutarato como acceptor e co-substrato, que acontece na ausência de piridoxal fosfato.

Forma-se um composto denominado sacaropina (Figura 2), que segundo Fellows e Lewis (1973) é intermediário chave na degradação da Lys. A sacaropina é posteriormente clivada ao glutamato e a um composto semialdeído, que é oxidado em AA dicarboxílico e uma transaminação do  $\alpha$ -amino-grupo ocorre na dependência de piridoxal. Essa reação de transaminação não é reversível, sendo este um dos motivos que leva a Lys a ser considerada essencial.

Reações subsequentes levam a Acetoacetil-CoA, e em seguida ocorre a remoção do  $\alpha$ -amino-grupo, por meio de uma via minoritária, e prossegue via composto cíclico pipecolato para se juntar à via principal ao do nível intermediário semialdeído. A Lys também é um importante precursor para a síntese de carnitina, que é necessária para o transporte de ácidos graxos na mitocôndria para que ocorra a oxidação.

A via do ácido pipecólico também é de importância clínica no catabolismo da Lys. O ácido L-pipecólico foi conhecido por ser amplamente distribuído em AA não proteicos em plantas, sendo derivado do catabolismo da lisina em mamíferos. Esta via parece ter um papel importante no sistema nervoso central. O catabolismo da Lys por essa via envolve a conversão para ácido  $\alpha$ -ceto-  $\epsilon$ - amino-caproico e posteriormente para ácido pipecólico, e que por meio da enzima  $\alpha$ -aminoadípico desidrogenase semialdeído, é convertido para  $\alpha$ -aminoadípico semialdeído, que também é um produto da via da sacaropina (King, 2014).

### **1.8. Relações triptofano: lisina digestíveis para suínos**

O equilíbrio ótimo dos AAs é importante para maximizar o desempenho dos suínos. As dietas são rotineiramente formuladas para atender as exigências de Lys e, as

proporções dos outros AAs são usadas para fornecer AAs suficientes para atender as necessidades dos animais (Guzik et al., 2005).

Ao proceder com a determinação das exigências de AA para suínos, geralmente, não são consideradas as interações metabólicas que podem ocorrer entre eles. Isso resulta no conhecimento da exigência individual de um determinado AA, o que não é adequado, pois, conforme já relatado, essas interações podem influenciar nas necessidades dos animais.

Após a síntese de proteínas, a via da quinurenina é responsável por mais de 90% do catabolismo do Trp. Os outros destinos do Trp no metabolismo são a 5-HT (3%) e niacina (2%) (Sainio et al., 1996; Heine et al., 1995). A niacina (Vitamina B<sub>3</sub>) está presente em praticamente todas as células vivas, sendo encontrada na forma de nicotinamida nos animais, enquanto o ácido nicotínico prevalece nos alimentos de origem vegetal (Berdechini, 2006). Segundo Firth e Johnson (1956) a relação de transformação é de 50 mg de Trp para 1 mg de niacina.

O ácido nicotínico participa da molécula do NAD (nicotinamida-adenina-dinucleotídeo) e do NADP (nicotinamida-adenina-adeninadineotídeo-fosfato), que são duas coenzimas de fundamental importância no metabolismo de carboidratos, lipídeos, proteínas e na síntese de rodopsina (Berdechini, 2006).

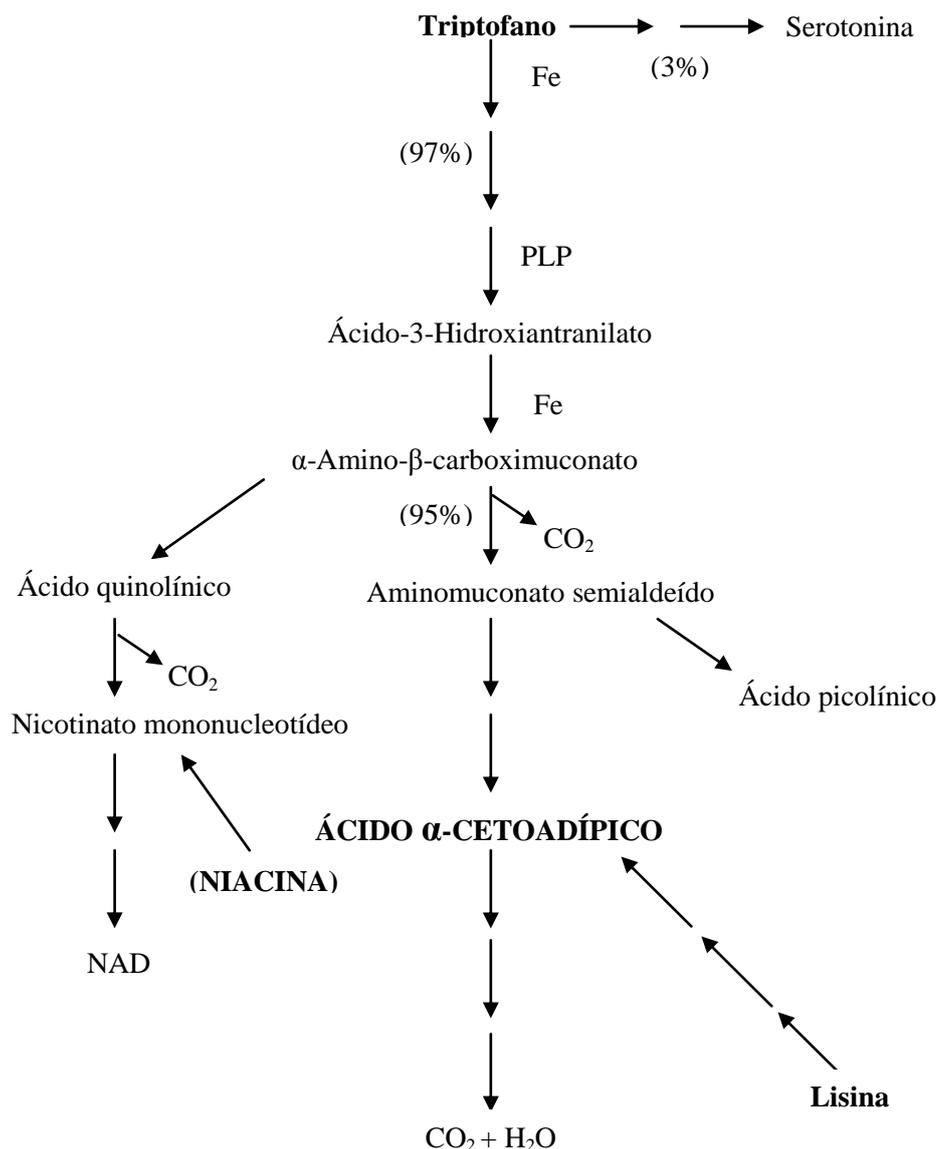
De acordo com Krehl et al. (1945) o excesso de Trp pode ser catabolizado em niacina, no entanto, a deficiência de Trp na dieta, ou na presença de proteína de baixa qualidade, pode proporcionar a deficiência de niacina.

Augsburger & Baker (2007) avaliaram dietas com excesso de Lys e com deficiência de niacina sobre o crescimento de aves. A hipótese era de que o excesso de Lys na dieta poderia aumentar a produção de niacina a partir do Trp, através de um acúmulo de ácido  $\alpha$ -cetoadípico, que causaria a inibição do produto final da principal via catabólica do Trp, que resultaria em CO<sub>2</sub> (Figura 3). Assim, aumentaria o fluxo de  $\alpha$ -amino- $\beta$ -carboximuconato semialdeído (ACS) para a produção de nicotinato mononucleotídeo e NAD.

Os resultados demonstraram que o excesso de Lys na dieta melhorou o desempenho de pintos alimentados com a dieta deficiente em niacina, porém, contendo quantidade suficiente de Trp. Parece possível que em dieta deficiente em Lys pouco ácido  $\alpha$ -cetoadípico (a partir do catabolismo da Lys) estaria disponível para inibir o produto final da principal via de catabolismo do Trp para a oxidação à CO<sub>2</sub>. Entretanto,

embora este mecanismo de resposta da Lys em aves, com dietas deficientes em niacina, pareça lógico, não foi comprovado (Augsburger e Baker, 2007).

Dependendo dos ingredientes utilizados na formulação de dietas para leitões, a treonina (Thr) e o Trp podem se tornar limitantes. Além disso, parece que há discrepância na adequada relação Trp: Lys digestível, dependendo se o cereal como milho, o trigo ou a cevada são os principais componentes da dieta (Guzik et al., 2005).



**Figura 3.** Vias envolvendo o metabolismo do Trp. PLP= pirodoxal fosfato (Fonte: Adaptado de Augspurger e Baker, 2007).

Com o objetivo de selecionar alguns estudos que avaliaram as exigências de Trp, em relação à Lys, foram selecionados 41 trabalhos, sendo 14 provenientes da América do Norte, 21 da Europa e seis de outros países, em que os autores obtiveram valor médio, da relação Trp: Lys, de 17,5%. Neste mesmo estudo, após a realização da

metanálise, os autores encontraram a relação Trp: Lys ótima de 22% para suínos dos sete aos 25 kg de peso vivo (Simongiovanni et al., 2009).

Da mesma forma, baseado em AAs digestíveis estandardizados Rostagno et al. (2011) sugeriram relação Trp: Lys de 18% para suínos de 5 a 20 e de 15 a 30 kg, enquanto o NRC (2012) apresentou relação inferior (16,2%).

Utilizando suínos com idade de 0 a 14 dias e de 14 a 28 dias, Guzik et al. (2005) avaliaram três relações Treonina (Thr): Lys (55; 60; e 65%) e para cada relação foi suplementado o Trp, perfazendo relações Trp: Lys de 14,5; 17,0; e 19,5%. Em suínos alimentados com a relação Thr: Lys de 55% a suplementação de pequena quantidade de Trp reduziu o desempenho dos suínos. Por outro lado, quando a relação Thr: Lys foi de 60 e 65%, a suplementação de Trp melhorou de forma linear o desempenho (Guzik et al., 2005). Neste mesmo trabalho observou-se pequena redução do GPD e consumo de ração, com a relação Trp: Lys de 14,5% na dieta com adição de Thr, indicando, segundo Harper et al. (1970), desequilíbrio dos AAs.

A relação Trp: Lys obtida por Baker e Chung (1992) foi de 18%, para leitões de 10 a 20 kg e Lenis et al. (1990) sugeriram 19%, para suínos de 35 a 105 kg. Segundo Hahn et al. (1995) a combinação das perdas gastrointestinais, renovação celular e conversão do Trp em produtos especializados, como a niacina e 5-HT, promove o aumento na proporção do padrão ideal de manutença. Por outro lado, Lynch et al. (2000) avaliaram relações Trp: Lys de 15 a 23% em leitões de 10 a 30 kg, e verificaram maior ganho de peso com a relação acima de 22%.

Em função da complexidade no metabolismo dos AAs, as interações e as relações entre eles devem ser levadas em consideração no momento da formulação das dietas, principalmente, quando se deseja determinar as exigências destes AAs. A resposta dos animais às dietas contendo apenas diferentes níveis de determinado AA pode diferir da resposta às dietas que avaliem mais de um AA. Portanto, dietas formuladas com diferentes níveis, de dois AAs, simultaneamente, podem fornecer dados mais conclusivos sobre a utilização destes nutrientes pelos animais e seus efeitos no desempenho.

Antes de proceder com as formulações das rações, a determinação da digestibilidade ileal estandardizada dos AAs é extremamente importante, pois fornece maior precisão a respeito do aproveitamento dos AAs no organismo. Assim que determinados os valores de exigências, esses resultados são úteis e de grande importância para os profissionais ligados à área de nutrição de suínos.

### 1.9. Literatura citada

- Augspurger, N. R., Baker, D. H., 2007. Excess Dietary Lysine Increases Growth of Chicks Fed Niacin-Deficient Diets, but Dietary Quinolinic Acid Has No Niacin-Sparing Activity. *Poultry Sci.* 86, 349 - 355.
- Baker, D.H., Chung, T.K., 1992. Ideal protein for swine and poultry. *Bio-Kyowa Technology*. v.4. Nutri-Quest, Inc., Chesterfield, MO.
- Bertechini, A.G. 2006. *Nutrição de Monogástricos*. Lavras: Editora UFLA.
- Bloxam, D.L., Warren, W.H., White, P.J., 1974. Involvement of the liver in the regulation of tryptophan availability: possible role in the responses of liver and brain to starvation. *Life Sci.* 15, 1443 - 1445.
- Boisen, S., 2003. Ideal dietary amino acid profiles for pigs. in: D'Mello, J. P. F. (Ed.). *Amino Acids in Animal Nutrition*. 157 - 168, (CABI).
- Christensen, H.N., 1964. Free amino acids and peptide in tissues. In: Munro, H.N. & Allison, J.B. (Ed.) *Mammalian Protein Metabolism*. New York, Academic Press. 1, 105 - 124.
- Chu, S. H., Hegsted, D. M., 1976. Adaptative response of lysine and threonine degrading enzymes in adult rats. *J. Nutr.* 106, 1089 - 1096.
- Dammers, J., 1964. *Veteringsstudies bij het varken. Factoren van invloed op de vertering der veevoedercomponenten en de verteerbaarheid der aminozuren*. PhD Thesis, University of Leuven, Belgium.
- Devlin, T.M. *Manual de Bioquímica com correlações clínicas*. 2002.
- Dierick, N., Vervaeke, I., Decuypere, J., VAN DER HEYDE, H. AND HENDERICKX, H.K. Correlation of ileal and fecal digested protein and organic matter to production performance in growing pigs. *Wissenschaftliche Zeitschrift WPU, Rostock. N-Reihe* 37, 50 - 51, 1988.
- D'Mello, J.P.F., 2003. Amino Acids as Multifunctional Molecules. in: D'Mello J.P.F. (Ed.). *Amino acids in animal nutrition*. 2nd ed. New York: CAB International. pp. 1-14.
- Eder, K., Peganova, S., Kluge, H., 2001. Studies on the tryptophan requirement of piglets. *Arch. Tierernähr.* 55, 281 - 297.
- Eggum, B.O., 1973. A study of certain factors influencing protein utilization in feedstuffs in rats and pigs. PhD Thesis, Copenhagen, Denmark.
- Euclides, R. F., Rostagno, H. S., 2001. Estimativa dos níveis nutricionais via experimentos de desempenho. Palestra proferida no Workshop Latino Americano Anjinomoto Biolatina, Foz do Iguaçu.

- Fellows, F.C., LEWIS, M.H., 1973. Lysine metabolism in mammals. *Biochem. J.* Oct. 136, 329 - 334.
- Fernstrom, J.D, Wurtman, R.J., 1971. Brain serotonin content: increase following ingestion of a carbohydrate diet. *Science.* 174, 1023 - 1025.
- Fernstrom, J.D. & Faller, D.V., 1978. Neutral amino acids in brain: changes in response to food ingestion. *J. Neurochem.* 30, 1531 - 1538.
- Firth, J., Johnson, B.C., 1956. Quantitative relationships of tryptophan and nicotinic acid in the baby pig. *J. Nutr.* 59, 223.
- Freund, R., Littell, R., 2000. SAS System for Regression. [s.l: s.n.].
- Furuya, S., Kaji, Y., 1989. Estimation of the true ileal digestibility of amino acids and nitrogen from their apparent values for growing pigs. *Anim. Feed. Sci. Tech.* 26, 271 - 285.
- Gallagher, D.W., Aghajantan, G.K., 1976. Inhibition of ring of raphe nucleus by tryptophan and 5-hydroxytryptophan blockade by inhibiting serotonin synthesis with Ro-4-4602. *Neuropharmacol.* 15, 149 - 156.
- Guzik, A.C., Matthews, J.O., Kerr, B.J., Bidner, T.D., Southern, L.L., 2006. Dietary tryptophan effects on plasma and salivary cortisol and meat quality in pigs. *J. Anim. Sci.* 84, 2251 - 9.
- Guzik, A.C., Southern, L.L., Bidner, T.D., Kerr, B.J., 2005. The tryptophan requirement of growing and finishing barrows. *J. Anim. Sci.* 83, 1303 - 1311.
- Guzik, A.C., 2002. Tryptophan requirements and the effects of supplemental tryptophan on growth performance, plasma, metabolites, and meat quality in nursery, growing, and finishing pigs. [s.l.] Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College.
- Haese, D., 2005. Níveis de triptofano digestível em rações para suínos machos castrados de alto potencial de reposição de carne magra na carcaça dos 60 aos 95 kg. [s.l.] Universidade Federal de Viçosa.
- Hahn, J.D., Biehl, R.R., Baker, D.H., 1995. Ideal digestible lysine level for early- and late-finishing swine. *J. Anim. Sci.* 73, 773 - 784.
- Harper, A.E., Benevenga, N.J., Wohlhueter, R.M., 1970. Effects of ingestion of disproportionate amounts of amino acids. *Physiol. Rev.* 50, 428 - 558.
- Heine, W., Radke, M., Wutzke, K.D., 1995. The significance of tryptophan in human nutrition. *Amino Acids.* 9, 191 - 205.
- Henry, Y., 1995. Effects of dietary tryptophan deficiency in finishing pigs, according to age or weight at slaughter or live weight gain. *Livest. Prod. Sci.* 41, 63 -76.

- Hutzler, J., Dancis, J., 1975. Lysine-ketoglutarate reductase in human tissues. *Biochim. Biophys. Acta – Enzimology*. 377, 42 - 51.
- Hutzler, J. & Dancis, J., 1970. Saccharopine cleavage by a dehydrogenase of human liver. *Biochimica et Biophysical Acta – Enzimology*. 206, 205 - 214.
- Jansman, A.J.M. 2007. Tryptophan : a key nutrient in pig diets. *Feed Mix*. 15, 1 - 4.
- Joseph, M.H., Young, S.N., Curzon, G. 1976. The metabolism of a tryptophan load in rat brain and liver: the influence of hydrocortisone and allopurinol. *Biochem. Pharmacol*. 25, 2599 - 2604.
- King, M. The Medical Biochemistry Page. Disponível em: <http://themedicalbiochemistrypage.org/index.php>; Acesso em: Julho de 2014.
- Koopmans, S.J., Guzik, A.C., van der Meulen, J., Dekker, R., Kogut, J., Kerr, B. J. Southern, L. L. 2006. Effects of supplemental L -tryptophan on serotonin , cortisol , intestinal integrity , and behavior in weanling piglets. *J. Anim. Sci*. 84, 963 - 971.
- Koopmans, S. J., Ruis, M., Dekker, R., van Diepen, H., Korte, M., Mroza, Z., 2005. Surplus dietary tryptophan reduces plasma cortisol and noradrenaline concentrations and enhances recovery after social stress in pigs. *Physiol. Behav*. 85, 469 -478.
- Krehl, W.A., Teply, L.J., Sarma, P.S., Elvehjem, C.A., 1945. Growth-retarding effect of corn in nicotinic acid-low rations and its counteraction by tryptophane. *Science*. 101, 489 - 490.
- Le Floc'h, N., Otten, W., Merlot, E., 2011. Tryptophan metabolism, from nutrition to potential therapeutic applications. *Amino Acids*. 41, 1195 - 205.
- Le Floc'h, N., Seve, B., 2007. Biological roles of tryptophan and its metabolism: Potential implications for pig feeding. *Livest. Sci*. 112, 23 - 32.
- Low, A.G., 1982. Digestibility and availability of amino acids from feedstuffs for pigs: a review. *Livest. Prod. Sci.*, 9, 511 - 520.
- Lydic, R., Baghdoyan, H. A., 1999. *Handbook of Behavioral State Control*. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Lynch, P.B.; Van Cauwenberghe, S.; Fullarton, P., 2000. Response of weaned pigs to dietary level of tryptophan. 15th EAAP Meeting. The Hague, The Netherlands, pp. 342.
- Mariscal-Landin, G., 1992. Facteurs de variation de l'utilisation digestive des acides amines chez le porc. PhD thesis, Rennes University, France.
- Mosenthin R., Rademacher, M., 2003. Digestible amino acids in diet formulation for pigs. in: D'MELLO, J.P.F. (Ed.) *Amino acids in animal nutrition*. 2.ed. Edinburgh: CABI Publishing. pp. 169 - 186.

- Mosenthin, R., Sauer, W.C., Henkel, H., Ahrens, F., de Lange, C.F., 1992. Tracer studies of urea kinetics in growing pigs: II. The effect of starch infusion at the distal ileum on urea recycling and bacterial nitrogen excretion. *J. Anim. Sci.* 70, 3467 - 3472.
- Moughan, P.J., Fuller, M.F., 2003. Modelling amino acid metabolism and the estimation of amino acid requirements. in: D'MELLO, J.P.F. (Ed.) *Amino Acids in Animal Nutrition*. 2.ed. Edinburgh: CABI Publishing. 187 - 202.
- Moughan, P.J., 1991. Towards an improved utilization of dietary amino acids by the growing pig. in: Haresign, W., Cole, D.J.A. (Eds.) *Recent Advances in Animal Nutrition*. Butterworths, London, pp. 45 - 64.
- Nelson, D.L., Cox, M.M., 2011. *Princípios de Bioquímica de Lehninger*.
- Noblet, J., Dividich, J.L., Milgen, J.V., 2001. Thermal Environment and Swine Nutrition. in: Lewis, A.J. and Southern, L.L. *Swine Nutrition* (Eds.). Boca Raton, London, New York, Washington, D.C.
- NRC. National Research Council., 2012. *Nutrient Requirements of Swine*. Eleventh R ed. Washington, D.C. National Academic of Science: [s.n.].
- Oldendorf, W.H., Szabo, J., 1976. Amino acids assignment to one of three blood-brain Barrier amino acid carriers. *American Journal of Physiology*. 230, 94 - 98.
- Rostagno, H.S., Donzele, J.L., Gomes, P.C., Oliveira, R.F., and Lopes, D.C., F.A.S., Barreto, S.L.T., Euclides, R., 2011. *Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos. Composição de Alimentos e Exigências Nutricionais*. (Viçosa, MG: UFV, Departamento de Zootecnia), pp. 252.
- Russo, S., Kema, I.P., Fokkema, R.M., Boon, J.C., Willemsse, P.H.B., de Vries, E.G.E., Den Boer, J.A., Korf, J., 2003. Tryptophan as a Link between Psychopathology and Somatic States. *Psychosom Med.* 65, 665 - 71.
- Sainio, E.L., Pulkki, K., Young, S.N., 1996. L-Tryptophan: Biochemical, nutritional, and pharmacological aspects. *Amino Acids*, 10, 21 - 47.
- Schwarcz, R., Bruno, John, P.P., Muchowski, J., Wu, H.Q., 2012. Kynurenines in the mammalian brain: when physiology meets pathology. *Nat Rev Neurosci.* 13, 465 - 477.
- Sakomura, N.K.; Rostagno, H.S., 2007. *Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos*. Jaboticabal, SP.: [s.n.]. pp. 283.
- Shen, Y.B., Voilque, G., Kim, J.D., Odle, J., Kim, S.W., 2012a. Effects of increasing tryptophan intake on growth and physiological changes in nursery pigs. *J. Anim. Sci.* 90, 2264 - 2275.
- Shen, Y.B., Voilque, G., Odle, J., Kim, S.W., 2012b. Dietary L -Tryptophan Supplementation with Reduced Large Neutral Amino Acids Enhances Feed

Efficiency and Decreases Stress Hormone Secretion in Nursery Pigs under Social-Mixing Stress. *J. Nutr.* 142, 1540 - 1546.

Simongiovanni, A., Corrent, E., Primot, Y., 2009. Trp : Lys requirement for piglets determined by meta-analysis. *Ajynomoto Eurolysine, S.A.S.*, pp. 16.

Stein, H.H., Fuller, M.F., Moughan, P.J., Sève, B., Mosenthin, R., Jansman, A.J.M., Fernández, J.A., de Lange, C.F.M. 2007. Definition of apparent, true, and standardized ileal digestibility of amino acids in pigs. *Livest. Sci.* 109, 282 - 285.

Tamminga, S., Schulze, H., Van Bruchem, J., Huisman, J., 1995. The nutritional significance of endogenous N-losses along the gastro-intestinal tract of farm animals. *Arch. Tierernahr.* 48, 9 - 22.

Taverner, M.R., Hume, I.D., Farrell, D.J., 1981. Availability to pigs of amino acids in cereal grains. 1. Endogenous levels of amino acids in ileal digesta and feces of pigs given cereal diets. *Br. J. Nutr.* 46, 149 - 158.

Traylor, S.L., Cromwell, G.L, Lindemann, M.D., Knabe, D.A., 2001. Effects of level of supplemental phytase on ileal digestibility of amino acids , calcium , and phosphorus in dehulled soybean meal for growing pigs. *J. Anim. Sci.* 79, 2634 – 2642.

Wolf, H., 1974. Studies on tryptophan metabolism in man: The Effect of Hormones and Vitamin B6 on Urinary Excretion of Metabolites of the Kynurenine Pathway: Part 1. *Scand. J. Clin. Lab. Invest.* 33, 11 - 87.

Wünsche, J., Hennig, U., Meinl, M., Kreienbring, F., Bock, H.D. Investigation of the absorption and utilization of amino acids infused into cecum of growing pigs. I. N-balance measurement with regard to the utilization of lysine and isoleucine and requirement of growing pigs. *Arch. Anim. Nutr.* 32, 337–348, 1982.

Wu, G. *Amino Acids: Biochemistry and Nutrition.*, 2013. Boca Raton, CRC Press, New York.

Young, S.N., Oravec, M., 1979. The effect of growth hormone on the metabolism of a tryptophan load in liver and brain of hypophysectomized rats. *Can. J. Biochem.* 57, 517 - 522.

Zangeronimo, M.G., Fialho, E.T., Lima, J.A.F., Rodrigues, P.B., Luis David Solis Murgas, L.D.S., 2006. Redução do nível de proteína bruta da ração com suplementação de aminoácidos sintéticos para leitões na fase inicial. *Rev. Bras. Zootec.* 35, 849 - 856.

Zebrowska, T., 1973. Digestion and absorption of nitrogenous compounds in the large intestine of pigs. *Rocz. Nauk Roln.* 95, 85 - 90.

## II – OBJETIVOS GERAIS

Experimento I: avaliar o efeito da suplementação oral de Trp sobre o desempenho dos leitões na maternidade e sobre os parâmetros comportamentais e desempenho na fase de creche; Experimentos II, III e IV: determinar os níveis ótimos de Trp e Lys digestíveis para suínos machos castrados e fêmeas suínas, na fase de 15 a 30 kg de peso vivo.

### 2.1. Objetivos Específicos

1. Verificar os efeitos da suplementação oral de Trp para leitões sobre o desempenho na maternidade e na fase de creche (21 aos 22 e 21 aos 56 dias de idade), e sobre o comportamento no primeiro dia após o desmame.
2. Determinar a digestibilidade ileal estandardizada dos aminoácidos da ração basal (com os menores níveis de Trp e Lys digestíveis).
3. Estimar a exigência de Trp e Lys digestíveis para suínos machos castrados e para fêmeas suínas, dos 15 aos 30 kg de peso vivo.
4. Determinar a relação Trp: Lys digestível que proporciona o melhor desempenho dos suínos machos castrados.

### **III – A suplementação oral de triptofano para leitões em aleitamento aumenta a síntese de serotonina e melhora o desempenho pós-desmame**

**RESUMO:** Objetivou-se avaliar o efeito da suplementação oral de Triptofano (Trp) sobre a concentração hipotalâmica de serotonina (5-HT) e do ácido-5-hidroxi-indol-acético (5-HIAA); sobre o desempenho dos leitões em fase de aleitamento (dos 14 aos 21 dias) e na fase de creche (dos 21 aos 22 dias e dos 21 aos 56 dias de idade), e avaliar o comportamento (normal e agressivo) dos leitões submetidos ao estresse social no primeiro dia após o desmame. Na maternidade foram utilizados 80 animais, provenientes de 10 matrizes, os quais foram distribuídos em duas dietas experimentais, uma dieta teste, contendo Trp em quantidade quatro vezes acima da exigência, e uma dieta controle, contendo Alanina (Ala) e glicose. Os leitões foram suplementados com as dietas dos 14 aos 21 dias de idade, sendo mensurado o desempenho dos leitões neste período. No vigésimo dia, 12 animais (seis por tratamento) foram eutanasiados, sendo o hipotálamo dissecado e coletado para análises de 5-HT e ácido 5-hidroxi-indol-acético. Aos 21 dias, os animais remanescentes (68 leitões) foram pesados, desmamados e conduzidos para a creche. Dois leitões do mesmo tratamento, mesmo sexo, porém provenientes de diferentes leitegadas foram alojados com base no peso corporal. Após o desmame a mesma dieta foi fornecida para todos os animais, durante todo o período experimental. O desempenho dos animais foi mensurado dos 14 aos 21 dias (maternidade), dos 21 aos 22 dias e dos 21 aos 56 dias de idade (fase de creche). O comportamento (normal e agressivo) foi avaliado no primeiro dia após o desmame. Conclui-se o Trp, suplementado dos 14 aos 21 dias de idade, aumenta a concentração de 5-HT e 5-HIAA no hipotálamo dos leitões e não influencia o desempenho na maternidade e o comportamento agressivo no primeiro dia após o desmame. O Trp aumenta a frequência de visita dos leitões aos comedouros no primeiro dia pós-desmame e melhora a conversão alimentar dos leitões na primeira semana de creche.

**Palavras-chave:** consumo de ração, estresse, fase de aleitamento, serotonina.

### **III – Oral tryptophan supplementation for suckling piglets increases serotonin synthesis and improves performance after weaning**

**ABSTRACT:** It was aimed to evaluate the effect of oral Tryptophan (Trp) supplementation on the concentration of serotonin (5-HT) and 5-Hydroxyindoleacetic acid (5-HIAA); on performance of piglets in suckling phase (from 14 to 21 days old) and nursery phase (from 21 to 22 and from 21 to 56 days old); and on normal and aggressive behavior of piglets under social stress in the first day after weaning. In the suckling phase 80 piglets from 10 sows were used, which were allotted in two experimental diets, a test diet, containing Trp four times above the requirements, and a control diet, containing Alanine (Ala) and glucose. The piglets were supplemented with diets from 14 to 21 days old, in which the performance of piglets in this period was measured. On day 20, 12 piglets (six per treatment) were euthanized and the hypothalamus was dissected and collected in order to analyze serotonin and 5-hydroxyindolacetic acid concentration. At day 21, the remaining piglets (68 piglets) were weighed, weaned and taken to the nursery barn. Piglets from the same treatment, same gender, but from different litters were paired, based on body weight. After weaning the same diet was fed to all piglets throughout the experimental period. The performance of the piglets was measured from 14 to 21 days old (suckling phase), from 21 to 22 days old and from 21 to 56 days old (nursery phase). The normal and aggressive behavior was evaluated in the first day after weaning. It was concluded that Trp supplementation, from 14 to 21 days old, increases hypothalamic concentration of 5-HT and 5-HIAA and do not affect neither the performance in the suckling phase nor the aggressive behavior in the first day after weaning. Trp increases the frequency of visits to the feeders in the first day after weaning and improves feed conversion ratio of piglets in the first week after weaning.

**Key words:** feed intake, serotonin, suckling phase, stress.

### 3.1. Introdução

O período pós-desmame é um desafio para o setor suinícola porque o desempenho dos animais, nas fases posteriores (crescimento e terminação), depende do desenvolvimento inicial do leitão. Após o desmame os leitões se deparam com vários fatores estressores, como a separação da mãe, o convívio com outros animais, a alteração no ambiente e principalmente a mudança da dieta líquida para a sólida.

Além disso, na tentativa de manter a hierarquia, os leitões após o desmame frequentemente mostram comportamento agressivo, lutando uns com os outros, podendo prejudicar o desempenho e o bem-estar dos animais (1; 2). Esses fatores influenciam o consumo de alimento após o desmame e desaceleram o desenvolvimento dos leitões, podendo, de acordo com (3; 1), influenciar negativamente a saúde e o estado fisiológico.

O Triptofano (Trp), por ser o precursor da serotonina, parece influenciar o comportamento. Em humanos, por exemplo, que sofrem desordens psicológicas, a deficiência de Trp aumentou a ansiedade e a irritabilidade (4). O Trp dietético pode modular o comportamento agressivo em diferentes espécies animais (5; 6; 7). Entretanto, o efeito positivo do Trp sobre o comportamento agressivo somente foi observado em pacientes que já haviam apresentado algum histórico, pessoal ou familiar, de depressão (8).

Os efeitos do Trp dietético e da 5-HT sobre o estresse, depressão e comportamento agressivo são contraditórios. Segundo (9) a suplementação de 0,6% de Trp na dieta aumentou a eficiência alimentar e a concentração de 5-HT hipotalâmica e reduziu o nitrogênio da uréia plasmática (NUP) e a peroxidação lipídica sistêmica e hipotalâmica.

De acordo com (10) o Trp deve ser suplementado por longos períodos para que possa mostrar efeito no comportamento dos leitões (deitado, em pé, sentado, comendo, bebendo), porém, quando os suínos foram submetidos ao estresse social o Trp reduziu o estresse por meio do aumento na atividade serotoninérgica no hipotálamo e pela redução no cortisol salivar. Neste mesmo estudo foi observado que o Trp melhorou a morfologia intestinal.

Os benefícios do Trp são observados, na maioria das vezes, quando é suplementado em doses acima dos requerimentos propostos. (11) relataram que a suplementação de Trp melhorou o desempenho dos leitões (a partir de seis semanas de

idade) submetidos ao estresse social, estando associado a maior produção de 5-HT hipotalâmica e a redução do cortisol salivar. O melhor resultado para o ganho de peso diário foi obtido com a ingestão de 10,8 g de Trp total/dia, enquanto o requerimento sugerido (12) para suínos, nesta mesma fase de produção, é de 2,1 g de Trp total/dia.

Recentemente, a suplementação de Trp vem sendo realizada com o intuito de avaliar suas funções biológicas e aumentar a capacidade dos animais em lidar com o estresse. Entretanto, os efeitos da suplementação de Trp, na maternidade, sobre o estresse e desempenho dos leitões na fase de creche ainda não foram relatados.

Considerando que o Trp é o precursor da 5-HT (um importante neuromediador associado ao humor, resposta ao estresse, sono e regulação do apetite), seu fornecimento para leitões, na maternidade, pode ser uma estratégia para aumentar a capacidade dos leitões em lidar e adaptar-se às condições de estresse, aumentar o consumo de alimento, melhorar a saúde gastrointestinal e, conseqüentemente, o desempenho.

Objetivou-se com esse trabalho avaliar o efeito da suplementação oral de Trp, com dose acima da exigência recomendada, sobre o desempenho dos leitões dos 14 aos 21 dias (fase de maternidade), dos 21 aos 22 dias e dos 21 aos 56 dias de idade (fase de creche), bem como o comportamento (normal e agressivo) dos animais submetidos ao estresse social no primeiro dia após o desmame.

### **3.2. Material e métodos**

O experimento foi conduzido na Unidade Experimental de Suínos da Universidade do Estado da Carolina do Norte, Raleigh, EUA. O protocolo experimental (número 12-138-A) foi aprovado pelo comitê de ética da Universidade do Estado da Carolina do Norte.

#### *Animais e instalações*

A primeira parte do estudo foi realizada com os leitões na maternidade e a segunda parte na fase de creche. Dentro de 48 horas após o parto os leitões foram pesados e as leitegadas padronizadas com 8 a 10 leitões por matriz. O número de fêmeas e machos foi registrado a fim de mantê-los igualmente distribuídos em cada leitegada. Este procedimento foi adotado com o objetivo de alojar, após o desmame, na mesma unidade experimental, leitões do mesmo sexo e provenientes de diferentes

leitegadas. As dietas das matrizes foram formuladas para atender as exigências nutricionais (13) nas fases de gestação e lactação.

Ao décimo quarto dia de vida os leitões foram pesados, individualmente identificados e distribuídos em dois tratamentos (controle e teste), sendo o peso médio inicial de  $4,62 \pm 0,09$  kg.

Aos 21 dias de idade os leitões foram desmamados, pesados e alojados de acordo com os tratamentos que receberam do 14º ao 21º dia de idade. Após o desmame os leitões foram conduzidos para as salas de creche, dotadas de baias (1,73 x 0,83 m) com piso de metal vazado, equipadas com dois bebedouros tipo chupeta e um comedouro semiautomático.

#### *Dietas e manejo na maternidade*

Os tratamentos consistiram de uma dieta controle, contendo L-Alanina (Ala) e glicose, e outra contendo L-Trp. A Ala e a glicose foram utilizadas para manter os tratamentos isoproteicos e isoenergéticos. A Ala foi escolhida por não ser tóxica e não possuir funções biológicas, e por ser extensivamente catabolisada (11).

Para viabilizar a suplementação oral, o Trp, a Ala e a glicose foram dissolvidos em água destilada, formando uma solução com quantidades conhecidas dos respectivos ingredientes, a qual foi preparada diariamente.

Foi calculada a exigência diária de Trp/kg de peso corporal, para suínos dos cinco aos sete kg de peso vivo, conforme as exigências propostas por (13). A quantidade de Trp fornecida diariamente aos animais foi estipulada em quatro vezes acima da exigência, que é de 0,7g/animal/dia (13).

A quantidade total de Trp foi de 2,8 g/animal (0,7 x 4). Para o cálculo da quantidade de Trp/kg de peso corporal, considerou-se seis kg como sendo o peso médio (entre cinco e sete kg, (13)), determinando-se assim 0,46 g de Trp/kg de peso corporal ( $2,8 \text{ g}/6 \text{ kg} = 0,46 \text{ g/kg}$ ). Este valor foi multiplicado pelo peso corporal individual de cada leitão, que foi mensurado diariamente.

Os tratamentos foram fornecidos aos leitões, dos 14 aos 21 dias de idade (fase de maternidade), por meio de uma seringa, sete vezes ao dia, em intervalos de duas horas, com início às 7h e término às 18h. Para evitar o estresse, o fornecimento ocorreu rapidamente (3 a 5 segundos/animal) e de forma intercalada entre os tratamentos.

No vigésimo dia, após o último fornecimento das dietas, 12 animais (seis por tratamento) foram eutanasiados por eletronarcose, sendo o hipotálamo dissecado e coletado. No vigésimo primeiro dia os animais foram desmamados e pesados para o cálculo do ganho de peso diário na maternidade.

#### *Coleta de amostras e análises laboratoriais*

Aos 20 dias de idade 12 leitões (seis por tratamento) foram eutanasiados por eletronarcose e posteriormente a cabeça foi dissecada para a coleta do hipotálamo, que foi rapidamente removido, envolto em papel alumínio, acondicionado em nitrogênio líquido e conduzido ao laboratório, onde foi armazenado em freezer a  $-80^{\circ}\text{C}$ , até a realização das análises. Após descongelado, o hipotálamo foi pesado (0,5g), moído e homogeneizado (Tissuemiser, Thermo Fisher Scientific Inc., Rockford, IL) sobre o gelo, usando 1 mL de tampão contendo 28 mM de Tris-HCL, pH 7,4, 1mM de EDTA e 1mM de ácido tetra acético etileno glicol. Posteriormente foi centrifugado a 15.000g, a  $4^{\circ}\text{C}$ , por 30 minutos. O sobrenadante foi usado para determinar as concentrações de 5-HT, 5-HIAA e proteína. Todas as amostras foram lidas em um leitor de placas (Biotek Synergy Multi-detection).

#### *Proteína hipotalâmica*

A concentração de proteína no tecido hipotalâmico foi mensurada por meio de um Kit comercial (Thermo Fisher Scientific Inc., Rockford, IL) conforme proposto por Shen et al. (11). Foram preparados padrões de albumina sérica bovina em 0,1 M de ácido perclórico. O padrão e as amostras (10  $\mu\text{L}$ ) foram adicionados a 200  $\mu\text{L}$  de ácido bicinconínico (reagente de trabalho), preparado de acordo com as recomendações do fabricante, sendo as amostras realizadas em duplicata.

#### *Serotonina e ácido 5-hidroxi-indol-acético*

Foram realizadas as análises de 5-HT e de seu metabólito, ácido 5-hidroxi-indol-acético (5-HIAA), por meio de Kits Elisa comerciais (IBL, Hamburg, Germany) conforme previamente descrito por Bethea et al. (16) e Shen et al. (11). As amostras do hipotálamo foram avaliadas em duplicata para a análise de 5-HT e em triplicata para 5-HIAA. As concentrações de 5-HT e de 5-HIAA foram expressas em ng/mg de proteína hipotalâmica. Os coeficientes de variação para as análises de 5-HT e 5-HIAA foram de 9,21 e 12,10%, respectivamente.

### *Desempenho e comportamento na fase de creche*

Aos 21 dias de idade, os animais foram desmamados e conduzidos para a creche, em que dois leitões do mesmo tratamento, e do mesmo sexo, porém de diferentes origens, foram alojados na mesma unidade experimental para estimular o estresse social.

Foram avaliados o comportamento normal (bebendo, comendo, em pé, sentado e deitado) e o comportamento agressivo. Para o estudo do comportamento e do desempenho, foram utilizados 68 animais, sendo 34 de cada tratamento, totalizando 17 repetições por tratamento. Os animais foram distribuídos em um delineamento experimental de blocos ao acaso, com base no peso vivo após o desmame.

O comportamento de cada animal foi continuamente monitorado, pelo período de 24 horas, por meio de circuito fechado de câmeras (Q-See QD28414C4, Digital Peripheral Solutions Inc., Anaheim, CA), instaladas na parte superior da creche e conectadas ao gravador digital de vídeo (Q-See QSDT8DP, Digital Peripheral Solutions Inc.). As câmeras foram previamente preparadas, e o sistema de monitoramento foi ligado antes do alojamento dos animais.

O comportamento foi classificado em normal (deitado, em pé, sentado, comendo e bebendo) e agressivo, que é parte do comportamento em pé, e definido como interações agonísticas entre os suínos. Para a avaliação do comportamento normal, realizou-se a amostragem instantânea com intervalos de dois minutos, sendo os vídeos avaliados por todo o período (24 horas), permitindo obter a percentagem de tempo que os animais realizaram as atividades. Foram realizadas 720 observações por animal, totalizando 1.040 observações por unidade experimental e 17.680 por tratamento.

O comportamento agressivo foi dividido em luta e agressão, conforme descrito em estudos anteriores (11) e, uma vez que os leitões foram misturados, o comportamento agressivo foi registrado continuamente, durante 24 horas. As definições de cada comportamento foram interpretadas conforme sugerido por Li et al. (14), e a luta foi dividida em pressão paralela, pressão paralela inversa e mordida mútua. Pressão paralela ocorreu quando dois animais lutaram em posição paralela um com o outro; pressão paralela inversa quando dois animais lutaram frente a frente, e mordida mútua quando um animal mordida e recebia outra mordida de seu oponente em menos de cinco segundos.

A agressão foi caracterizada pelos atos de morder, bater e fazer movimento de alavanca com o focinho, em relação ao seu oponente. Para manter a consistência dos dados, todo o comportamento agressivo foi analisado pelo mesmo observador, sendo este previamente treinado. O número e a duração total das lutas (pressão paralela, pressão paralela inversa e mordida mútua) e o número de cada agressão observada (mordida, batida, e movimento de alavanca) foram avaliados conforme descrito por D'Eath (15).

As avaliações do comportamento agressivo foram divididas em três períodos, durante as 24 horas. O primeiro período (das 10 às 19h) foi avaliado continuamente, sendo observadas todas as lutas e agressões ocorridas durante as primeiras nove horas após o alojamento dos animais. O segundo período (das 19 às 4h) foi mensurado uma hora sim e uma hora não, totalizando quatro horas de avaliação. O terceiro e último período (das 4 às 10h) foram novamente avaliados continuamente, sendo observadas todas as lutas e agressões ocorridas durante as últimas seis horas.

Essa forma de avaliação foi adotada pelo fato de nos primeiros momentos, após a mistura dos animais, ocorrerem os primeiros contatos, e se iniciaram as lutas pela hierarquia da baia. O segundo período foi avaliado intercaladamente por tratar do período noturno, e, portanto, o momento em que os leitões dormiram a maior parte do tempo. No terceiro período avaliou-se continuamente por ser o momento em que os leitões estavam despertando, momento em que as lutas também ocorreram com maior frequência e intensidade.

Ao final da avaliação do comportamento (após as 24 horas) os leitões e os comedouros foram pesados a fim de calcular o ganho de peso diário e o consumo de ração referente ao primeiro dia após o desmame. Os leitões permaneceram nas mesmas baias durante todo o período experimental e o desempenho foi acompanhado até os 56 dias. Os animais e as sobras de ração foram pesados semanalmente para o cálculo do consumo diário de ração (CDR), ganho de peso diário (GPD) e conversão alimentar (CA). Todos os leitões consumiram a mesma dieta após o desmame, sendo formulada para atender as exigências propostas pelo NRC (2012). Desde o desmame até a segunda semana de idade (Fase 1) os animais consumiram a dieta pré-inicial na forma peletizada e, a partir da terceira semana até a quinta semana (Fase 2) os animais consumiram a dieta inicial na forma farelada.

### 3.3. Análise estatística

As variáveis foram analisadas utilizando o procedimento Mixed Procedure, do SAS (SAS Inst, Inc., Cary, NC). O delineamento experimental foi inteiramente ao acaso, para os dados avaliados antes do desmame e, em blocos ao acaso para os dados avaliados após o desmame. Antes do desmame, cada animal foi considerado uma unidade experimental, e após o desmame, a baía (contendo dois animais) foi considerada a unidade experimental, para o desempenho e comportamento. Os dados de comportamento agressivo foram transformados (Log 10) antes de serem submetidos às análises estatísticas.

### 3.4. Resultados

#### *Desempenho*

Não foram observadas diferenças ( $P>0,05$ ) para o CDR e PVF nas fases de maternidade e creche (Tabela 1).

Na quarta semana após o desmame, os animais que receberam a suplementação com Trp apresentaram maior GPD ( $P=0,044$ ) em comparação ao tratamento controle, sendo 10,21% superior.

Na primeira semana após o desmame houve melhora na CA ( $P=0,09$ ), sendo 20,97% melhor para o tratamento que recebeu a suplementação de Trp na maternidade. Por outro lado, na segunda semana o tratamento controle apresentou a melhor CA ( $P=0,025$ ), e na quarta semana, a melhor CA foi observada para o tratamento com a suplementação de Trp ( $P=0,038$ ).

Não foram observadas diferenças ( $P>0,05$ ) na primeira fase (21 aos 35 dias) e na segunda fase (35 aos 56 dias), bem como no período total (21 a 56 dias), para nenhuma das variáveis avaliadas.

Tabela 1 – Efeitos da suplementação oral de Triptofano (Trp) sobre o desempenho de leitões na maternidade (14-21 dias), no primeiro dia após o desmame (21-22) e dos 21 aos 56 dias de idade.<sup>1</sup>

Item	Tratamentos			P valor
	Controle	Trp	EPM <sup>2</sup>	
<b>Peso vivo (PV), kg</b>				
Peso Inicial (14 dias)	4,63	4,61	0,134	0,878
Peso ao desmame (21 dias)	6,65	6,68	0,175	0,827
Peso aos 22 dias	6,34	6,39	0,448	0,480
28 dias	7,17	7,37	0,162	0,214
35 dias	9,41	9,44	0,260	0,893
42 dias	12,29	12,33	0,313	0,881
49 dias	15,94	16,35	0,397	0,309
56 dias	20,69	21,25	0,431	0,207
<b>GPD, kg</b>				
14 a 21 dias	0,287	0,296	0,008	0,467
21 a 22 dias	- 0,306	- 0,295	0,029	0,688
Semana 1 (21 a 28 d)	0,069	0,083	0,009	0,133
Semana 2 (28 a 35 d)	0,320	0,295	0,021	0,257
Semana 3 (35 a 42 d)	0,413	0,414	0,018	0,962
Semana 4 (42 a 49 d)	0,519	0,572	0,025	0,044
Semana 5 (49 a 56 d)	0,681	0,700	0,025	0,467
Fase 1 (21 a 35 d)	0,189	0,185	0,011	0,728
Fase 2 (35 a 56 d)	0,468	0,486	0,011	0,138
Período total (21 a 56 d)	0,395	0,408	0,009	0,176
<b>CDR, kg</b>				
21 a 22 dias	0,021	0,028	0,006	0,307
Semana 1 (21 a 28 d)	0,152	0,162	0,009	0,294
Semana 2 (28 a 35 d)	0,400	0,401	0,017	0,973
Semana 3 (35 a 42 d)	0,722	0,726	0,024	0,870
Semana 4 (42 a 49 d)	0,927	0,965	0,036	0,301
Semana 5 (49 a 56 d)	1,219	1,262	0,032	0,188
Semana 1 a 3 (21 a 35 d)	0,270	0,277	0,011	0,596
Semana 3 a 5 (35 a 56 d)	0,813	0,838	0,019	0,176
Período total (21 a 56 d)	0,675	0,696	0,016	0,237
<b>CA, kg/kg</b>				
21 a 22 dias	-	-	-	-
Semana 1 (21 a 28 d)	2,48	2,05	0,253	0,094
Semana 2 (28 a 35 d)	1,26	1,38	0,026	0,025
Semana 3 (35 a 42 d)	1,76	1,77	0,061	0,934
Semana 4 (42 a 49 d)	1,80	1,69	0,052	0,038
Semana 5 (49 a 56 d)	1,80	1,82	0,048	0,728
Fase 1 (21 a 35 d)	1,44	1,51	0,049	0,217
Fase 2 (35 a 56 d)	1,73	1,72	0,016	0,550
Período total (21 a 56 d)	1,71	1,70	0,015	0,797

<sup>1</sup>n= 68; <sup>2</sup>Erro padrão da média.

### *Serotonina e ácido 5-hidroxi-indol-acético*

A concentração de 5-HT e 5-HIAA no hipotálamo (Tabela 2) foi maior para os leitões que receberam a suplementação de Trp na maternidade ( $P=0,03$ ;  $P=0,05$ ), sendo 37 e 27% superior, respectivamente. A relação 5-HIAA: 5-HT não apresentou diferença entre os tratamentos ( $P>0,05$ ).

Tabela 2 – Efeito da suplementação oral de Triptofano (Trp) sobre a concentração hipotalâmica de serotonina (5-HT) e ácido 5-hidroxi-indol-acético (5-HIAA) em leitões com 20 dias de idade.<sup>1,2</sup>

Item	Tratamentos			P valor
	Controle	Trp	EPM <sup>3</sup>	
5-HT	2,84	5,94	0,90	0,03
5-HIAA	59.131	104.560	14.648	0,05
Relação 5-HIAA : 5-HT	22.216	20.148	3.976	0,72

<sup>1</sup>n = 6; <sup>2</sup>Expressos com base na concentração de proteína hipotalâmica (ng/mg proteína); <sup>3</sup>Erro padrão da média.

### *Comportamento normal e agressivo dos leitões*

A suplementação de Trp influenciou ( $P=0,057$ ) a frequência de visita dos leitões ao comedouro, sendo 97% superior ao valor obtido para o tratamento controle (Tabela 3). Os demais parâmetros de comportamento foram semelhantes entre os tratamentos ( $P>0,05$ ).

Table 3 – Efeito da suplementação oral de Triptofano (Trp) sobre o comportamento normal dos leitões no primeiro dia após o desmame.<sup>1,2</sup>

Item	Tratamentos			P valor
	Controle	Trp	EPM <sup>3</sup>	
Deitado (%)	69,33	70,10	2,15	0,72
Sentado (%)	1,46	1,06	0,24	0,12
Em pé (%)	28,37	27,44	2,14	0,66
Comendo (%)	0,42	0,83	0,21	0,057
Bebendo (%)	0,39	0,55	0,11	0,18

<sup>1</sup>n = 17; <sup>2</sup>O comportamento (deitado, em pé, sentado, bebendo e comendo) foi mensurado durante 24 horas, e os dados coletados em intervalos de dois minutos; <sup>3</sup> Erro padrão da média.

O comportamento agressivo dos leitões não foi influenciado pela suplementação oral de Trp ( $P>0,05$ ), em nenhum dos períodos avaliados (Tabela 4).

Tabela 4 – Efeito da suplementação oral de Triptofano (Trp) sobre o comportamento agressivo dos leitões no primeiro dia após o desmame.<sup>1,4</sup>

Item		Tratamentos			P valor
		Controle	Trp	EPM <sup>3</sup>	
Primeiras 9 h	(10 às 19 h)				
Lutando <sup>2</sup>	Ocorrências	9,32	8,07	3,40	0,73
	Duração total (s)	287,18	307,24	96,68	0,88
	Duração média (s)	67,47	74,80	19,08	0,78
Agressão <sup>3</sup>	Ocorrências	368,03	434,02	93,30	0,45
Período noturno	(19 às 4 h)				
Lutando <sup>2</sup>	Frequência	1,48	0,55	0,66	0,26
	Duração total (s)	49,58	12,11	28,31	0,31
	Duração média (s)	2,13	12,94	6,17	0,24
Agressão <sup>3</sup>	Ocorrências	110,39	85,28	37,90	0,61
Últimas 6 h	(4 às 10 h)				
Lutando <sup>2</sup>	Ocorrências	2,47	0,81	1,25	0,15
	Duração total (s)	95,31	37,05	47,59	0,34
	Duração média (s)	32,79	29,28	19,71	0,89
Agressão <sup>3</sup>	Ocorrências	165,65	148,05	53,79	0,80
(Período total)					
Lutando <sup>2</sup>	Ocorrências	13,17	9,36	5,05	0,42
	Duração total (s)	434,40	359,50	131,37	0,68
	Duração média (s)	76,29	74,23	19,82	0,94
Agressão <sup>3</sup>	Ocorrências	631,62	661,14	151,51	0,80

<sup>1</sup> n= 34.

<sup>2</sup> Ocorrências, duração total e duração média das lutas observadas foi uma combinação de pressão paralela, pressão paralela inversa, e mordida mútua que ocorreram em cada período avaliado. Os dados foram transformados em logaritmos antes de serem analisados (Log 10).

<sup>3</sup> Ocorrências de agressões observadas foi uma combinação do número de mordidas observadas, batidas, e movimentos de alavanca, que ocorreram em cada período avaliado. Os dados foram transformados em logaritmos antes de serem analisados (Log 10).

<sup>4</sup> O comportamento agressivo foi mensurado continuamente a partir das 10 até as 19hs; das 19 até as 4hs foi observado a cada hora (1 hora sim, uma hora não); e das 4 até as 22h foi observado continuamente. O período total inclui todos os dados mensurados.

### 3.5. Discussão

Dentre os 20 AA que constituem as proteínas, o Trp é encontrado em menor quantidade no organismo bem como no plasma (17). A produção de 5-HT é uma das principais funções fisiológicas desempenhadas pelo Trp, embora, de acordo com Wolf (18), menos de 1% do Trp ingerido seja utilizado para sua produção. O metabolismo do Trp pela via da quinurenina parece ser mais importante do que pela via da 5-HT (19), entretanto, pelo fato da 5-HT estar relacionada com a regulação do apetite (20), sono, ritmo, impulsividade, agressividade comportamento sexual e percepção de dor (21), os estudos tem dirigido suas atenções principalmente aos possíveis efeitos do Trp na produção de 5-HT, e, portanto, seus efeitos no desempenho e comportamento dos suínos.

A concentração de 5-HT hipotalâmica foi maior para os animais suplementados com Trp, corroborando os estudos de (9; 10; 11; 22; 23), os quais sugerem que a disponibilidade de Trp é o primeiro fator limitante para a biossíntese de 5-HT.

Koopmans et al. (10) observaram aumento na quantidade de 5-HT hipotalâmica de leitões suplementados com Trp (5g/kg de dieta), demonstrando que o turnover foi 38% maior do que na dieta controle. O turnover ou a atividade do sistema nervoso serotoninérgico é geralmente expresso como a relação entre o metabólito 5-HIAA e a 5-HT (24).

Ao suplementar níveis de Trp durante quatro dias consecutivos, para leitões submetidos ao estresse, Shen et al. (11) não verificaram efeitos sobre o comportamento agressivo, corroborando com os resultados obtidos neste trabalho, em que os animais suplementados durante sete dias consecutivos, com quantidade de Trp quatro vezes acima das exigências diárias, não apresentaram alterações no comportamento agressivo no primeiro dia após o desmame.

Isto demonstra que, embora tenha aumentado a quantidade de 5-HT hipotalâmica, o sistema nervoso serotoninérgico não foi eficiente em metabolizá-la, uma vez que, de acordo com Siegel e Douard (25), a 5-HT é deaminada para 5-hidroxi-indol-acetaldeído pela monoamina oxidase e então oxidada para formar o 5-HIAA pela enzima aldeído desidrogenase e posteriormente secretado na urina.

Nos estudos conduzidos por Shen et al. (9; 11) e Koopmans et al. (10) o hipotálamo foi coletado após a mistura dos animais, ou seja, após serem submetidos ao estresse social. Diferentemente, para se certificar de que realmente houve a produção de 5-HT hipotalâmica antes do estresse, neste trabalho, coletou-se o hipotálamo após a última suplementação de Trp, e, portanto, momentos antes dos animais serem alojados aos pares em suas respectivas baias. Pesquisas podem ser realizadas para mensurar a concentração de 5-HT e de 5-HIAA antes e depois do estresse, podendo mostrar, mais claramente, a capacidade de turnover no sistema nervoso serotoninérgico dos animais e a capacidade de utilização da 5-HT para lidar com o estresse no período pós-desmame.

Deve-se considerar que o Trp foi suplementado na fase de maternidade, e na fase de creche foi avaliado seu efeito residual, onde os leitões receberam a mesma dieta com níveis normais (valores de exigência) de Trp. A maioria dos trabalhos (9; 10; 11; 32) não avaliaram o efeito residual do Trp para os leitões, sendo as variáveis de desempenho mensuradas concomitantemente ao fornecimento das dietas contendo Trp.

Com base nisso, estudos podem ser conduzidos buscando suplementar os leitões com Trp na fase de maternidade (de três a quatro dias antes do desmame) e na fase de creche (de três a quatro dias após o desmame).

A suplementação de Trp vem sendo realizada com o objetivo de aumentar a capacidade dos animais em lidar e se adaptar ao estresse e, conseqüentemente, melhorar o desempenho dos leitões.

Os efeitos do Trp dietético e da 5-HT sobre o estresse e depressão são contraditórios, principalmente em humanos, em que os efeitos benéficos têm sido observados somente em pacientes com histórico pessoal ou familiar de depressão (8). No entanto, isso parece estar relacionado com fatores genéticos e com a personalidade de cada indivíduo. A redução na síntese de 5-HT promoveu algumas formas de agressão (26; 27), porém, nenhum estudo em primatas e roedores mostrou correlação negativa entre 5-HIAA no líquido encefaloraquidiano e o comportamento agressivo (28; 29), ou seja, a redução do 5-HIAA (por causa do menor metabolismo da 5-HT) não aumentou o comportamento agressivo.

Em função de cada animal reagir de forma diferente às condições de estresse (de atacar, defender-se ou fugir) e possuírem comportamentos diferentes para as mesmas situações, ocorrem variações nos dados de comportamento agressivo, para ambos os tratamentos, que pode ser observado pelos elevados erros padrões das médias.

De acordo com (30; 31; 32) o Trp aumenta o consumo voluntário de alimento. Não se verificou efeito do Trp sobre o consumo diário de ração ( $P > 0,05$ ) em nenhum dos períodos avaliados, no entanto, considerando a influência da 5-HT na regulação do apetite (20), esperava-se efeito do Trp na primeira semana após o desmame. Entretanto, neste período, observou-se efeito dos tratamentos ( $P = 0,09$ ) sobre a CA, que foi 20,97% melhor para o tratamento contendo Trp.

É importante destacar que os animais que receberam Trp na maternidade, frequentaram mais o comedouro ( $P = 0,057$ ) no primeiro dia após o desmame, o que é consistente com os dados do consumo de ração, e pode ter contribuído para que os animais perdessem menos peso durante este período e para a melhora na conversão alimentar na primeira semana de creche (21 a 28 dias). Diferentemente, Shen et al. (11) e Koopmans et al. (33) não observaram efeito do Trp na frequência de visitas dos animais ao comedouro.

Sabe-se que o bom desenvolvimento inicial do leitão é fundamental para o ótimo desempenho nas fases posteriores, influenciando o peso dos animais na saída da creche bem como a idade ao abate. Assim, a suplementação de Trp nas dietas para leitões na maternidade pode ser uma alternativa para aumentar o consumo de ração e melhorar a conversão alimentar na primeira semana de creche.

Os comportamentos de dormir, beber, em pé e sentado não foram influenciados pela suplementação de Trp ( $P>0,05$ ). Da mesma forma, Koopmans et al. (10) não observaram efeito do Trp sobre o comportamento de leitões após 3, 4, 5 e 6 dias de suplementação. Entretanto, no décimo dia de suplementação os leitões que receberam Trp permaneceram mais tempo deitados do que os leitões do tratamento controle. Com base nesses resultados pode-se inferir que é necessário suplementar os animais por períodos mais prolongados.

Na quarta semana de creche (dos 42 aos 49 dias de idade) foi observado aumento no GPD ( $P=0,04$ ) e melhora na CA ( $P=0,038$ ), que correspondem a 10,21 e 6,5% superiores, respectivamente, para os animais que receberam a suplementação oral de Trp na maternidade. Por outro lado, no período de 28 a 35 dias (segunda semana) os animais do tratamento controle apresentaram a melhor CA, sendo 9,52% superior.

No período total, embora não houve efeito dos tratamentos sobre o peso vivo final, é importante destacar que a diferença numérica corresponde a 1,94 kg, sendo 4,64% superior para os animais que receberam a suplementação de Trp na maternidade. Do ponto de vista prático, esses dados podem ser interessantes, uma vez que leitões mais pesados na saída de creche podem chegar mais cedo ao peso de abate.

A suplementação de Trp tem efeitos positivos sobre o sistema serotoninérgico dos leitões, aumentando a produção de 5-HT, e parece repercutir efeitos no desempenho subsequente, bem como no comportamento, principalmente na procura por alimento, causando pequenos efeitos no GPD. Embora as concentrações de 5-HT e 5-HIAA no hipotálamo foram superiores para o tratamento com Trp, o seu efeito no comportamento agressivo parece não ser expressivo, confirmando os estudos realizados com humanos, macacos e roedores, em que relatam a inconsistência das relações entre 5-HT e/ou 5-HIAA com a redução do estresse.

### 3.6. Conclusão

A suplementação de Trp, dos 14 aos 21 dias de idade, aumenta a concentração de serotonina e ácido 5-hidroxi-indol-acético no hipotálamo dos leitões sem influenciar o comportamento agressivo no primeiro dia após o desmame. O Trp aumenta a frequência de visita dos leitões aos comedouros no primeiro dia após o desmame e melhora a conversão alimentar dos leitões na primeira semana após o desmame.

### 3.7. Literatura citada

1. Guerra NG, Huesmann LR, Spindler A. Community violence exposure, social cognition, and aggression among urban elementary school children. *Child Dev* [Internet]. 2003;74:1561–76. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14552414>
2. Ruis MA., te Brake JH., van de Burgwal JA, de Jong IC, Blokhuis HJ, Koolhaas JM. Personalities in female domesticated pigs: behavioural and physiological indications. *Applied Animal Behaviour Science*. 2000. p. 31–47.
3. Ekkel ED, Savenije B, Schouten WGP, Wiegant VM, Tielen MJM. The effects of mixing on behavior and circadian parameters of salivary cortisol in pigs. *Physiol Behav*. 1997;62:181–4.
4. Russo S, Kema IP, Fokkema RM, Boon JC, Willemse PHB, de Vries EGE, Den Boer J a., Korf J. Tryptophan as a Link between Psychopathology and Somatic States. *Psychosom Med*. 2003, 65:665–71.
5. Gibbons JL, Barr GA, Bridger WH, Leibowitz SF. Manipulations of dietary tryptophan: Effects on mouse killing and brain serotonin in the rat. *Brain Res*. 1979;169:139–53.
6. Shea MM, Mench JA, Thomas OP. The effect of dietary tryptophan on aggressive behavior in developing and mature broiler breeder males. *Poult Sci*. 1990;69:1664–9.
7. Winberg S, Øverli Ø, Lepage O. Suppression of aggression in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) by dietary L-tryptophan. *J Exp Biol* [Internet]. 2001;204:3867–76. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11807104>
8. Soh NL, Walter G. Tryptophan and depression: can diet alone be the answer? *Acta Neuropsychiatr*. 2011;23:3–11.
9. Shen Y Bin, Voilque G, Odle J, Kim SW. Dietary L -Tryptophan Supplementation with Reduced Large Neutral Amino Acids Enhances Feed Efficiency and Decreases Stress Hormone Secretion in Nursery Pigs under Social-Mixing Stress. *J Nutr*. 2012;142:1540–6.

10. Koopmans SJ, Guzik AC, Meulen J Van Der, Dekker R, Kogut J, Kerr BJ, Southern LL. Effects of supplemental L -tryptophan on serotonin , cortisol , intestinal integrity , and behavior in weanling piglets. *J Anim Sci.* 2006;84:963–71.
11. Shen Y Bin, Voilque G, Kim JD, Odle J, Kim SW. Effects of increasing tryptophan intake on growth and physiological changes in nursery pigs. *J Anim Sci.* 2012;90:2264–75.
12. National Research Council; Subcommittee on Swine Nutrition. Nutrient requirements of swine. Nutrient requirements of domestic animals. 1998.
13. NRC. Washington, DC: The National Academies Press. 2012. p. 400.
14. Li YZ, Kerr BJ, Kidd MT, Gonyou HW. Use of supplementary tryptophan to modify the behavior of pigs. *J Anim Sci.* 2006;84:212–20.
15. D&apos;Eath RB. Individual aggressiveness measured in a resident-intruder test predicts the persistence of aggressive behaviour and weight gain of young pigs after mixing. *Appl Anim Behav Sci.* 2002;77:267–83.
16. Cooke HJ, Pfankuche L, Cooke a R. Tryptophan transport by isolated newborn rabbit jejunum. *Am J Physiol* [Internet]. 1980;239:G306–G310. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7425133>
17. Le Floc'h N, Otten W, Merlot E. Tryptophan metabolism, from nutrition to potential therapeutic applications. *Amino Acids* [Internet]. 2011 [cited 2014 May 6];41:1195–205. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20872026>
18. Wolf H. Studies on Tryptophan Metabolism in Man: The Effect of Hormones and Vitamin B6 on Urinary Excretion of Metabolites of the Kynurenine Pathway: Part 1. Informa UK Ltd UK; 2009 [cited 2014 Jun 7]; Available from: <http://informahealthcare.com/doi/abs/10.3109/00365517409104201?journalCode=clb>
19. Le Floc'h N, Seve B. Biological roles of tryptophan and its metabolism: Potential implications for pig feeding. *Livest Sci* [Internet]. 2007 [cited 2014 May 14];112:23–32. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1871141307004167>
20. Jansman a JM, Le Floc'h N, Melchior N, Melchior D. Tryptophan : a key nutrient in pig diets. *Feed Mix.* 2007;15:1–4.
21. Guzik AC. Tryptophan requirements and the effects of supplemental tryptophan on growth performance, plasma, metabolites, and meat quality in nursery, growing, and finishing pigs. DOCTOR DISSERTATION. Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College; 2002. p. 106.

22. Fernstrom JD, Wurtman RJ. Brain serotonin content: physiological dependence on plasma tryptophan levels. *Science*. 1971;173:149–52.
23. Meunier-Salaün MC, Monnier M, Colléaux Y, Sève B, Henry Y. Impact of dietary tryptophan and behavioral type on behavior, plasma cortisol, and brain metabolites of young pigs. *J Anim Sci*. 1991;69:3689–98.
24. Van Hierden YM, Korte SM, Ruesink EW, Van Reenen CG, Engel B, Korte-Bouws GAH, Koolhaas JM, Blokhuis HJ. Adrenocortical reactivity and central serotonin and dopamine turnover in young chicks from a high and low feather-pecking line of laying hens. *Physiol Behav*. 2002;75:653–9.
25. Siegel A, Douard J. Who's flying the plane: serotonin levels, aggression and free will. *Int J Law Psychiatry*. Elsevier Ltd; 2011;34:20–9.
26. Valzelli L. Psychopharmacology of aggression: an overview. *Int Pharmacopsychiatry*. 1981;16:39–48.
27. Vergnes M, Depaulis A, Boehrer A. Parachlorophenylalanine-induced serotonin depletion increases offensive but not defensive aggression in male rats. *Physiol Behav*. 1986;36:653–8.
28. Yodyingyuad U, de la Riva C, Abbott DH, Herbert J, Keverne EB. Relationship between dominance hierarchy, cerebrospinal fluid levels of amine transmitter metabolites (5-hydroxyindole acetic acid and homovanillic acid) and plasma cortisol in monkeys. *Neuroscience*. 1985;16:851–8.
29. Van Der Vegt BJ, Lieuwes N, Cremers TIFH, De Boer SF, Koolhaas JM. Cerebrospinal fluid monoamine and metabolite concentrations and aggression in rats. *Hormones and Behavior*. 2003. p. 199–208.
30. Henry Y, Sève B, Colléaux Y, Ganier P, Saligaut C, Jégo P. Interactive effects of dietary levels of tryptophan and protein on voluntary feed intake and growth performance in pigs, in relation to plasma free amino acids and hypothalamic serotonin. *J Anim Sci*. 1992;70:1873–87.
31. Henry Y, Sève B, Mounier A, Ganier P, Se B. Growth performance and brain neurotransmitters in pigs as affected by tryptophan , protein , and sex . *J Anim Sci*. 1996;74:2700–10.
32. Zhang H, Yin J, Li D, Zhou X, Li X. Tryptophan enhances ghrelin expression and secretion associated with increased food intake and weight gain in weanling pigs. *Domest Anim Endocrinol*. 2007;33:47–61.
33. Koopmans SJ, van der Staay FJ, Le Floc'h N, Dekker R, van Diepen JTM, Jansman a JM. Effects of surplus dietary L-tryptophan on stress, immunology, behavior, and nitrogen retention in endotoxemic pigs. *J Anim Sci*. 2012;90:241–51.

#### **IV – A avaliação simultânea dos níveis de triptofano e lisina digestíveis para suínos machos castrados na fase inicial mostra aumento das exigências e redução na relação ideal**

**RESUMO:** Objetivou-se determinar os níveis ótimos, a exigência em g/dia, bem como a relação ideal entre triptofano (Trp) e lisina (Lys) digestível para suínos machos castrados, dos 15 aos 30 kg de peso vivo. Primeiramente foi realizado um experimento para determinar a digestibilidade ileal estandardizada dos aminoácidos da ração basal (RB) com os menores níveis de Trp e Lys. Para a coleta da digesta ileal, foram utilizados 10 suínos com peso médio inicial de  $21,5 \pm 1,57$  kg. Para determinar a perda endógena basal de aminoácidos, formulou-se uma dieta isenta de proteína (DIP). A RB apresentou maiores níveis de Trp (0,155%) e Lys (0,972%) digestíveis estandardizados em relação aos valores calculados na formulação da ração, que foram de 0,150 e 0,900%, respectivamente. Os níveis de Trp e Lys digestíveis estandardizados obtidos foram considerados na formulação das rações do experimento II. No experimento II, 64 suínos, machos castrados ( $15 \pm 1,63$  kg), foram distribuídos em delineamento de blocos casualizados, com 16 tratamentos e quatro repetições, em esquema fatorial 4x4 (quatro níveis de Trp digestível: 0,155, 0,185, 0,215, 0,245% e quatro níveis de Lys digestível: 0,972, 1,112, 1,252 e 1,392%). Foram avaliadas as variáveis de desempenho, profundidade do músculo *Longissimus dorsi* (PLD), espessura de toucinho (ET), parâmetros sanguíneos e a temperatura corporal. O peso vivo final (PVF), o consumo diário de ração (CDR) e o ganho de peso diário (GPD) aumentaram linearmente ( $P < 0,05$ ) com o aumento dos níveis de Trp digestíveis. Houve efeito quadrático dos níveis de Trp e Lys digestível sobre conversão alimentar (CA), em que foram estimados os níveis ótimos em 0,210 e 1,198%, respectivamente, resultando na relação Trp:Lys digestíveis de 17,5:100. Foram observados efeitos quadráticos dos níveis de Trp ( $P = 0,021$ ) e Lys (0,026) sobre a PLD, em que os níveis ótimos foram estimados em 0,208 e 1,136%, respectivamente. Observou-se efeito quadrático ( $P = 0,04$ ) dos níveis de Lys sobre a concentração de creatinina plasmática. O nitrogênio da uréia plasmática (NUP) reduziu linearmente ( $P = 0,004$ ) em função dos níveis de Lys digestíveis. A exigência de Trp e Lys digestível, para suínos machos castrados, é de 2,56 e 14,6 g/dia, que respectivamente, correspondem aos níveis de 0,210 e 1,198% de Trp e Lys digestíveis, proporcionando a relação Trp:Lys de 17,5:100.

**Palavras chave:** digestibilidade de aminoácidos, exigências nutricionais, suínos.

#### **IV – A simultaneous evaluation of digestible tryptophan and lysine levels for barrows in the initial phase increases the requirements and reduces the ideal ratio**

**ABSTRACT:** It was aimed to determine the optimum levels, the requirement in grams per day as well as the ideal ratio between digestible tryptophan (Trp) and lysine (Lys), for barrows from 15 to 30 kg of body weight. Firstly, an experiment was carried out to determine the standardized ileal digestibility of amino acids in the diet (basal diet) with the lowest levels of Trp and Lys. For ileal digesta collection a total of 10 crossbred barrows, with an average initial weight of  $21.5 \pm 1.57$  kg were used. To determine the basal endogenous losses of amino acids, a free protein diet (FPD) was formulated. The basal diet showed higher levels of standardized digestible Trp (0.155%) and Lys (0.972%), compared to the calculated values in feed formulation, which were 0.150 and 0.900%, respectively. Thus, the standardized digestible Lys and Trp levels obtained were considered in diets formulation in experiment II. In the experiment II, 64 barrows ( $15 \pm 1.63$  kg) were allotted in a randomized block design with 16 treatments and four replications in a factorial scheme 4x4 (four levels of digestible Trp: 0.155, 0.185, 0.215, 0.245 % and four levels of digestible Lys: 0.972, 1.112, 1.252 and 1.392%). Performance parameters, *Longissimus dorsi* depth (LDD), backfat thickness (BT), blood parameters and body temperature of animals were evaluated. The final body weight (FBW), daily feed intake (DFI) and average daily gain (ADG) increased linearly ( $P < 0.05$ ) with increasing levels of digestible Trp. There was a quadratic effect of dietary Trp and Lys levels on feed conversion ratio, which were estimated as the optimal levels, 0.210 and 1.198%, respectively, resulting in a digestible Trp:Lys ratio of 17.5:100. A quadratic effect of Trp ( $P = 0.021$ ) and Lys ( $P = 0.026$ ) levels on LDD was observed, in which the optimum levels were 0.208 and 1.136%, respectively. A quadratic effect ( $P = 0.04$ ) of Lys levels on the serum creatinine concentration was noted. The plasma urea nitrogen (PUN) decreased linearly ( $P = 0.004$ ) according to increasing levels of digestible Lys. We conclude that the Trp and Lys requirements for barrows, from 15 to 30 kg of body weight, are 2.56 and 14.6 g/day, respectively, corresponding to 0.210 and 1.198% of digestible Trp and Lys, providing a Trp:Lys ratio of 17.5:100.

**Key words:** amino acid digestibility, nutritional requirements, pigs.

#### 4.1. Introdução

A grande parte dos experimentos envolvendo exigências nutricionais para suínos almejam determinar somente a exigência de um aminoácido (AA) específico, não levando em consideração as interações metabólicas (antagonismos e sinergismos) que podem ocorrer entre eles. Além disso, poucas pesquisas abordam o estudo simultâneo dos níveis de triptofano (Trp) e lisina (Lys) digestíveis para suínos.

O Trp é o quarto AA limitante em dietas práticas à base de cereais para leitões e suínos em crescimento (Jansman et al., 2007), enquanto a Lys é o primeiro (Boisen, 2003). Por sua constância na proteína corporal e sua destinação metabólica preferencial para a deposição de tecido magro, a Lys é considerada o nutriente mais importante para a deposição de carne magra na carcaça de suínos em crescimento (Kessler, 1998). Por outro lado, o Trp também exerce papel fundamental na síntese de proteínas e de acordo com Jansman et al. (2007), seus efeitos se estendem para a regulação do consumo de alimento, sendo precursor da serotonina (5-HT), a qual desempenha um papel central nesse processo.

O conhecimento das relações dos demais aminoácidos (AAs) com a Lys é importante antes de proceder com a formulação de rações. A relação Trp:Lys obtida por Baker e Chung (1992) para leitões de 10 a 20 kg foi de 18%. Lynch et al. (2000) verificaram maior ganho de peso com a relação Trp:Lys acima de 22%.

Recentemente Naatjes et al. (2014), trabalhando com dieta à base de trigo, e outra à base de milho, para suínos machos castrados e fêmeas, observaram por meio da análise de “Broken Line”, “Curvilinear Plateau” e modelo exponencial, melhor ganho de peso com relações Trp:Lys de 16,8; 19,7 e 19,7%, para a dieta à base de farelo de trigo, e 18,0; 20,9 e 20,9% para dietas à base de milho, respectivamente. Para a conversão alimentar observaram relações de 17,0; 18,5 e 19,7% e 19,9; 20,9 e 20,9% em dietas a base de trigo e milho, respectivamente.

São notórias as diferenças nas relações Trp:Lys digestíveis observadas entre os estudos supracitados, que são consequentes, principalmente, dos modelos matemáticos e parâmetros de resposta utilizados (Naatjes et al., 2014), da composição das dietas e ingredientes (Jansman et al., 2010), bem como dos fatores ambientais (Le Floc’h e Seve, 2007), sexo e potencial genético dos animais. Além disso, em muitos estudos não é

determinada a digestibilidade ileal dos AA contidos nos ingredientes que compõem as rações ou então da ração com o menor nível de Trp e/ou Lys digestível. A determinação dos AAs digestíveis dos ingredientes, ou das rações experimentais, é fundamental para a obtenção dos níveis reais dos AAs em estudo, assim como dos demais AAs essenciais, uma vez que a falta de um único AA essencial pode limitar o desempenho dos suínos.

Sendo assim, objetivou-se determinar os níveis ótimos, a exigência em g/dia, bem como a relação Trp:Lys digestíveis ideal para suínos machos castrados, dos 15 aos 30 kg de peso vivo.

#### **4.2. Material e métodos**

Foram realizados dois experimentos no setor de suinocultura da Fazenda Experimental de Iguatemi (FEI), da Universidade Estadual de Maringá (UEM), e no Laboratório de Nutrição Animal (LANA/UEM) do Departamento de Zootecnia. Os experimentos foram aprovados pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) da UEM (Protocolo N° 050/2011).

##### Experimento I: Digestibilidade ileal estandarizada dos aminoácidos da ração basal

O experimento foi conduzido para determinar o conteúdo de Lys e Trp digestíveis da ração experimental com os menores níveis destes AAs, assim como verificar se os demais AA essenciais não estavam limitantes.

Foram utilizados 10 suínos, machos castrados e mestiços (Landrace x Large White e Pietrain), com peso médio inicial de  $21,5 \pm 1,57$  kg. Os animais foram alojados individualmente em gaiolas de metabolismo, semelhantes às descritas por Pekas (1968), e distribuídos em delineamento inteiramente casualizado. Os tratamentos foram constituídos por uma ração basal (RB), com níveis de Trp e Lys digestíveis de 0,150 e 0,900%, respectivamente, e uma dieta isenta de proteína (DIP), para determinar a excreção endógena de AAs (Tabela 1).

Tabela 1. Composição centesimal da ração basal (Basal) e da dieta isenta de proteína (DIP).

Ingredientes	Basal	DIP
Milho	74,24	-
Farelo de soja	13,68	-
Farelo de glúten (60%)	6,00	-
Fosfato bicálcico	1,59	2,06
Calcário	0,82	0,70
Sal comum	0,14	0,50
Óleo vegetal	0,12	-
L – Lisina HCL (78,4%)	0,49	-
L – Treonina (98,0%)	0,19	-
DL – Metionina (99,0%)	0,12	-
L - Triptofano	0,02	-
L - Valina	0,12	-
L - Isoleucina	0,05	-
Premix vitamínico/mineral <sup>1</sup>	0,50	0,50
Promotor de crescimento <sup>2</sup>	0,005	0,00
Antioxidante	0,01	0,01
Bicarbonato de sódio	0,46	-
Ácido glutâmico	0,77	-
Inerte <sup>3</sup>	0,15	-
Óxido crômico	0,50	0,50
Amido	-	72,70
Casca de arroz	-	3,00
Açúcar	-	20,00
<b>Total</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>
<b>Composição Calculada</b>		
EM (kcal/kg)	3230	3341
Proteína Bruta (%)	16,52	0,00
Cálcio (%)	0,77	0,77
Fósforo Disponível (%)	0,38	0,38
Sódio (%)	0,20	0,20
Cloro (%)	0,23	0,19
Potássio (%)	0,47	-
FDN (%)	10,14	2,05
FDA (%)	3,86	1,61
Lisina Digestível (%)	0,900	-
Treonina Digestível (%)	0,689	-
Metionina Digestível (%)	0,375	-
Met+Cis Digestível (%)	0,613	-
Triptofano Digestível (%)	0,150	-
Valina digestível (%)	0,755	-
Isoleucina Digestível (%)	0,601	-
Leucina Digestível (%)	1,613	-
Arginina Digestível (%)	0,776	-

<sup>1</sup> Suplemento vitamínico mineral (níveis nutricionais/kg de produto): Vit. A - 2.000.000 UI; Vit. D<sub>3</sub> - 400.000 UI; Vit. k3 - 624.000 UI; Vit. B1 - 313.600 UI; Vit. B2 - 800.000 UI; Vit. B6 - 435.600 UI; Vit. B12 - 4.600.000 UI; Vit. E - 8.000.000 UI; Pantotenato de Cálcio - 3.040.000 UI; Niacina - 6.076.000; Ácido fólico - 60.000 UI; Biotina - 35.000 UI; Colina - 72.000.000 UI; Zinco - 25.500; Ferro - 16.200; Cobre - 2.400.000; Manganês - 8.060.000; Iodo: 223,20; Selênio - 63.000; Cobalto - 40.000; Antioxidante (BHT) - 1.000.000. <sup>2</sup> Leucomag. <sup>3</sup> Areia.

A ração basal foi formulada à base de milho, farelo de soja, óleo, AA, vitaminas, minerais e aditivos, para atender às exigências nutricionais propostas por Rostagno et al. (2011), para suínos na fase de 15 a 30 kg de peso vivo, exceto os níveis de proteína bruta, triptofano e lisina.

Determinou-se a composição química e energética, dos ingredientes utilizados nas rações (RB e DIP), por meio de análises químicas no Laboratório de Nutrição Animal (LANA), da Universidade Estadual de Maringá. Para alguns ingredientes foram utilizados valores propostos na literatura (Rostagno et al., 2011; Lazzeri, 2011).

Na DIP, utilizou-se a casca de arroz como fonte de fibra. Foram utilizados 0,50% de óxido crômico ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) nas rações experimentais, para a determinação do fator de indigestibilidade.

Os animais foram alimentados duas vezes ao dia, às 8h e às 15h, e receberam água a vontade. As rações foram umedecidas e fornecidas em quantidades calculadas com base no tamanho metabólico ( $K^{0,75}$ ).

Adotou-se um período de adaptação de cinco dias dos animais às gaiolas e às rações experimentais. As coletas foram realizadas conforme metodologia descrita por Lazzeri (2011), adaptada de Apolônio et al. (2002), a qual consiste na coleta da digesta no íleo terminal.

Três horas após o fornecimento das rações experimentais, procederam-se com a cirurgia e as coletas das digestas. No dia da coleta foi alimentado um animal de cada tratamento, às 7h da manhã. Posteriormente, a cada 15 minutos, outros dois animais foram alimentados de forma que após o tempo de jejum (três horas), a partir das 10h, em intervalos de 15 minutos, realizava-se a cirurgia em outros dois animais.

Após a contenção dos animais aplicou-se, por via intramuscular (com base no peso corporal de cada animal), tranquilizante (ANASEDAN) à base de cloridrato de xilazina (sedativo, analgésico e relaxante muscular) associado ao sulfato de atropina (anti-espasmódico nas contrações intestinais). Após cinco minutos foi aplicado o anestésico geral à base de cetamina, via intramuscular. Posteriormente, com a tricotomia e a assepsia da área cirúrgica na cavidade abdominal já realizada, procedeu-se com a laparotomia, por meio de uma incisão ventral no sentido céfalo caudal, de aproximadamente 10 cm.

O segmento do íleo distal foi exteriorizado e a passagem da digesta, entre a válvula ileocecal e o fim da prega ileocecal, foi obstruída com auxílio de pinças hemostáticas. Um segmento de aproximadamente 20 cm do íleo foi retirado, lavado com água destilada e secado com papel toalha, para oclusão da digesta. Logo após as coletas da digesta, os animais foram eutanasiados com cloreto de potássio. As amostras de digesta foram acondicionadas em recipientes devidamente identificadas e mantidos em freezer a -10 °C, para posterior homogeneização e liofilização.

Foram determinados os teores de matéria seca (Silva e Queiroz, 2005) e cromo (Kimura e Miller, 1957) nas digestas, na ração basal e DIP. A composição em AA das rações (Tabela 2), das digestas e da casca de arroz foram realizadas na Evonik Industries (AMINOLAB®) por meio de cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC).

Determinou-se a digestibilidade ileal aparente e estandardizada dos AA da ração basal, que foram calculadas com base nos níveis de cromo (Cr), nas rações e digestas, por meio do cálculo do fator de indigestibilidade (FI), de acordo com as fórmulas descritas por Rostagno & Featherston (1977).

$$1 - \text{Fator de indigestibilidade (FI}_1) = \text{FI}_1 = \frac{\text{Cr}_2\text{O}_3 \text{ dieta}}{\text{Cr}_2\text{O}_3 \text{ digesta}}$$

2 - Coeficiente de digestibilidade aparente de AAs (CD<sub>ap</sub>AA)

$$\text{CD}_{\text{apAA}} = \frac{(\text{mg AA/g dieta} - \text{mg AA/g E}_1 \times \text{FI}_1)}{\text{mg AA/g dieta}} \times 100$$

em que:

E<sub>1</sub> = Fezes dos animais que receberam a dieta basal

3 - Coeficiente de digestibilidade ileal estandardizada de AAs (CD<sub>v</sub>AA)

$$\text{CD}_{\text{vAA}} = \frac{\text{mg AA/g dieta} - (\text{mg AA/g E}_1 \times \text{FI}_1 - \text{mg AA/g E}_2 \times \text{FI}_2)}{\text{mg AA/g dieta}} \times 100$$

em que:

E<sub>2</sub> = Fezes dos animais que receberam a dieta isenta de proteína.

FI<sub>2</sub> = Fator de indigestibilidade da dieta isenta de proteína.

Tabela 2 – Composição em aminoácidos (%) da ração basal (RB) e da dieta isenta de proteína (DIP).

Aminoácidos essenciais <sup>1</sup>	RB	DIP
Arginina	0,89	-
Histidina	0,43	-
Isoleucina	0,71	-
Leucina	1,82	-
Lisina	1,03	-
Metionina	0,41	-
Metionina + Cistina	0,69	-
Fenilalanina	0,85	-
Treonina	0,76	-
Triptofano	0,17	-
Valina	0,90	-
Não-essenciais <sup>1</sup>		
Alanina	1,04	-
Ácido Aspártico	1,38	-
Ácido Glutâmico	3,74	-
Cistina	0,29	-
Glicina	0,62	-
Prolina	1,25	-
Serina	0,79	-

<sup>1</sup>Análises realizadas na Evonik Industries (AMINOLAB®).

### Experimento II: Níveis de triptofano e lisina digestíveis para suínos machos castrados dos 15 aos 30 kg de peso vivo

Foram utilizados 64 suínos, machos castrados e mestiços (Landrace x Large White e Pietrain), com peso vivo inicial de 15,00±1,63 kg, distribuídos com base no peso inicial, em delineamento experimental de blocos casualizados em esquema fatorial (4x4), com 16 tratamentos, quatro repetições e um animal por unidade experimental.

Os tratamentos consistiram de quatro níveis de Trp (0,155; 0,185; 0,215; 0,245%) e quatro níveis de Lys (0,972; 1,112; 1,252; 1,392%) digestíveis, sendo que os menores níveis de Trp (0,155%) e Lys (0,972%) digestíveis estandardizados foram determinados no experimento I.

Os animais foram alojados em creche de alvenaria, dotadas de baias do tipo suspensas (1,32 m<sup>2</sup>), com piso parcialmente vazado, equipadas com comedouro localizado na parte frontal e um bebedouro tipo chupeta na parte posterior. A temperatura média mensurada dentro das instalações, durante todo o período experimental, foi de 26,49 °C.

A proteína bruta da ração basal (16,52%) foi reduzida em relação ao valor proposto por Rostagno et al. (2011), que é de 19,24%. Para atender os níveis de Trp e Lys digestíveis, o Trp e a Lys foram adicionados na ração basal em substituição ao inerte. O ácido glutâmico foi utilizado para manter as rações isonitrogenadas (Tabela 3). O balanço eletrolítico da dieta (BED) foi calculado com base nos níveis de Na, K e Cl dos alimentos e dos AAs contidos nas rações, conforme proposto por Mongin (1981).

Os animais foram pesados no início e no final do experimento e as rações foram pesadas sempre que fornecidas aos animais, para a determinação do consumo diário de ração (CDR), ganho de peso diário (GPD) e conversão alimentar (CA).

No final do período experimental, procedeu-se com a ultrassonografia em todos os animais, realizada com o auxílio da eco câmera Aloka® SSD 500. Determinou-se, inicialmente a região P2, localizada na última costela torácica, a seis cm da linha média, em que se realizou a limpeza do local e a captura das imagens. Posteriormente, foram realizadas as medidas de espessura de toucinho (ET) e profundidade do músculo *Longissimus dorsi* (PLD) com o auxílio do *Software ImageJ*.

Em seguida, após jejum de 6 horas, foram colhidas amostras de sangue via veia jugular (6 mL) e transferidas em tubos contendo heparina (Cai et al., 1994) para análise de colesterol total, triglicerídeos, HDL, LDL, VLDL, nitrogênio da ureia plasmática (NUP), creatinina e proteínas totais. A dosagem da ureia plasmática foi multiplicada por 0,467, o que representa a fração de nitrogênio na molécula de ureia (Newman e Price, 1999). Para determinação da glicose foram coletados três mL de sangue, que foi colocado em tubos contendo Fluoreto de Sódio e Oxalato de Potássio.

Após as colheitas, as amostras foram centrifugadas a 3.000 RPM por 15 minutos e as amostras para determinação da glicose, foram centrifugadas por 30 minutos para a obtenção do plasma. Em seguida, três mL de plasma (em duplicata) foram transferidos para microtubos de polipropileno.

Para a determinação do hematócrito foi coletado um mL de sangue em tubos contendo EDTA. Após a colheita, os tubos foram imediatamente submetidos ao homogeneizador automático, durante cinco minutos. Posteriormente, o sangue foi transferido para microtubos capilares e centrifugados a 12.000 RPM, durante cinco

minutos. A percentagem de hematócrito foi mensurado com auxílio de uma escala específica.

Para as análises bioquímicas, foram utilizados kits reagentes comerciais (KATAL® e Gold Analisa Diagnostica®), sendo as quantidades de cada componente sanguíneo determinadas pela leitura em Espectrofotômetro BIOPLUS® 2000.

#### *Mensuração da temperatura corporal dos animais*

As temperaturas do dorso, da cabeça e a timpânica foram mensuradas com o auxílio de um termômetro infravermelho (Cole Parmer®) e a temperatura retal foi mensurada pelo método invasivo, com o auxílio de termômetro digital.

Todas as mensurações foram realizadas com intervalo de sete dias, após o início do experimento, sendo as temperaturas do dorso e da cabeça mensuradas seis vezes ao dia (08, 12, 16, 20, 00 e 4 horas), totalizando 72 observações/tratamento, enquanto as temperaturas retal e timpânica, foram mensuradas três vezes ao dia (10h30, 18h30 e 02h30) totalizando 36 observações/tratamento.

#### *Análise estatística*

Para todas as variáveis utilizou-se o peso vivo inicial como covariável. Adotou-se como procedimento estatístico a metodologia de superfície resposta e adicionalmente utilizaram-se modelos de regressão polinomial, sendo as análises realizadas por meio do Sistema de Análises Estatísticas e Genéticas - SAEG (Universidade Federal de Viçosa, 2009). Os graus de liberdade referentes aos níveis de triptofano e lisina digestível foram desdobrados em polinômios.

Tabela 3. Composição centesimal das rações contendo diferentes níveis de triptofano (Trp) e lisina (Lys) digestíveis para suínos machos castrados, dos 15 aos 30 kg de peso vivo.

Triptofano dig. (%)	0,155				0,185				0,215				0,245			
	0,972	1,112	1,252	1,392	0,972	1,112	1,252	1,392	0,972	1,112	1,252	1,392	0,972	1,112	1,252	1,392
Lisina dig. (%)	74,24	74,24	74,24	74,24	74,24	74,24	74,24	74,24	74,24	74,24	74,24	74,24	74,24	74,24	74,24	74,24
Milho	74,24	74,24	74,24	74,24	74,24	74,24	74,24	74,24	74,24	74,24	74,24	74,24	74,24	74,24	74,24	74,24
Farelo de soja	13,68	13,68	13,68	13,68	13,68	13,68	13,68	13,68	13,68	13,68	13,68	13,68	13,68	13,68	13,68	13,68
Farelo de glúten	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Fosfato bicálcico	1,59	1,59	1,59	1,59	1,59	1,59	1,59	1,59	1,59	1,59	1,59	1,59	1,59	1,59	1,59	1,59
Calcário	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82
Oleo de soja	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
Prem. vit./mineral <sup>1</sup>	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Bicarbonato de sódio	0,464	0,549	0,635	0,718	0,464	0,549	0,634	0,718	0,464	0,549	0,634	0,718	0,464	0,549	0,634	0,718
Inerte <sup>2</sup>	0,650	0,714	0,779	0,755	0,664	0,730	0,795	0,724	0,680	0,745	0,811	0,694	0,692	0,758	0,824	0,669
Sal	0,142	0,084	0,026	0,000	0,142	0,084	0,026	0,000	0,142	0,084	0,026	0,000	0,142	0,083	0,025	0,000
Ácido glutâmico	0,766	0,491	0,216	0,000	0,719	0,444	0,169	0,000	0,673	0,398	0,123	0,000	0,635	0,360	0,085	0,000
L-Lisina HCL (78,4)	0,491	0,673	0,855	1,037	0,491	0,673	0,855	1,037	0,491	0,673	0,855	1,037	0,491	0,673	0,855	1,037
L-Treonina (98)	0,196	0,196	0,196	0,196	0,196	0,196	0,196	0,196	0,196	0,196	0,196	0,196	0,196	0,196	0,196	0,196
DL-Metionina (99)	0,126	0,126	0,126	0,126	0,126	0,126	0,126	0,126	0,126	0,126	0,126	0,126	0,126	0,126	0,126	0,126
L-Triptofano	0,025	0,025	0,025	0,025	0,056	0,056	0,056	0,056	0,087	0,087	0,087	0,087	0,112	0,112	0,112	0,112
L-Valina	0,119	0,119	0,119	0,119	0,119	0,119	0,119	0,119	0,119	0,119	0,119	0,119	0,119	0,119	0,119	0,119
L-Isoleucina	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050
Antioxidante	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010
Promotor de cresc. <sup>3</sup>	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

<sup>1</sup> Premix vitamínico mineral (níveis nutricionais/kg de produto): Vit. A - 2.000.000 UI; Vit. D<sub>3</sub> - 400.000 UI; Vit. k<sub>3</sub> - 624.000 UI; Vit. B<sub>1</sub> - 313.600 UI; Vit. B<sub>2</sub> - 800.000 UI; Vit. B<sub>6</sub> - 435.600 UI; Vit. B<sub>12</sub> - 4.600.000 UI; Vit. E - 8.000.000 UI; Pantotenato de Cálcio - 3.040.000 UI; Niacina - 6.076.000; Ácido fólico - 60.000 UI; Biotina - 35.000 UI; Colina - 72.000.000 UI; Zinco - 25.500; Ferro - 16.200; Cobre - 2.400.000; Manganês - 8.060.000; Iodo: 223,20; Selênio - 63.000; Cobalto - 40.000; Antioxidante - 1.000.000.

<sup>2</sup>Areia. <sup>3</sup>Promotor de crescimento: Leucomag.

...continuação Tabela 3.

Tabela 3. Composição química e energética das rações contendo diferentes níveis de triptofano (Trp) e lisina (Lys) digestíveis para suínos machos castrados, dos 15 aos 30 kg de peso vivo.

Trp digestível (%)	0,155				0,185				0,215				0,245			
	0,972	1,112	1,252	1,392	0,972	1,112	1,252	1,392	0,972	1,112	1,252	1,392	0,972	1,112	1,252	1,392
Lys digestível (%)	0,972	1,112	1,252	1,392	0,972	1,112	1,252	1,392	0,972	1,112	1,252	1,392	0,972	1,112	1,252	1,392
EM (kcal/kg)	3230	3230	3230	3230	3230	3230	3230	3230	3230	3230	3230	3230	3230	3230	3230	3230
Proteína bruta, %	16,52	16,52	16,52	16,52	16,52	16,52	16,52	16,52	16,52	16,52	16,52	16,52	16,52	16,52	16,52	16,52
Cálcio, %	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77
Fósforo disponível, %	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38
Sódio, %	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Potássio, %	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47
FDA, %	3,86	3,86	3,86	3,86	3,86	3,86	3,86	3,86	3,86	3,86	3,86	3,86	3,86	3,86	3,86	3,86
FDN, %	10,15	10,15	10,15	10,15	10,15	10,15	10,15	10,15	10,15	10,15	10,15	10,15	10,15	10,15	10,15	10,15
Fibra bruta, %	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08
Lisina digestível, %	0,972	1,112	1,252	1,392	0,972	1,112	1,252	1,392	0,972	1,112	1,252	1,392	0,972	1,112	1,252	1,392
Treonina digestível, %	0,726	0,726	0,726	0,726	0,726	0,726	0,726	0,726	0,726	0,726	0,726	0,726	0,726	0,726	0,726	0,726
Metionina digestível, %	0,397	0,397	0,397	0,397	0,397	0,397	0,397	0,397	0,397	0,397	0,397	0,397	0,397	0,397	0,397	0,397
Met + Cis digestível, %	0,646	0,646	0,646	0,646	0,646	0,646	0,646	0,646	0,646	0,646	0,646	0,646	0,646	0,646	0,646	0,646
Triptofano digestível, %	0,155	0,155	0,155	0,155	0,185	0,185	0,185	0,185	0,215	0,215	0,215	0,215	0,245	0,245	0,245	0,245
Valina digestível, %	0,851	0,851	0,851	0,851	0,851	0,851	0,851	0,851	0,851	0,851	0,851	0,851	0,851	0,851	0,851	0,851
Isoleucina digestível, %	0,674	0,674	0,674	0,674	0,674	0,674	0,674	0,674	0,674	0,674	0,674	0,674	0,674	0,674	0,674	0,674
Leucina digestível, %	1,747	1,747	1,747	1,747	1,747	1,747	1,747	1,747	1,747	1,747	1,747	1,747	1,747	1,747	1,747	1,747
Arginina digestível, %	0,837	0,837	0,837	0,837	0,837	0,837	0,837	0,837	0,837	0,837	0,837	0,837	0,837	0,837	0,837	0,837
BED (mEq/kg)	142,5	142,5	142,5	142,5	142,5	142,5	142,5	142,5	142,5	142,5	142,5	142,5	142,5	142,5	142,5	142,5

EM: energia metabolizável; FDA: fibra em detergente ácido; FDN: fibra em detergente neutro; BED: balanço eletrolítico da dieta.

### 4.3. Resultados

#### Experimento I: Digestibilidade ileal dos aminoácidos da ração basal

A glicina, ácido glutâmico, ácido aspártico, treonina e prolina apresentaram, numericamente, as maiores perdas endógenas, enquanto as menores perdas foram observadas para a metionina e o triptofano (Tabela 4). A metionina, leucina, treonina e fenilalanina apresentaram os maiores coeficientes de digestibilidade ileal estandardizada, que foram de 96,79; 96; 95,58 e 95,40%, respectivamente. O menor coeficiente de digestibilidade ileal estandardizada (CDIE) foi observado para a prolina (73,94%).

Tabela 4. Valores médios de aminoácidos endógenos ileais (AEI), determinados por meio de uma dieta isenta de proteína (DIP), coeficientes de digestibilidade ileal aparente (CDIA) e estandardizado (CDIE) e valores de aminoácidos digestíveis ileal estandardizados (ADIE) e calculados (ADIECalc) da ração basal.

Aminoácidos	AEI (mg/g DIP Consumida)	CDIA (%)	CDIE (%)	ADIE (%)	ADIEcalc (%)
Metionina	0,038	93,39	96,79	0,397	0,375
Cistina	0,070	77,04	86,02	0,249	0,238
Metionina+cistina	0,108	86,86	92,58	0,646	0,613
Lisina	0,125	89,91	94,38	0,972	0,901
Treonina	0,258	83,11	95,58	0,726	0,689
Triptofano	0,056	79,44	91,27	0,155	0,150
Arginina	0,127	88,75	94,00	0,837	0,776
Isoleucina	0,106	89,46	94,96	0,674	0,601
Leucina	0,200	91,96	96,00	1,747	1,613
Valina	0,163	87,82	94,54	0,851	0,755
Histidina	0,061	87,47	92,74	0,399	-
Fenilalanina	0,112	90,58	95,40	0,811	-
Glicina	0,372	70,12	92,12	0,571	-
Serina	0,208	84,15	93,86	0,741	-
Prolina	0,248	66,66	73,94	0,924	-
Alanina	0,179	88,27	94,63	0,984	-
Acido aspártico	0,276	83,91	91,29	1,260	-
Acido glutâmico	0,303	91,24	94,23	3,524	-

Os valores de AA digestíveis ileais estandardizados da ração basal (ADIE) foram superiores aos AA digestíveis ileais estandardizados calculados (ADIEcalc), não sendo,

portanto, necessária a adição de AA industriais às rações formuladas para a realização do experimento de desempenho.

Experimento II: Níveis de triptofano e lisina digestíveis para suínos machos castrados dos 15 aos 30 kg

*Desempenho, espessura de toucinho e profundidade do músculo Longissimus dorsi*

Não foram observadas interações ( $P>0,05$ ) entre Trp e Lys digestíveis para o peso vivo final (PVF), GPD e CDR (Tabela 5). O PVF, o GPD e o CDR aumentaram linearmente em função dos níveis de Trp digestíveis, e para a Lys foi observado efeito quadrático sobre o CDR (Tabela 5).

Houve efeito quadrático ( $P=0,042$ ) dos níveis de Trp e Lys sobre a CA (Figura 1A), em que foram estimados os níveis ótimos de Trp (0,210%) e Lys (1,198%) digestíveis que proporcionaram a relação Trp:Lys de 17,5:100.

Não foram observadas diferenças ( $P>0,05$ ) na ET (Tabela 5). Os níveis de Trp e Lys digestíveis influenciaram de forma quadrática a PLD, em que os melhores níveis obtidos (Figura 1 B) foram estimados em 0,208% de Trp e 1,136% de Lys digestível, proporcionando a relação Trp:Lys de 18,3:100.

Tabela 5. Desempenho, profundidade do músculo *Longissimus dorsi* (PLD) e espessura de toucinho (ET) de suínos machos castrados, dos 15 aos 30 kg, alimentadas com rações contendo diferentes níveis de triptofano (Trp) e lisina (Lys) digestíveis (dig).

Trp dig. (%)	0,155				0,185				0,215				0,245				
Lys dig. (%)	0,972	1,112	1,252	1,392	0,972	1,112	1,252	1,392	0,972	1,112	1,252	1,392	0,972	1,112	1,252	1,392	EPM
PVI, kg	15,02	15,09	15,11	15,00	14,98	14,97	14,93	15,19	15,03	15,03	15,17	14,94	14,91	14,81	14,93	14,92	0,20
PVF, kg	30,91	29,48	27,45	27,15	30,47	29,90	30,70	31,17	30,90	30,31	30,53	32,30	30,56	29,70	31,59	32,29	0,46
GPD, kg	0,697	0,647	0,553	0,547	0,682	0,647	0,697	0,718	0,702	0,668	0,680	0,755	0,679	0,652	0,722	0,747	0,02
CDR, kg	1,334	1,185	1,092	1,142	1,343	1,213	1,243	1,347	1,397	1,221	1,196	1,389	1,323	1,268	1,339	1,372	0,03
CA, kg/kg	1,92	1,84	2,03	2,15	1,97	1,87	1,81	1,89	2,00	1,82	1,77	1,84	1,95	1,98	1,87	1,84	0,02
ET, mm	4,90	4,94	4,63	3,86	5,37	4,68	5,01	5,14	5,82	4,90	4,39	5,20	5,05	5,08	5,17	5,14	0,11
PLD, mm	24,66	23,97	21,04	24,56	24,50	24,34	22,58	25,25	24,74	24,72	24,28	25,66	23,42	23,25	24,13	25,12	0,29

	Trp					Lys								
	R <sup>2</sup>		P valor			Estimativa		R <sup>2</sup>		P valor			Estimativa	
	Lin	Qua	Lin	Qua	Int.	Trp (%)	Var. Dep.	Lin	Qua	Lin	Qua	Int.	Lys (%)	Var. Dep.
PVF <sup>1</sup>	0,76	0,99	0,003	0,090	0,190			0,01	0,97	0,150	0,900	0,190		
GPD <sup>2</sup>	0,72	0,98	0,006	0,086	0,200			0,01	0,97	0,880	0,140	0,200		
CDR <sup>3</sup>	0,83	0,96	0,014	0,330	0,412			0,05	1,00	0,496	0,004	0,412	1,195	0,930
CA	0,39	1,00	0,100	0,042	0,056	0,210	1,86	0,06	1,00	0,599	0,042	0,056	1,198	1,86
ET	0,69	0,94	0,087	0,290	0,470			0,70	0,99	0,120	0,310	0,470		
PLD	0,34	0,98	0,086	0,021	0,660	0,208		0,20	0,58	0,109	0,026	0,660	1,136	24,08

PVI: peso vivo inicial; PVF: peso vivo final; GPD: ganho de peso diário; CDR: consumo diário de ração; CA: conversão alimentar; Lin: Linear; Qua: quadrática; Int.: interação; Var. dep.: variável dependente. <sup>1</sup>PVF= 26,0299 + 21,5604\*X; <sup>2</sup>GPD= 0,4969 + 0,8903\*X; <sup>3</sup>CDR= 4,99837 + 1,33194\*X - 6,79133\*Y + 2,84059\*Y<sup>2</sup>.

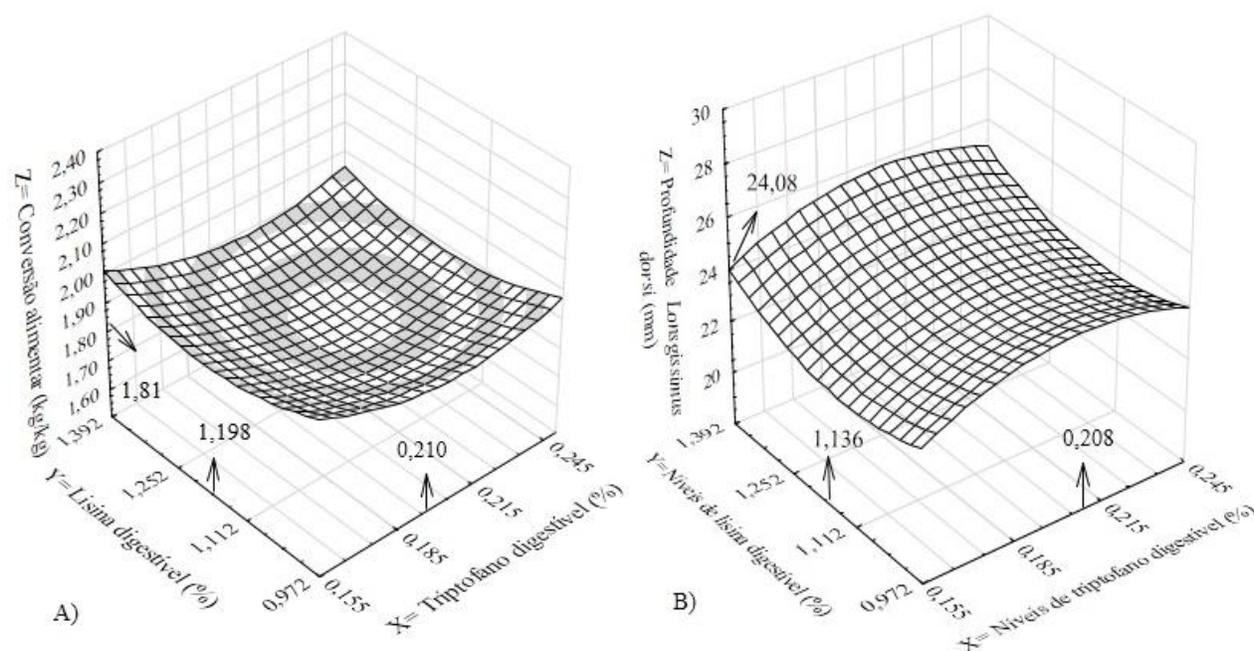


Figura 1 – Conversão alimentar (A) e Profundidade do músculo *Longissimus dorsi* (B) de suínos machos castrados (15 aos 30 kg) alimentados com dietas contendo diferentes níveis de Trp e Lys digestíveis (CA= 6,28091 - 17,1045\*X + 40,6346\*X<sup>2</sup> - 4,45263\*Y + 1,85815\*Y<sup>2</sup>; PLD= 30,5080 + 249,731\*X - 599,603\*X<sup>2</sup> - 57,0182\*Y + 25,1426\* Y<sup>2</sup>).

#### Parâmetros bioquímicos sanguíneos

Considerando os parâmetros bioquímicos sanguíneos (Tabela 6) não foram observadas interações ( $P > 0,05$ ) entre os níveis de Trp e Lys digestíveis estandarizados.

O NUP reduziu linearmente ( $P = 0,004$ ) em função do aumento nos níveis de Lys digestível. Os níveis plasmáticos de glicose ( $P = 0,023$ ) e proteínas totais ( $P = 0,026$ ) aumentaram, enquanto o HDL reduziu linearmente ( $P = 0,0023$ ) em função dos níveis de Trp digestível. Os resultados obtidos para a glicose e proteínas totais se encontram dentro dos valores bioquímicos propostos por Friendship e Henry (1992), para leitões, sendo de, 63 a 133,2 e 4,4 a 7,4 mg/dl, respectivamente, e os de creatinina e NUP se encontram abaixo dos valores de referência (1,206 a 3,096 mg/dl e 12,19 a 37,36 mg/dl).

Os resultados de triglicerídeos, colesterol total, colesterol LDL e VLDL não foram influenciados pelos níveis de Trp e Lys digestíveis ( $P > 0,05$ ).

Tabela 6. Parâmetros bioquímicos sanguíneos (mg/dL) e hematócrito (%) de suínos machos castrados (15 aos 30 kg) alimentados com rações contendo diferentes níveis de triptofano (Trp) e lisina (Lys) digestíveis (dig).

Trp dig. (%)	0,155				0,185				0,215				0,245				EPM (%)
	0,972	1,112	1,252	1,392	0,972	1,112	1,252	1,392	0,972	1,112	1,252	1,392	0,972	1,112	1,252	1,392	
Lys dig. (%)	8,98	7,64	8,81	7,45	8,47	9,54	7,55	5,27	9,47	7,40	6,59	6,64	9,94	8,10	6,53	7,31	0,31
NUP	95,59	93,04	96,89	87,25	97,07	104,69	91,34	93,72	94,01	98,76	96,08	107,97	100,70	102,71	102,34	96,71	1,44
Glicose	5,37	5,22	5,03	5,03	5,32	5,26	5,33	5,50	5,26	5,59	5,35	5,42	5,42	5,45	5,75	5,50	0,06
Proteínas totais	36,63	26,47	31,77	31,81	29,45	39,12	33,11	33,61	36,00	33,13	36,57	40,74	32,65	41,01	38,99	30,86	1,68
Triglicerídeos	75,08	72,30	79,38	75,73	81,62	67,83	64,42	75,01	85,30	69,93	76,08	81,39	73,16	64,81	77,66	62,56	2,69
Col. total	31,97	31,11	35,08	29,12	30,04	27,05	27,74	28,83	31,49	26,62	27,24	31,83	29,52	23,84	27,36	22,25	0,85
Col. HDL	12,38	10,51	12,02	12,37	15,62	9,37	9,30	10,90	14,59	9,71	12,40	13,01	13,48	10,55	15,86	9,48	0,65
Col. VLDL	30,73	30,67	32,28	34,23	35,96	31,40	27,44	35,27	39,22	33,60	36,44	36,55	30,16	30,41	34,44	30,82	1,72
Col. LDL	1,01	1,03	1,07	1,03	0,98	1,11	0,97	0,94	1,00	1,10	1,09	1,00	0,91	0,94	0,98	0,98	0,01
Creatinina	31,44	32,49	30,49	32,75	34,00	32,75	32,69	33,42	30,62	32,93	34,67	36,44	33,38	34,20	34,94	34,00	0,39
Hematócrito																	
	Trp						Lys										
	R <sup>2</sup>		P Valor		Estimativa		R <sup>2</sup>		P Valor		Estimativa						
	Lin	Qua	Lin	Qua	Int.	Trp (%)	Var. Dep.	Lin	Qua	Lin	Qua	Int.	Lys (%)	Var. Dep.			
NUP	0,15	0,99	0,74	0,44	0,73			0,99	1,00	0,004	0,78	0,73					
Glicose	0,97	1,00	0,02	0,65	0,26			0,13	0,47	0,67	0,50	0,26					
Proteínas totais	0,95	0,97	0,003	0,69	0,44			0,12	0,60	0,90	0,80	0,44					
Triglicerídeos	0,80	0,94	0,27	0,64	0,81			0,14	1,00	0,89	0,73	0,81					
Col. total	0,17	0,33	0,33	0,35	0,45			0,09	0,52	0,44	0,10	0,45					
Col. HDL	0,80	0,80	0,003	0,95	0,53			0,24	0,41	0,27	0,36	0,53					
Col. VLDL	0,44	0,50	0,59	0,84	0,39			0,17	0,44	0,28	0,18	0,39					
Col. LDL	0,02	0,51	0,72	0,06	0,59			0,03	0,89	0,17	0,63	0,59					
Creatinina	0,36	0,54	0,09	0,23	0,65			0,10	0,95	0,87	0,04	0,65	1,187	1,178			
Hematócrito	0,91	0,98	0,02	0,48	0,41			0,93	0,93	0,08	0,87	0,41					

Col.: colesterol; HDL: lipoproteínas de alta densidade; NUP: nitrogênio da uréia plasmática; VLDL: Lipoproteínas de densidade muito baixa; LDL: lipoproteínas de baixa densidade; Lin: Linear; Qua: quadrática; Int.: interação; Var. dep.: variável dependente. NUP:  $14,9613 - 6,00950 * Y$ ; Glicose:  $80,7608 + 83,3507 * X$ ; Proteínas totais:  $4,60889 + 3,77552 * X$ ; HDL:  $40,8711 - 60,2604 * X$ ; Creatinina plasmática:  $-0,787308 - 0,670625 * X + 3,31183 * Y - 1,39503 * Y^2$ ; Hematócrito:  $23,6012 + 24,7917 * X + 3,92857 * Y$ .

Observou-se efeito quadrático ( $P=0,04$ ) dos níveis de Lys sobre a creatinina plasmática em que a maior concentração estimada foi observada no nível de 1,187% de Lys digestível. Os níveis de creatinina também reduziram linearmente ( $P=0,09$ ) de acordo com o aumento nos níveis de Trp digestível. A concentração de hematócrito aumentou linearmente ( $P<0,05$ ) com o aumento nos níveis de Trp e Lys digestíveis das dietas (Tabela 6).

#### *Temperaturas do dorso, cabeça, retal e timpânica*

Houve interação ( $P=0,004$ ) entre os níveis de Trp e Lys digestíveis para a temperatura retal (TR), mensurada aos 21 dias de experimento (Tabela 7), que aumentou em função dos níveis destes AAs e reduziu nos maiores níveis de Trp e Lys digestíveis.

Na primeira avaliação (aos sete dias), a temperatura dorsal (TD) ( $P=0,047$ ) e a temperatura da cabeça (TC) ( $P=0,047$ ) aumentaram linearmente de acordo com os níveis de Trp digestíveis.

Na segunda avaliação (aos 14 dias), foi observado efeito quadrático dos níveis de Trp digestíveis sobre a TD ( $P=0,02$ ) e a TC ( $P=0,07$ ), obtendo as temperaturas mais elevadas (35,64 e 34,83) nos níveis de 0,202 e 0,204% de Trp digestível, respectivamente. Neste mesmo período (14º dia), a temperatura timpânica (TT) aumentou linearmente ( $P=0,02$ ) em função dos níveis de Trp digestíveis.

Aos 21 dias, a TT reduziu linearmente ( $P=0,01$ ) em função dos níveis de Lys digestíveis.

Tabela 7. Temperatura (°C) do dorso, da cabeça, reto e tímpano de suínos, machos castrados, dos 15 aos 30 kg, alimentados com rações contendo diferentes níveis de triptofano (Trp) e lisina (Lys) digestíveis (dig).

Trp dig. (%)	0,155				0,185				0,215				0,245				EPM <sup>1</sup>
	Lys dig. (%)	0,972	1,112	1,252	1,392	0,972	1,112	1,252	1,392	0,972	1,112	1,252	1,392	0,972	1,112	1,252	
<b>Dia 07</b>																	
Dorso	33,10	32,37	32,89	33,16	33,40	32,99	33,01	33,35	33,44	33,43	33,70	33,33	32,68	33,63	33,56	33,22	0,29
Cabeça	32,30	31,93	31,76	32,08	32,28	31,75	32,01	32,33	32,32	32,40	32,49	32,92	32,00	32,46	32,33	32,27	0,19
Tímpano	35,41	35,13	35,13	35,04	35,16	34,27	34,80	34,72	35,32	35,54	34,99	35,40	35,38	34,73	34,98	35,27	0,16
Reto	39,23	39,07	39,42	39,50	39,47	39,29	39,29	39,38	39,32	39,38	39,23	39,22	39,53	39,36	39,54	39,36	0,17
<b>Dia 14</b>																	
Dorso	35,27	35,29	35,43	35,11	35,73	35,64	35,57	35,50	35,75	35,58	35,41	35,63	35,47	35,67	35,24	35,06	0,17
Cabeça	34,41	34,32	34,73	34,36	34,87	35,04	34,81	34,56	34,75	34,82	34,71	34,80	34,67	34,44	34,81	34,43	0,18
Tímpano	36,83	36,13	36,39	36,34	36,84	36,73	36,88	36,60	36,93	36,59	36,93	37,18	37,20	36,72	36,75	36,74	0,03
Reto	39,40	38,97	39,39	39,28	39,48	39,05	39,33	39,30	39,42	39,46	39,38	39,48	39,32	39,35	39,35	39,13	0,03
<b>Dia 21</b>																	
Dorso	34,39	34,47	34,28	34,75	34,53	34,68	34,74	34,62	34,81	34,86	34,49	34,48	34,78	34,68	34,50	34,73	0,05
Cabeça	33,54	33,63	33,58	33,82	33,85	33,75	34,08	33,68	34,06	33,96	33,69	33,80	33,69	34,18	33,34	33,86	0,29
Tímpano	36,36	36,51	36,29	36,58	37,12	36,84	36,63	36,39	36,44	36,87	36,20	36,37	36,82	36,39	36,42	36,01	0,21
Reto	39,46	39,27	39,62	39,54	39,22	39,78	39,42	39,62	39,70	39,53	39,31	39,84	39,71	39,51	39,62	39,24	0,16
Triptofano																	
Lisina																	
R <sup>2</sup>																	
P valor																	
Estimativa																	
R <sup>2</sup>																	
P valor																	
Estimativa																	
	Lin	Qua	Lin	Qua	Inter.	Trp	Var. Dep.	Lin	Qua	Lin	Qua	Inter.	Var. Dep.				
<b>Dia 07</b>																	
Dorso <sup>2</sup>	0,59	0,94	0,047	0,12	0,35			0,57	0,58	0,47	0,95	0,35					
Cabeça <sup>3</sup>	0,45	0,63	0,047	0,19	0,57			0,32	0,98	0,36	0,25	0,57					
Tímpano	0,03	0,09	0,72	0,57	0,52			0,17	0,92	0,50	0,16	0,52					
Reto	0,39	0,57	0,25	0,43	0,35			0,01	0,39	0,91	0,43	0,35					
<b>Dia 14</b>																	
Dorso <sup>4</sup>	0,03	0,99	0,67	0,02	0,94			0,92	0,96	0,14	0,76	0,94					
Cabeça <sup>5</sup>	0,07	0,96	0,60	0,07	0,60			0,17	0,57	0,66	0,50	0,60					
Tímpano <sup>6</sup>	0,72	1,00	0,02	0,13	0,49			0,15	0,59	0,40	0,15	0,49					
Reto	0,14	0,56	0,38	0,12	0,20			0,05	0,25	0,55	0,25	0,20					
<b>Dia 21</b>																	
Dorso	0,74	0,96	0,16	0,43	0,67			0,04	0,17	0,78	0,62	0,67					
Cabeça	0,27	1,00	0,47	0,24	0,37			0,09	0,10	0,74	0,93	0,37					
Tímpano <sup>7</sup>	0,08	0,55	0,50	0,11	0,36			0,89	0,89	0,01	0,94	0,36					
Reto <sup>8</sup>	0,34	0,73	0,43	0,40	0,004			0,21	0,68	0,73	0,61	0,004					

<sup>1</sup> Erro padrão da média. Dias 07, 14 e 21 correspondem à primeira, segunda e terceira avaliação, respectivamente. <sup>2</sup>TD=32,22 + 4,92\*X; <sup>3</sup>TC= 31,43 + 3,95\*X; <sup>4</sup>TD= 29,17 + 63,86\*X - 157,68\*X<sup>2</sup>; <sup>5</sup>TC= 28,46 + 62,52 - 153,34\*X<sup>2</sup>; <sup>6</sup>TT= 35,77 + 4,80\*X; <sup>7</sup>TT= 37,62 - 0,9375\*Y; <sup>8</sup>TR= 35,6887 + 18,75\*X + 3,11\*Y - 15,19\*X\*Y.

#### 4.4. Discussão

##### Experimento I: Digestibilidade ileal dos aminoácidos da ração basal

As maiores perdas endógenas foram observadas para glicina, glutamato e ácido aspártico, enquanto o menor valor foi observado para a metionina. Da mesma forma, Yin et al. (2008) obtiveram os menores valores de AEI para a metionina e os maiores para a prolina, glicina e ácido glutâmico.

Utilizando uma dieta isenta de proteína, contendo 5,05% de casca de arroz e 2% de fibra bruta, Apolônio et al. (2003) observaram maior excreção endógena ileal (mg/g de DIP consumida) para o ácido glutâmico (0,833), glicina (0,693), ácido aspártico (0,594) e leucina (0,484), e perdas endógenas menores foram observados para a histidina (0,119) e tirosina (0,153). As maiores perdas endógenas observadas para os AAs supracitados, se devem ao fato destes estarem presentes em maior quantidade na camada de mucina, a qual é secretada em grande quantidade pelo epitélio do trato gastrointestinal (Taverner et al., 1981). As perdas endógenas também podem ser provenientes da saliva, enzimas pancreáticas, secreções gástricas e biliares (Tamminga et al., 1995).

A maior parte da proteína endógena é hidrolisada e reabsorvida antes de atingir o íleo distal (Yin et al., 2008), e a maioria da proteína remanescente excretada é oriunda dos sais biliares desconjugados e glicoproteínas da mucina (Moughan and Schutttert, 1991; Stein et al., 2001), as quais, segundo Yin et al. (2008), são ricas em glicina (principalmente da bile) e prolina, glutamato, aspartato, serina e treonina (principalmente das glicoproteínas da mucina), corroborando com os resultados obtidos no presente trabalho.

Os valores de AEI obtidos para a arginina, lisina, metionina, treonina e fenilalanina são semelhantes aos observados por Pozza et al. (2003), que trabalhando com a DIP, com 2,62% de casca de arroz, 1,82% de FDN e 1,50% de FDA, obtiveram para estes AAs valores de 0,13; 0,18; 0,05; 0,27 e 0,12 mg/g de DIP consumida, respectivamente.

Os maiores coeficientes de digestibilidade ileal standardizados foram observados para a metionina, leucina, treonina e fenilalanina (Tabela 4). Lazzeri (2011), utilizando a DIP com 18,88% de casca de arroz, 12,92% de FDN e 10,15% de FDA, obteve coeficientes de, 94,45; 89,90; 99,64 e 91,11% para estes AAs, respectivamente. Com exceção da

treonina, os demais coeficientes são inferiores aos obtidos. Pozza et al. (1999) utilizando a DIP com 8,05% de casca de arroz e 2,36% de fibra bruta obtiveram, para estes AAs, os coeficientes de 91,36; 94,84; 84,58 e 95,14%, respectivamente, que também foram inferiores aos obtidos.

As diferenças observadas entre os valores obtidos e os da literatura, para os coeficientes de digestibilidade ileal estandardizada dos AAs, assim como as diferentes perdas ileais endógenas, corroboram a hipótese de que a determinação dos AAs digestíveis dos ingredientes ou da ração basal, a serem utilizados na determinação das exigências de AAs, proporciona maior precisão na estimativa do nível ótimo.

*Experimento II: Níveis de triptofano e lisina digestíveis para suínos machos castrados dos 15 aos 30 kg de peso vivo*

*Desempenho, profundidade de lombo e espessura de toucinho*

O aumento do CDR, provavelmente, está relacionado a maior disponibilidade de Trp no cérebro dos animais, com conseqüente aumento na produção de 5-HT, estimulando o consumo de alimento (Henry et al., 1992). Zhang et al. (2007) verificaram aumento no consumo de ração e no ganho de peso de leitões, após o desmame, à medida que aumentaram os níveis de Trp nas dietas, e relataram que os níveis de grelina no fundo gástrico e no duodeno, aumentaram com a adição de Trp, concluindo que a grelina pode ser um hormônio intestinal responsivo ao Trp, podendo regular o consumo de alimento para satisfazer as exigências nutricionais dos animais. Por outro lado, vários estudos relatam que não houve efeito dos níveis de Trp sobre o CDR, GPD e CA (Haese et al., 2006; Liu et al.; 2013).

O nível de Lys digestível obtido para o CDR (1,195%) é semelhante ao proposto pelo NRC (2012), de 1,23% ou 11,1 g de Lys/dia e 3,66 g de Lys/Mcal de EM. O resultado obtido para o CDR foi semelhante ao obtido para a CA, em que se estimaram os níveis ótimos em 0,210% de Trp e 1,198% de Lys digestível, obtendo-se a relação Trp:Lys de 17,5%. Relação inferior (16,2%) foi proposta pelo NRC (2012) para suínos dos 11 aos 25 kg.

Resultados semelhantes foram observados por Susenbeth (2006), que por meio de metanálise, avaliou 33 trabalhos, em que o peso vivo dos animais variou de 4,6 a 115 kg, e

concluiu que a relação Trp:Lys digestível de 17,4% pode ser recomendada, não sendo influenciada pelo peso vivo dos animais, ganho de peso, ou pela concentração de Lys e proteína na dieta, e a relação ótima tende a ser inferior quando expressa em digestibilidade ileal de AA. No entanto, outro estudo envolvendo metanálise, em que utilizaram dados provenientes de 41 experimentos, foi recomendado a relação Trp:Lys digestível de 22%, para suínos dos sete aos 25 kg de peso vivo (Simongiovanni et al., 2009), sendo a mesma relação obtida por Zhang et al. (2012), utilizados suínos dos 25 aos 50 kg de peso vivo.

Os níveis ótimos de Trp (0,210%) e Lys (1,198%) digestíveis, obtidos para a CA, correspondem a exigência diária de 2,56 e 14,6 g ou 0,65 e 3,71 g por Mcal de EM, respectivamente. Ao utilizarem o procedimento “Broken line”, Quant et al. (2012) obtiveram relações Trp:Lys digestível de 15,7% (GPD) e 15,8% (NUP), respectivamente, para suínos dos 20 a 50 kg de peso vivo.

As exigências propostas por Rostagno et al. (2011), para suínos machos castrados de desempenho superior, dos 15 aos 30 kg, são de 0,197 e 1,093% para Trp e Lys digestíveis, correspondendo a 2,49 e 13,82 g/dia ou 0,61 e 3,38 g/Mcal de EM, respectivamente, resultando em uma relação Trp:Lys digestível de 18%. Os valores de Lys (1,23%) e Trp (0,200%) propostos pelo NRC (2012) correspondem a 1,8 e 11,1 g/dia e 0,59 e 3,66 Mcal por kg de EM, respectivamente.

Utilizando diferentes níveis de Lys digestível estandardizada para suínos, dos 11 aos 27 kg, Kendall et al. (2008) observaram ser necessário 1,30% de Lys (3,81 g de Lys/Mcal EM) para maximizar o desempenho (GPD e CA). Entretanto, os autores supracitados somente aumentaram os níveis de Lys digestíveis das dietas, mantendo constante o nível de Trp digestível (0,23%). Quando calculada a relação Trp:Lys digestível da dieta, cuja percentagem de Lys digestível (1,32%) está próxima àquela do “Break Point” (1,30%) se obtém a relação de 17,4%, que é semelhante a obtida no presente estudo (17,5%).

Trabalhando com diferentes níveis de Lys digestível verdadeira (1,22; 1,32; 1,42, 1,52 e 1,62%) para leitões dos sete aos 14 kg, Nemecek et al. (2012) obtiveram os melhores resultados para ganho de peso e CA em níveis de 1,34 e 1,46%, respectivamente. Embora o estudo tenha sido realizado somente com o intuito de determinar o nível de Lys, quando calculada a relação Trp:Lys digestível, para as dietas que promoveram o melhor

desempenho (entre 1,32 e 1,52% de Lys digestível), obtêm-se 18,2% e 16,9%, respectivamente.

A relação Trp:Lys digestível obtida é semelhante às observadas na literatura, porém, quando os requerimentos são expressos em g/dia ou em relação à EM, observa-se que os valores obtidos são superiores aos encontrados em tabelas de exigências nutricionais (NRC, 2012; Rostagno et al., 2011). Isso pode ser atribuído à capacidade dos animais, utilizados nestes estudos, em expressar seu potencial genético, uma vez que resultará em diferentes exigências de nutrientes. Adicionalmente, a determinação das exigências nutricionais pode ser influenciada pelos diferentes métodos estatísticos utilizados, pelo ambiente em que as pesquisas são realizadas, pelo número de animais por unidade experimental, tipos de cereais básicos utilizados nas rações, fase de produção, sexo, estado fisiológico, entre outros fatores.

É importante ressaltar que, no presente trabalho, foi utilizada a metodologia de superfície resposta, que embora pouco utilizada para determinar as exigências nutricionais, apresenta como vantagem a possibilidade de avaliar os efeitos de dois AAs simultaneamente, podendo estimar seus níveis ótimos e as relações entre eles. Adicionalmente, os valores de exigências tabelados possuem seus modelos baseados em dados provenientes de experimentos que determinaram a exigência de somente um AA, não considerando as interações metabólicas que existem entre eles.

O efeito das relações Trp:Lys digestíveis sobre a PLD e a ET ainda é pouco estudado para suínos na fase inicial. Kendall et al. (2007) estudando diferentes relações Trp:Lys digestíveis para suínos machos castrados, dos 90 aos 125 kg, não verificaram diferenças na ET e na área do músculo *Longissimus dorsi*. Os autores relataram que esses resultados são difíceis de serem compreendidos, uma vez que neste mesmo estudo as variáveis de desempenho foram influenciadas e, portanto, eram esperadas também diferenças nas variáveis de carcaça.

Pelo fato de, comercialmente, os animais serem abatidos após os 100 kg de peso vivo, poucos trabalhos abordam as variáveis de carcaça para suínos em fase de crescimento, especialmente dos 15 aos 30 kg. Porém, uma vez que na produção de suínos o objetivo é melhorar a eficiência alimentar e, conseqüentemente, aumentar a produção de carne magra, a mensuração da deposição de carne na carcaça, seja pelo método comparativo ou

ultrassônico, é um parâmetro que deve ser considerado (desde que possível ser mensurado) em qualquer fase de produção, permitindo estimar as exigências nutricionais de forma mais adequada e dirigida para o objetivo da produção.

Foi observada certa coerência entre os dados de CA e PLD, em que ambos apresentaram efeito quadrático, possibilitando a estimativa dos níveis ótimos de Trp e Lys digestíveis, os quais foram semelhantes entre os dois parâmetros.

Ao fornecer uma dieta balanceada em AAs, o animal tende a utilizá-los de forma eficiente, depositando maior quantidade de proteína (carne) na carcaça. Logo, o ganho de peso ou a conversão do alimento ingerido, em carne, será consequência da maior ou menor deposição de tecido na carcaça e, portanto, os efeitos observados no desempenho também podem influenciar os parâmetros quantitativos da carcaça.

As ferramentas estatísticas utilizadas para determinar as exigências dos nutrientes são extremamente importantes, no entanto, os resultados obtidos por meio delas, devem sempre estar associados aos aspectos biológicos, e neste estudo, essa relação pode ser identificada. Sabe-se que ocorre um sinergismo no metabolismo da Lys e do Trp, em que a Lys, ao contribuir com o fornecimento de carbonos para a produção de ácido  $\alpha$ -cetoadípico, viabiliza a utilização de Trp para as outras vias de degradação, especialmente a via de produção de niacina. Isso mostra que o metabolismo destes AAs é independente, justificando nossos resultados, uma vez que não foram ajustados modelos de superfície resposta que mostrassem o efeito quadrático da Lys ou do Trp, associado à interação entre estes AAs. Uma vez ajustado este tipo de modelo (quadrático para um fator + a interação entre eles), pode-se estimar o nível de um determinado AA em função do outro, obtendo-se para cada nível de Trp, por exemplo, seu respectivo nível de Lys.

### *Parâmetros sanguíneos*

Considerando os níveis de Lys digestíveis, observa-se que a resposta obtida para a PLD é oposta à da creatinina. Apesar da coerência observada para estes valores se esperava uma resposta inversa (aumento com posterior redução da PLD) em função dos níveis de Lys digestível avaliados. Segundo Cameron et al. (2003) a creatinina pode ser um bom preditor para o requerimento de Lys e deposição de proteína, aumentando a precisão na predição do potencial genético de suínos. Isso porque, a creatinina é um produto da degradação da

creatina, e sua produção é proporcional à massa muscular do animal. Por outro lado, níveis elevados de creatinina no plasma podem indicar maior taxa de catabolismo muscular (Gómez-Carballar et al., 2013).

O NUP é considerado um bom indicador da excreção metabólica de AA, uma vez que os excessos de AA na dieta são catabolizados, aumentando assim o NUP e, portanto, a excreção de ureia (Petersen, 2011). Por outro lado, a redução do NUP indica a máxima utilização dos AA (Coma et al., 1995). A redução linear do NUP, no presente estudo, reforça a compreensão de que a falta de um AA pode limitar a utilização dos demais, e o excesso de AA pode ser deaminado.

Considerando que a redução da creatinina plasmática indica redução do catabolismo muscular e a redução do NUP indica bom aproveitamento dos AA dietéticos, pode-se inferir que estes dois parâmetros estão estritamente relacionados com o aumento na PLD.

Com base em estudos de desempenho e balanço de nitrogênio, (Zangeronimo, 2006) concluíram que o nível de 1,05% de Lys digestível deve ser recomendado para suínos dos nove aos 20 kg, em dietas formuladas com 16 e 18% de proteína bruta. Com nível semelhante de PB nas dietas (16,52%), e com suínos mais pesados, nossos resultados mostram que a exigência de Lys digestível é maior, sendo de 1,198 e 1,136% para a CA e PLD, respectivamente.

O colesterol HDL reduziu linearmente em função do aumento dos níveis de Trp. Os valores obtidos (Tabela 6) são semelhantes aos descritos por Rauw et al. (2007) e Casellas et al. (2010), que trabalhando com suínos (de 43 e 45 dias de idade) alimentados com dieta normal, encontraram valores de 31,3 e 30,43 mg/dl.

Níveis baixos de colesterol têm sido associados a disfunção no sistema serotoninérgico. Branchey et al. (2000) observaram em pacientes com histórico de agressão, os menores níveis de HDL, que também esteve associado com maior intensidade de euforia. Nossos resultados são contraditórios aos supracitados, uma vez que houve redução do HDL plasmático à medida que aumentaram os níveis de Trp nas dietas. Portanto, uma vez que o Trp é precursor da 5-HT, supõe-se que o aumento de Trp na dieta deveria aumentar os níveis de HDL.

O triptofano e a 5-HT têm sido associados à redução na atividade física, disponibilizando maior quantidade de energia para o acúmulo de gordura (Fears e Murrell,

1980). Os triglicerídeos, colesterol total, LDL, VLDL bem como a espessura de toucinho, não foram influenciados pelos níveis de Lys e/ou Trp digestíveis ( $P>0,05$ ). Rauw et al. (2007) e Casellas et al. (2010) observaram valores de triglicerídeos superiores (44,7 e 44,08 mg/dl, respectivamente). O colesterol total se encontra acima dos valores de referência (19,08 – 59,76 mg/dl) propostos por Friendship e Henry (1992), porém semelhantes aos de Casellas et al. (2010), que encontraram 77,30 mg/dl. Estes mesmos autores obtiveram para o colesterol LDL e colesterol VLDL, 38,03 e 8,84 mg/dl (valor calculado), respectivamente, em que o LDL apresentou valores superiores, e o VLDL valores inferiores aos observados no presente estudo.

A quantidade de hematócrito variou de 30,49 a 36,44%, sendo alguns valores, inferiores aos valores de referência propostos por Jain (1993) e Meyer e Harvey (2004), os quais devem estar entre 32 e 50%.

#### *Temperaturas do dorso, da cabeça, do reto e do tímpano*

Estudos com suínos mostraram que o aumento na ingestão de Trp aumentou sua disponibilidade no hipotálamo, com conseqüente aumento na produção de 5-HT (Koopmans et al., 2006; Shen et al., 2012a, 2012b), pelo fato da enzima triptofano hidroxilase não ser saturada pelo Trp (Sugden, 1989). Dessa forma, o aumento de 5-HT no hipotálamo, também pode levar ao aumento na produção de melatonina. O seu pico de produção ocorre durante a noite, entre 02 e 04 horas (Dollins et al., 1994), na ausência da luz.

Em humanos e animais ocorre uma relação inversa entre a temperatura corporal e a melatonina, em que a diminuição na temperatura corporal durante a noite coincide com os elevados níveis de melatonina na glândula pineal e nos demais fluídos do corpo (Saarela and Reiter, 1994), no entanto, ocorre uma relação inversa durante o dia. Em conseqüência disso, estudos sugerem que pode haver um papel da melatonina na regulação da temperatura corporal.

O aumento da temperatura dorsal e da cabeça, na primeira avaliação (aos sete dias), pode estar associado ao efeito da melatonina, em que os mecanismos de perda de calor

foram acionados, resultando no aumento da temperatura periférica na tentativa de dissipar o calor corporal. O mesmo pode ter ocorrido no 14º dia (2ª avaliação), em que foi observado efeito quadrático dos níveis de Trp digestíveis sobre a temperatura do dorso e da cabeça.

Os mecanismos precisos envolvidos entre melatonina e temperatura são ainda desconhecidos. Entretanto, Cagnacci et al. (1992) sugerem que a melatonina endógena seria o regulador do declínio normal da temperatura. No estudo conduzido por Francesconi e Mager (1974) o triptofano mostrou ter efeito expressivo sobre a regulação da temperatura corporal de ratos submetidos ao ambiente de 4°C, em que o Trp inibiu o aumento da produção de calor, que seria necessária para manter a temperatura corporal. Nas temperaturas de 10, 17 e 31°C, não foram observados efeitos.

No 14º dia, a temperatura timpânica aumentou linearmente em função dos níveis de Trp digestíveis. A temperatura timpânica está relacionada ao estresse, pela circulação sanguínea em comum com o hipotálamo e o córtex pré-frontal (Boyce, 2002). Segundo Caputa (2004) a temperatura cerebral reduz quando há estresse e aumenta quando ocorre a exposição ao calor, durante o sono ou exercícios físicos. A perda de calor corporal ocorre com a vasodilatação, que aumenta a superfície de contato da vasculatura com os tecidos periféricos (Benzinger, 1969). Sendo assim, a temperatura sanguínea, em determinada área do cérebro, será menor quanto maior a demanda energética. Dessa forma, o aumento na temperatura timpânica pode estar associado ao efeito do Trp na redução do estresse dos animais e na dissipação do calor corporal.

Embora aos 21 dias não tenha sido observado efeito do Trp e da Lys sobre as temperaturas periféricas (dorso e cabeça), a redução na temperatura retal, nos maiores níveis destes AA, pode estar associada à ativação dos mecanismos de perda de calor, os quais fazem com que a temperatura corporal seja reduzida. Entretanto, não se pode afirmar que esses resultados estão diretamente ligados ao aumento na produção de melatonina, uma vez que suas quantidades a nível plasmático ou hipotalâmico não foram mensuradas.

#### **4.5. Conclusão**

A exigência de triptofano e lisina digestível para suínos machos, castrados, dos 15 aos 30 kg de peso vivo, é de 2,56 e 14,6 g/dia, que respectivamente, correspondem ao nível de 0,210 e 1,198% de triptofano e lisina digestíveis, proporcionando a relação triptofano:lisina de 17,5:100.

#### 4.6. Literatura citada

- Apolônio, L.R., Donzele, J.L., Oliveira, R.F.M., Silva, F.C.O., Souza, A.V.C., Lopes, D.C., and Freitas, L.S. , 2002. Digestibilidade Ileal de Aminoácidos de Alimentos Utilizados em Dietas Pré-Iniciais. *Rev. Bras. Zootec.* 31, 1983–1992.
- Apolônio, L.R., Donzele, J.L., Oliveira, R.F.M., Souza, A.V.C., Silva, F.C.O., and Bunzen, S. , 2003. Digestibilidade Ileal de Aminoácidos de alguns Alimentos, Determinada pela Técnica da Cânula T Simples com Suínos. *Rev. Bras. Zootec.* 32, 605–614.
- Baker, D.H. and Chung, T.K. Ideal protein for swine and poultry. Bio-Kyowa Technology. v.4. Nutri-Quest, Inc., Chesterfield , MO, 1992.
- Benzinger, T.H. Heat regulation: homeostasis of central temperature in man. *Physiological Reviews*, v. 49, n.4, 671-759, 1969.
- Bligh, J., Cottle, W.H., and Maskrey, M. , 1971. Influence of ambient temperature on the thermoregulatory responses to 5-hydroxytryptamine, noradrenaline and acetylcholine injected into the lateral cerebral ventricles of sheep, goats and rabbits. *J. Physiol.* 212, 377–392.
- Boisen, S. (2003) Ideal dietary amino acid profiles for pigs. In: D’Mello, J. P. F. (Ed.) *Amino Acids in Animal Nutrition*. p. 157-168, (CABI), 2003.
- Boyce, W.T. Temperament, tympanum, and temperature: four provisional studies of the biobehavioral correlates of tympanic membrane temperature asymmetries. *Child Dev.* v.73, n.3, 718-733, 2002.
- Branchey, L.B.; Branchey, M.; Hudson, J. Ferguson, P. Low HDL cholesterol, aggression and altered central serotonergic activity. *Psychiatry Research*, v.93, p. 93-102, 2000.
- Cagnacci, A., Elliott, J.A., and Yen, S.S., 1992. Melatonin: a major regulator of the circadian rhythm of core temperature in humans. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 1992. 75 (2), 447-52.
- Cai, Y., Zimmerman, D.R., and Ewan, R.C., 1994. Diurnal variation in concentrations of plasma urea nitrogen and amino acids in pigs given free access to feed or fed twice daily. *J. Nutr.* 124, 1088–1093.
- Caputa, M. Selective brain cooling: a multiple regulatory mechanism. *Journal of Thermal Biology*, v.29, 691-702, 2004.
- Casellas, J., Noguera, J.L., Reixach, J., Díaz, I., Amills, M., and Quintanilla, R. , 2010. Bayes factor analyses of heritability for serum and muscle lipid traits in Duroc pigs. *J. Anim. Sci.* 88, 2246–2254.

- Coma, J., Carrion, D., and Zimmerman, D.R. , 1995. Use of plasma urea nitrogen as a rapid response criterion to determine the lysine requirement of pigs. *J. Anim. Sci.* 73, 472–481.
- Dollins, A.B., Zhdanova, I. V, Wurtman, R.J., Lynch, H.J., and Deng, M.H. , 1994. Effect of inducing nocturnal serum melatonin concentrations in daytime on sleep, mood, body temperature, and performance.
- Fears, R., Murrell, E.A., 1980. Tryptophan and the control of triglyceride and carbohydrate metabolism in the rat. *Br. J. Nutr.* 43, 349–356. doi:10.1079/BJN19800097.
- Francesconi, P., and Mager, M., 1974. L-Tryptophan: effects on body temperature in rats. *Am. J. Physiol.* 227, 402–405.
- Friendship, R.B., and Henry, S.C., 1992. Cardiovascular system, hematology and clinical chemistry. In *Diseases of Swine*, D.J. Lemam, A.D., Straw, B.E., D’Allaire, S., Mengeling, W.L., Taylor, ed. (Ames, Iowa, U.S.A.: Iowa State University Press), pp. 1–20.
- Gómez-Carballar, F., Lara, L., Nieto, R., Aguilera, J.F., 2013. Effect of increasing lysine supply during last third of gestation on reproductive performance of Iberian sows. *Span. J. Agric. Res.* 11: 798 – 807.
- Henry, Y., Sève, B., Colléaux, Y., Ganier, P., Saligaut, C., and Jégo, P., 1992. Interactive effects of dietary levels of tryptophan and protein on voluntary feed intake and growth performance in pigs, in relation to plasma free amino acids and hypothalamic serotonin. *J. Anim. Sci.* 70, 1873–1887.
- Jain, N.C., 1993. *Essentials of Veterinary Hematology* (Philadelphia: Lea & Febiger).
- Jansman, a J.M., Le Floc’h, N., Melchior, N., and Melchior, D., 2007. Tryptophan : a key nutrient in pig diets. *Feed Mix* 15, 1–4.
- Jansman, a J.M., van Diepen, J.T.M., and Melchior, D., 2010. The effect of diet composition on tryptophan requirement of young piglets. *J. Anim. Sci.* 88, 1017–1027.
- Kendall, D.C., Gaines, a M., Allee, G.L., and Usry, J.L., 2008. Commercial validation of the true ileal digestible lysine requirement for eleven- to twenty-seven-kilogram pigs. *J. Anim. Sci.* 86, 324–332.
- Kendall, D.C., Gaines, a M., Kerr, B.J., and Allee, G.L., 2007. True ileal digestible tryptophan to lysine ratios in ninety- to one hundred twenty-five-kilogram barrows. *J. Anim. Sci.* 85, 3004–3012.
- Kessler, A.M. Exigências nutricionais para máximo rendimento de carne em suínos. In: *SIMPÓSIO SOBRE RENDIMENTO E QUALIDADE DA CARNE SUÍNA*, 1998, Concórdia. Anais... Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, p.18-25, 1998.

- Kidd, M.T.; Hackenhaar, L. Dietary threonine for broilers: dietary interactions and feed additive supplement use. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*, 1, No. 005, 6 pp. 2006.
- Kidd, M.T.; Hackenhaar, L. Dietary threonine for broilers: dietary interactions and feed additive supplement use. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*, 1, No. 005, 6 pp. 2006.
- Kimura, F.T., and Miller, V.L., 1957. Improved Determination of Chromic Oxide in Cow Feed and Feces. *J. Agric. Food Chem.* 5, 216–216.
- Koopmans, S.J., Guzik, A.C., Meulen, J. Van Der, Dekker, R., Kogut, J., Kerr, B.J., and Southern, L.L., 2006. Effects of supplemental L -tryptophan on serotonin , cortisol , intestinal integrity , and behavior in weanling piglets. *J. Anim. Sci.* 84, 963–971.
- Lazzeri, D.B. , 2011. Níveis de isoleucina digestíveis para suínos machos castrados dos 15 aos 30 kg. Universidade Estadual do Oeste do Paraná.
- Le Floch, N., and Seve, B. , 2007. Biological roles of tryptophan and its metabolism: Potential implications for pig feeding. *Livest. Sci.* 112, 23–32.
- Lynch, P.B.; Van Cauwenberghe, S.; Fullarton, P. Response of weaned pigs to dietary level of tryptophan. 15th EAAP Meeting. The Hague, The Netherlands, p. 342, 2000.
- Meyer, D.J., and Harvey, J.W. , 2004. *Veterinary Laboratory Medicine: Interpretation and Diagnosis* (Philadelphia: Saunders).
- Mongin, P., 1981. Recent advances in dietary anion-cation balance: applications in poultry. *Proc. Nutr. Soc.* 40, 285–294.
- Moughan, P.J., and Schuttert, G. , 1991. Composition of nitrogen-containing fractions in digesta from the distal ileum of pigs fed a protein-free diet. *J. Nutr.* 121, 1570–1574.
- Naatjes, M., Htoo, J.K., Walter, K., Tölle, K.H., and Susenbeth, a. , 2014. Effect of dietary tryptophan to lysine ratio on growth of young pigs fed wheat–barley or corn based diets. *Livest. Sci.* 163, 102–109.
- Nemeček, J.E., Gaines, a. M., Tokach, M.D., Allee, G.L., Goodband, R.D., DeRouchey, J.M., Nelssen, J.L., Usry, J.L., Gourley, G., and Dritz, S.S. , 2012. Evaluation of standardized ileal digestible lysine requirement of nursery pigs from seven to fourteen kilograms. *J. Anim. Sci.* 90, 4380–4390.
- Newman, D.J., and Price, C.P., 1999. Renal function and nitrogen metabolites. In *Tietz Textbook of Clinical Chemistry*, E.R. BURTIS, C.A. and ASWOOD, ed. (Philadelphia: W.B. Saunders Company), pp. 1204–1270.
- NRC , 2012. National Research Council. *Nutrient Requirements of Swine*. (Washington, D.C. National Academic of Science).

- Paredes, S.D., Marchena, A.M., Bejarano, I., Espino, J., M.P., Barriga, C., Rial, R.V., Reiter, R.J., Rodriguez, A.B., 2009. Melatonin and tryptophan counteract lipid peroxidation and modulate superoxide dismutase activity in ringdove heterophils in vivo. Effect of antigen-induced activation and age. In *Age*, pp. 179–188.
- Pekas, J.C., 1968. Versatile Swine Laboratory Apparatus for Physiologic and Metabolic Studies. *J. Anim. Sci.* 27, 1303–1306.
- Pereira, A.A., Donzele, J.L., Oliveira, R.F.M., Abreu, M.L.T., Silva, F.C.O., and Martins, M.S., 2008. Níveis de triptofano digestível em rações para suínos machos castrados de alto potencial genético na fase dos 97 aos 125 kg. *Rev. Bras. Zootec.* 37, 1984–1989.
- Petersen, G.I., 2011. Estimation of the standardized ileal digestible tryptophan:lysine ratio in 10 to 20 pigs. University of Illinois.
- Pozza, P.C., Gomes, P.C., Donzele, J.L., and Leão, M.I., 1999. Exigência de Treonina Digestível para Suínos Machos Castrados dos 15 aos 30 kg 1 Digestible. *Rev. Bras. Zootec.* 28, 560–568.
- Pozza, P.C., Gomes, P.C., Rostago, H.S., and Lopes, J., 2003. Avaliação da Perda Endógena de Aminoácidos , em Função de Diferentes Níveis de Fibra Evaluation of Endogenous Amino Acids Losses in Function of Different Fiber Levels for Swine. 1354–1361.
- Quant, a D., Lindemann, M.D., Kerr, B.J., Payne, R.L., and Cromwell, G.L., 2012. Standardized ileal digestible tryptophan-to-lysine ratios in growing pigs fed corn-based and non-corn-based diets. *J. Anim. Sci.* 90, 1270–1279.
- Rauw, W.M., Portolés, O., Corella, D., Soler, J., Reixach, J., Tibau, J., Prat, J.M., Diaz, I., and Gómez-Raya, L., 2007. Behaviour influences cholesterol plasma levels in a pig model. *Animal*, 1, 865.
- Rostagno, H. S., Featherston, W. R. Estudos de métodos para determinação de disponibilidade de aminoácidos. *R. Bras. Zootec.*, v.6, n.1, p.64-75, 1977.
- Rostagno, H.S., Donzele, J.L., Gomes, P.C., Oliveira, R.F., and Lopes, D.C., F.A.S., Barreto, S.L.T., Euclides, R., 2011. Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos. Composição de Alimentos e Exigências Nutricionais. (Viçosa, MG: UFV, Departamento de Zootecnia).
- Rozenboim, I., Miara, L., and Wolfenson, D., 1998. The thermoregulatory mechanism of melatonin-induced hypothermia in chicken. *Am. J. Physiol.* 274, R232–6.
- Saarela, S., and Reiter, R.J., 1994. Function of melatonin in thermoregulatory processes. *Life Sci.* 54, 295–311.
- Salyer, J.A., Tokach, M.D., DeRouchey J.M., Dritz, S.S., Goodband, R.D., and Nelssen, J.L., 2013. Effects of standardized ileal digestible tryptophan : lysine in diets containing

- 30 % dried distillers grains with solubles on finishing pig performance and carcass traits. *J. Anim. Sci.* 91, 3244–3252.
- Shen, Y. Bin, Voilque, G., Kim, J.D., Odle, J., and Kim, S.W., 2012a. Effects of increasing tryptophan intake on growth and physiological changes in nursery pigs. *J. Anim. Sci.* 90, 2264–2275.
- Shen, Y. Bin, Voilque, G., Odle, J., and Kim, S.W., 2012b. Dietary L -Tryptophan Supplementation with Reduced Large Neutral Amino Acids Enhances Feed Efficiency and Decreases Stress Hormone Secretion in Nursery Pigs under Social-Mixing Stress. *J. Nutr.* 142, 1540–1546.
- Silva, D.J.; Queiroz, A.C. *Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos*. 4Ed, Viçosa: UFV, 2005. 235p.
- Silva, D.O., and Saraiva, A., 2006. Níveis de triptofano digestível em rações para suínos machos castrados de alto potencial genético para deposição de carne na carcaça dos 60 aos 95 kg. *Rev. Bras. Zootec.* 35, 2309–2313.
- Simongiovanni, A., Corrent, E., and Primot, Y., 2009. SID Trp :Lys requirement for piglets determined by meta-analysis. *Ajynomoto Eurolysine S.A.S.* 16.
- Stein, H.H., Kim, S.W., Nielsen, T.T., and Easter, R.A., 2001. Standardized ileal protein and amino acid digestibility by growing pigs and sows. *J. Anim. Sci.* 79, 2113–2122.
- Sugden, D., 1989. Melatonin biosynthesis in the mammalian pineal gland. *Experientia* 45, 922–932.
- Susenbeth, A., 2006. Optimum tryptophan: Lysine ratio in diets for growing pigs: Analysis of literature data. *Livest. Sci.* 101, 32–45.
- Tamminga, S., Schulze, H., Van Bruchem, J., and Huisman, J., 1995. The nutritional significance of endogenous N-losses along the gastro-intestinal tract of farm animals. *Arch. Tierernahr.* 48, 9–22.
- Taverner, M.R., Hume, I.D., and Farrell, D.J., 1981. Availability to pigs of amino acids in cereal grains. 1. Endogenous levels of amino acids in ileal digesta and faeces of pigs given cereal diets. *Br. J. Nutr.* 46, 149–158.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA – UFV. *Sistema para análise estatística e genética - SAEG. Versão 5.0.* Viçosa, MG, 142p. 1997.
- Yin, Y.L., Li, T.J., Huang, R.L., Liu, Z.Q., Kong, X.F., Chu, W.Y., Tan, B.E., -Deng, D., Kang, P., and Yin, F.G. , 2008. Evaluating standardized ileal digestibility of amino acids in growing pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 140, 385–401.
- Zangeronimo, M.G., 2006. Níveis de lisina digestível em rações para leitões de 9 a 25 kg. Universidade Federal de Lavras.

- Zhang, G.J., Song, Q.L., Xie, C.Y., Chu, L.C., Thacker, P. a., Htoo, J.K., and Qiao, S.Y. , 2012. Estimation of the ideal standardized ileal digestible tryptophan to lysine ratio for growing pigs fed low crude protein diets supplemented with crystalline amino acids. *Livest. Sci.* 149, 260–266.
- Zhang, H., Yin, J., Li, D., Zhou, X., and Li, X. , 2007. Tryptophan enhances ghrelin expression and secretion associated with increased food intake and weight gain in weanling pigs. *Domest. Anim. Endocrinol.* 33, 47–61.

## V - Triptofano e lisina digestíveis para fêmeas suínas dos 15 aos 30 kg de peso vivo

**RESUMO:** Objetivou-se determinar os níveis ótimos de triptofano (Trp) e lisina (Lys) digestível para fêmeas suínas (15 aos 30 kg). Previamente foi conduzido um experimento para determinar a digestibilidade ileal estandardizada dos aminoácidos da ração basal (baixos níveis de Trp e Lys). De posse dos valores de aminoácidos digestíveis estandardizados, procedeu-se com a formulação das dietas experimentais. Foram utilizadas 64 fêmeas suínas (15,04±1,44 kg), distribuídas em delineamento experimental de blocos casualizados, com 16 tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram distribuídos em esquema fatorial 4x4 (quatro níveis de Trp digestível: 0,155; 0,185; 0,215; 0,245% e quatro níveis de Lys digestível: 0,972; 1,112; 1,252 e 1,392%). Foram avaliados o desempenho, a profundidade do músculo *Longissimus dorsi* (PLD), a espessura de toucinho (ET) os parâmetros sanguíneos e a temperatura corporal. Obteve-se efeito quadrático (P=0,038) dos níveis de Trp digestível sobre o peso vivo final (PVF) e ganho de peso diário (GPD), enquanto que o consumo diário de ração (CDR) aumentou linearmente (P=0,005) em função dos níveis de Trp digestível. Foram estimados 0,225 e 0,224% de Trp digestível para o PVF e GPD, respectivamente. Foi observada interação entre os níveis de Trp e Lys digestíveis para a conversão alimentar (P=0,007), que aumentou em função dos níveis destes aminoácidos, e reduziu nos maiores níveis de Trp e Lys. A ET aumentou linearmente (P= 0,021) de acordo com os níveis de Trp digestível. Houve efeito quadrático (P=0,034) dos níveis de Trp digestível sobre a PLD, sendo estimado o nível ótimo de 0,205%. Houve efeito quadrático dos níveis de Trp sobre a glicose e proteínas totais plasmáticas estimando-se 0,202 e 0,215% de Trp digestível, respectivamente. A creatinina plasmática reduziu (P=0,006) linearmente com o aumento dos níveis de Trp digestível nas dietas. O nitrogênio da uréia plasmática (NUP) reduziu linearmente com os níveis de Trp (P=0,032) e Lys (P=0,012) digestíveis. Com base no GPD, conclui-se que o ótimo nível de Trp digestível para fêmeas suínas, dos 15 aos 30 kg, é de 0,224%, que corresponde à exigência diária de 2,99 g de Trp digestível.

**Palavras chave:** desempenho, exigências de aminoácidos, parâmetros sanguíneos.

## V – Digestible tryptophan and lysine for gilts from 15 to 30 kg of body weight

**ABSTRACT:** It was aimed to determine the optimum levels of digestible tryptophan (Trp) and lysine (Lys) for gilts (15 to 30 kg). Previously an experiment was carried out in order to determine the standardized ileal digestibility of amino acids in the basal diet (low levels of Trp and Lys). According to the values of standardized digestible amino acids, we proceeded with the formulation of the experimental diets. A total of 64 gilts ( $15.04 \pm 1.44$  kg) were allotted in a randomized complete block design with 16 treatments and four replications. The treatments were distributed in a 4x4 factorial scheme (four levels of digestible Trp: 0.155, 0.185, 0.215, 0.245% and four levels of digestible Lys: 0.972, 1.112, 1.252 and 1.392%). Performance parameters, *Longissimus dorsi* depth (LDD), backfat thickness (BT), blood parameters and body temperature were evaluated. A quadratic effect ( $P=0.038$ ) of digestible Trp levels was observed on the final body weight (FBW) and on average daily gain (ADG), while the daily feed intake increased linearly ( $P=0.005$ ) with increasing levels of digestible Trp. The optimum digestible Trp levels of 0.225 and 0.224% were estimated for the FBW and ADG, respectively. An interaction between digestible Trp and Lys levels was observed for feed conversion ratio ( $P=0.007$ ), which increased according to Trp and Lys levels, and reduced in the largest levels. The BT increased linearly ( $P=0.021$ ) according to the digestible Trp levels. There was a quadratic effect ( $P=0.034$ ) of digestible Trp levels on the LDD, in which the optimal level was estimated at 0.205%. There was a quadratic effect of tryptophan levels on glucose and total plasma proteins, estimating 0.202 and 0.215% of digestible Trp, respectively. The plasma creatinine reduced linearly ( $P=0.006$ ) with increasing levels of digestible Trp in the diets. The plasma urea nitrogen (PUN) decreased linearly with digestible Trp ( $P=0.032$ ) and Lys ( $P=0.012$ ) levels. Based on the ADG, it was concluded that the optimum level of digestible Trp for gilts, from 15 to 30 kg of body weight, is 0.224%, which corresponds to 2.99 g/day of digestible Trp.

**Key Words:** amino acid requirements, blood parameters, performance.

## 5.1. Introdução

Vários trabalhos relatam a determinação das exigências de lisina (Lys) e triptofano (Trp) bem como as relações Trp:Lys digestíveis para suínos, entretanto, ocorrem variações entre os estudos. Grande parte destas variações ocorre por causa do contínuo progresso da seleção genética (Susenbeth, 1995), diferentes regiões e ambientes em que os estudos são realizados, dos tipos de cereais básicos que compõem a dieta, do parâmetro utilizado como resposta e dos métodos estatísticos utilizados.

O ganho de proteína corporal é um dos parâmetros mais utilizados como resposta para determinar os níveis de aminoácidos (AAs) digestíveis. A Lys é quase que exclusivamente utilizada para o acréscimo de proteína no organismo (Baker, 1997), por isso é o nutriente mais estudado para este fim. Além disso, é o primeiro aminoácido limitante em dietas para suínos, à base de milho e farelo de soja, ao passo que o Trp é o quarto (Bertechini, 2006).

O triptofano, além de ter seu papel na síntese de proteínas, também está envolvido em várias funções fisiológicas, sendo o precursor de neurotransmissores como a serotonina (5-HT), que é conhecida por desempenhar papel importante na regulação do consumo de alimento e parece ter efeitos na redução do estresse.

Em consequência dos antagonismos e sinergismos, que podem ocorrer entre os AAs, a avaliação simultânea de dois AAs na mesma dieta pode proporcionar valores diferentes de exigências. A exigência de Lys digestível, para fêmeas suínas de alto potencial genético e desempenho superior (de 15 a 30 kg), proposta por Rostagno et al. (2011) é de 12,97 g/dia (1,081%), enquanto que para o Trp a exigência é de 2,34 g/dia (0,195%). Por outro lado, o NRC (2012) propõe, para suínos machos e fêmeas (dos 11 aos 25 kg), a exigência de 11,1g/dia (1,23%) de Lys digestível e 1,8g/dia (0,200%) de Trp digestível.

São escassos os estudos que avaliam níveis de Trp e Lys digestíveis, simultaneamente. Assim sendo, objetivou-se com este trabalho avaliar os níveis de Trp e Lys digestíveis para fêmeas suínas dos 15 aos 30 kg de peso vivo.

## 5.2. Material e métodos

O experimento foi realizado no setor de suinocultura da Fazenda Experimental de Iguatemi (FEI), da Universidade Estadual de Maringá (UEM) e no laboratório de Nutrição Animal (LANA/UEM) do Departamento de Zootecnia. O experimento foi aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) da UEM (Protocolo N° 050/2011).

### *Desempenho, profundidade de lombo e espessura de toucinho*

Previamente foi conduzido um experimento para determinar a digestibilidade ileal estandardizada dos AAs da ração basal (baixos níveis de Trp e Lys).

Posteriormente, realizou-se um experimento de desempenho em que foram utilizadas 64 fêmeas suínas mestiças, com peso vivo inicial de  $15,04 \pm 1,44$  kg, distribuídas, com base no peso inicial, em delineamento experimental de blocos casualizados em esquema fatorial (4 x 4), com 16 tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos consistiram de quatro níveis de triptofano (0,155; 0,185; 0,212; 0,245%) e quatro níveis de lisina digestíveis (0,972; 1,112; 1,252; 1,392%).

Os animais foram alojados em creche de alvenaria, cobertas com telhas de fibrocimento, dotadas de baias suspensas ( $1,32 \text{ m}^2$ ) com piso parcialmente vazado e equipadas com comedouro localizado na parte frontal e um bebedouro tipo chupeta na parte posterior.

A proteína bruta da ração basal foi reduzida em relação ao valor proposto por Rostagno et al. (2011). Para atender os níveis de triptofano e lisina digestíveis, o L-triptofano e a L-lisina foram adicionados na ração basal em substituição ao inerte. As rações experimentais foram formuladas à base de milho e farelo de soja (Tabela 1). O ácido glutâmico foi utilizado nas rações experimentais com o propósito de mantê-las isonitrogenadas. O balanço eletrolítico da dieta (BED) foi calculado conforme proposto por Mongin (1981).

Os animais, assim como a ração fornecida, foram pesados no início e no final do experimento, para determinação do consumo diário de ração (CDR), ganho de peso diário (GPD) e conversão alimentar (CA).

Tabela 1. Composição centesimal das rações contendo diferentes níveis de triptofano (Trp) e lisina (Lys) digestíveis para fêmeas suínas, dos 15 aos 30 kg de peso vivo.

Triptofano dig. (%)	0,155				0,185				0,215				0,245			
	0,972	1,112	1,252	1,392	0,972	1,112	1,252	1,392	0,972	1,112	1,252	1,392	0,972	1,112	1,252	1,392
Lisina dig. (%)	74,24	74,24	74,24	74,24	74,24	74,24	74,24	74,24	74,24	74,24	74,24	74,24	74,24	74,24	74,24	74,24
Milho	74,24	74,24	74,24	74,24	74,24	74,24	74,24	74,24	74,24	74,24	74,24	74,24	74,24	74,24	74,24	74,24
Farelo de soja	13,68	13,68	13,68	13,68	13,68	13,68	13,68	13,68	13,68	13,68	13,68	13,68	13,68	13,68	13,68	13,68
Farelo de glúten	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Fosfato bicálcico	1,59	1,59	1,59	1,59	1,59	1,59	1,59	1,59	1,59	1,59	1,59	1,59	1,59	1,59	1,59	1,59
Calcário	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82
Oleo de soja	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
Prem. vit./mineral <sup>1</sup>	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Bicarbonato de sódio	0,464	0,549	0,635	0,718	0,464	0,549	0,634	0,718	0,464	0,549	0,634	0,718	0,464	0,549	0,634	0,718
Inerte <sup>2</sup>	0,650	0,714	0,779	0,755	0,664	0,730	0,795	0,724	0,680	0,745	0,811	0,694	0,692	0,758	0,824	0,669
Sal	0,142	0,084	0,026	0,000	0,142	0,084	0,026	0,000	0,142	0,084	0,026	0,000	0,142	0,083	0,025	0,000
Ácido glutâmico	0,766	0,491	0,216	0,000	0,719	0,444	0,169	0,000	0,673	0,398	0,123	0,000	0,635	0,360	0,085	0,000
L-Lisina HCL (78,4)	0,491	0,673	0,855	1,037	0,491	0,673	0,855	1,037	0,491	0,673	0,855	1,037	0,491	0,673	0,855	1,037
L-Treonina (98)	0,196	0,196	0,196	0,196	0,196	0,196	0,196	0,196	0,196	0,196	0,196	0,196	0,196	0,196	0,196	0,196
DL-Metionina (99)	0,126	0,126	0,126	0,126	0,126	0,126	0,126	0,126	0,126	0,126	0,126	0,126	0,126	0,126	0,126	0,126
L-Triptofano	0,025	0,025	0,025	0,025	0,056	0,056	0,056	0,056	0,087	0,087	0,087	0,087	0,112	0,112	0,112	0,112
L-Valina	0,119	0,119	0,119	0,119	0,119	0,119	0,119	0,119	0,119	0,119	0,119	0,119	0,119	0,119	0,119	0,119
L-Isoleucina	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050
Antioxidante	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010
Promotor de crescimento <sup>3</sup>	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

<sup>1</sup>Suplemento vitamínico mineral (níveis nutricionais/kg de produto): Vit. A - 2.000.000 UI; Vit. D<sub>3</sub> - 400.000 UI; Vit. k<sub>3</sub> - 624.000 UI; Vit. B1 - 313.600 UI; Vit. B2 - 800.000 UI; Vit. B6 - 435.600 UI; Vit. B12 - 4.600.000 UI; Vit. E - 8.000.000 UI; Pantotenato de Cálcio - 3.040.000 UI; Niacina - 6.076.000; Ácido fólico - 60.000 UI; Biotina - 35.000 UI; Colina - 72.000.000 UI; Zinco - 25.500; Ferro - 16.200; Cobre - 2.400.000; Manganês - 8.060.000; Iodo: 223,20; Selênio - 63.000; Cobalto - 40.000; Antioxidante - 1.000.000.

<sup>2</sup>Areia. <sup>3</sup>Leucomag.

...continuação Tabela 1.

Tabela 1. Composição química e energética das rações contendo diferentes níveis de triptofano (Trp) e lisina (Lys) digestíveis para fêmeas suínas, dos 15 aos 30 kg de peso vivo.

Trp digestível (%)	0,155				0,185				0,215				0,245			
	0,972	1,112	1,252	1,392	0,972	1,112	1,252	1,392	0,972	1,112	1,252	1,392	0,972	1,112	1,252	1,392
Lys digestível (%)	0,972	1,112	1,252	1,392	0,972	1,112	1,252	1,392	0,972	1,112	1,252	1,392	0,972	1,112	1,252	1,392
EM (kcal/kg)	3230	3230	3230	3230	3230	3230	3230	3230	3230	3230	3230	3230	3230	3230	3230	3230
Proteína bruta, %	16,52	16,52	16,52	16,52	16,52	16,52	16,52	16,52	16,52	16,52	16,52	16,52	16,52	16,52	16,52	16,52
Cálcio, %	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77
Fósforo disponível, %	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38
Sódio, %	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Potássio, %	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47
FDA, %	3,86	3,86	3,86	3,86	3,86	3,86	3,86	3,86	3,86	3,86	3,86	3,86	3,86	3,86	3,86	3,86
FDN, %	10,15	10,15	10,15	10,15	10,15	10,15	10,15	10,15	10,15	10,15	10,15	10,15	10,15	10,15	10,15	10,15
Fibra bruta, %	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08
Lisina digestível, %	0,972	1,112	1,252	1,392	0,972	1,112	1,252	1,392	0,972	1,112	1,252	1,392	0,972	1,112	1,252	1,392
Treonina digestível, %	0,726	0,726	0,726	0,726	0,726	0,726	0,726	0,726	0,726	0,726	0,726	0,726	0,726	0,726	0,726	0,726
Metionina digestível, %	0,397	0,397	0,397	0,397	0,397	0,397	0,397	0,397	0,397	0,397	0,397	0,397	0,397	0,397	0,397	0,397
Met + Cis digestível, %	0,646	0,646	0,646	0,646	0,646	0,646	0,646	0,646	0,646	0,646	0,646	0,646	0,646	0,646	0,646	0,646
Triptofano digestível, %	0,155	0,155	0,155	0,155	0,185	0,185	0,185	0,185	0,215	0,215	0,215	0,215	0,245	0,245	0,245	0,245
Valina digestível, %	0,851	0,851	0,851	0,851	0,851	0,851	0,851	0,851	0,851	0,851	0,851	0,851	0,851	0,851	0,851	0,851
Isoleucina digestível, %	0,674	0,674	0,674	0,674	0,674	0,674	0,674	0,674	0,674	0,674	0,674	0,674	0,674	0,674	0,674	0,674
Leucina digestível, %	1,747	1,747	1,747	1,747	1,747	1,747	1,747	1,747	1,747	1,747	1,747	1,747	1,747	1,747	1,747	1,747
Arginina digestível, %	0,837	0,837	0,837	0,837	0,837	0,837	0,837	0,837	0,837	0,837	0,837	0,837	0,837	0,837	0,837	0,837
BED (mEq/kg)	142,5	142,5	142,5	142,5	142,5	142,5	142,5	142,5	142,5	142,5	142,5	142,5	142,5	142,5	142,5	142,5

EM: energia metabolizável; FDA: fibra em detergente ácido; FDN: fibra em detergente neutro; BED: balanço eletrolítico da dieta.

No final do período experimental, procedeu-se com a ultrassonografia em todos os animais, com o auxílio da eco câmera Aloka (SSD 500®). Determinou-se inicialmente a região do P2, localizada na última costela torácica a seis cm da linha média, procedendo-se em seguida com a limpeza do local e captura das imagens. Posteriormente, foram realizadas as medidas de espessura de toucinho (ET) e profundidade do músculo *Longissimus dorsi* com o auxílio do *Software ImageJ*.

Ao final do experimento, após jejum de 6 horas, foram colhidas amostras de sangue da veia jugular (6 mL) e transferidas em tubos contendo heparina (Cai et al., 1994) para análise de colesterol total, triglicéridos, lipoproteínas de alta densidade (HDL), lipoproteínas de densidade muito baixa (VLDL); lipoproteínas de baixa densidade (LDL), nitrogênio da uréia plasmática (NUP), creatinina e proteínas totais. A dosagem da ureia plasmática foi multiplicada por 0,467, que representa a fração de nitrogênio na molécula de uréia (Newman e Price, 1999). Para determinação da glicose foram coletados três mL de sangue, que foi colocado em tubos contendo Fluoreto de Sódio + Oxalato de Potássio.

Após as colheitas, as amostras foram centrifugadas a 3.000 rpm por 15 minutos e as amostras para derminação da glicose foram centrifugadas por 30 minutos, para a obtenção do plasma. Em seguida, três mL de plasma foram transferidos para microtubos de propileno, que foram devidamente identificados e armazenados para a realização das análises.

Imediatamente após a coleta foi determinada a concentração de hematócrito, em que se coletou um mL de sangue que foi transferido para tubos contendo EDTA. Após a coleta os tubos foram homogeneizados durante cinco minutos, em homogeneizador automático e, posteriormente, o sangue foi transferido para microtubos capilares e microcentrifugados a 12.000 RPM durante cinco minutos. A percentagem de hematócrito foi mensurada com auxílio de uma régua específica.

Para as análises bioquímicas foram utilizados kits reagentes (KATAL® e Gold Analisa® Diagnostica Ltda) e as quantidades de cada componente sanguíneo determinadas pela leitura da absorbância em Espectofotômetro BIOPLUS® 2000.

### *Mensuração da temperatura corporal dos animais*

As temperaturas do dorso, da cabeça e a temperatura timpânica foram mensuradas com o auxílio de um termômetro infravermelho (Cole Parmer®), direcionado à região desejada, à distância de um metro. A temperatura retal foi mensurada pelo método invasivo, com o auxílio de termômetro digital.

Todas as mensurações foram realizadas em um intervalo de sete dias (dia 01; dia 07 e dia 21), após o início do experimento, sendo as temperaturas do dorso e da cabeça mensuradas seis vezes ao dia (08, 12, 16, 20, 00 e 4 horas), totalizando 72 observações/tratamento, enquanto que as temperaturas retal e timpânica foram mensuradas três vezes ao dia (10h30, 18h30 e 02h30), totalizando 36 observações/tratamento. Os dados observados foram separados por dia de avaliação (01, 07 e 21) e calculadas as médias diárias das observações.

### *Análise estatística*

Para todos os parâmetros avaliados utilizou-se o peso vivo inicial como covariável no modelo. Adotou-se como procedimento estatístico a metodologia de superfície resposta, e adicionalmente utilizaram-se modelos de regressão polinomial, sendo as análises realizadas por meio do Sistema de Análises Estatísticas e Genéticas - SAEG (Universidade Federal de Viçosa, 2009). Os graus de liberdade referentes aos níveis de triptofano e lisina digestível foram desdobrados em polinômios.

## **5.3. Resultados**

### *Desempenho, profundidade de lombo e espessura de toucinho*

Foi observada interação ( $P=0,007$ ) para a conversão alimentar (Tabela 2), que aumentou linearmente em função dos níveis de Trp e Lys digestíveis, reduzindo, pelo efeito conjunto destes AAs (Figura 1 A). Obteve-se efeito quadrático dos níveis de Trp digestível sobre o PVF e o GPD ( $P=0,039$  e  $0,038$ , respectivamente), em que o ajuste dos modelos de regressão (Tabela 2) proporcionou a estimativa dos níveis ótimos em 0,225 e 0,224% (Figura 1 B) de Trp digestível, respectivamente.

Tabela 2. Desempenho, profundidade do músculo *Longissimus dorsi* (PLD) e espessura de toucinho (ET) de fêmeas suínas, dos 15 aos 30 kg, alimentadas com rações contendo diferentes níveis de triptofano (Trp) e lisina (Lys) digestíveis (dig).

Trp Lys	0,155				0,185				0,215				0,245				EPM
	0,972	1,112	1,252	1,392	0,972	1,112	1,252	1,392	0,972	1,112	1,252	1,392	0,972	1,112	1,252	1,392	
PVI, kg	15,08	15,03	15,04	15,00	15,23	15,94	14,86	15,04	14,95	15,25	14,92	14,90	15,21	14,99	15,03	15,07	0,18
PVF, kg	29,18	29,48	29,14	27,45	30,57	31,07	29,44	30,51	32,24	31,59	31,15	31,59	28,67	31,79	32,15	31,89	0,39
GPD, kg	0,627	0,641	0,626	0,553	0,689	0,712	0,638	0,688	0,766	0,737	0,718	0,737	0,602	0,746	0,763	0,752	12,85
CDR, kg	1,196	1,288	1,174	1,109	1,329	1,263	1,198	1,317	1,512	1,349	1,313	1,302	1,195	1,431	1,406	1,307	0,02
CA, kg/kg	1,91	2,01	1,89	2,01	1,93	1,77	1,88	1,90	1,97	1,83	1,83	1,77	1,98	1,91	1,84	1,74	0,01
ET, mm	4,10	4,90	3,96	3,88	4,72	3,90	4,03	4,43	4,66	5,04	4,49	4,78	4,44	4,52	5,04	5,16	0,11
PLD, mm	23,74	26,52	24,31	23,90	24,67	26,09	25,91	24,94	26,03	24,42	26,49	27,17	22,82	25,24	24,91	26,53	0,29

	Trp							Lys						
	R <sup>2</sup>		P valor		Estimativa			R <sup>2</sup>		P valor		Estimativa		
	Lin	Qua	Lin	Qua	Int.	Trp (%)	Var. Dep.	Lin	Qua	Lin	Qua	Int.	Lys (%)	Var. Dep.
PVF <sup>1</sup>	0,74	0,98	0,0006	0,039	0,276	0,225	31,46	0,00	0,59	0,975	0,352	0,276		
GPD	0,74	0,97	0,0005	0,038	0,247	0,224	0,731	0,01	0,59	0,903	0,344	0,247		
CDR <sup>2</sup>	0,75	0,95	0,005	0,139	0,233			0,64	0,75	0,245	0,624	0,233		
CA	0,59	0,99	0,010	0,034	0,007	0,216	1,85	0,83	0,99	0,005	0,208	0,007		
ET <sup>3</sup>	0,88	0,88	0,021	0,975	0,462			0,00	0,04	0,975	0,870	0,462		
PLD <sup>4</sup>	0,08	0,89	0,482	0,034	0,086	0,205	25,83	0,63	0,86	0,061	0,254	0,086		

PVI: peso vivo inicial; PVF: peso vivo final; GPD: ganho de peso diário; CDR: consumo diário de ração; CA: conversão alimentar; Lin: Linear; Qua: quadrática; Int.: interação; Var. dep.: variável dependente. <sup>1</sup> PVF= 3,71517 + 246,164\*X - 545,958\*X<sup>2</sup>; <sup>2</sup> CDR= 0,941471 + 1,75845\*X; <sup>3</sup> ET= 3,02563 + 7,40625\*X; <sup>4</sup> PLD = 4,1034 + 212,18\*X - 518,098\*X<sup>2</sup>;

O CDR aumentou linearmente ( $P=0,005$ ) com o aumento nos níveis de Trp digestível. Não foram observadas interações ( $P>0,05$ ) entre os níveis de Trp e Lys digestíveis para os parâmetros de PLD e ET (Tabela 2). Os níveis de Trp digestível estudados proporcionaram aumento linear ( $P=0,021$ ) na ET. Ajustou-se o modelo quadrático ( $P=0,0034$ ) para a PLD, em que a melhor resposta foi obtida para o nível de 0,205% de Trp digestível.

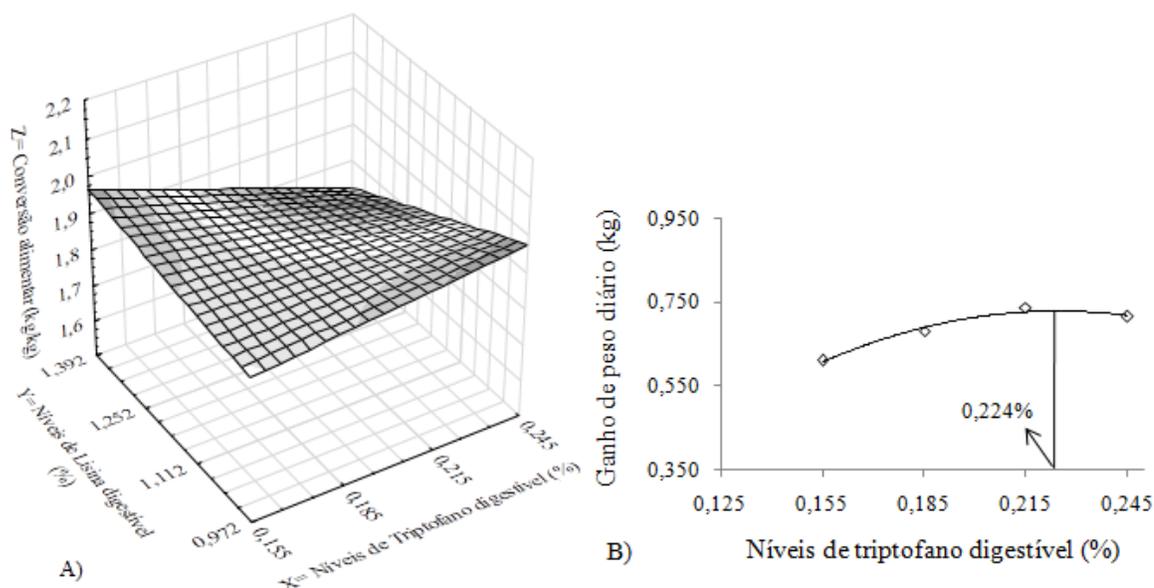


Figura 1 – Conversão alimentar (A) e ganho de peso diário (B) de fêmeas suínas (15 aos 30 kg) alimentadas com dietas contendo diferentes níveis de Trp e Lys digestíveis (CA=  $0,308423 + 9,2087*X + 1,4928*Y - 8,572*X*Y$ ; GPD=  $-0,548367 + 11,4002*X - 25,3946*X^2$ ).

#### Parâmetros sanguíneos

Não foram observadas interações ( $P>0,05$ ) entre os níveis de Trp e Lys digestíveis para os parâmetros bioquímicos no plasma sanguíneo (Tabela 3). Houve efeito quadrático dos níveis de Trp sobre a glicose ( $P=0,01$ ) e proteínas totais ( $P=0,012$ ), em que as maiores concentrações estimadas foram obtidas nos níveis de 0,202 e 0,215% de Trp digestível. Houve efeito quadrático ( $P=0,026$ ) dos níveis de Lys sobre os triglicerídeos plasmáticos em que a menor concentração estimada foi obtida no nível de 1,163% de Lys digestível.

Tabela 3. Parâmetros bioquímicos sanguíneos (mg/dL) e hematócrito (%) de fêmeas suínas (15 aos 30 kg), alimentadas com rações contendo diferentes níveis de triptofano (Trp) e lisina (Lys) digestíveis.

Trp dig. (%)	0,155				0,185				0,215				0,242				
Lys dig. (%)	0,972	1,112	1,252	1,392	0,972	1,112	1,252	1,392	0,972	1,112	1,252	1,392	0,972	1,112	1,252	1,392	EPM
Glicose	85,37	91,58	93,12	89,62	98,50	94,66	94,00	97,50	100,00	100,75	92,87	93,75	95,12	88,66	88,62	92,75	1,41
Triglicerídeos	52,00	37,25	41,00	40,87	38,37	29,12	44,23	40,58	38,37	43,75	44,06	76,00	59,96	43,75	36,50	42,75	2,20
Creatinina	1,15	1,11	1,12	1,11	1,07	1,06	1,12	1,05	1,01	1,07	1,04	1,18	1,06	1,10	0,91	0,96	0,02
Col. total	83,12	68,50	78,37	75,33	85,50	65,79	70,12	67,50	73,12	72,62	71,87	85,79	70,12	68,96	72,46	73,87	2,41
Col. HDL	36,04	30,12	37,44	35,75	35,75	25,87	30,50	28,25	31,37	31,75	31,12	35,25	29,50	30,00	31,12	30,87	0,77
NUP	11,23	10,25	10,06	10,97	10,74	10,64	9,26	8,79	9,26	9,16	8,00	8,70	12,70	7,78	8,68	7,78	0,35
Prot. totais	5,57	5,34	5,39	5,51	5,90	5,58	5,70	5,67	5,98	5,74	5,69	5,91	5,65	5,67	5,85	5,74	0,06
Col. VLDL	10,08	6,87	13,56	8,25	9,75	12,75	9,12	8,50	8,50	9,00	9,37	9,75	10,00	7,00	7,37	11,62	0,50
Col. LDL	37,00	31,50	27,37	31,33	40,00	27,16	30,50	30,75	33,25	31,87	31,37	40,79	30,62	31,96	33,96	31,37	2,13
Hematócrito	28,50	32,12	29,00	29,25	25,81	28,31	30,50	33,56	30,75	29,25	28,19	31,25	30,06	35,06	31,87	33,75	0,43

	Trp						Lys							
	R <sup>2</sup>		P Valor			Estimativa		R <sup>2</sup>		P Valor			Estimativa	
	Lin	Qua	Lin	Qua	Int.	Trp (%)	Var. Dep.	Lin	Qua	Lin	Qua	Int.	Lys (%)	Var. Dep.
Glicose <sup>1</sup>	0,03	1,00	0,62	0,01	0,72	0,202	97,26	0,48	0,79	0,54	0,62	0,72		
Triglicerídeos <sup>2</sup>	0,28	0,28	0,21	0,99	0,04			0,08	0,98	0,48	0,03	0,04	1,163	38,80
Creatinina <sup>3</sup>	0,89	0,91	0,006	0,70	0,18			0,08	0,12	0,77	0,84	0,18		
Col. total	0,34	0,34	0,42	0,95	0,34			0,01	0,74	0,85	0,07	0,34		
Col. HDL	0,42	0,56	0,08	0,32	0,51			0,01	0,42	0,87	0,18	0,51		
NUP <sup>4</sup>	0,72	0,91	0,03	0,25	0,39			0,75	0,99	0,01	0,14	0,39		
Prot. totais <sup>5</sup>	0,56	1,00	0,01	0,02	0,92	0,215	5,82	0,03	0,76	0,78	0,15	0,92		
Col. VLDL	0,64	0,73	0,51	0,80	0,24			0,08	0,13	0,85	0,87	0,24		
Col. LDL	0,08	0,51	0,76	0,49	0,43			0,07	0,98	0,61	0,069	0,43		
Hematócrito <sup>6</sup>	0,63	0,97	0,005	0,04	0,05			0,57	0,58	0,012	0,81	0,05		

Col.: colesterol; HDL: lipoproteínas de alta densidade; NUP: nitrogênio da uréia plasmática; VLDL: Lipoproteínas de densidade muito baixa; LDL: lipoproteínas de baixa densidade; Lin: Linear; Qua: quadrática; Int.: interação; Var. dep.: variável dependente.

<sup>1</sup>Glicose= -36,9459 + 1325,98\*X - 3275,18\*X<sup>2</sup>; <sup>2</sup>Triglicerídeos= 337,583 - 513,715\*Y + 220,814\*Y<sup>2</sup>; <sup>3</sup>Creatinina= 1,30586 - 1,16736\*X; <sup>4</sup>NUP= 18,3866 - 17,5125\*X - 4,44762\*Y;

<sup>5</sup>Proteínas totais: 1,09356 + 43,9062\*X - 101,901\*X<sup>2</sup>; <sup>6</sup>HEM= 17,3683 + 30,7292\*X + 5,87053\*Y.

A creatinina plasmática reduziu linearmente ( $P=0,006$ ) com o aumento dos níveis de Trp digestível. O NUP reduziu ( $P=$  Trp: 0,032; Lys: 0,012) e o hematócrito sanguíneo aumentou linearmente ( $P=$  Trp: 0,005; Lys: 0,012) com os níveis de Trp e Lys digestíveis.

*Temperaturas do dorso, da cabeça, do reto e do tímpano*

Houve interação ( $P=0,028$ ) entre os níveis de Trp e Lys digestíveis para a temperatura retal dos animais (Tabela 4, Figura 2 B), que reduziu linearmente em função dos níveis de Trp e Lys e aumentou por causa da interação. Considerando a primeira avaliação (aos sete dias), a temperatura dorsal (Figura 2 A) aumentou linearmente ( $P=0,03$ ) com os níveis de Trp digestível e reduziu linearmente ( $P=0,056$ ) com os níveis de Lys digestível. A temperatura retal reduziu linearmente com os níveis de Trp ( $P=0,027$ ) e Lys ( $P=0,013$ ) digestíveis. Na segunda avaliação, (aos 21 dias) foi ajustado o modelo quadrático para a temperatura da cabeça, em que o nível de 0,207% de Trp digestível proporcionou a menor temperatura ( $P=0,015$ ).

Tabela 4. Temperatura do dorso, da cabeça, do reto e do tímpano de fêmeas suínas, dos 15 aos 30 kg, alimentadas com rações contendo diferentes níveis de triptofano e lisina digestíveis.

Trp dig. (%)	0,155				0,185				0,215				0,245				EPM					
	0,972	1,112	1,252	1,392	0,972	1,112	1,252	1,392	0,972	1,112	1,252	1,392	0,972	1,112	1,252	1,392						
Lys dig. (%)	0,972	1,112	1,252	1,392	0,972	1,112	1,252	1,392	0,972	1,112	1,252	1,392	0,972	1,112	1,252	1,392	EPM					
<b>Dia 07</b>																						
Dorsal	36,49	36,49	36,15	35,81	36,68	36,33	36,38	36,32	36,38	36,81	36,28	37,00	36,87	36,41	36,75	36,15	0,07					
Cabeça	35,52	35,29	35,21	34,93	35,24	34,75	35,46	35,48	35,15	35,42	34,88	35,59	35,90	34,99	35,59	34,63	0,08					
Timpânica	37,29	37,59	37,12	36,93	37,47	37,27	37,31	37,24	37,51	37,54	37,28	37,50	37,44	37,37	37,40	37,41	0,08					
Retal	39,44	39,59	39,22	38,89	39,54	39,52	39,46	39,21	39,84	39,64	39,38	39,66	39,36	39,39	39,40	39,64	0,04					
<b>Dia 14</b>																						
Dorsal	36,34	36,18	36,11	36,02	36,07	35,73	35,92	36,06	35,48	36,30	35,81	36,35	36,50	36,05	36,03	35,93	0,19					
Cabeça	35,28	35,15	35,46	34,93	35,15	34,33	34,68	35,09	34,67	35,18	34,87	35,34	35,77	34,85	34,95	34,76	0,17					
Timpânica	37,61	37,39	37,27	37,28	37,73	37,33	37,33	37,55	37,16	37,63	37,43	37,14	37,41	37,42	37,39	37,43	0,15					
Retal	39,33	39,54	39,34	39,13	39,42	39,48	39,40	39,43	39,31	39,34	39,19	39,59	39,50	39,47	39,41	39,35	0,03					
<b>Dia 21</b>																						
Dorsal	35,59	35,54	35,41	35,01	35,37	35,28	35,39	35,43	35,10	35,57	35,53	35,44	35,71	35,37	35,27	35,39	0,09					
Cabeça	34,97	34,66	34,67	34,25	34,82	33,93	34,46	34,34	33,61	34,60	34,14	34,44	35,01	34,38	34,59	33,99	0,09					
Timpânica	37,16	36,77	36,49	36,29	37,10	36,32	36,86	36,89	36,83	37,01	36,79	36,82	36,89	36,48	36,88	36,52	0,18					
Retal	39,31	39,49	39,39	39,41	39,57	39,70	39,40	39,26	39,46	39,34	39,46	39,49	39,40	39,47	39,19	39,40	0,03					
Triptofano																						
	R <sup>2</sup>					P valor					R <sup>2</sup>					P valor						
	Lin		Qua		Inter.	Trp		Estimativa			Lin		Qua		Inter.	Lin		Qua		Inter.	Estimativa	
<b>Dia 07</b>																						
Dorsal	0,74	0,95	0,03	0,24	0,06					0,99	0,99	0,90	0,87	0,06								
Cabeça <sup>1</sup>	0,86	0,92	0,84	0,86	0,18					0,37	0,53	0,35	0,53	0,18								
Timpânica	0,73	0,90	0,53	0,02	0,90					0,77	0,78	0,21	0,53	0,90								
Retal	0,39	0,84	0,03	0,02	0,03					0,85	0,85	0,01	0,99	0,03								
<b>Dia 14</b>																						
Dorsal	0,01	0,96	0,87	0,05	0,01					0,06	0,63	0,78	0,39	0,01								
Cabeça	0,02	0,68	0,81	0,12	0,14					0,17	0,77	0,50	0,20	0,14								
Timpânica	0,02	0,04	0,89	0,89	0,40					0,91	0,93	0,34	0,89	0,40								
Retal	0,31	0,33	0,39	0,84	0,21					0,19	0,22	0,49	0,78	0,21								
<b>Dia 21</b>																						
Dorsal	0,71	0,88	0,46	0,71	<0,01					0,85	1,00	0,11	0,53	<0,01								
Cabeça	0,19	0,91	0,20	0,01	<0,01	0,207	34,22			0,75	0,75	0,05	0,99	<0,01								
Timpânica	0,03	0,92	0,79	0,16	0,16					0,57	0,72	0,04	0,27	0,16								
Retal	0,16	0,94	0,52	0,15	0,22					0,33	0,36	0,25	0,73	0,22								

Dias 07, 14 e 21 correspondem a primeira, segunda e terceira avaliação, respectivamente. <sup>1</sup> Temperatura da cabeça= 40,7857 - 63,1983\*X + 152,2764\*X<sup>2</sup>.

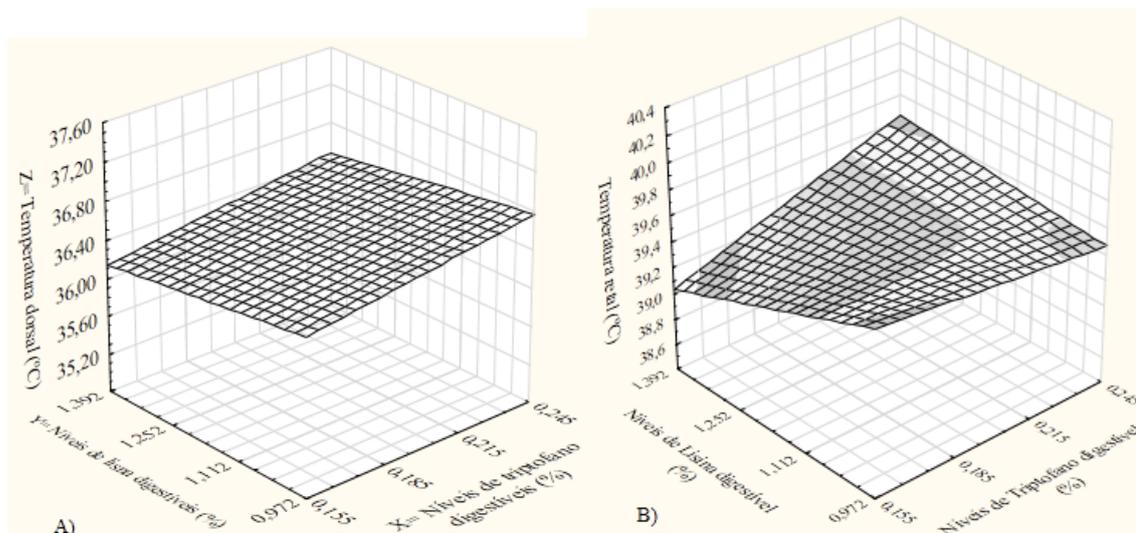


Figura 2 - Temperatura dorsal (A) e temperatura retal (B) de fêmeas suínas (15 a 30 kg) alimentadas com dietas contendo diferentes níveis de Trp e Lys digestíveis (Temperatura dorsal=  $36,5387 + 3,69791*X - 0,695685*Y$ ; Temperatura retal=  $44,6873 - 22,9652*X - 4,81529*Y + 21,3483*X*Y$ ). Os dados correspondem ao sétimo dia.

#### 5.4. Discussão

##### *Desempenho, profundidade de lombo e espessura de toucinho*

O CDR aumentou em função dos níveis de Trp nas dietas. Há um consenso de que o Trp realmente influencia o consumo de alimento, entretanto, os vários mecanismos metabólicos envolvidos ainda são controversos (Le Floch e Seve, 2007).

No período pós-desmame, Zhang et al. (2007) observaram que o Trp aumentou o consumo de ração e o ganho de peso de leitões. Adicionalmente, os níveis de grelina, no fundo gástrico e duodeno, aumentaram com a adição de Trp na dieta, concluindo que a grelina pode ser um hormônio intestinal responsivo ao Trp, podendo regular o consumo de alimento para satisfazer as exigências nutricionais dos animais. Também há evidências de que o Trp aumentou o consumo de ração e melhorou o desempenho de leitões (Henry et al., 1992; Eder et al., 2003; Ertle e Roth, 2013).

Considerando o nível ótimo obtido para o GPD, determinou-se a exigência diária de Trp digestível em 2,99 g/dia (0,69 g de Trp por Mcal de EM).

Observou-se efeito quadrático dos níveis de Trp sobre o PVF e GPD dos leitões, sendo estimados os níveis ótimos de 0,225 e 0,224% de Trp digestível, respectivamente. A melhora no GPD de leitões com seis semanas de idade foi associada ao aumento dos níveis de Trp na dieta (Shen et al., 2012a). Jansman et al. (2010) trabalhando com

leitões dos nove aos 24 kg de peso vivo observaram aumento do CDR e do GPD, no período de 14 a 28 dias após o início do experimento, e concluíram que os níveis ideais de Trp digestível estandardizado, para o CDR e GPD, foram de 0,224 e 0,220%, respectivamente

Os valores obtidos são superiores as recomendações propostas pelo NRC (2012) e Rostagno et al. (2011), que são de 0,200% (1,8 g/dia ou 0,59 g/Mcal de EM) e 0,195% (2,34 g/dia ou 0,60 g/Mcal de EM) de Trp digestível para suínos, dos 11 aos 25 kg (machos e fêmeas) e dos 15 aos 30 kg (fêmeas), respectivamente. As relações Trp:Lys digestíveis propostas são de 16,2 e 18%, respectivamente. Apolônio et al. (2011) determinaram, para suínos machos castrados dos 15 aos 30 kg de peso vivo, níveis ótimos de Trp digestível de 0,175% (2,32 g/dia), que corresponde à relação Trp:Lys digestíveis de 18,82%.

Nossos resultados mostram que a CA aumentou linearmente em função dos níveis de Trp e Lys digestíveis nas rações, e reduziu com a interação entre Trp e Lys, indicando o efeito conjunto destes AAs. Trabalhando com fêmeas suínas, dos 15 aos 30 kg, Rossoni et al. (2009) observaram efeito quadrático dos níveis de Lys sobre a CA, estimando em 1,08% a exigência de Lys digestível, correspondendo ao consumo de 11,60 g/dia. A ausência do efeito quadrático dos níveis de Lys digestíveis sobre os parâmetros de desempenho, não nos permite inferir sobre a recomendação de um nível ideal deste AA, embora a CA tenha reduzido nos maiores níveis de Lys e Trp.

A literatura é escassa em relação aos efeitos do Trp e Lys digestíveis sobre as variáveis de carcaça (PLD e ET) de fêmeas suínas nas fases iniciais de produção.

Observou-se que a ET aumentou de acordo com os níveis de Trp digestível nas dietas. Trabalhando com suínos machos castrados e fêmeas suínas na fase de terminação, Salyer et al. (2013) observaram aumento na ET e redução no índice de carne livre de gordura (Fat-Free Lean index) para os animais que receberam Trp na dieta. Pereira et al. (2008) não observaram efeito dos níveis de Trp (0,124 a 0,160%) sobre a ET e rendimento de carne magra em suínos dos 90 aos 125 kg. Guzik et al. (2005) verificaram aumento linear na ET de suínos, dos 74 aos 104 kg, de acordo com o aumento dos níveis (0,06 a 0,14%) de Trp digestível.

Essa maior deposição de gordura corporal pode estar relacionada a atividade lipogênica do Trp, que pode estar associada aos níveis plasmáticos de glicose, em que a maior concentração foi observada no nível de 0,202% de Trp digestível.

A ação hipoglicêmica do Trp e do ácido quinolinico tem sido atribuída à inibição da gliconeogênese através da enzima fosfoenolpiruvato carboxiquinase (Rosen e Nichol, 1964; McDaniel et al., 1973). Assim, pesquisas sugerem que o Trp aumenta a síntese de ácidos graxos como resultado da ativação da enzima lipogênica acetil CoA carboxilase, pelo citrato, cuja acumulação é dependente da concentração intramitocondrial do oxaloacetato, que aumenta por causa da inibição da fosfoenolpiruvato carboxiquinase (Miyazawa et al., 1975).

Há uma correlação inversa entre as taxas de gliconeogênese e lipogênese (Young et al., 1964; Sellers et al., 1974; Reed e Tarver, 1975). O fornecimento de triptofano, em doses farmacológicas, esteve associado à hipoglicemia e inibição da gliconeogênese hepática (Gullino et al., 1955; Smith e Pogson, 1977). Esses efeitos foram atribuídos a formação e ao acúmulo intracelular de quinolinato e, suportados pela correlação entre a extensa redução da síntese de glicose com o aumento no acúmulo de quinolinato (Miyazawa et al., 1975).

O aumento na ET também pode ser associado ao aumento no consumo de ração. Sabe-se que o Trp aumenta a secreção de insulina (Ponter et al., 1994; Floyd et al., 1966; Ajdukiewicz et al., 1968) que, por sua vez, aumenta a atividade das enzimas ácido graxo sintetase (Lakshmanan et al., 1972) e lipoproteína lípase (Wing et al., 1966). De acordo com Fears e Murrell (1980), os efeitos do Trp sobre a secreção de insulina têm relevância fisiológica, uma vez que Taylor (1976) observou, em ratos, que o Trp e a 5-HT reduziram a atividade física. Em função disso, maior quantidade de energia pode ser disponibilizada para o acúmulo de gordura corporal, sendo este processo mediado pelas enzimas ácido graxo sintetase e lipoproteína lípase (Fears e Murrell, 1980).

Considerando a profundidade do músculo *Longissimus dorsi*, estimou-se o nível ótimo de Trp digestível em 0,205%. Haese et al. (2006) e Guzik et al. (2006) ao avaliarem níveis de Trp digestível, para suínos, dos 60 aos 95 kg e dos 106 aos 111 kg, respectivamente, não observaram diferenças nas características de carcaça.

Entretanto, não foi observado aumento da PLD de acordo com o aumento dos níveis de Lys digestível das dietas. Arouca et al. (2007) não observaram efeito dos níveis de Lys (0,5; 0,6; 0,7; 0,8 e 0,9% de lisina total) sobre a ET no ponto P1 e P2, PLD, porcentagem de carne magra e rendimento de carcaça de suínos machos castrados dos 95 aos 122 kg. Por outro lado, Santos et al. (2011), observaram efeito quadrático e

linear dos níveis de Lys digestível (0,540; 0,642; 0,744; 0,846 e 0,948%), em que houve aumento na deposição de carne na carcaça de suínos machos castrados, dos 95 aos 125 kg, de acordo com o aumento dos níveis de Lys digestível da dieta.

A ausência de um efeito quadrático para os parâmetros de desempenho, PLD e ET, em função dos níveis de Lys digestível, pode estar relacionada aos níveis estudados, uma vez que se obteve efeito linear (redução) para a conversão alimentar. O uso de um nível abaixo ou acima dos estudados poderia proporcionar uma resposta em que pudesse ser estimado o nível ótimo deste AA.

#### *Parâmetros sanguíneos*

Os valores obtidos para a glicose e proteínas totais se encontram dentro dos valores de referência propostos por Friendship & Henry (1992) para leitões, que são de 63 a 133,2 e 4,4 a 7,4 mg/dl, respectivamente, enquanto os de creatinina se encontram abaixo dos valores de referência (1,206 a 3,096 mg/dl).

Houve redução na concentração de creatinina plasmática em função do aumento dos níveis de Trp digestível na dieta. A creatinina resulta da degradação da creatina, que é um componente muscular. O aumento do catabolismo muscular está associado ao aumento nas concentrações de creatinina no sangue (Oliveira, 2004). Gómez-Carballar et al. (2013) observaram aumento da creatinina plasmática para matrizes suínas lactantes comparadas às matrizes gestantes, indicando maior mobilização muscular para as fêmeas em fase de lactação.

A creatinina plasmática foi linearmente relacionada com a retenção de nitrogênio (Clowes et al., 2003). Sendo assim, esses resultados também podem ser associados aos valores obtidos para o NUP, os quais reduziram em função do aumento nos níveis de Trp e Lys digestíveis. Isso é um indicativo de que houve bom aproveitamento dos AAs pelos suínos, uma vez que o excesso de AAs implica no aumento do NUP, e consequente deaminação.

Adicionalmente, pode-se inferir que a redução da creatinina plasmática (redução do catabolismo muscular) e a redução do NUP (indicando aumento do nitrogênio retido), estão diretamente relacionadas ao aumento do GPD e da PLD em função dos níveis de Trp digestível.

Embora os valores de triglicerídeos tenham aumentado a partir do nível de 1,163% de Lys digestível, seus valores se encontram abaixo dos valores máximos de referência (<150 mg/dl) indicados pelo fornecedor do Kit (Gold Analisa Diagnóstica).

Considerando o hematócrito sanguíneo, Jain (1993) e Meyer & Harvey (2004) consideram normais, para suínos, os valores entre 32 e 50%. A concentração de hematócrito variou de 28,19 a 35,25%, sendo alguns valores, portanto, inferiores aos valores de referência, principalmente nos níveis mais baixos de Trp e Lys digestíveis, uma vez que houve aumento linear em função da elevação dos níveis destes AAs nas dietas.

#### *Temperaturas do dorso, da cabeça, do reto e do tímpano*

O aumento da temperatura dorsal dos animais, aliado a redução da temperatura retal, pode ser um indicativo do efeito da melatonina, em que os mecanismos de perda de calor foram acionados, resultando no aumento da temperatura periférica na tentativa de dissipar o calor corporal. Entretanto esses resultados foram obtidos somente na primeira avaliação (aos sete dias), não havendo efeito para a segunda avaliação (aos 14 dias). Na terceira avaliação (aos 21 dias) houve efeito quadrático dos níveis de Trp digestíveis sobre a temperatura da cabeça, a qual aumentou a partir do nível de 0,207%, porém não houve redução da temperatura retal.

Parte do Trp, após sua absorção no intestino delgado, é captada no plasma pela glândula pineal, em que será convertido em 5-HT e melatonina. O maior consumo de Trp provocará o aumento na produção de 5-HT e melatonina no cérebro, sendo esta produção controlada pelos osciladores circadianos (Sugden, 1989).

Estudos com suínos mostraram que a maior ingestão de Trp aumentou sua disponibilidade no hipotálamo, elevando a produção de 5-HT (Koopmans et al., 2006; Shen et al., 2012a; Shen et al., 2012b). Isto se deve ao fato da enzima triptofano hidroxilase não ser saturada pelo Trp (Sugden, 1989). Dessa forma, o aumento de 5-HT no hipotálamo, também pode levar ao aumento na produção de melatonina. O seu pico de produção ocorre durante a noite, entre 02h e 04:00 horas (Dollins et al., 1994), na ausência da luz.

Em humanos e animais ocorre uma relação inversa entre a temperatura corporal e a melatonina, em que a diminuição na temperatura corporal durante a noite coincide com os elevados níveis de melatonina na glândula pineal e nos demais fluídos do corpo

(Saarela & Reiter, 1994), acontecendo, no entanto, a relação inversa durante o dia. Em consequência disso, estudos sugerem que pode haver o papel da melatonina na regulação da temperatura corporal.

Os mecanismos precisos envolvidos entre melatonina e temperatura são ainda desconhecidos, entretanto, Cagnacci et al. (1992) sugeriram que a melatonina endógena seria o regulador do declínio normal da temperatura. Francesconi & Mager (1974) relataram que o triptofano mostrou ter efeito expressivo sobre a regulação da temperatura corporal de ratos submetidos a um ambiente de 4°C, em que o Trp inibiu o aumento da produção de calor, que seria necessária para manter a temperatura corporal. Nas temperaturas de 10, 17 e 31°C, não foram observados efeitos. Bligh et al. (1971) demonstraram que em ovelhas, coelhos e cabras, mantidos em ambiente com baixas temperaturas, a administração intraventricular de 5-HT aumentou a perda de calor, pela respiração ofegante, e reduziu a produção de calor por meio da inibição de tremores. Quando submetidos às altas temperaturas, não foram observados efeitos da 5-HT.

Rozenboim et al. (1998) observaram que a melatonina induziu a hipotermia, aumentando as perdas de calor através da pele e por um leve aumento na respiração por evaporação, sugerindo que a melatonina e/ou o seu precursor (Trp) atuam na redução da temperatura corporal, causando imediata estimulação dos mecanismos de perda de calor. Paredes et al. (2009) observaram que a administração de Trp na dose de 300 mg/kg de peso corporal em pombos aumentou a concentração de 5-HT e melatonina no soro. A administração de Trp e melatonina reduziu a atividade noturna, a temperatura corporal e os níveis de citocina, e aumentou a temperatura periférica.

Adicionalmente, os trabalhos mencionados utilizaram doses farmacológicas, ou seja, muito acima das exigências nutricionais, enquanto no presente estudo o maior nível de Trp digestível foi de apenas 0,048% acima da exigência recomendada por Rostagno et al. (2011) e, possivelmente, não foi suficiente para desencadear o aumento na produção de melatonina.

Os resultados obtidos para temperatura corporal e retal podem estar associados aos possíveis efeitos da melatonina e do Trp, entretanto, não se pode afirmar, que esses resultados estão diretamente ligados ao aumento na produção de melatonina, uma vez que suas quantidades a nível plasmático ou hipotalâmico não foram mensuradas.

### 5.5. Conclusão

Com base no ganho de peso diário, conclui-se que o ótimo nível de triptofano digestível para fêmeas suínas, dos 15 aos 30 kg, é de 0,224%, que corresponde a exigência de 2,99 g/dia de triptofano digestível.

### 5.6. Literatura citada

- Abranches, M.V., 2013. Nutrição aplicada ao esporte: Estratégias nutricionais que favorecem o desempenho em diferentes modalidades (Google eBook). AS Sistemas.
- Ajdukiewicz, A.B., Keane, P., Pearson, J., Read, A.E., Salmon, P.R., 1968. Insulin releasing activity of oral L-tryptophan in fasting and non-fasting subjects. *Scand. J. Gastroenterol.* 3, 622–4.
- Apolônio, L.R., Donzele, J.L., Oliveira, R.F.M., Saraiva, A., Silva, F.C.O., Ferreira, A.S., Lima, A.L., Kill, J.L., 2011. Digestible tryptophan levels in diets for pigs weighing 15 to 30 kg. *Rev. Bras. Zootec.* 40, 1706–1711.
- Arouca, C.C., Fontes, D.D.O., Baião, N.C., Silva, M.A., Silva, F.C.O., 2007. Níveis de lisina para suínos machos castrados selecionados geneticamente para deposição de carne magra na carcaça, dos 95 aos 122 kg. *Cienc. Agrotec.* 31, 531–539.
- Baker, D.H., 1997. Ideal Amino Acid Profiles for Swine and Poultry and Their Applications in Feed Formulation.
- Bertechini, A.G., 2006. Nutrição de monogástricos. Lavras.
- Bligh, J., Cottle, W.H., Maskrey, M., 1971. Influence of ambient temperature on the thermoregulatory responses to 5-hydroxytryptamine, noradrenaline and acetylcholine injected into the lateral cerebral ventricles of sheep, goats and rabbits. *J. Physiol.* 212, 377–392.
- Cagnacci, A., Elliott, J.A., Yen, S.S., 1992. Melatonin: a major regulator of the circadian rhythm of core temperature in humans., *The Journal of clinical endocrinology and metabolism.* doi:10.1210/jc.75.2.447
- Cai, Y., Zimmerman, D.R., Ewan, R.C., 1994. Diurnal variation in concentrations of plasma urea nitrogen and amino acids in pigs given free access to feed or fed twice daily. *J. Nutr.* 124, 1088–1093.
- Dollins, A.B., Zhdanova, I. V, Wurtman, R.J., Lynch, H.J., Deng, M.H., 1994. Effect of inducing nocturnal serum melatonin concentrations in daytime on sleep, mood, body temperature, and performance., *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America.* doi:10.1073/pnas.91.5.1824

- Eder, K., Nonn, H., Kluge, H., Peganova, S., 2003. Tryptophan requirement of growing pigs at various body weights. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. (Berl)*. 87, 336–46.
- Ettle, T., Roth, F.X., 2013. Specific dietary selection for tryptophan by the piglet. *J. Anim. Sci.* 82, 1115–1121.
- Fears, R., Murrell, E.A., 1980. Tryptophan and the control of triglyceride and carbohydrate metabolism in the rat. *Br. J. Nutr.* 43, 349–356. doi:10.1079/BJN19800097
- Floyd, J.C., Fajans, S.S., Conn, J.W., Knopf, R.F., Rull, J., 1966. Stimulation of insulin secretion by amino acids. *J. Clin. Invest.* 45, 1487–502. doi:10.1172/JCI105456
- Francesconi, P., Mager, M., 1974. L-Tryptophan: effects on body temperature in rats. *Am. J. Physiol.* 227, 402–405.
- Friendship, R.B., Henry, S.C., 1992. Cardiovascular system, hematology and clinical chemistry., in: Leman, A.D., Straw, B.E., D’Allaire, S., Mengeling, W.L., Taylor, D.J. (Ed.), *Diseases of Swine*. Iowa State University Press, Ames, Iowa, U.S.A., pp. 1–20.
- Gómez-Carballar, F., Lara, L., Nieto, R., Aguilera, J.F., 2013. Effect of increasing lysine supply during last third of gestation on reproductive performance of Iberian sows. *Span. J. Agric. Res.* 11: 798 – 807.
- Gullino, P., Winitz, M., Birnbaum, S.M., Cornfield, J., Otey, M.C., Greenstein, J.P., 1955. The toxicity of individual essential amino acids and their diastereomers in rats and the effect on blood sugar levels. *Arch. Biochem. Biophys.* 58, 253–255. doi:10.1016/0003-9861(55)90118-1
- Guzik, a C., Matthews, J.O., Kerr, B.J., Bidner, T.D., Southern, L.L., 2006. Dietary tryptophan effects on plasma and salivary cortisol and meat quality in pigs. *J. Anim. Sci.* 84, 2251–9. doi:10.2527/jas.2005-292
- Guzik, A.C., Shelton, J.L., Southern, L.L., Kerr, B.J., Bidner, T.D., 2005. The tryptophan requirement of growing and finishing barrows. *J. Anim. Sci.* 83, 1303–1311.
- Haese, D., Donzele, J.L., Flávia, R., Oliveira, M. De, Lobão, M., Abreu, T. De, Carlos, F., Silva, D.O., Saraiva, A., 2006. Níveis de triptofano digestível em rações para suínos machos castrados de alto potencial genético para deposição de carne na carcaça dos 60 aos 95 kg. *Rev. Bras. Zootec.* 35, 2309–2313.
- Henry, Y., Sève, B., Colléaux, Y., Ganier, P., Saligaut, C., Jégo, P., 1992. Interactive effects of dietary levels of tryptophan and protein on voluntary feed intake and growth performance in pigs, in relation to plasma free amino acids and hypothalamic serotonin. *J. Anim. Sci.* 70, 1873–87.
- Jain, N.C., 1993. *Essentials of Veterinary Hematology*. Lea & Febiger, Philadelphia.

- Jansman, a J.M., van Diepen, J.T.M., Melchior, D., 2010. The effect of diet composition on tryptophan requirement of young piglets. *J. Anim. Sci.* 88, 1017–27. doi:10.2527/jas.2008-1627
- Koopmans, S.J., Guzik, A.C., Meulen, J. Van Der, Dekker, R., Kogut, J., Kerr, B.J., Southern, L.L., 2006. Effects of supplemental L -tryptophan on serotonin , cortisol , intestinal integrity , and behavior in weanling piglets. *J. Anim. Sci.* 84, 963–971.
- Lakshmanan, M.R., Nepokroeff, C.M., Porter, J.W., 1972. Control of the Synthesis of Fatty-Acid Synthetase in Rat Liver by Insulin, Glucagon, and Adenosine 3':5' Cyclic Monophosphate. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 69, 3516–3519. doi:10.1073/pnas.69.12.3516
- Le Floch, N., Seve, B., 2007. Biological roles of tryptophan and its metabolism: Potential implications for pig feeding. *Livest. Sci.* 112, 23–32. doi:10.1016/j.livsci.2007.07.002
- McDaniel, H.G., Boshell, B.R., Reddy, W.J., 1973. Hypoglycemic Action of Tryptophan. *Diabetes* 22, 713–718. doi:10.2337/diab.22.9.713
- Meyer, D.J., Harvey, J.W., 2004. *Veterinary Laboratory Medicine: Interpretation and Diagnosis*, 2nd ed. Saunders, Philadelphia.
- Miyazawa, S., Sakurai, T., Shindo, Y., Imura, M., Hashimoto, T., 1975. The Effect of Tryptophan Administration on Fatty Acid Synthesis in the Livers of Rats under Various Nutritional Conditions. *J. Biochem.* 78, 139–147.
- Mongin, P., 1981. Recent advances in dietary anion-cation balance: applications in poultry. *Proc. Nutr. Soc.* 40, 285–294.
- Newman, D.J., Price, C.P., 1999. Renal function and nitrogen metabolites, in: BURTIS, C.A. and ASWOOD, E.R. (Ed.), *Tietz Textbook of Clinical Chemistry*. W.B. Saunders Company, Philadelphia, pp. 1204–1270.
- NRC, 2012. National Research Council. *Nutrient Requirements of Swine.*, Eleventh R. ed. Washington, D.C. National Academic of Science.
- Oliveira, V., 2004. Influência de rações com baixos teores de proteína bruta no balanço de nitrogênio e retenção tecidual em suínos em crescimento. Universidade Federal de Lavras, UFL. Lavras, MG.
- Paredes, S.D., Marchena, A.M., Bejarano, I., Espino, J., Barriga, C., Rial, R. V., Reiter, R.J., Rodriguez, A.B., 2009. Melatonin and tryptophan affect the activity-rest rhythm, core and peripheral temperatures, and interleukin levels in the ringdove: Changes with age. *Journals Gerontol. - Ser. A Biol. Sci. Med. Sci.* 64, 340–350. doi:10.1093/gerona/gln054
- Pereira, A.A., Donzele, J.L., Oliveira, R.F.M., Abreu, M.L.T., Silva, F.C.O., Martins, M.S., 2008. Níveis de triptofano digestível em rações para suínos machos castrados

- de alto potencial genético na fase dos 97 aos 125 kg. *Rev. Bras. Zootec.* 37, 1984–1989.
- Ponter, A.A., Sève, B., Morgan, L.M., 1994. Intra-gastric tryptophan reduces glycemia after glucose, possibly via glucose-mediated insulinotropic polypeptide, in early-weaned piglets. *J. Nutr.* 124, 259–267.
- Reed, E.B., Tarver, H., 1975. The influence of diet on the lipogenic response to thyroxine in rat liver. *Life Sci.* 17, 1785–1797. doi:10.1016/0024-3205(75)90461-0
- Rosen, F., Nichol, C.A., 1964. Studies on the nature and specificity of the induction of several adaptive enzymes responsive to cortisol. *Adv. Enzyme Regul.* 2, 115–135. doi:10.1016/S0065-2571(64)80009-1
- Rossoni, M.C., Donzele, J.L., Silva, F.C.O., Oliveira, R.F.M., Abreu, M.L.T., Santos, F.A., Kill, J.L., Carlos, C.M., 2009. Exigência de lisina digestível de fêmeas suínas selecionadas para deposição de carne magra, na carcaça dos 15 aos 30 kg. *Revi. Bras. Saúde Prod. An.* 10, 586–595.
- Rostagno, H.S., Donzele, J.L., Gomes, P.C., Oliveira, R.F., Lopes, D.C., F.A.S., Barreto, S.L.T., Euclides, R., 2011. *Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos. Composição de Alimentos e Exigências Nutricionais.*, 3rd ed. UFV, Departamento de Zootecnia, Viçosa, MG.
- Rozenboim, I., Miara, L., Wolfenson, D., 1998. The thermoregulatory mechanism of melatonin-induced hypothermia in chicken. *Am. J. Physiol.* 274, R232–R236.
- Saarela, S., Reiter, R.J., 1994. Function of melatonin in thermoregulatory processes. *Life Sci.* 54, 295–311. doi:10.1016/0024-3205(94)00786-1
- Salter, J.A., Tokach, M.D., DeRouchey J.M., Dritz, S.S., Goodband, R.D., Nelssen, J.L., 2013. Effects of standardized ileal digestible tryptophan: lysine in diets containing 30 % dried distillers grains with solubles on finishing pig performance and carcass traits. *J. Anim. Sci.* 91, 3244–3252. doi:10.2527/jas2012-5502
- Santos, F.A., Donzele, J.L., Silva, F.C.O., Oliveira, R.F.M., Abreu, M.L.T., Saraiva, A., Haese, D., Lima, A.L., 2011. Níveis de lisina digestível para suínos machos castrados de alto potencial genético dos 95 aos 125 kg. *Rev. Bras. Zootec.* 40, 1038–1044.
- Sellers, A., Bloxham, D.P., Munday, K.A., Akhtar, M., 1974. Anti-anabolic effects of adenosine 3':5'-cyclic monophosphate. Inhibition of protein synthesis. *Biochem. J.* 138, 335–340.
- Shen, Y. Bin, Voilque, G., Kim, J.D., Odle, J., Kim, S.W., 2012a. Effects of increasing tryptophan intake on growth and physiological changes in nursery pigs. *J. Anim. Sci.* 90, 2264–2275. doi:10.2527/jas.2011-4203

- Shen, Y. Bin, Voilque, G., Odle, J., Kim, S.W., 2012b. Dietary L -Tryptophan Supplementation with Reduced Large Neutral Amino Acids Enhances Feed Efficiency and Decreases Stress Hormone Secretion in Nursery Pigs under Social-Mixing Stress. *J. Nutr.* 142, 1540–1546. doi:10.3945/jn.112.163824.(20).
- Smith, S., Pogson, C., 1977. Tryptophan and the control of plasma glucose concentrations in the rat. *Biochem. J.* 168, 495–506.
- Sugden, D., 1989. Melatonin biosynthesis in the mammalian pineal gland. *Experientia* 45, 922–932. doi:10.1007/BF01953049
- Susenbeth, A., 1995. Factors affecting lysine utilization in growing pigs : an analysis of literature data. *Livest. Prod. Sci.* 43, 193–204.
- Taylor, M., 1976. Effects of l-tryptophan and l-methionine on activity in the rat. *Br. J. Pharmacol.* 58, 117–119. doi:10.1111/j.1476-5381.1976.tb07699.x
- Wing, D.R., Salaman, M.R., Robinson, D.S., 1966. Clearing-factor lipase in adipose tissue. Factors influencing the increase in enzyme activity produced on incubation of tissue from starved rats *<italic>in vitro</italic>*. *Biochem. J.* 99, 648–656.
- Young, J.W., Shrago, E., Lardy, H.A., 1964. Metabolic Control of Enzymes Involved in Lipogenesis and Gluconeogenesis \*. *Biochemistry* 3, 1687–1692. doi:10.1021/bi00899a015
- Zhang, H., Yin, J., Li, D., Zhou, X., Li, X., 2007. Tryptophan enhances ghrelin expression and secretion associated with increased food intake and weight gain in weanling pigs. *Domest. Anim. Endocrinol.* 33, 47–61. doi:10.1016/j.domaniend.2006.04.005

## **VI. Considerações finais**

A suplementação de triptofano para leitões em aleitamento parece ter efeito sobre o desempenho após o desmame. Considerando os estudos em que relatam os efeitos da 5-hidroxitriptamina (5-HT) sobre o consumo de alimento, bem como a estimulação da grelina (hormônio da fome) pela maior concentração de 5-HT, estudos devem ser realizados neste mesmo sentido, porém, com doses maiores de suplementação de triptofano. Esta suplementação ainda pode ser associada com o sistema de “creep-feeding” na maternidade. Assim, quando aliados, o estímulo do consumo de alimento (em razão do aumento na produção de 5-HT) ao contato com o alimento, os resultados poderiam ser mais expressivos, porque quanto mais cedo o contato com a dieta sólida, melhor será o desenvolvimento do trato digestório, o que pode ser benéfico no momento do desmame, período em que os leitões deixam de consumir a dieta líquida e passam a consumir somente a dieta sólida.

A determinação dos aminoácidos digestíveis dos ingredientes, ou das rações experimentais, é fundamental para a obtenção dos níveis reais dos aminoácidos em estudos de exigências, assim como dos demais aminoácidos essenciais, uma vez que a falta de um único pode limitar o desempenho dos suínos. Isto pode permitir a obtenção de valores de exigências mais acurados, contribuindo para a formulação de dietas mais precisas, capazes de atender de forma mais eficiente as exigências nutricionais dos suínos. Além disso, as interações metabólicas entre os aminoácidos, sejam elas positivas ou negativas, devem ser consideradas ao se proceder com a formulação das dietas para determinação das exigências dos aminoácidos em estudo.

O estudo simultâneo de níveis de triptofano e lisina parece reduzir a relação ideal entre estes aminoácidos. A relação obtida para suínos machos castrados, dos 15 aos 30 kg de peso vivo (17,5:100), é inferior às relações apresentadas em algumas tabelas de exigência, que recomendam um nível de proteína bruta superior ao utilizado. No mesmo sentido, relações inferiores ainda são propostas e coincidentemente sugerem um nível de nitrogênio dietético inferior ao utilizado neste estudo.

A ausência de um efeito quadrático para os parâmetros de desempenho, profundidade do músculo *Longissimus dorsi* e espessura de toucinho em função dos níveis de lisina digestível, para fêmeas suínas dos 15 aos 30 kg, pode estar relacionado aos níveis estudados, uma vez que se obteve efeito linear (redução) para a conversão alimentar. O uso de um nível de lisina abaixo ou acima dos estudados poderia proporcionar uma resposta quadrática, estimado um nível ótimo deste aminoácido que, provavelmente, assim como para o triptofano, seria maior em relação ao valor obtido para os suínos machos castrados.

Mais estudos devem ser realizados no sentido de determinar, simultaneamente, a exigência de dois ou mais aminoácidos, pois existem interações e/ou antagonismos que podem ocorrer, à exemplo do triptofano e aminoácidos neutros. Quando determinadas simultaneamente, as exigências e as relações ideais entre estes aminoácidos podem ser alteradas e, possivelmente, pode-se formular dietas com valores de exigências mais próximas das necessidades dos animais.