

Efeito do rácio triptofano:lisina em regimes de baixa proteína no crescimento de suínos entre os 20-40 kg de peso vivo

Alexandre Manuel Delgado Roxo

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Zootécnica – Produção Animal

Orientador: Professor Doutor João Pedro Bengala Freire

Júri:

Presidente: Doutor Rui Manuel de Vasconcelos Horta Caldeira, Professor Catedrático da
Faculdade de Medicina Veterinária da Universidade de Lisboa

Vogais: Doutor João Pedro Bengala Freire, Professor Catedrático do Instituto
Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

Doutora Luísa Almeida Lima Falcão e Cunha, Professora Associada com
agregação do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Arlindo e Maria, pela educação, pelas oportunidades, por todos os esforços que fizeram de forma a permitirem tornar-me no que sou hoje. A eles, assim como aos meus irmãos, Francisco e Susana, também por todo o amor, carinho, compreensão e apoio que sempre me deram ao longo da minha vida e desta jornada.

Ao Prof. Dr. João Bengala Freire, meu orientador, pela sugestão do tema, pela transmissão de conhecimentos, por todo o apoio, confiança, disponibilidade, compreensão e amizade ao longo da realização deste trabalho.

À empresa Indukern Portugal, na pessoa da Eng^a. Teresa Costa, sem o apoio técnico e financeiro não teria sido possível a realização deste trabalho.

À Ana Teresa, uma amiga que me viu nascer e crescer, por ser um apoio, pelo seu incentivo, ajuda e influência no meu percurso de vida e académico.

Ao meu grande amigo Marco Martins, por toda a amizade, sinceridade, paciência, apoio, aconselhamento, força e motivação transmitida ao longo deste trabalho; por me desafiar a inovar e ajudar a crescer e pensar mais além.

À minha amiga Milene Pereira, pela amizade, sinceridade, compreensão e ajuda ao longo da realização deste trabalho.

Ao José Costa, Guilherme Monteiro e Tiago Caferra, companheiros de casa, pelo incentivo, apoio constante, pela disponibilidade e ajuda sempre que necessária.

Ao João Gomes, amigo e colega de curso, pela amizade, pela disponibilidade e pelas horas prestadas neste ensaio.

À Isabel Tavares, Lúcia Ribeiro e Telmo Dias pela amizade e apoio que sempre me concederam.

Ao Eng. Bruno Correia pela disponibilidade e ajuda durante o ensaio experimental.

A todos, o meu profundo e sincero obrigado ...

RESUMO

O efeito de diferentes rácios triptofano:lisina digestíveis ileais standard, em regimes com baixo teor em proteína bruta, sobre as performances zootécnicas de suínos dos 20 aos 40 kg foi estudado usando 120 suínos, num ensaio de cinco semanas. Os 120 suínos foram distribuídos por 4 regimes experimentais, 30 animais cada e instalados em parques à razão de 3 por parque. O regime 1, foi o regime controlo, com um nível de proteína bruta de 16,5% e um rácio triptofano:lisina digestível ileal standard de 20,7%; os regimes 2, 3 e 4 foram regimes com baixo teor em proteína bruta (14,5%) e os rácios triptofano:lisina digestíveis ileais standard foram de 17,4%, 20,5% e 23,5% respetivamente.

A ingestão média diária e o ganho médio diário diminuíram nos suínos alimentados com o regime 2 comparativamente aos suínos alimentados com o regime 1 ($P=0,0432$; $P=0,0187$, respetivamente). A ingestão média diária, o ganho médio diário e o índice de conversão não foram significativamente diferentes entre os regimes 1 e 3 e 3 e 4. Estes resultados indicam que é possível reduzir o teor de proteína bruta em dois pontos percentuais desde que seja mantido o equilíbrio no rácio triptofano:lisina digestível ileal standard em 20,5%.

Palavras-chave: suínos, proteína bruta, rácio triptofano:lisina, ingestão, ganho médio diário, índice de conversão

ABSTRACT

The effect of different standardized ileal digestible tryptophan:lysine ratios, in diets with low crude protein on the zootechnical performances of pigs between 20 and 40 kg, was studied using 120 pigs in a five week trial. The 120 pigs were allotted to four experimental diets, 30 animals per diet and placed in cages in groups of 3 pigs per cage. Diet 1 was the control diet, with a level of 16,5% crude protein and standardized ileal digestible tryptophan:lysine ratio of 20,7%; diets 2, 3 and 4 were diets with a low crude protein level (14,5%) and the standardized ileal digestible tryptophan:lysine ratios were 17,4%, 20,5% and 23,5%, respectively.

The average daily feed intake and the average daily gain decreased in pigs fed diet 2 compared to pigs fed diet 1 ($P=0,0432$; $P=0,0187$, respectively). The average daily feed intake, average daily gain and feed conversion ratio were not significantly different between diets 1 and 3 and between diets 3 and 4. These results suggest that it is possible to reduce the level of crude protein in two percentage points, as long as balance is maintained in the standardized ileal digestible tryptophan:lysine ratio at 20,5%.

Key-words: pigs, crude protein, tryptophan:lysine ratio, intake, average daily gain, feed conversion ratio

EXTENDED ABSTRACT

Tryptophan is an essential amino acid in protein synthesis. Furthermore, it is involved in regulating feed intake through the production of serotonin in the brain and production of the hormones melatonin and ghrelin in the gastrointestinal tract. It also contributes to the maintenance of the health status of pigs, as it is involved in controlling the immunity response, animal behavior and the swines' response to stress.

The aim of the present study was to analyze the effect of different standardized ileal digestible tryptophan:lysine ratios, in low crude protein diets, where lysine was the second limiting amino acid after tryptophan, on the performances of 20 to 40 kg pigs. One hundred and twenty gilts (Large White x Landrace) x Pietrain were allotted in to four groups of 30 animals each and housed in pens, with each pen containing three pigs. Each group of pigs had ad libitum access to one of the four experimental diets during five weeks. Diet 1 was the control diet, with a 16,5% crude protein level and a standardized ileal digestible tryptophan:lysine ratio of 20,7%. In diets 2, 3 and 4, the level of crude protein was reduced by two percentage points relative to diet 1 and standardized ileal digestible tryptophan:lysine ratios were 17,4%, 20,5% and 23,5%, respectively.

The average daily feed intake and feed conversion ratio were calculated per pen while the average daily gain was calculated individually. The zootechnical parameters were analyzed per week and for the whole experimental period. In the total five weeks, the average daily gain of the pigs in the four diets was 653 g, the average daily feed intake was 1322 g and the feed conversion ratio was 2,06. The values obtained in diets 1, 2, 3 and 4, considering the total five week period, were, for average daily gain 671 g, 634 g, 647 g and 661 g, respectively, for average daily feed intake 1347 g, 1295 g, 1326 g and 1319 g, respectively and for feed conversion ratio 2,03, 2,07, 2,10 and 2,03, respectively.

In diets with low crude protein level, the increase of the standardized ileal digestible tryptophan:lysine ratio influenced significantly the average daily gain (diet 2 vs diet 3, $P=0,0038$ and diet 2 vs diet 4, $P=0,0070$) and the feed conversion ratio of the pigs (diet 2 vs diet 4, $P<0,0001$ and diet 3 vs diet 4, $P=0,0036$), in the first week of the trial. The pigs on diets 3 and 4 had a 10 and 9% higher average daily gain, respectively, than pigs on diet 2, in the first week. Regarding feed conversion ratio, the pigs fed diets 2 and 3 had a feed conversion ratio 8 and 5% higher, respectively, than pigs fed diet 4, in the first week of the trial. For the entire trial, the pigs fed the low crude protein diet without a balanced standardized ileal digestible tryptophan:lysine ratio (diet 2) had a significant loss in the average daily feed intake ($P=0,0432$) and in the average daily gain ($P=0,0187$) comparatively to the pigs fed diet 1. The average daily feed intake, the average daily gain and the feed conversion ratio were not significantly different between diets 1 and 3 and 3 and 4.

The results show that it is possible to reduce the crude protein level in two percentage points without depressing the zootechnical performances of the pigs as long as balance is maintained in the standardized ileal digestible tryptophan:lysine ratios at 20,5%.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	II
RESUMO	III
ABSTRACT	IV
EXTENDED ABSTRACT	V
ÍNDICE GERAL	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE QUADROS	X
LISTA DE ABREVIATURAS	XII
1 - INTRODUÇÃO	1
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
2.1 - Formas de expressão das necessidades azotadas nos suínos	2
2.2 - Aminoácidos	4
2.2.1 - Aminoácidos essenciais e não essenciais	4
2.2.2 - Aminoácidos limitantes nas dietas de suínos	7
2.2.3 - Conceito de proteína ideal	8
2.3 - Redução do teor de proteína na dieta de suínos	10
2.3.1 - Redução da proteína bruta com recurso à suplementação de aminoácidos livres	11
2.4 - O triptofano	12
2.4.1 - Estrutura química	12
2.4.2 - O triptofano na regulação do apetite	12
2.4.3 - Metabolismo do triptofano no controle da resposta imunitária e manutenção da saúde	15
2.4.4 - Efeito das condições sanitárias nas necessidades de triptofano	16
2.4.5 - O triptofano no controle da resposta ao stress e no comportamento	17

2.5 - Aminoácidos ramificados	18
2.5.1 - Interação dos aminoácidos ramificados	18
2.5.2 - Necessidade dos rácios dos aminoácidos ramificados para lisina	19
2.6 - Rácio triptofano:lisina nos suínos	21
2.6.1 - Efeito do rácio triptofano:lisina na resposta zootécnica de suínos dos 7 aos 25 kg	21
2.6.2 - Efeito do rácio triptofano:lisina na resposta zootécnica de suínos dos 25 aos 50 kg	24
2.6.3 - Efeito do rácio triptofano:lisina na resposta zootécnica de suínos em acabamento	28
3 - MATERIAIS E MÉTODOS	31
3.1 - Animais	31
3.2 - Regimes alimentares	32
3.3 - Protocolo experimental	33
3.4 - Análises químicas aos regimes alimentares	34
3.5 - Performances zootécnicas avaliadas	35
3.6 - Análise estatística	36
4 - RESULTADOS	37
4.1 - Composição dos regimes alimentares	37
4.2 - Estado de saúde e performances zootécnicas	39
5 - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	46
6 - CONCLUSÃO	50
7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
8 - ANEXOS	64
Anexo A - Composição química (%) das matérias-primas	64
Anexo B - Composição química (%) dos regimes experimentais: Resultados analíticos	65
Anexo C - Aminoácidos digestíveis ileais standard dos regimes experimentais	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura geral dos aminoácidos	4
Figura 2 - Aminoácidos essenciais e vias de síntese de aminoácidos semi-essenciais e não-essenciais (Boisen, 2003)	6
Figura 3 - Estrutura química do triptofano	12
Figura 4 - Via metabólica do triptofano para a síntese de serotonina (Le Floc'h e Sève, 2007)	13
Figura 5 - Catabolismo do triptofano ao longo da via quinurenina (Le Floc'h e Sève, 2007)	15
Figura 6 - Representação gráfica da resposta do GMD em função do rácio Trp:Lys DIS dos regimes de suínos (7-25 kg) apresentados no quadro 3, com os modelos linear plateau e curvilíneo plateau	23
Figura 7 - Representação gráfica da resposta do IC em função do rácio Trp:Lys DIS dos regimes de suínos (7-25 kg) apresentados no quadro 3, com os modelos linear plateau e curvilíneo plateau	24
Figura 8 - Representação gráfica da resposta do GMD em função do rácio Trp:Lys DIS dos regimes de suínos (25-50 kg) apresentados no quadro 5, com os modelos linear plateau e curvilíneo plateau	27
Figura 9 - Representação gráfica da resposta do IC em função do rácio Trp:Lys DIS dos regimes de suínos (25-50 kg) apresentados no quadro 5, com os modelos linear plateau e curvilíneo plateau	27
Figura 10 - Representação gráfica da resposta do GMD em função do rácio Trp:Lys DIS dos regimes de suínos em acabamento apresentados no quadro 7, com os modelos linear plateau e curvilíneo plateau	30
Figura 11 - Representação gráfica da resposta do IC em função do rácio Trp:Lys DIS dos regimes de suínos em acabamento apresentados no quadro 7, com os modelos linear plateau e curvilíneo plateau	30
Figura 12 - Sala de ensaio e suínos alojados no parque	31
Figura 13 - Esquema do ensaio experimental	34
Figura 14 - Representação gráfica da resposta do GMD em função do rácio Trp:Lys DIS dos regimes dos suínos utilizados no presente ensaio, com os modelos linear plateau e curvilíneo plateau	48

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Aminoácidos limitantes em ingredientes alimentares selecionados e em dietas simples para suínos (Adaptado de Cromwell, 2004)	7
Quadro 2 - Rácios ideais de aminoácidos em relação à lisina para manutenção e retenção proteica (NRC, 1998)	9
Quadro 3 - Efeito de diferentes rácios triptofano:lisina no ganho médio diário e índice de conversão em suínos dos 7 aos 25 kg	21
Quadro 4 - Resposta do GMD e IC em função da relação Trp:Lys DIS dos regimes de suínos (7-25 kg) apresentados no quadro 3, analisada de acordo com os modelos linear plateau ($Y = L + U(R-X)$ com $R-X=0$ quando $X>R$) e curvilíneo plateau ($Y = L + V(R-X)(R-X)$ com $R-X=0$ quando $X>R$)	22
Quadro 5 - Efeito de diferentes rácios triptofano:lisina no ganho médio diário e índice de conversão em suínos dos 25 aos 50 kg	25
Quadro 6 - Resposta do GMD e IC em função da relação Trp:Lys DIS dos regimes de suínos (25-50 kg) apresentados no quadro 5, analisada de acordo com os modelos linear plateau ($Y = L + U(R-X)$ com $R-X=0$ quando $X>R$) e curvilíneo plateau ($Y = L + V(R-X)(R-X)$ com $R-X=0$ quando $X>R$)	26
Quadro 7 - Efeito de diferentes rácios triptofano:lisina no ganho médio diário e índice de conversão em suínos em acabamento	28
Quadro 8 - Resposta do GMD e IC em função da relação Trp:Lys DIS dos regimes de suínos em acabamento, apresentados no quadro 7, analisada de acordo com os modelos linear plateau ($Y = L + U(R-X)$ com $R-X=0$ quando $X>R$) e curvilíneo plateau ($Y = L + V(R-X)(R-X)$ com $R-X=0$ quando $X>R$)	29
Quadro 9 - Composição decimal dos regimes experimentais (g/kg)	32
Quadro 10 - Composição dos regimes experimentais em proteína bruta, lisina, treonina, metionina, triptofano, valina, isoleucina e leucina	33
Quadro 11 - Índice de consistência fecal e respetivo estado das fezes	34
Quadro 12 - Composição dos regimes experimentais em proteína bruta, lisina, treonina, metionina, triptofano, valina, isoleucina e leucina: resultados analíticos	37
Quadro 13 - Composição dos regimes em lisina, treonina, metionina, cistina, triptofano, valina, isoleucina e leucina (DIS %) e respetivos rácios em relação à lisina	38
Quadro 14 - Efeito do teor de proteína bruta e da relação triptofano:lisina no peso vivo (kg) e no ritmo de crescimento (GMD) dos suínos	40
Quadro 15 - Efeito do teor de proteína bruta e da relação triptofano:lisina na ingestão de alimento e no índice de conversão dos suínos	42
Quadro 16 - Equações de regressão linear ($Y = ax + b$) que traduzem a evolução do peso vivo dos suínos (Y) com a idade (x)	43

Quadro 17 - Efeito do teor de proteína bruta e da relação triptofano:lisina nos parâmetros que traduzem a evolução do peso dos suínos em função da idade ($Y = ax + b$) 44

Quadro 18 - Variação do GMD em função da relação Trp:Lys DIS dos regimes dos suínos analisada de acordo com os modelos linear plateau ($Y = L + U(R-X)$ com $R-X=0$ quando $X > R$) e curvilíneo plateau ($Y = L + V(R-X)(R-X)$ com $R-X=0$ quando $X > R$) 45

LISTA DE ABREVIATURAS

AA – Aminoácidos

AAE – Aminoácidos essenciais

AANE – Aminoácidos não essenciais

Ala – Alanina

ARC - Agriculture Research Council

Arg – Arginina

Asn – Asparagina

Asp – Ácido aspártico

BCAA – Aminoácidos de cadeia ramificada

BCKA – α -cetoácidos de cadeia ramificada

BCKDH – Desidrogenase de α -cetoácidos de cadeia ramificada

BHE – Barreira hematoencefálica

CSA – Células de sangue atomizadas

Cys – Cistina

DIS – Digestível ileal standard

EN – Energia Net

Gln – Glutamina

Glu – Ácido glutâmico

Gly – Glicina

GMD – Ganho médio diário

His – Histidina

IC – Índice de conversão alimentar

IDO – Indoleamina-2,3-dioxigenase

Ile – Isoleucina

IMD – Ingestão média diária

INT- γ – Interferão Gama

ISA – Instituto Superior de Agronomia

KIC – α -cetoisocaproato

KIV – α -cetoisovalerato

KMV – α -ceto- β -metil-valerato

Leu – Leucina

LNAA – Aminoácidos neutros

Lys – Lisina

MCP – Modelo Curvilíneo Plateau

Met – Metionina

MLP – Modelo Linear Plateau

N – Azoto

PB – Proteína bruta

Phe – Fenilalanina

Pro – Prolina

R1 – Regime 1

R2 – Regime 2

R3 – Regime 3

R4 – Regime 4

Ser – Serina

TDO – Triptofano-2,3-dioxigenase

Thr – Treonina

Trp – Triptofano

Tyr – Tirosina

Val – Valina

1 - INTRODUÇÃO

Durante a última década a intensificação da produção de suínos tem levantado preocupações crescentes sobre o impacto ambiental, motivando a procura de alternativas que visem reduzir este problema. A utilização de estratégias nutricionais com o objetivo de aumentar a eficiência da utilização de azoto (N) dietético como um pré-requisito para a redução da excreção azotada têm sido vistas como uma solução.

A redução do nível de proteína bruta (PB) de dietas suplementadas com aminoácidos (AA) limitantes livres é referida como uma estratégia que oferece grande potencial na redução da excreção azotada (Shriver et al., 2003). A crescente disponibilidade de AA livres permite a redução do teor de PB nas dietas de suínos em associação com a suplementação adequada de AA, mantendo um fornecimento suficiente de aminoácidos essenciais (AAE) sem influenciar o crescimento dos animais (Kerr et al., 2003a). Para além da pressão ambiental, também os custos elevados das matérias-primas, nomeadamente das fontes proteicas, tem tornado a conjuntura muito favorável à redução do teor de PB dos regimes com recurso à suplementação de AA livres, pois um melhor uso das proteínas alimentares permite a redução do custo da alimentação dos animais (Gloaguen et al., 2013).

As necessidades dos AA são geralmente expressas em relação à concentração dietética de lisina (Lys). Atualmente, a forma mais precisa de exprimir a relação entre os AA é em digestibilidade ileal standard (NRC, 2012). Já estão bem estabelecidas as relações dos AA primeiro limitantes, treonina (Thr):Lys e AA sulfurados:Lys, expressas em digestibilidade ileal standard para suínos alimentados com dietas reduzidas em PB suplementadas com AA livres (Zhang et al., 2012). No que respeita à necessidade do rácio triptofano (Trp):Lys digestível ileal standard (DIS) a maioria da pesquisa tem-se focado na determinação da necessidade em leitões no pós-desmame (Quant et al., 2012). Porém, os dados disponíveis para suínos em crescimento são escassos (Zhang et al., 2012). Assim, este trabalho tem como objetivo estudar o efeito da variação do rácio Trp:Lys DIS, sobre as performances zootécnicas de suínos dos 20-40 kg, em dietas de baixo teor em PB.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - Formas de expressão das necessidades azotadas nos suínos

Durante largos anos, as dietas para suínos foram formuladas para satisfazer as necessidades de **proteína bruta (PB)** (Lewis, 2001). A PB é uma medida da proteína dos alimentos que se calcula multiplicando o conteúdo em azoto (N) por 6,25, doseado mediante o método de kjeldahl. Esta estimativa baseia-se em dois pressupostos: em primeiro lugar, todo o N dos alimentos encontra-se sob a forma de proteína e, em segundo lugar, todas as proteínas contêm 16 g N/100 g de proteína (McDonald et al., 2006).

Com a utilização crescente de uma maior variedade de matérias-primas nas dietas e com o conhecimento, tanto das necessidades dos suínos como da composição dos alimentos em aminoácidos (AA), verificou-se que a formulação de rações tendo por base os AA em vez de PB era uma abordagem muito mais exata para responder às necessidades azotadas dos animais (Lewis, 2001; Bergen, 2007). Neste seguimento, a formulação de dietas com base em **AA totais** emerge como uma forma de atender às exigências dos suínos nestes nutrientes. Contudo esta técnica veio a verificar-se como sendo insuficiente, pois não contemplava a disponibilidade dos AA nos alimentos para o animal (Creswell e Swick, 2001).

O conhecimento dos coeficientes de utilização digestiva a nível fecal ou ileal, representou um novo e importante progresso na forma de expressão das necessidades azotadas. Os coeficientes de digestibilidade baseados na recolha e análise dos produtos da digestão chegados ao íleo terminal consideram-se atualmente como uma medida mais exata dos AA realmente absorvidos (McDonald et al., 2006), pois os AA que atravessam a última parte do intestino delgado, o íleo, para o intestino grosso têm pouco ou nenhum valor nutritivo para o animal (Rérat, 1978; Mosenthin et al., 1992) e poderão ser metabolizados por microrganismos no intestino grosso e conseqüentemente excretados sob a forma de ureia na urina ou como proteína microbiana nas fezes (Almeida e Stein, 2012). Assim não surpreende que Sauer e Ozimek (1986), citados por NRC (2012), tivessem verificado uma superioridade da digestibilidade ileal sobre a digestibilidade fecal dos AA, encontrando correlações mais elevadas entre o ganho diário e a eficiência alimentar com as medidas de digestibilidade ileal do que com a digestibilidade medida a partir da coleta fecal.

As medidas de **digestibilidade ileal ou fecal aparentes** de AA são calculadas como a percentagem dos AA ingeridos que não aparecem na digesta ileal ou nas fezes (Mosenthin et al., 2000; Mosenthin e Rademacher, 2003). O uso do termo “aparente” implica que não foi feita qualquer correção para a perda endógena de AA (Mosenthin et al., 2000; Mosenthin e Rademacher, 2003). Esta perda endógena é constituída por substâncias que não correspondem aos alimentos, provenientes da saliva, de secreções gástricas, biliares e

pancreáticas, assim como células de descamação do epitélio intestinal (McDonald et al., 2006; Almeida e Stein, 2012). Pode dividir-se em duas frações, uma inerente ao animal (perda endógena não específica ou basal) e outra inerente ao alimento (perda endógena específica) (Stein et al., 2007a).

A perda endógena não específica, depende da quantidade de matéria seca que atravessa o trato digestivo e representa a quantidade mínima de proteínas e AA perdidos inevitavelmente pelo animal (Moter e Stein, 2004). A perda endógena específica é principalmente afetada por fatores como o teor de fibra e presença de fatores antinutricionais nos ingredientes da dieta e representa a perda acima da perda endógena não específica (Schulze et al., 1995; Stein et al., 2007b).

A correção da digestibilidade ileal aparente de AA para perda endógena total (perda específica e perda não específica), permite calcular a **digestibilidade ileal real**, enquanto que a correção para a perda endógena não específica estima a **digestibilidade ileal verdadeira ou standard** (NRC, 2012). No entanto, devido às dificuldades em determinar a perda endógena total, os valores da digestibilidade real não são habitualmente determinados para os ingredientes alimentares e não são usados na formulação das dietas (Almeida e Stein, 2012). Face a isto, tem sido sugerida a utilização dos valores de digestibilidade ileal standard, pois têm mais probabilidade de serem aditivos em dietas mistas (Stein et al., 2005; Stein et al., 2007b). A aditividade de valores de digestibilidade dos AA na formulação de dietas é essencial, uma vez que os programas de formulação usam coeficientes individuais de digestibilidade para cada alimento para completar as especificações de AA. Assim, os valores de digestibilidade ileal standard permitem que os ingredientes sejam comparados de forma mais exata e contribuem para uma maior precisão da formulação de dietas (Mosenthin e Rademacher, 2003).

2.2 - Aminoácidos

Os AA são as unidades básicas que constituem as proteínas. Caracterizam-se por terem um grupo nitrogenado básico, que geralmente é um grupo amina (-NH₂) e um grupo ácido carboxílico (-COOH). A maioria dos AA são do tipo α, em que o grupo amina, o grupo carboxílico, um átomo de hidrogénio (H) e um grupo R ou cadeia lateral (que define a estrutura dos diferentes aminoácidos) se encontram unidos a um átomo de carbono (figura 1) (McDonald et al., 2006).

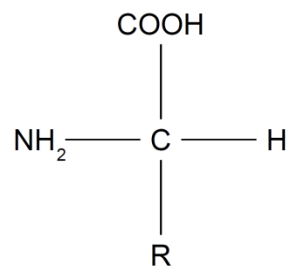


Figura 1 - Estrutura geral dos aminoácidos

Os AA podem apresentar duas configurações, dependentes da posição do grupo amina (direita ou esquerda) face ao átomo de carbono, que são diferenciadas por D- e L-. As letras D e L vem do latim *dextro* e *levo* que significa direita e esquerda, respetivamente (figura 1 exemplifica um L-aminoácido) (Campos, 1998; Weil, 2000). Estas duas configurações não são sobreponíveis, dado que uma é a imagem da outra num espelho (Freire e Quintas, 2008). Os AA de configuração L- são os utilizados na síntese proteica. No entanto, os animais também conseguem utilizar alguns AA com a configuração D-, mas estes têm de ser convertidos em L-aminoácidos através de reações de transaminação (D'Mello, 2003).

2.2.1 - Aminoácidos essenciais e não essenciais

As proteínas são constituídas por 20 AA diferentes, sendo estes classificados em aminoácidos essenciais (AAE) e aminoácidos não essenciais (AANE). Os AAE (ou indispensáveis) são classificados como tal porque não podem ser sintetizados pelos suínos, ou se sintetizados, não o são a uma taxa suficiente para satisfazer as suas necessidades. Assim, é necessário o seu fornecimento através da dieta para suportar a manutenção e crescimento do animal (NRC, 1998; Lewis, 2001). Os AANE (ou dispensáveis) são aqueles

que podem ser sintetizados a partir de metabolitos produzidos durante a oxidação da glicose, ou de grupos amina derivados de AA presentes em excesso (NRC, 1998; Boisen et al., 2000; Boisen, 2003). Como ambos os AA (AAE e AANE) são necessários ao nível fisiológico ou metabólico e as dietas de suínos geralmente contêm quantias adequadas de AANE ou de grupos amina para a sua síntese, dá-se por este motivo maior ênfase aos AAE na nutrição de suínos (NRC, 1998).

Nos suínos os AAE são 9 e incluem lisina (Lys), treonina (Thr), metionina (Met), triptofano (Trp), isoleucina (Ile), leucina (Leu), valina (Val), histidina (His) e fenilalanina (Phe) (NRC, 1998; D'Mello, 2003). A arginina (Arg) é outro AA que é considerado essencial para a maioria das espécies animais. No entanto, os suínos são capazes de sintetizar a Arg através do ciclo da ureia (Boisen et al., 2000) ou a partir da glutamina (Gln) (NRC, 1998). Contudo, a síntese de Arg não satisfaz adequadamente as necessidades de leitões em crescimento e portanto, a Arg é considerada um AA dietético semi-essencial (ou condicionalmente essencial) (Boisen et al., 2000; D'Mello, 2003; Wu, 2009). Os AA cistina (Cys) e tirosina (Tyr) também são considerados semi-essenciais uma vez que apenas podem ser sintetizados pelos animais a partir da Met e Phe, respetivamente. Portanto, as necessidades destes AA têm de incluir a soma de Met + Cys (AA sulfurados) e Phe + Tyr (AA aromáticos), respetivamente. No entanto, preencher as necessidades de Met e Phe a partir das somas (Met + Cys e Phe + Tyr) poderá não ser suficiente uma vez que a Met e a Phe não podem ser sintetizadas a partir da Cys e Tyr, respetivamente (NRC, 1998; Boisen et al., 2000).

Portanto, os AA acima referidos como semi-essenciais são AA cujas taxas de utilização são maiores que as taxas de síntese sob certas condições (Wu, 2009). Os restantes oito AA, prolina (Pro), Gln, glicina (Gly), alanina (Ala), asparagina (Asn), ácido aspártico (Asp), ácido glutâmico (Glu) e serina (Ser) são considerados AANE (NRC, 1998). Na figura 2 estão representados os AAE, AA semi-essenciais e AANE para os suínos em crescimento bem como as vias de síntese indicadas para estes dois últimos tipos de AA.

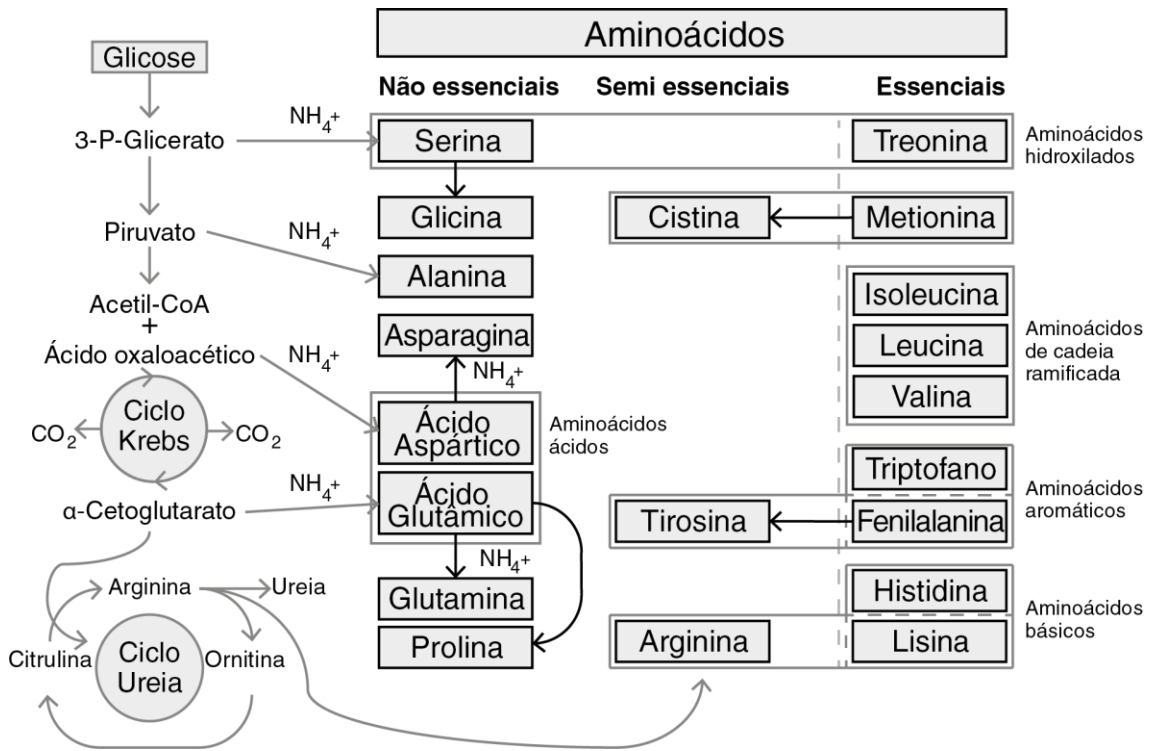


Figura 2 - Aminoácidos essenciais e vias de síntese de aminoácidos semi-essenciais e não-essenciais (Boisen, 2003)

Recentemente, o NRC (2012) passou a considerar para além dos 3 AA semi-essenciais já referidos, a Pro e Gln também como AA semi-essenciais, que eram classificados até então como AANE, uma vez que vários estudos evidenciaram que as suas taxas de utilização sob certas condições são superiores às taxas de síntese. Para a redefinição da classificação da Gln contribuíram os estudos de Boelens et al. (2001) e Stoll e Burrin (2006), que verificaram que apenas menos de um terço da ingestão de Gln dietética aparece no sangue transportado através da veia porta devido à utilização extensiva na parede intestinal e o estudo de Rhoads e Wu (2009), que evidenciou que a Gln também promove a proliferação celular e exerce efeitos citoprotectores diferenciais em resposta à privação nutricional, danos oxidativos, stress e desafios imunológicos. Em relação à redefinição da classificação da Pro contribuíram os estudos de Murphy et al. (1996), Stoll et al. (1998) e Reeds (2000), nos quais se concluiu que a síntese da Pro é dependente do metabolismo intestinal e usa precursores de AA de origem dietética em vez de origem sistémica e, o estudo de Wu (2009) que sugeriu que <60% da necessidade de Pro dietética para suínos em crescimento é satisfeita pela Pro que aparece no sangue da veia porta, implicando que >40% tenha de ser sintetizada.

2.2.2 - Aminoácidos limitantes nas dietas de suínos

O AA que estiver presente em menor quantidade numa dieta relativamente à necessidade é referido como o AA primeiro-limitante e o crescimento do suíno que consome esta dieta será afetado relativamente à extensão desta deficiência. Se a dieta for alterada para corrigir esta deficiência, o AA com a próxima concentração mais baixa em relação às suas necessidades (segundo limitante) irá determinar o desempenho do suíno (Lewis, 2001; NRC, 2012). Assim sendo, na formulação de dietas a informação sobre a ordem limitante dos AA nas matérias-primas é crucial para a elaboração de dietas equilibradas (Lewis, 2001; NRC, 2012). Exemplos da ordem de limitação para as fontes de proteína são fornecidos no quadro 1.

Quadro 1 - Aminoácidos limitantes em ingredientes alimentares selecionados e em dietas simples para suínos ^{a, b} (Adaptado de Cromwell, 2004)

Ingredientes	Aminoácidos Limitantes					
	Primeiro	Segundo	Terceiro	Quarto	Quinto	Sexto
Grãos de Cereais						
Milho	Lys	Trp	Thr	Ile	Val	M + C
Sorgo	Lys	Thr	Trp	M + C	Val	Ile
Trigo	Lys	Thr	(Ile	Val	M + C)	Trp
Cevada	Lys	Thr	M + C	Ile	(Trp	Val)
Aveia	Lys	Thr	Trp	Ile	Val	M + C
Fontes Proteicas						
Bagaço de soja	M + C	Thr	Lys	Val	Trp	Ile
Bagaço de colza	Lys	(Thr	Trp)	(Ile	Val)	M + C
Bagaço de algodão	Lys	Thr	(Ile	M + C)	(Val	Trp)
Farinha de peixe	Trp	(Thr	M + C)	Val	(Ile	Lys)
Diversos						
Plasma seco	Ile	M + C	Lys	(Thr	Val)	Trp
Células de sangue atomizadas	Ile	M + C	Thr	Trp	Lys	Val
Soro de leite em pó	M + C	(Lys	Val)	Trp	Thr	Ile
Dietas Simples						
Milho-bagaço de soja	Lys	Thr	Trp	M + C	(Val	Ile)
Milho-farinha de peixe	Trp	Lys	Thr	Ile	Val	M + C
Milho-bagaço de algodão	Lys	Thr	Trp	Ile	(Val	M + C)
Sorgo-bagaço de soja	Lys	Thr	M + C	Trp	Val	Ile
Trigo-bagaço de soja	Lys	Thr	(Ile	Val	M + C)	-
Cevada-bagaço de soja	Lys	Thr	M + C	(Ile	Val	Trp)
Aveia-bagaço de soja	Lys	Thr	Trp	-	-	-

^a Com base nas necessidades de aminoácidos totais (castrados e fêmeas de 50 kg, ganho médio diário 325 g, 3.400 Kcal ED/kg) e da composição dos ingredientes alimentares listados pelo NRC (1998);

^b Aminoácidos com parêntesis são quase igualmente limitantes;

Geralmente os grãos de cereais são a base da maioria das dietas para suínos, cobrindo entre 30-60% das necessidades em AA de suínos em crescimento/acabamento (NRC, 1998; NRC, 2012). Assim sendo, Boisen (2003) propôs a classificação dos AAE, em dois subgrupos, com base na ordem geral de limitação em dietas à base de cereais. Este autor divide os AAE em primários e em secundários. O subgrupo dos AAE primários inclui a Lys, Thr, Met, Met + Cys e Trp e o subgrupo dos AAE secundários inclui os restantes AAE, Ile, Leu, Val, His, Phe e Phe + Tyr.

Apesar de não estar listado no quadro 1, as ervilhas também são habitualmente incluídas nas dietas dos suínos. O seu equilíbrio em AA é algo semelhante ao do milho, uma vez que tem níveis baixos de Lys e Trp (NRC, 2012). Stein et al. (2004) notaram que quando incluíam a ervilha em dietas à base de milho, o Trp poderia tornar-se no primeiro-limitante porque a proteína do milho tem baixo teor deste AA.

As fontes de proteína variam consideravelmente na ordem primária dos AA limitantes, sobretudo devido a diferenças na origem entre os diferentes ingredientes das dietas. Por exemplo, o bagaço de soja tem níveis relativamente elevados de Lys comparado com os cereais, mas contém níveis relativamente baixos de AA sulfurados (que são primeiro-limitantes no bagaço de soja). Benefícios da associação entre as fontes proteicas e os cereais são evidentes, pois geralmente fornece níveis adequados de AA limitantes para o crescimento nos suínos (NRC, 2012).

2.2.3 - Conceito de proteína ideal

A proteína ideal é definida como sendo aquela que contem os AAE nas proporções necessárias, respeitando um equilíbrio adequado entre os AAE e AANE (McDonald et., 2006).

O desenvolvimento deste conceito nos suínos baseou-se em grande parte nos estudos de Fuller et al. (1979) que verificaram existir uma grande semelhança entre o equilíbrio ótimo de AA para o crescimento e retenção azotada de suínos e a composição em AA dos seus tecidos corporais (Freire, 2000). Desde aí, foi conduzida muita pesquisa para determinar o padrão ótimo de AA dietéticos ou proteína ideal nos suínos (ARC, 1981; Wang e Fuller, 1989; Fuller et al., 1989; Baker e Chung, 1992). O Agriculture Research Council (ARC) (1981) introduziu o conceito de proteína ideal nas dietas de suínos onde os AAE eram expressos em percentagem da Lys da dieta. Isto foi uma abordagem muito ousada e inovadora com o objetivo de melhorar a prática da nutrição de AA. Por esta altura tinha sido claramente identificado que a Lys era normalmente o AA primeiro-limitante nos regimes formulados à base de cereais e que a sua principal função no corpo era a síntese proteica (Baker, 1997).

No desenvolvimento do seu perfil ideal de AAE para suínos em crescimento, o ARC (1981) usou as concentrações de AA da composição da proteína corporal como base primária para a aferição dos rácios AAE:Lys. Mais tarde foi considerado um método inválido para estimar os rácios de AA devido às consideráveis diferenças entre os rácios ideais necessários para a manutenção - os quais estão incluídos nas necessidades totais - e para a retenção proteica, assim como devido às diferenças entre os AA disponíveis no pool livre do organismo e os AA dietéticos (Baker e Chung, 1992; Baker, 1997). Provavelmente 60 a 70% dos AA necessários para a síntese da proteína corporal resulta do “turnover” da proteína corporal, sendo apenas 30 a 40% fornecido através da proteína do regime (Baker, 1997).

Estas limitações levaram a que o método do ARC (1981) fosse reavaliado e mais tarde melhorado por Wang e Fuller (1989), Fuller et al. (1989) e Baker e Chung (1992) através de experiências com protocolos especificamente elaborados para se conhecer o equilíbrio ótimo de AA na proteína alimentar. Nestes trabalhos, a proteína alimentar foi totalmente substituída por AA livres, os quais se presume serem disponíveis a 100%. Estes autores propuseram novas relações ótimas entre os AA do regime, com base em AA disponíveis e não com base em AA totais (Freire, 2000).

Os trabalhos de autores como Baker e Fuller e outros estiveram na base da publicação das estimativas para o perfil ideal de AA para manutenção e retenção proteica apresentado pelo NRC (1998) (quadro 2).

Quadro 2 - Rácios ideais de aminoácidos em relação à lisina para manutenção e retenção proteica (NRC, 1998)

Aminoácidos	Manutenção ¹	Retenção Proteica ²
Lisina	100	100
Arginina	-200	48
Histidina	32	32
Isoleucina	75	54
Leucina	70	102
Metionina	28	27
Metionina + Cistina	123	55
Fenilalanina	50	60
Fenilalanina + Tirosina	121	93
Treonina	151	60
Triptofano	26	18
Valina	67	68

¹ Os dados para manutenção foram baseados nos dados de Baker et al. (1966a,b), Baker e Allee (1970) e Fuller et al. (1989). O valor negativo para a arginina reflete a sintetização de arginina em excesso das necessidades para manutenção.

² Os rácios para retenção foram obtidos a partir dos rácios de Fuller et al. (1989), sendo depois ajustados para valores que resultassem numa combinação das necessidades de manutenção + retenção, que fossem mais consistentes com valores determinados empiricamente (Baker e Chung, 1992; Baker et al., 1993; Hahn e Baker, 1995; Baker, 1997).

Os rácios para as necessidades de manutenção apresentados no quadro 2 foram determinados com as mdias dos resultados da Universidade de Illinois (Baker et al., 1966a,b; Baker e Allee, 1970) e do Rowett Research Institute (Fuller et al., 1989) e depois divididos pela necessidade para manutenção da Lys. Relativamente  Arg para manutenção, o valor de -200 reflete o facto da síntese de Arg satisfazer todas as necessidades de manutenção e algumas das necessidades para síntese proteica. A necessidade para manutenção de His não foi determinada e portanto, o rácio de manutenção foi colocado igual ao rácio para a síntese proteica. Os rácios para retenção proteica representam um ajustamento dos valores propostos por Fuller et al. (1989) de forma a se obterem relações globais para manutenção e retenção mais coerentes com os valores existentes na literatura resultantes de ensaios de crescimento (NRC, 1998).

A aplicação do conceito de proteína ideal na formulação prática dos alimentos é uma abordagem valiosa que simplifica e reforça a precisão da nutrição de AA nos suínos.

O importante benefício deste conceito reside no facto das necessidades de AAE poderem ser rapidamente calculadas depois das necessidades de Lys terem sido estabelecidas (Tuitoek et al., 1997b). No entanto, deve-se ter em atenção que as estimativas corretas das necessidades de Lys são fundamentais para assegurar que as necessidades para todos os outros AA estejam corretas (Emmert e Baker, 1997). Além do mais, a empregabilidade deste conceito ajuda a minimizar a excreção de N ao limitar o excesso de AA dietéticos (Baker e Chung, 1992; NRC, 1998; Boisen et al., 2000).

2.3 - Redução do teor de proteína na dieta de suínos

As preocupações sobre o impacto negativo da suinicultura intensiva no ambiente têm potencializado a procura de estratégias nutricionais com o objetivo de reduzir a excreção azotada através do aumento da eficiência de utilização do N.

O amoníaco emitido pelas suiniculturas pode contribuir para a acidificação dos solos (Portejoie et al., 2004; Hartog e Sijtsma, 2007) e para a contaminação das águas superficiais e subterrâneas (Aarnink e Verstegen, 2007; Hartog e Sijtsma, 2007).

A melhoria da eficiência da utilização de N pelos suínos e conseqüente redução da excreção azotada, pode ser conseguida com recurso a estratégias como a alimentação faseada para igualar o fornecimento de AA dietéticos às necessidades dos suínos ao longo do seu crescimento; a utilização de fontes proteicas altamente digestíveis e a redução dos níveis de PB dietética através da suplementação de AA livres. Destas estratégias, a redução do teor de PB da dieta, através da suplementação de AA, é a que oferece maior potencial para reduzir a excreção de azoto (Shriver et al., 2003; Deng et al., 2007).

2.3.1 - Redução da proteína bruta com recurso à suplementação de aminoácidos livres

De acordo com Kerr et al. (2003b), nos suínos em crescimento a redução do teor de PB do regime de 16 para 12% com a suplementação de AA (Lys, Thr e Trp) não afetou negativamente o ritmo de crescimento e a percentagem de tecido magro da carcaça. Shriver et al. (2003) sugerem que a diminuição da PB em 4 unidades percentuais com a adição de AA poderá reduzir a excreção total de N em 40%. Resultados concordantes são apontados por Le et al. (2007) e Lordelo et al. (2008) que relatam uma redução de 10% no total de N excretado por cada ponto percentual de redução no conteúdo de PB da dieta.

Contudo, para uma redução do nível de PB de 16 para 11% com a suplementação de AAE (Lys, Thr, Met e Trp), verificou-se uma redução no desempenho dos suínos em crescimento, provavelmente porque outros AA se tornaram limitantes (Figuerola et al., 2002). A conclusão semelhante chegaram Figuerola et al. (2003) ao reduzirem o teor de PB também em cinco unidades percentuais (16 para 11%). Segundo estes autores a Val torna-se limitante quando o conteúdo proteico é reduzido em mais de quatro unidades percentuais. A Ile e/ou His também pareceram ser limitantes nestas condições. Assim sendo, para uma redução de cinco pontos percentuais no teor de PB é necessário uma suplementação da dieta com Val e eventualmente Ile e/ou His para além da Lys, Thr, Met e Trp.

Vários estudos apontaram para um aumento da adiposidade da carcaça dos suínos como consequência da alimentação com dietas de baixo teor em PB suplementadas com AA livres (Kerr et al., 1995; Tuitoek et al., 1997a). Segundo Le Bellego et al. (2001), suínos alimentados com dietas de baixo teor em proteína têm gastos energéticos menores, como resultado da redução da energia excretada pela urina associada à excreção de N e da redução das perdas de calor. Consequentemente, existe uma maior disponibilidade de energia para o animal, que é retida na sua maioria como tecido adiposo.

A energia excretada pela urina e as perdas de calor não são consideradas por todos os sistemas energéticos. A energia excretada pela urina não é tida em conta no sistema de energia digestível, mas é considerada nos sistemas de energia metabolizável e de energia Net (EN). Por sua vez, as perdas de calor apenas são tidas em linha de conta no sistema de EN. Portanto, o sistema de EN tem sido considerado o melhor para predizer a utilização de energia em dietas com baixo teor de PB (Noblet et al., 2010). Os resultados de Le Bellego et al. (2002) confirmaram a sua eficácia, pois verificou-se que a utilização do sistema de EN em suínos alimentados com uma dieta baixa em proteína suplementada com AA livres, levou a que os suínos apresentassem carcaças com a mesma percentagem de tecido adiposo que os suínos alimentados com uma dieta de elevado nível proteico.

Com o sistema de EN, os valores de energia dos ingredientes alimentares têm mais probabilidade de serem aditivos em dietas de baixo nível de PB. Assim, formular dietas com recurso aos valores dos ingredientes em EN e dos AA em digestibilidade ileal standard, contribui para uma maior precisão da formulação de regimes alimentares com baixo teor proteico.

2.4 - O triptofano

2.4.1 - Estrutura química

O Trp é um AAE e tem como fórmula química $C_{11}H_{12}N_2O_2$ (figura 3). É classificado como um AA aromático, devido aos anéis aromáticos anexados.

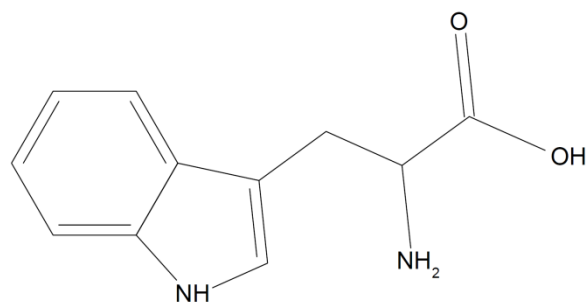


Figura 3 - Estrutura química do triptofano

2.4.2 - O triptofano na regulação do apetite

O Trp apresenta a particularidade de estar envolvido em várias funções biológicas para além da síntese proteica, sendo uma delas a regulação do apetite (Fernández e Strathe, 2009). O Trp é um precursor para sintetização de serotonina ou 5-hidroxitriptamina, um importante neurotransmissor associado à regulação de uma variedade de respostas biológicas incluindo a ingestão de alimento, sono, humor e resposta ao *stress* (Henry et al., 1992; Sainio et al., 1996; Kerr et al., 2002).

A serotonina estimula a ingestão de alimento nos animais e, acima dos níveis adequados, medeia a saciedade (Henry et al., 1992). A sua produção tem lugar em vários locais do corpo incluindo o tronco cerebral, neurónios serotoninérgicos do sistema nervoso central, plaquetas sanguíneas e nas células enterocromafins no trato gastrointestinal (Kerr et al., 2002). O processo inicia-se com a conversão de Trp em 5-hidroxitriptofano pela enzima

triptofano hidroxilase. Esta é então descarboxilada produzindo serotonina (figura 4) (Le Floch e Sève, 2007). De um ponto de vista quantitativo, tem sido sugerido que apenas cerca de 1% do Trp dietético é metabolizado em serotonina (Wolf, 1974 citado por Le Floch e Sève, 2007).

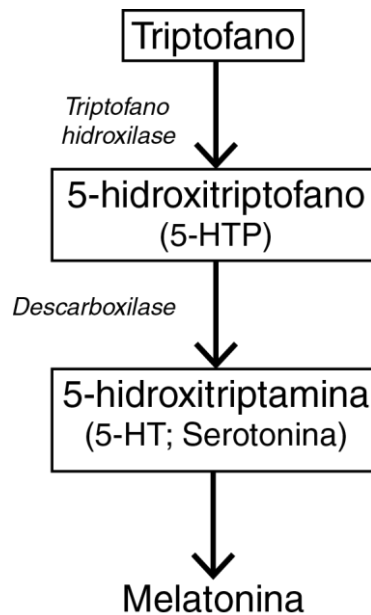


Figura 4 - Via metabólica do triptofano para a síntese de serotonina (Le Floch e Sève, 2007)

Muitos estudos têm demonstrado que a deficiência de Trp nos suínos é marcada por uma clara depressão na ingestão de alimento e no crescimento (Sève et al., 1991; Henry et al., 1992; Henry et al., 1996; Eder et al., 2003; Susenbeth e Lucanus, 2005; Susenbeth, 2006; Jansman et al., 2010). Num estudo de preferência dietética em leitões, Etle e Roth (2004) mostraram que os leitões eram capazes de detetar e desenvolver uma aversão contra dietas deficientes em Trp. Tem sido sugerido que fisiologicamente o cérebro consegue detetar o desequilíbrio de Trp em relação a outros AA no pool plasmático do cérebro (Le Floch e Sève, 2007). A serotonina não consegue passar a barreira hematoencefálica (BHE), portanto o seu precursor, o Trp tem de ser transportado através da BHE para aumentar os níveis de serotonina cerebral (Jansman et al., 2010). O efeito depressivo da deficiência de Trp pode ser ainda aumentado pela presença em excesso dos aminoácidos neutros (LNAA: Val, Ile, Leu, Tyr, Phe) os quais competem com o Trp pelo mesmo sistema de transporte através da BHE, diminuindo por fim as concentrações de serotonina no hipotálamo (Henry et al., 1992; Henry et al., 1996; Kerr et al., 2002). Assim

sendo, o rácio Trp:LNAA (tanto dietético como plasmático) é crucial para o transporte de Trp através da BHE, onde um rácio elevado deveria indicar um maior transporte de Trp (Henry et al., 1992; Henry et al., 1996; Kerr et al., 2002).

O Trp também poderá estar envolvido na regulação do apetite e ingestão de alimento através de hormonas produzidas no trato gastrointestinal (Le Floc'h e Sève, 2007). Bubenik et al. (1996) sugeriram que a hormona melatonina, produzida a partir do Trp no trato gastrointestinal, poderá servir como sinal para a sincronização do processo de ingestão e digestão. Além disso, foi descrito que o efeito do Trp na ingestão de alimento também poderá estar relacionado com a secreção de insulina, que por sua vez vai ter influência no esvaziamento gástrico (Sève, 1999 citado por Simongiovanni et al., 2012). Num outro trabalho, Zhang et al. (2007) sugeriram que nos suínos, o efeito do Trp sobre o apetite também poderia ser mediado pela grelina, uma hormona visceral envolvida na regulação da ingestão de alimento. De facto, a adição de Trp (0,7 g Trp/kg de alimento) a uma dieta para leitões com baixo teor em Trp (1,2 g Trp/kg de alimento) induziu a secreção de grelina assim como uma maior expressão de mRNA de grelina no estômago e duodeno enquanto aumentava a ingestão de alimento.

2.4.3 - Metabolismo do triptofano no controle da resposta imunitária e manutenção da saúde

Durante a última década, o papel do Trp no controle da resposta imunitária tem sido claramente referido (Moffett e Namboodiri, 2003). Este papel parece estar associado à via quinurenina (figura 5) a qual é responsável por uma grande proporção do catabolismo do Trp (Sainio et al., 1996).

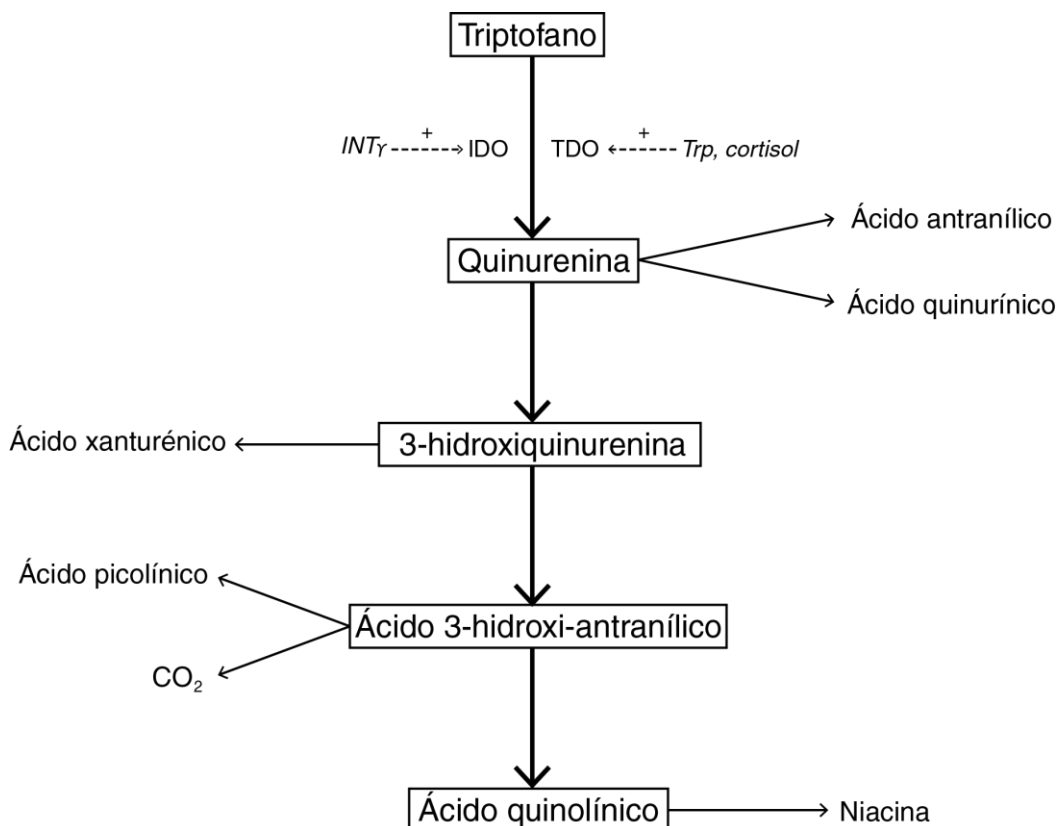


Figura 5 - Catabolismo do triptofano ao longo da via quinurenina (Le Floc'h e Sève, 2007)

Legenda: INT_{γ} - Interferão gama; IDO - indoleamina-2,3-dioxigenase; TDO - Triptofano-2,3-dioxigenase; Trp - Triptofano

O catabolismo do Trp através da via quinurenina resulta na produção de vários metabolitos incluindo o ácido antranílico, ácido quinurénico, ácido xanturénico, ácido picolínico e niacina (figura 5) (Le Floc'h e Sève, 2007). Quantitativamente, esta é a via mais importante para o metabolismo do Trp logo após a sua utilização para a síntese proteica, pois é responsável por mais de 90% do catabolismo do Trp (Sainio et al., 1996; Kerr et al., 2002). Este processo é iniciado por duas enzimas específicas, Triptofano-2,3-dioxigenase

(TDO) no fígado e a indoleamina-2,3-dioxigenase (IDO) que existe em diversos tecidos incluindo o cérebro, pulmões, estômago e intestinos (Sainio et al., 1996). A enzima TDO é estimulada pelo Trp e por glicocorticóides, sobretudo o cortisol, enquanto que a enzima IDO é estimulada por citocinas, particularmente pelo interferão gama (INT- γ) (Sainio et al., 1996).

Todavia, sob a influência de estados inflamatórios e do stress ao nível do sistema imunitário, Sainio et al. (1996) e Le Floch e Sève (2007) sugerem que a IDO é a enzima utilizada na ativação do catabolismo do Trp uma vez que o INT- γ está associado a este tipo de respostas. Melchior et al. (2005) e Le Floch et al. (2008) mostraram que esta era de facto a responsável pelo desencadeamento da resposta inflamatória em leitões, uma vez que estes além de sofrerem de inflamação pulmonar crónica e de apresentarem níveis mais baixos de Trp plasmático também apresentaram um aumento da atividade da IDO nos pulmões e nódulos linfáticos comparativamente aos suínos saudáveis (como resultado da degradação de Trp ativado pela IDO).

Conforme descrito acima, a via quinurenina ativada pela IDO é um mecanismo que limita a disponibilidade de Trp para a síntese proteica num processo inflamatório, evidenciando ter funções cruciais na regulação da resposta imunitária (Christen et al., 1990; Mellor e Münn, 1999). Têm-lhe sido associadas duas funções biológicas. A via metabólica parece estar envolvida nas defesas contra agentes patogénicos, porém os mecanismos antimicrobianos gerados pela indução da IDO não são totalmente compreendidos (Pfefferkorn, 1984; MacKenzie e Hadding, 1998). Também tem sido prevista como um sistema protetor contra radicais livres. Este papel é atribuído diretamente à ativação da IDO que irá remover radicais livres utilizando-os como co-factor (Hayaishi, 1996) e também indiretamente através da produção de metabolitos, ácido 3-hidroxi-antranílico e 3-hidroxi-quinurenina, que podem funcionar como captadores de radicais livres e como antioxidantes (Christen et al., 1990).

2.4.4 - Efeito das condições sanitárias nas necessidades de triptofano

As consequências da resposta imunitária no metabolismo do Trp poderão prejudicar a sua disponibilidade para a síntese de proteína corporal, crescimento e todos os outros processos metabólicos que envolvem este AA (Le Floch e Sève, 2007). Deste modo, Le Floch et al. (2004) mostraram que o Trp dietético adicional poderá ajudar a manter as reservas plasmáticas de Trp em suínos que sofrem de processos inflamatórios.

No estudo de Le Floch et al. (2006) foi demonstrado que a deterioração das condições sanitárias do alojamento após o desmame provocaram uma resposta inflamatória

moderada nos leitões. Esta resposta foi caracterizada por uma taxa de crescimento reduzida e uma maior concentração plasmática de haptoglobina, uma proteína de fase aguda utilizada como indicador de inflamação (Le Floch e Sève, 2007), nestes leitões em comparação com aqueles mantidos em boas condições sanitárias. Em relação ao nível de Trp plasmático, verificou-se que os suínos mantidos em condições sanitárias pobres tinham uma menor concentração plasmática de Trp para todos os níveis de Trp utilizados nos regimes dos leitões (Le Floch et al., 2005, 2007). Portanto, o aumento do nível do Trp dietético não preveniu completamente as consequências da deterioração do estado sanitário no crescimento. Num outro estudo, onde os leitões foram desafiados com *Escherichia coli* K88 – um agente patogénico frequentemente isolado em leitões e associado à colibacilose -, Trevisi et al. (2009) verificaram que o Trp limitou a diminuição da ingestão de alimento e o crescimento em suínos submetidos à *Escherichia coli* K88. Assim sendo, tanto as condições sanitárias como o estado de saúde do animal poderão ser considerados fatores que afetam as necessidades de Trp, aumentando-as.

2.4.5 - O triptofano no controle da resposta ao stress e no comportamento

O Trp dietético tem sido apontado como um modelador da resposta ao stress (Adeola e Ball, 1992; Lepage et al., 2002) e do comportamento agressivo (Winberg et al., 2001) em diferentes espécies animais. Nos suínos, o efeito do Trp na resposta e na sensibilidade ao stress foi confirmado em casos de deficiência ou após a administração de elevadas quantidades deste AA (Koopmans et al., 2006; Guzik et al., 2006), enquanto que estes efeitos tiveram menor expressão ou foram inexistentes com fornecimentos dietéticos adequados (Meunier-Salaün et al., 1991). Koopmans et al. (2006) mostraram que leitões no pós-desmame alimentados com elevados níveis de Trp dietético (7 g Trp/kg de alimento vs 2 g Trp/kg de alimento) apresentaram concentrações plasmáticas de cortisol e de noradrenalina mais baixas quando sujeitos a stress social. Para além de que, depois do desafio ao stress, as concentrações de cortisol voltaram mais rapidamente aos valores basal do que nos leitões alimentados com nível mais baixo de Trp (2 g Trp/kg de alimento). Isto sugere uma recuperação mais rápida quando os suínos são alimentados com elevadas quantidades de Trp (Le Floch e Sève, 2007). Da mesma forma, tem sido demonstrado que um fornecimento elevado de Trp dietético poderá ter um impacto positivo na qualidade da carne de suínos submetidos a uma situação de stress. De facto, o elevado fornecimento de Trp (5 g Trp/kg de alimento) a suínos na fase de acabamento reduziu a severidade e frequência da síndrome PSE (Pale, Soft, Exudative) na carne dos suínos sensíveis ao stress (Adeola e Ball, 1992).

Koopmans et al. (2005) verificaram que o Trp dietético afetou o nível de atividade dos leitões (sentado, deitado e de pé). Os leitões que receberam um nível de Trp mais elevado foram observados mais vezes na posição deitada do que aqueles que receberam um nível mais baixo de Trp.

Os mecanismos pelos quais o Trp poderá interagir com o comportamento e com a resposta ao stress ainda não estão totalmente clarificados (Le Floc'h e Sève, 2007). No entanto o envolvimento da produção de serotonina e o seu resultado no cérebro são normalmente mencionados (Leathwood, 1987 citado por Le Floc'h e Sève, 2007).

2.5 - Aminoácidos ramificados

Os AAE Ile, Leu e Val têm formas químicas semelhantes e são agrupados como aminoácidos de cadeia ramificada (BCAA) (Halpren e Quintas, 2008). Segundo o NRC (2012), os AA que estão química ou estruturalmente relacionados competem uns com os outros e causam a inibição do seu uso na síntese proteica. Deste modo é de grande interesse perceber de que forma estes AA interagem, assim como, conhecer o rácio ótimo dos diferentes BCAA relativamente à Lys.

2.5.1 - Interação dos aminoácidos ramificados

A interação entre estes AA ocorre nos dois primeiros passos do seu catabolismo onde são catalisados por duas enzimas (transaminase e desidrogenase de α -cetoácidos) comuns aos três AA (Langer et al., 2000). O primeiro passo da degradação dos BCAA envolve uma reação de transaminação reversível catalisada pela transaminase de aminoácidos de cadeia ramificada (BCTA). Esta enzima localiza-se principalmente no músculo esquelético dos suínos e aceita todos os três BCAA como substratos, produzindo α -cetoácidos de cadeia ramificada (BCKA), (α -cetoisovalerato (KIV), da Val; α -ceto- β -metilvalerato (KMV), da Ile; α -cetoisocaproato (KIC), da Leu). Estes BCKA formados são, no segundo passo, descarboxilados oxidativamente pelo complexo da desidrogenase de α -cetoácidos de cadeia ramificada (BCKDH), localizado sobretudo no fígado dos suínos. Este segundo passo é irreversível (Wiltafsky et al., 2010).

Um fornecimento excessivo de qualquer um dos BCAA poderá estimular o catabolismo dos outros dois AA (Harper et al., 1984 citados por Barea et al., 2009). Especialmente as elevadas concentrações de KIC poderão aumentar o catabolismo dos outros BCAA (Wiltafsky et al., 2009). Langer et al. (2000) mostraram que um excesso

dietético de Leu (50% acima do valor padrão “ideal” estabelecido por Wang e Fuller (1989)) provocou uma depressão das concentrações plasmáticas de Val e Ile em mais de 35% e dos seus BCKA (KIV e KMV, respetivamente) em mais de 30% com o aumento da atividade BCKDH em suínos. Desta forma, o correspondente BCKA da Leu, o KIC, tem um papel importante na regulação da atividade da BCKDH.

Wiltafsky et al. (2010) observaram que um aumento do nível de Leu de 12,9 g Leu/kg de alimento para 23,5 g Leu/kg de alimento diminuiu as performances zootécnicas, ingestão média diária (IMD) e ganho médio diário (GMD) em 30 e 38%, respectivamente e aumentou os níveis plasmáticos de Leu e de KIC em 59 e 49%, respectivamente. Os níveis plasmáticos de Ile e de Val e os BCKA correspondentes (KMV e KIV, respetivamente) indicaram um maior catabolismo destes AA. Igualmente, o aumento linear da atividade basal da BCKDH no fígado confirmou estes resultados. Deste modo, o aumento de Leu levou a que os BCKA da Val (KIV) e da Ile (KMV) também fossem catabolizados, mesmo quando estes não estavam presentes em excesso, resultando numa menor disponibilidade de Ile e Val para a síntese proteica. Isto sugere que o catabolismo da Leu, numa situação de excesso de Leu, poderá ter prioridade sobre a síntese proteica.

2.5.2 - Necessidade dos rácios dos aminoácidos ramificados para lisina

As necessidades dos AAE são expressas em relação à necessidade de Lys. A Lys é usada como uma referência porque é o AA primeiro-limitante para o crescimento dos suínos (Simongiovanni et al., 2012). O NRC (1998) estabeleceu o valor de 0,83% como a necessidade de Lys digestível ileal standard (DIS) para suínos dos 20 aos 50 kg. No entanto, na sua última edição, veio recomendar um novo valor de Lys DIS de 0,98% para suínos dos 25 aos 50 kg (NRC, 2012).

Segundo o NRC (1998) é recomendado um rácio de Ile:Lys DIS de 54% para suínos dos 20 aos 50 kg. Num estudo de dose resposta, Htoo et al. (2010) ao estimarem o rácio de Ile:Lys DIS ótimo para suínos dos 24 aos 43 kg testaram cinco rácios a variarem de 39 a 68%. O nível de Lys DIS utilizado foi de 0,91%. Os autores verificaram um melhoramento das performances zootécnicas, IMD, GMD e índice de conversão alimentar (IC) de 20%, 25% e 6% respetivamente, com o aumento do rácio de 39 para 53%. No rácio Ile:Lys DIS de 53% a IMD e o GMD atingiram os valores máximos de 1537 g e 749 g, respetivamente. Recentemente, num outro estudo de dose resposta com suínos de 20 a 45 kg, Waguespack et al. (2012) utilizando o valor de Lys DIS recomendado pelo NRC (1998) testaram cinco rácios Ile:Lys DIS a variarem de 52 a 61%. Os autores constataram que o GMD manteve-se

e a IMD e o IC melhoraram 5 e 4%, respectivamente, quando se aumentou o rácio Ile:Lys DIS de 52 para 54%. No rácio de 54% o IC atingiu o valor mais baixo do ensaio, 2,43. Posteriormente, o NRC (2012) veio recomendar um rácio de Ile:Lys DIS de 52% para suínos dos 25 a 50 kg.

A estimativa da necessidade do rácio Ile:Lys é influenciada pela presença de ingredientes específicos, tais como células de sangue atomizadas (CSA). Estas apresentam um conteúdo relativamente baixo de Ile em relação aos outros dois BCAA (Van Milgen et al., 2012). Wiltafsky et al. (2009) conduziram um ensaio para determinar o rácio Ile:Lys DIS em leitões (8 a 25 kg) usando dietas com e sem CSA. O nível de Lys DIS utilizado foi de 1,00%. Os autores verificaram que os leitões alimentados com dietas contendo CSA necessitaram de um rácio ótimo de Ile:Lys DIS superior ao dos leitões alimentados com dietas sem CSA para atingirem o mesmo GMD (71% vs 59%). Devido ao desequilíbrio do perfil de BCAA, a necessidade de um rácio mais elevado de Ile:Lys nos leitões alimentados com dietas contendo CSA é atribuível à interação entre os BCAA (Van Milgen et al., 2012).

Relativamente à necessidade de Val, o NRC (1998) recomenda um rácio de Val:Lys DIS de 67% para suínos dos 20 aos 50 kg. Num estudo recente de dose resposta, Waguespack et al. (2012) para estimarem o rácio de Val:Lys DIS ótimo para suínos dos 20 aos 45 kg testaram seis rácios a variarem de 61 a 73%. O nível de Lys DIS utilizado foi o recomendado pelo NRC (1998). Os autores verificaram que o GMD melhorou em 12% e o IC em 4% com o aumento do rácio de 61 para 68%. Com o rácio Val:Lys DIS de 68% o IC atingiu o melhor valor do ensaio, 2,39 e o GMD foi de 814 g. Num outro trabalho, com suínos de 21 a 33 kg, onde foram testados cinco rácios de Val:Lys DIS de 55% a 75% e o nível de Lys DIS utilizado foi de 1,10%, verificou-se que a IMD e GMD atingiram valores máximos (1397 g e 800 g, respectivamente) no rácio Val:Lys DIS de 65%. O aumento do rácio de 55% para 65% além de permitir um melhoramento da IMD e GMD em 6 e 12%, respectivamente, também diminuiu o IC em 6 % (Gaines et al., 2011). O NRC (2012) veio propor um rácio Val:Lys DIS de 65% para suínos dos 25 aos 50 kg.

Para o rácio de Leu:Lys DIS a recomendação do NRC (1998) é de 100% para suínos dos 20 aos 50 kg. No entanto, na última edição, o NRC (2012) veio propor um rácio Leu:Lys DIS de 101% para suínos dos 25 aos 50 kg.

A informação existente dos rácios ótimos dos diferentes BCAA relativamente à Lys numa base DIS para suínos em crescimento, dos 20 aos 50 kg, é escassa ou quase inexistente no caso da Leu. Na literatura, a maioria da informação estima as necessidades dos rácios para intervalos de peso inferior.

2.6 - Rácio triptofano:lisina nos suínos

De acordo com Boisen (2003), nos trabalhos experimentais em que se pretenda estimar a necessidade de Trp expressa como um rácio Trp:Lys DIS, a Lys deve manter-se a um nível sub-limitante (90 a 95% das necessidades dos suínos) de forma a que seja o AA segundo limitante, logo depois do Trp.

2.6.1 - Efeito do rácio triptofano:lisina na resposta zootécnica de suínos dos 7 aos 25 kg

Na tentativa de compreender qual o rácio ótimo Trp:Lys DIS e de que modo influencia a resposta zootécnica, compilaram-se os resultados das performances zootécnicas (GMD e IC) obtidas com diferentes rácios Trp:Lys DIS em diferentes estudos de dose resposta (quadro 3).

Quadro 3 - Efeito de diferentes rácios triptofano:lisina no ganho médio diário e índice de conversão em suínos dos 7 aos 25 kg

	Peso vivo (kg)	Suínos em Crescimento (7 a 25 kg)						Referência
		Rácio Trp:Lys DIS						
		1	2	3	4	5	6	
Ganho Médio Diário (g)	9 a 24	450	538	562	579	-	-	Jansman et al. (2010) Exp 1 ⁽¹⁾
	9 a 24	452	563	591	597	-	-	Jansman et al. (2010) Exp. 2 ⁽²⁾
	8 a 18	332	350	367	-	-	-	Fernández e Strathe (2009) ⁽³⁾
	7 a 16	240	310	370	-	-	-	Guzik et al. (2005a) ⁽⁴⁾
	15 a 25	790	860	910	840	810	820	Susenbeth e Lucanus (2005) ⁽⁵⁾
Índice de Conversão	9 a 24	1,51	1,49	1,48	1,49	-	-	Jansman et al. (2010) Exp 1 ⁽¹⁾
	9 a 24	1,50	1,57	1,46	1,44	-	-	Jansman et al. (2010) Exp. 2 ⁽²⁾
	8 a 18	1,33	1,31	1,27	-	-	-	Fernández e Strathe (2009) ⁽³⁾
	7 a 16	2,00	1,68	1,57	-	-	-	Guzik et al. (2005a) ⁽⁴⁾
	15 a 25	1,22	1,14	1,12	1,21	1,23	1,17	Susenbeth e Lucanus (2005) ⁽⁵⁾

⁽¹⁾ Rácio Trp:Lys DIS - 1- 14,7%; 2- 17,6%; 3- 20,5%; 4- 23,4%; Lys DIS – 1,02%

⁽²⁾ Rácio Trp:Lys DIS - 1- 14,7%; 2- 17,6%; 3- 20,5%; 4- 23,4%; Lys DIS – 1,02%

⁽³⁾ Rácio Trp:Lys DIS - 1- 16,0%; 2- 19,0%; 3- 22,0%; Lys DIS – 1,29%

⁽⁴⁾ Rácio Trp:Lys DIS - 1- 14,5%; 2- 17,0%; 3- 19,5%; Lys DIS – 1,10%

⁽⁵⁾ Rácio Trp:Lys DIS - 1- 17,5%; 2- 19,0%; 3- 20,5%; 4- 21,0%; 5- 22,5%; 6- 24,5%; Lys DIS – 1,25%

Realizando uma análise aos resultados do quadro 3, constata-se que Jansman et al. (2010) obtiveram o melhor valor para o GMD no rácio Trp:Lys DIS de 23,4%, tanto na experiência 1 como na experiência 2. No entanto, o melhor valor para o GMD nos trabalhos

de Fernández e Strathe (2009), Guzik et al. (2005a) e Susenbeth e Lucanus (2005), foi atingido com os rácios Trp:Lys DIS de 22,0%; 19,5% e 20,5%, respetivamente. Relativamente ao IC, Jansman et al. (2010) alcançaram um melhor IC na experiência 1 com o rácio Trp:Lys DIS de 20,5% e na experiência 2 com o rácio de 23,4%. Todavia, nos trabalhos Fernández e Strathe (2009), Guzik et al. (2005a) e Susenbeth e Lucanus (2005) o melhor IC foi atingido com os rácios Trp:Lys DIS de 22,0%; 19,5% e 20,5%, respetivamente.

Para uma melhor interpretação dos valores do quadro 3, tanto para estimar o rácio ótimo Trp:Lys DIS que maximiza o GMD como o que minimiza o IC, fez-se a modelação destes resultados através do modelo linear plateau (MLP) e do modelo curvilíneo plateau (MCP) utilizando-se o procedimento NLIN do programa SAS (SAS, 1991) em conformidade com Robbins et al. (2006) (quadro 4).

Quadro 4 - Resposta do GMD e IC em função da relação Trp:Lys DIS dos regimes de suínos (7-25 kg) apresentados no quadro 3, analisada de acordo com os modelos linear plateau ($Y = L + U(R-X)$ com $R-X=0$ quando $X>R$) e curvilíneo plateau ($Y = L + V(R-X)(R-X)$ com $R-X=0$ quando $X>R$)⁽¹⁾

	Modelo Linear Plateau (MLP)					Modelo Curvilíneo Plateau (MCP)				
	Pa. ⁽²⁾	Est. ⁽²⁾	E.P ⁽²⁾	F ⁽³⁾	P ⁽³⁾	Pa. ⁽²⁾	Est. ⁽²⁾	E.P ⁽²⁾	F ⁽³⁾	P ⁽³⁾
Ganho Médio Diário	L	668,8	76,1650	3,49	0,0539	L	669,9	90,9261	3,36	0,0591
	U	-49,7569	23,7371			V	-4,3957	5,7831		
	R	20,6938	2,3044			R	23,1168	5,7697		
Índice de Conversão	L	1,3189	0,0626	3,86	0,0416	L	1,3199	0,0687	4,16	0,0339
	U	0,0645	0,0326			V	0,00788	0,00958		
	R	19,5649	1,8407			R	21,1980	3,9261		

⁽¹⁾ Y= GMD (g), IC; X= Rácio Trp:Lys DIS; L: GMD ou IC no ponto de quebra; U: Inclinação da reta; V: Inclinação da curva; R: valor da relação Trp:Lys DIS no ponto de quebra.

⁽²⁾ Pa. - Parâmetros; Est. - Estimativa; E.P - Erro padrão

⁽³⁾ Valor de F e nível de significância do modelo

Através do quadro 4, observa-se que tanto o MLP como o MCP para o GMD são modelos significativos para um nível de significância de 10%. Mas se se considerar um nível de significância de 5% os modelos já não são significativos, isto pode justificar-se em parte pelo número relativamente reduzido de dados, facto que foi incontornável devido ao escasso número de ensaios na literatura levados a cabo para estimar o rácio ótimo Trp:Lys numa base DIS. O rácio Trp:Lys DIS calculado por cada um dos modelos varia entre 20,7% (MLP)

e 23,1% (MCP) (ver quadro 4 e figura 6). Estes valores são um pouco superiores aos recomendados pelo NRC (1998 e 2012). Com efeito o NRC (1998) recomenda um rácio Trp:Lys DIS de 18,5% para suínos dos 5 aos 10 kg e de 17,8% para suínos dos 10 aos 20 kg, com níveis de Lys DIS de 1,19 e 1,01%, respetivamente e o NRC (2012) veio recomendar um rácio Trp:Lys DIS de 16,3% tanto para suínos dos 7 aos 11 kg como dos 11 aos 25 kg, com níveis de Lys DIS de 1,35 e 1,23%, respetivamente. Parte da explicação desta discrepância pode passar pelos níveis de Lys utilizados nos ensaios analisados não terem sido colocados a um nível sub-ótimo (90 a 95% das necessidades dos suínos) (Van Cauwenberghe e Relandeau, 2000; Boisen, 2003), de forma a colocar a Lys como o AA segundo limitante.

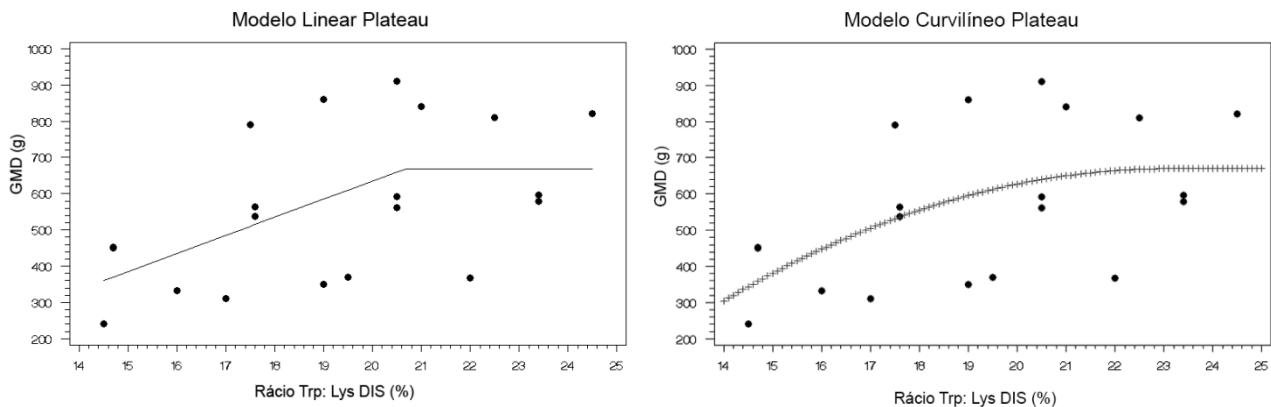


Figura 6 - Representação gráfica da resposta do GMD em função do rácio Trp:Lys DIS dos regimes de suínos (7-25 kg) apresentados no quadro 3, com os modelos linear plateau e curvilíneo plateau

No que diz respeito ao IC, tanto o MLP como o MCP são modelos significativos ($P < 0,05$). O rácio Trp:Lys DIS calculado por cada um dos modelos varia entre 19,6% (MLP) e 21,2% (MCP) (ver quadro 4 e figura 7). Estes valores, como aconteceu com os estimados para o GMD também são um pouco superiores aos recomendados pelo NRC (1998 e 2012) e parte da explicação desta discrepância pode mais uma vez passar pelo reduzido número de trabalhos utilizados nesta modelação e pelos níveis de Lys utilizados nestes ensaios.

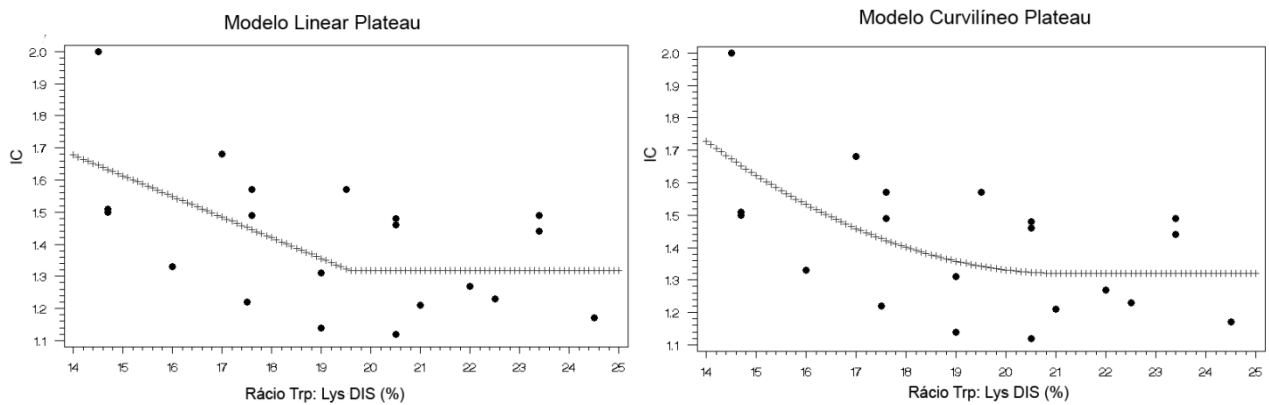


Figura 7 - Representação gráfica da resposta do IC em função do rácio Trp:Lys DIS dos regimes de suínos (7-25 kg) apresentados no quadro 3, com os modelos linear plateau e curvilíneo plateau

2.6.2 - Efeito do rácio triptofano:lisina na resposta zootécnica de suínos dos 25 aos 50 kg

Como sucedeu no ponto anterior (2.6.1) reuniu-se os resultados das performances zootécnicas (GMD e IC) obtidas para diferentes rácios Trp:Lys DIS utilizados na estimativa do rácio ótimo em diferentes estudos de dose resposta. Pretende-se assim compreender de que forma a relação Trp:Lys DIS pode influenciar a resposta zootécnica de suínos dos 25 aos 50 kg (quadro 5).

Quadro 5 - Efeito de diferentes rácios triptofano:lisina no ganho médio diário e  ndice de conversão em suínos dos 25 aos 50 kg

	Peso vivo (kg)	Suínos em Crescimento (25 a 50 kg)							Referência
		Rácio Trp:Lys DIS							
		1	2	3	4	5	6	7	
Ganho Médio Diário (g)	25 a 50	559	629	684	706	697	-	-	Zhang et al. (2012) ⁽¹⁾
	25 a 50	562	648	788	787	815	-	-	Quant et al. (2012) Exp. 1 ⁽²⁾
	25 a 50	723	784	835	850	848	-	-	Quant et al. (2012) Exp. 2 ⁽³⁾
	23 a 50	509	645	752	753	-	-	-	Vinyeta et al. (2010) ⁽⁴⁾
	15 a 35	582	610	645	651	658	660	682	Naatjes et al. (2010) Exp. 1 ⁽⁵⁾
	15 a 35	639	658	674	708	693	713	729	Naatjes et al. (2010) Exp. 2 ⁽⁶⁾
	25 a 50	369	610	737	771	813	-	-	Eder et al. (2003) ⁽⁷⁾
�ndice de Convers�o	25 a 50	2,42	2,33	2,24	2,20	2,22	-	-	Zhang et al. (2012) ⁽¹⁾
	25 a 50	2,33	2,26	2,19	2,16	2,13	-	-	Quant et al. (2012) Exp. 1 ⁽²⁾
	25 a 50	2,21	2,22	2,05	2,08	2,08	-	-	Quant et al. (2012) Exp. 2 ⁽³⁾
	23 a 50	2,33	2,22	2,11	2,10	-	-	-	Vinyeta et al. (2010) ⁽⁴⁾
	15 a 35	1,87	1,90	1,87	1,78	1,81	1,85	1,80	Naatjes et al. (2010) Exp. 1 ⁽⁵⁾
	15 a 35	1,77	1,76	1,72	1,67	1,79	1,65	1,63	Naatjes et al. (2010) Exp. 2 ⁽⁶⁾
	25 a 50	3,30	2,40	2,24	2,11	2,10	-	-	Eder et al. (2003) ⁽⁷⁾

⁽¹⁾ R cio Trp:Lys DIS - 1- 13,0%; 2- 16,0%; 3- 19,0%; 4- 22,0%; 5- 25,0%; Lys DIS – 0,97%

⁽²⁾ R cio Trp:Lys DIS - 1- 12,8%; 2- 14,1%; 3- 15,5%; 4- 16,9%; 5- 17,9%; Lys DIS – 0,75%

⁽³⁾ R cio Trp:Lys DIS - 1- 13,1%; 2- 14,3%; 3- 15,6%; 4- 16,9%; 5- 18,1%; Lys DIS – 0,75%

⁽⁴⁾ R cio Trp:Lys DIS - 1- 15,0%; 2- 18,0%; 3- 21,0%; 4- 24,0%; Lys DIS – 0,76%

⁽⁵⁾ R cio Trp:Lys DIS - 1- 13,1%; 2- 14,2%; 3- 15,3%; 4- 16,4%; 5- 17,5%; 6- 18,6%; 7- 19,7%; Lys DIS – 1,05%

⁽⁶⁾ Rácio Trp:Lys DIS - 1- 14,3%; 2- 15,4%; 3- 16,5%; 4- 17,6%; 5- 18,7%; 6- 19,8%; 7- 20,9%; Lys DIS – 1,05%

⁽⁷⁾ Rácio Trp:Lys DIS - 1- 9,2%; 2- 12,6%; 3- 16,1%; 4- 19,5%; 5- 22,9%; Lys DIS – 0,87%

Efetuando uma análise aos resultados do quadro 5, verifica-se que Quant et al. (2012) e Naatjes et al. (2010) alcançaram o melhor valor para o GMD no rácio Trp:Lys DIS de 17,9 e 19,7%, respectivamente, nas experiências 1 e de 16,9 e 20,9%, respectivamente, nas experiências 2. No entanto, o melhor valor para o GMD nos trabalhos de Zhang et al. (2012), Vinyeta et al. (2010) e Eder et al. (2003), foi atingido com os rácios Trp:Lys DIS de 22,0%; 24,0% e 22,9%, respectivamente. No que respeita ao IC, Quant et al. (2012) e Naatjes et al. (2010) obtiveram um melhor IC nas experiências 1 com o rácio Trp:Lys DIS de 17,9 e 16,4%, respectivamente, e nas experiências 2 com o rácio de 15,6 e 20,9%, respectivamente. Contudo, nos trabalhos de Zhang et al. (2012), Vinyeta et al. (2010) e Eder et al. (2003) o melhor IC foi obtido com os rácios Trp:Lys DIS de 22,0%, 24,0% e 22,9%, respectivamente.

A modela o da informa o do quadro 5, através dos modelos MLP e MCP está apresentada no quadro 6.

Quadro 6 - Resposta do GMD e IC em função da relação Trp:Lys DIS dos regimes de suínos (25-50 kg) apresentados no quadro 5, analisada de acordo com os modelos linear plateau ($Y = L + U(R-X)$ com $R-X=0$ quando $X>R$) e curvilíneo plateau ($Y = L + V(R-X)(R-X)$ com $R-X=0$ quando $X>R$)⁽¹⁾

	Modelo Linear Plateau (MLP)					Modelo Curvilíneo Plateau (MCP)				
	Pa. ⁽²⁾	Est. ⁽²⁾	E.P ⁽²⁾	F ⁽³⁾	P ⁽³⁾	Pa. ⁽²⁾	Est. ⁽²⁾	E.P ⁽²⁾	F ⁽³⁾	P ⁽³⁾
Ganho Médio Diário	L	728,5	15,7492	15,60	<0,0001	L	729,9	17,9195	16,62	<0,0001
	U	-45,4549	11,3001			V	-4,4112	1,9218		
	R	16,0385	0,7415			R	18,2585	1,5120		
Índice de Conversão	L	2,0116	0,0383	19,45	<0,0001	L	2,0020	0,0422	19,30	<0,0001
	U	0,2890	0,0633			V	0,0308	0,0117		
	R	13,7191	0,4562			R	15,7212	0,9956		

⁽¹⁾ Y= GMD (g), IC; X= Rácio Trp:Lys DIS; L: GMD ou IC no ponto de quebra; U: Inclinação da reta; V: Inclinação da curva; R: valor da relação Trp:Lys DIS no ponto de quebra.

⁽²⁾ Pa. - Parâmetros; Est. - Estimativa; E.P - Erro padrão

⁽³⁾ Valor de F e nível de significância do modelo

Esta análise demonstra que ambos os modelos (MLP e MCP) foram altamente significativos ($P < 0,0001$) na modelação da variação do GMD em função da relação Trp:Lys (quadro 6). O rácio Trp:Lys DIS calculado por cada um dos modelos varia entre 16,0% (MLP) e 18,3% (MCP) (ver quadro 6 e figura 8). Estes valores não são significativamente diferentes dos recomendados pelo NRC (1998 e 2012). O NRC (1998) recomenda um rácio Trp:Lys DIS de 18,1% para suínos dos 20 aos 50 kg, com um nível de Lys DIS de 0,83% e o NRC (2012) veio recomendar um rácio Trp:Lys DIS de 17,4% para suínos dos 25 aos 50 kg, com um nível de Lys DIS de 0,98%.

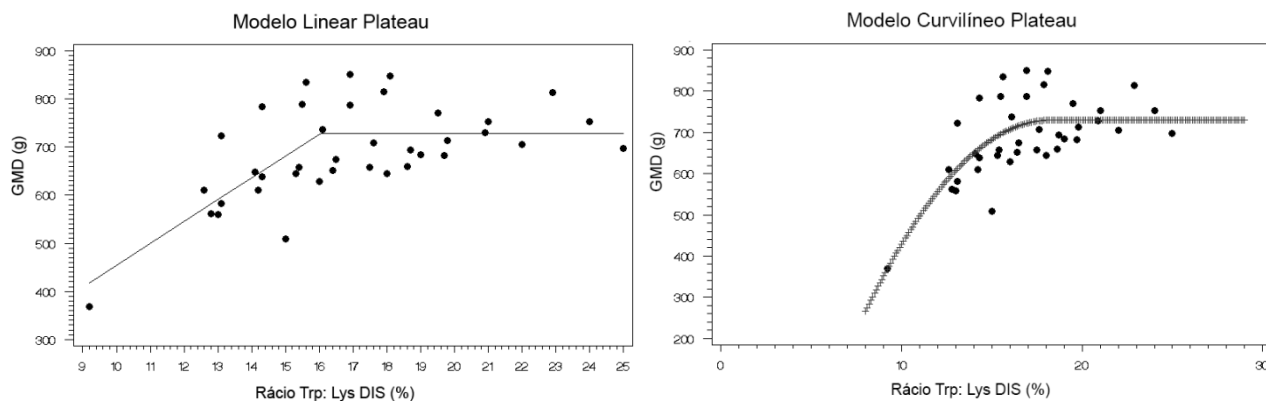


Figura 8 - Representação gráfica da resposta do GMD em função do rácio Trp:Lys DIS dos regimes de suínos (25-50 kg) apresentados no quadro 5, com os modelos linear plateau e curvilíneo plateau

Também no que se refere ao IC, tanto o MLP como o MCP são modelos altamente significativos ($P < 0,0001$). Contudo o rácio Trp:Lys DIS calculado por cada um dos modelos varia entre 13,7% (MLP) e 15,7% (MCP) (ver quadro 6 e figura 9), valores estes que são inferiores aos recomendados pelo NRC (1998 e 2012). Parte da explicação desta discrepância pode passar pela variabilidade inerente às diferentes condições em que foram realizados os ensaios ter contribuído para a diminuição da precisão da estimativa do melhor rácio Trp:Lys DIS, juntamente com o facto de a amostra ser de pequena dimensão.

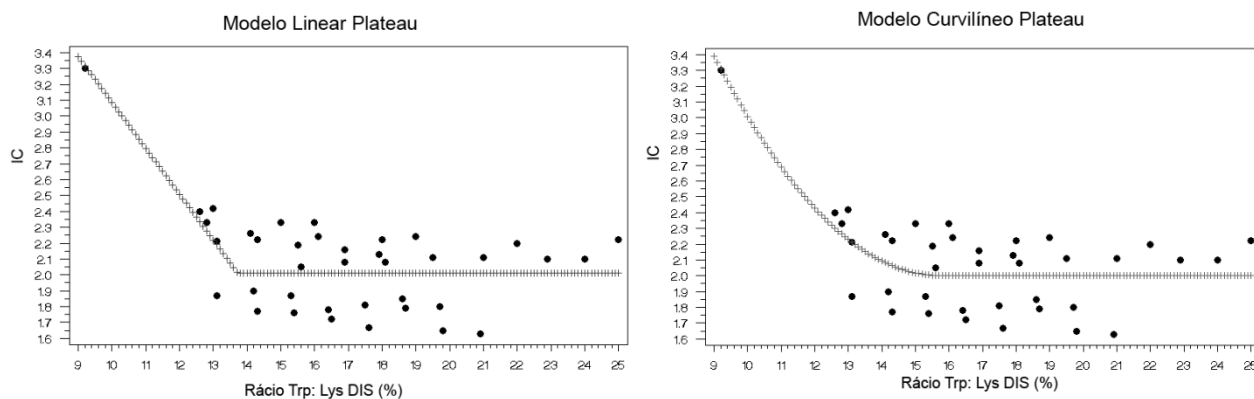


Figura 9 - Representação gráfica da resposta do IC em função do rácio Trp:Lys DIS dos regimes de suínos (25-50 kg) apresentados no quadro 5, com os modelos linear plateau e curvilíneo plateau

2.6.3 - Efeito do rácio triptofano:lisina na resposta zootécnica de suínos em acabamento

Os resultados das performances zootécnicas (GMD e IC) alcançados com diferentes rácios Trp:Lys DIS utilizados para estimar o rácio ótimo Trp:Lys DIS para suínos na fase de acabamento estão apresentados no quadro 7.

Quadro 7 - Efeito de diferentes rácios triptofano:lisina no ganho médio diário e índice de conversão em suínos em acabamento

	Peso vivo (kg)	Suínos em Acabamento						Referência
		Rácio Trp:Lys DIS						
		1	2	3	4	5	6	
Ganho Médio Diário (g)	55 a 110	939	951	957	935	-	-	Bikker e Fledderus (2008)* ⁽¹⁾
	88 a 114	718	945	926	925	807	906	Kendall et al. (2007) ⁽²⁾
	75 a 105	690	750	930	900	850	-	Guzik et al. (2005b) ⁽³⁾
	50 a 80	479	577	742	872	876	-	Eder et al. (2003) ⁽⁴⁾
	80 a 115	561	672	721	738	753	-	Eder et al. (2003) ⁽⁵⁾
Índice de Conversão	55 a 110	2,46	2,54	2,60	2,60	-	-	Bikker e Fledderus (2008)* ⁽¹⁾
	88 a 114	4,40	3,84	3,85	3,79	3,93	3,93	Kendall et al. (2007) ⁽²⁾
	75 a 105	5,35	4,69	3,55	3,73	4,07	-	Guzik et al. (2005b) ⁽³⁾
	50 a 80	3,61	3,13	2,72	2,46	2,47	-	Eder et al. (2003) ⁽⁴⁾
	80 a 115	4,68	4,18	3,71	3,75	3,53	-	Eder et al. (2003) ⁽⁵⁾

* Citados por Ajinomoto Eurolysine (2011);

⁽¹⁾ Rácio Trp:Lys DIS - 1- 15,0%; 2- 18,0%; 3- 21,0%; 4- 24,0%; Lys DIS – 0,76%

⁽²⁾ Rácio Trp:Lys DIS - 1- 10,9%; 2- 14,5%; 3- 18,2%; 4- 21,8%; 5- 25,5%; 6- 29,0%; Lys DIS – 0,55%

⁽³⁾ Rácio Trp:Lys DIS - 1- 11,5%; 2- 15,4%; 3- 19,2%; 4- 23,1%; 5- 26,9%; Lys DIS – 0,52%

⁽⁴⁾ Rácio Trp:Lys DIS - 1- 8,8%; 2- 12,5%; 3- 15,0%; 4- 18,8%; 5- 21,3%; Lys DIS – 0,80%

⁽⁵⁾ Rácio Trp:Lys DIS - 1- 8,9%; 2- 12,5%; 3- 16,1%; 4- 19,6%; 5- 23,2%; Lys DIS – 0,56%

Realizando uma análise aos resultados do quadro 7, constata-se que Bikker e Fledderus (2008) citados por Ajinomoto Eurolysine (2011), Kendall et al. (2007) e Guzik et al. (2005b) obtiveram o melhor valor para o GMD nos rácios Trp:Lys DIS de 21,0%, 14,5% e 19,2%, respetivamente. Porém, o melhor valor para o GMD nos trabalhos de Eder et al. (2003) foi atingido com os rácios Trp:Lys DIS de 21,3 e 23,2%, nos ensaios com suínos dos 50 aos 80 kg e dos 80 aos 115 kg de peso vivo, respetivamente. Relativamente ao IC, Eder et al. (2003) alcançaram um melhor IC com os rácios Trp:Lys DIS de 18,8 e 23,2%, nos ensaios com suínos dos 50 aos 80 kg e dos 80 aos 115 kg, respetivamente. Todavia, nos trabalhos de Bikker e Fledderus (2008) citados por Ajinomoto Eurolysine (2011), Kendall et al. (2007) e Guzik et al. (2005b) o melhor IC foi atingido com os rácios Trp:Lys DIS de 15,0%, 21,8% e 19,2%, respetivamente.

No quadro 8 é apresentado o resultado do GMD e do IC de suínos na fase de acabamento em função do rácio Trp:Lys DIS do regime.

Quadro 8 - Resposta do GMD e IC em função da relação Trp:Lys DIS dos regimes de suínos em acabamento, apresentados no quadro 7, analisada de acordo com os modelos linear plateau ($Y = L + U(R-X)$ com $R-X=0$ quando $X>R$) e curvilíneo plateau ($Y = L + V(R-X)(R-X)$ com $R-X=0$ quando $X>R$)⁽¹⁾

	Modelo Linear Plateau (MLP)					Modelo Curvilíneo Plateau (MCP)				
	Pa. ⁽²⁾	Est. ⁽²⁾	E.P ⁽²⁾	F ⁽³⁾	P ⁽³⁾	Pa. ⁽²⁾	Est. ⁽²⁾	E.P ⁽²⁾	F ⁽³⁾	P ⁽³⁾
Ganho Médio Diário	L	880,4	22,9603	19,61	<0,0001	L	876,1	24,6194	19,95	<0,0001
	U	-40,0832	10,5032			V	-3,0773	1,6310		
	R	17,1154	1,4172			R	19,6158	2,5587		
Índice de Conversão	L	3,3429	0,1973	2,79	0,0830	L	3,3560	0,2169	2,61	0,0963
	U	0,1346	0,0903			V	0,00940	0,0138		
	R	16,8785	3,5018			R	19,7634	7,2071		

⁽¹⁾ Y= GMD (g), IC; X= Rácio Trp:Lys DIS; L: GMD ou IC no ponto de quebra; U: Inclinação da reta; V: Inclinação da curva; R: valor da relação Trp:Lys DIS no ponto de quebra.

⁽²⁾ Pa. - Parâmetros; Est. - Estimativa; E.P - Erro padrão

⁽³⁾ Valor de F e nível de significância do modelo

Através do quadro 8, observa-se que tanto o MLP como o MCP para o GMD são modelos muito significativos (ambos com $P<0,0001$). O rácio Trp:Lys DIS calculado por cada um dos modelos varia entre 17,1% (MLP) e 19,6% (MCP) (ver quadro 8 e figura 10). Estes valores não são significativamente diferentes dos recomendados pelo NRC (1998 e 2012), o NRC (1998) recomenda um rácio Trp:Lys DIS de 18,2% para suínos dos 50 aos 80 kg e de 19,2% para suínos dos 80 aos 120 kg, com os níveis de Lys DIS de 0,66 e 0,52%, respetivamente e o NRC (2012) veio recomendar um rácio Trp:Lys DIS de 17,6% para os suínos dos 50 aos 75 kg; de 17,8% para suínos dos 75 aos 100 kg e de 18,0% para suínos dos 100 aos 135 kg de peso vivo, com os níveis de Lys DIS de 0,85%, 0,73% e 0,61%, respetivamente.

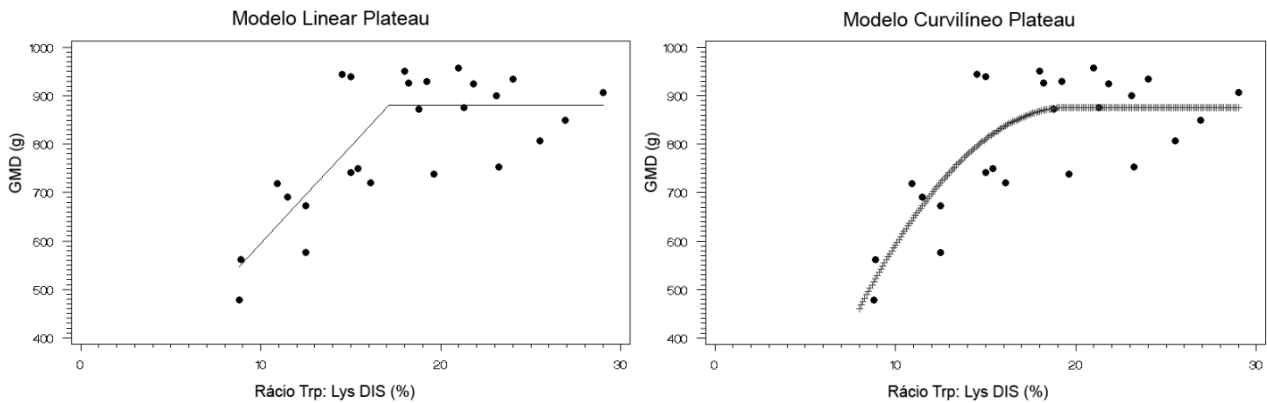


Figura 10 - Representação gráfica da resposta do GMD em função do rácio Trp:Lys DIS dos regimes de suínos em acabamento apresentados no quadro 7, com os modelos linear plateau e curvilíneo plateau

Relativamente ao IC, observa-se que tanto o MLP como o MCP são modelos significativos apenas para um nível de significância de 10%. O rácio Trp:Lys DIS calculado por cada um dos modelos varia entre 16,9% (MLP) e 19,8% (MCP) (ver quadro 6 e figura 11). Estes valores, como aconteceu com os estimados para o GMD também não são significativamente diferentes dos recomendados pelo NRC (1998 e 2012).

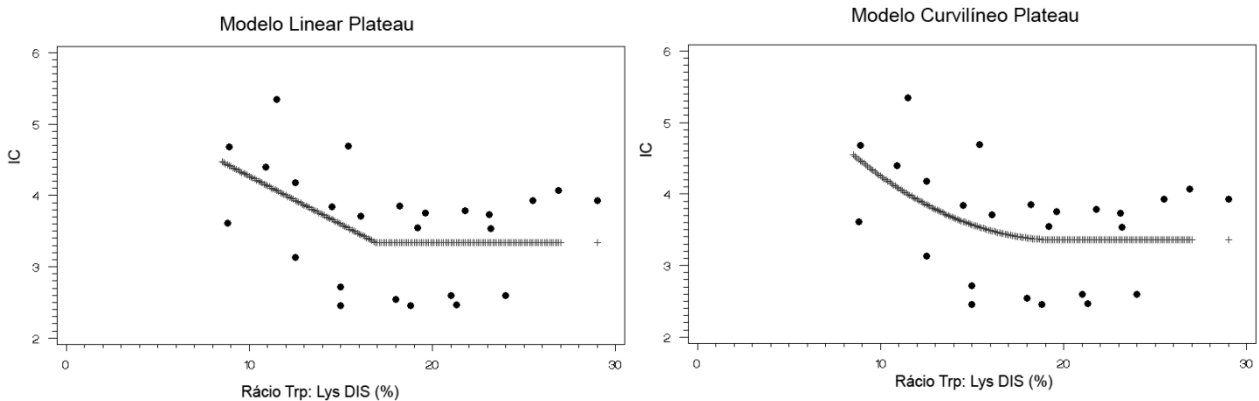


Figura 11 - Representação gráfica da resposta do IC em função do rácio Trp:Lys DIS dos regimes de suínos em acabamento apresentados no quadro 7, com os modelos linear plateau e curvilíneo plateau

3 - MATERIAIS E MÉTODOS

O ensaio foi realizado no setor experimental da Secção de Produção Animal do Instituto Superior de Agronomia (ISA) e teve como objetivo estudar o efeito de diferentes rácios Trp:Lys DIS, em dietas com baixo teor em PB onde a Lys foi o AA segundo-limitante a seguir ao Trp, sobre as performances zootécnicas de suínos com peso vivo inicial de 20 kg durante 5 semanas.

3.1 - Animais

Neste ensaio foram utilizados 120 suínos do sexo feminino, resultantes do cruzamento F1 (Large White x Landrace) x Pietran com um peso vivo médio inicial de 18,98 kg (+/- 2,03 kg). Os animais foram identificados e divididos em quatro grupos (30 animais em cada), de forma homogénea de acordo com o seu peso vivo, e instalados em parques de recria à razão de 3 suínos por parque. Cada grupo de suínos recebeu um dos 4 regimes experimentais. Os parques tinham uma dimensão 2,0 x 1,0 m e estavam equipados com um comedouro de chapa zincada, um bebedouro concha e piso de slats em plástico (figura 12). A sala de ensaio dispunha de um sistema de ventilação forçada para renovação do ar regulado por computador com base na temperatura ambiente da sala.



Figura 12 - Sala de ensaio e suínos alojados no parque

3.2 - Regimes alimentares

Os regimes alimentares foram preparados na fábrica de rações da Secção de Produção Animal do ISA. A formulação base dos regimes teve em consideração as necessidades alimentares dos suínos, respeitando as recomendações do NRC (1998) para suínos entre os 20 e os 50 kg de peso vivo. Foram produzidos 4 regimes com 2500 Kcal/kg de alimento (Energia Net), com diferentes níveis de PB e diferentes rácios Trp:Lys DIS. O Regime 1 (R1) foi o regime de controlo formulado para um nível de PB de 16% e um rácio Trp:Lys DIS de 20%. Na formulação dos regimes 2 (R2), 3 (R3) e 4 (R4) o nível de PB foi reduzido em cerca de dois pontos percentuais em relação ao regime controlo e os rácios Trp:Lys DIS foram de 17%, 20% e 22%, respetivamente. Os constituintes e a composição dos regimes experimentais em PB, Lys, Thr, Met, Trp, Val, Ile e Leu, calculada a partir da análise das matérias-primas (anexo A), encontram-se descritos nos quadros 9 e 10, respetivamente.

Quadro 9 - Composição decimal dos regimes experimentais (g/kg)

Composição (g/kg)	Regimes			
	R1	R2	R3	R4
Trigo	380,7	300,1	300,1	300,1
Cevada	252,0	340,0	340,0	340,0
Sêmea de trigo	100,0	100,0	100,0	100,0
Bagaço de soja (46)	90,0	40,0	40,0	40,0
Ervilha	120,0	160,0	160,0	160,0
Óleo de Soja	30,0	30,0	30,0	30,0
L-Lisina	2,4	3,5	3,5	3,5
DL-Metionina	0,7	1,2	1,2	1,2
L-Treonina	1,2	1,9	1,9	1,9
L-Triptofano	-	-	0,3	0,5
L-Valina	-	0,3	0,3	0,3
Carbonato de cálcio	11,0	11,0	11,0	11,0
Fosfato bicálcico	4,0	4,0	4,0	4,0
Cloreto de sódio	3,0	3,0	3,0	3,0
CMV ⁽¹⁾	5,0	5,0	5,0	5,0

⁽¹⁾ Complexo mineral e vitamínico. Composição por kg de alimento: Vit. A: 2.400.000 UI; Vit. D3: 400.000 UI; Vit. E: 5.000 mg; Vit. K3: 200 mg; Vit. B1: 300 mg; Vit. B2: 800 mg; Vit. B3: 4.000 mg; Vit. B5: 2.400 mg; Vit. B6: 500 mg; Vit. B9: 100 mg; Vit. B12: 5 mg; Vit. H2: 14 mg; Colina: 60 g; Fe (carbonato ferroso): 24.000 mg; I (iodeto de potássio): 200 mg; Co (carbonato de cobalto penta-hidratado): 120 mg; Cu (quelato orgânico): 4.000 mg; Mn (óxido de manganês): 12.000 mg; Zn (óxido de zinco): 24.000 mg; Se (selénio de sódio): 70 mg; Butil-hidroxitolueno + Etoxiquina: 15 g; Carbonato de cálcio: 320 g; Sepiolita: 320 g; Endo-1,4-beta xilanase: 2.000 UI.

Quadro 10 - Composição ⁽¹⁾ dos regimes experimentais em proteína bruta, lisina, treonina, metionina, triptofano, valina, isoleucina e leucina

Composição (%)	Regimes			
	R1	R2	R3	R4
Proteína Bruta	16,17	14,52	14,54	14,57
Lisina	0,93	0,93	0,93	0,93
Treonina	0,64	0,65	0,65	0,65
Metionina	0,28	0,31	0,31	0,31
Triptofano	0,20	0,17	0,20	0,22
Valina	0,72	0,67	0,67	0,67
Isoleucina	0,61	0,52	0,52	0,52
Leucina	1,07	0,93	0,93	0,93

⁽¹⁾ Calculada a partir da análise das matérias-primas (anexo A)

A preparação dos regimes começou com o processo de moenda do trigo, cevada e ervilha num moinho de martelos móveis com crivo de 3 mm de diâmetro. Em seguida, procedeu-se à pesagem das diversas matérias-primas e à sua introdução numa misturadora horizontal com fita em espiral, onde todos os ingredientes foram misturados durante aproximadamente 10 minutos. Por fim, realizou-se o “ensaque” do alimento em palotes de plástico.

3.3 - Protocolo experimental

Os animais antes de entrarem na parte experimental estavam todos a receber o mesmo regime alimentar.

O ensaio teve a duração de 5 semanas. Durante todo o período experimental os suínos foram alimentados *ad libitum*, tendo sido registada a quantidade de alimento adicionada diariamente por parque.

Semanalmente (ao início de cada período experimental) os suínos foram pesados individualmente e, nesta altura, também foi retirado e pesado o refugo de alimento presente nos comedouros para posterior cálculo da ingestão alimentar (figura 13).

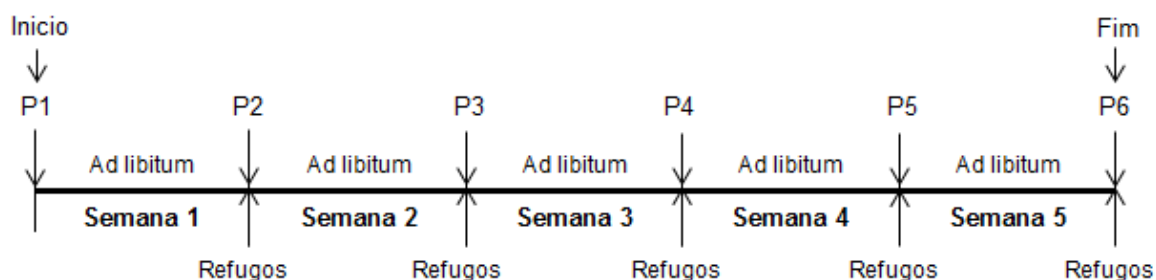


Figura 13 - Esquema do ensaio experimental

Legenda: P1, P2, P3, P4, P5 e P6 – Pesagem individual dos animais

Durante a experiência foi criada uma refeição “simulada” para cada um dos quatro regimes com a mistura diária de uma pequena quantidade de ração. No final do ensaio estas amostras foram analisadas para a PB e AA.

O estado de saúde dos suínos foi analisado diariamente pelo controlo da mortalidade e consistência das fezes em cada parque utilizando uma escala de 0 a 3, de acordo com Marquardt et al. (1999) (quadro 11).

Quadro 11 - Índice de consistência fecal e respetivo estado das fezes

Índice de consistência	Estado das fezes
0	Normais
1	Moles
2	Diarreia moderada
3	Diarreia severa

3.4 - Análises químicas aos regimes alimentares

Todas as análises foram realizadas no laboratório da Ajinomoto Eurolysine (Amiens, França). As análises ao N foram realizadas usando o método Dumas (standard NF EN ISO 16634-1), que consiste na combustão da amostra a elevada temperatura. O N_2 é medido através de um detetor de condutividade térmica, estando o princípio da deteção ligado à condutividade do gás. O conteúdo de AA foi analisado usando o método AFNOR (standard NF EN ISSO 13903). Todos os AA, exceto a Met, Cys e Trp, foram hidrolisados através de

uma hidrólise de refluxo durante 23 horas a 110°C. A Met e a Cys foram hidrolisadas, mas após oxidação com ácido perfórmico. Os AA foram separados por cromatografia de permuta iónica e depois determinados por deteção fotométrica a 570 nm (440 nm para a prolina) após reação com ninidrina. O Trp foi analisado por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência, após hidrólise alcalina com hidróxido de bário, usando o método AFNOR (standard XP V18-114) (Ajinomoto Eurolysine, 2014).

3.5 - Performances zootécnicas avaliadas

- **Ganho médio diário (GMD):** É o quociente entre o ganho de peso e o número de dias do período experimental. Sendo calculado pela seguinte fórmula:

$$\text{GMD (g. dia}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Peso}_{\text{final}} - \text{Peso}_{\text{inicial}}}{\text{n}^{\circ} \text{ de dias do período experimental}}$$

- **Ingestão média diária (IMD):** É o quociente entre a quantidade de alimento ingerido e o número de dias do período experimental. Calculada com base na seguinte fórmula:

$$\text{IMD (g. dia}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Alimento fornecido} - \text{Alimento refugado}}{\text{n}^{\circ} \text{ de dias do período experimental}}$$

- **Índice de conversão alimentar (IC):** Representa a quantidade necessária de alimento ingerido para que um animal aumente 1 kg de peso vivo, num determinado período de tempo. Sendo calculado através da seguinte fórmula:

$$\text{IC} = \frac{\text{Quantidade de alimento ingerido}}{\text{Ganho de peso}}$$

3.6 - Análise estatística

No que respeita aos valores da IMD e do IC, o parque foi a unidade experimental (n=40). Para o peso vivo individual e GMD o animal foi a unidade experimental (n=120).

Os resultados das performances de crescimento foram comparados pelo método dos contrastes polinomiais através do procedimento *General Linear Models* (GLM) do programa SAS (SAS, 1991). Neste âmbito foram comparados os seguintes contrastes:

- Contraste 1: R1 versus R2 que ilustra o efeito da redução do teor de PB sem equilíbrio da relação Trp:Lys.
- Contraste 2: R1 versus R3 que traduz o efeito da redução do teor de PB com equilíbrio da relação Trp:Lys.
- Contraste 3: R2 versus R3 que representa o efeito do aumento do rácio Trp:Lys DIS de 17 para 20% em regimes de baixa proteína.
- Contraste 4: R2 versus R4 que compara os rácios Trp:Lys DIS de 17 e 22% em regimes de baixa proteína.
- Contraste 5: R3 versus R4 que ilustra o efeito do aumento do rácio Trp:Lys DIS de 20 para 22% mais uma vez em regimes de baixa proteína.

O cálculo das equações de regressão linear representando a variação do peso vivo com a idade (dias) foi efetuado para cada suíno pelo procedimento REG do programa SAS (SAS, 1991). Os parâmetros das equações de regressão foram comparados pelo método dos contrastes polinomiais utilizando-se o procedimento GLM do programa SAS (SAS, 1991).

Finalmente, a variação do ritmo de aumento de peso (GMD) dos suínos em função do rácio Trp:Lys DIS foi analisada por regressão não linear utilizando o Modelo Linear Plateau (MLP) e o Modelo Curvilíneo Plateau (MCP) através do procedimento NLIN do programa SAS (SAS, 1991) em conformidade com Robbins et al. (2006).

4 - RESULTADOS

4.1 - Composição dos regimes alimentares

A análise química dos regimes feita com base nas amostras das refeições simuladas mostra que os níveis analíticos de PB foram de 16,48%, 14,44%, 14,60% e 14,67% para os regimes 1, 2, 3 e 4, respetivamente (quadro 12). Estes valores encontram-se em linha com os valores esperados, calculados a partir da composição química das matérias-primas. Além disso, os resultados analíticos para a Lys, Thr, Met, Trp, Val, Ile e Leu (quadro 12) estão igualmente em coincidência com os valores esperados. Em anexo, é apresentada a composição analítica dos regimes em todos os AA (anexo B).

Quadro 12 - Composição dos regimes experimentais em proteína bruta, lisina, treonina, metionina, triptofano, valina, isoleucina e leucina: resultados analíticos ⁽¹⁾

	Regime 1		Regime 2		Regime 3		Regime 4	
	Analizado ⁽¹⁾	Esperado ⁽²⁾	Analizado ⁽¹⁾	Esperado ⁽²⁾	Analizado ⁽¹⁾	Esperado ⁽²⁾	Analizado ⁽¹⁾	Esperado ⁽²⁾
PB (%)	16,48	16,17	14,44	14,52	14,60	14,54	14,67	14,57
Lys (%)	0,94	0,93	0,91	0,93	0,95	0,94	0,95	0,94
Thr (%)	0,66	0,64	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
Met (%)	0,28	0,28	0,31	0,31	0,30	0,31	0,31	0,31
Trp (%)	0,20	0,20	0,17	0,17	0,19	0,19	0,22	0,22
Val (%)	0,73	0,72	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67
Ile (%)	0,61	0,61	0,51	0,52	0,51	0,52	0,52	0,52
Leu (%)	1,09	1,07	0,93	0,93	0,94	0,93	0,94	0,93

⁽¹⁾ Para cada regime os resultados são a média de duas amostras. Análises realizadas por Ajinomoto Eurolysine.

⁽²⁾ Calculados a partir da análise química das matérias-primas (anexo A).

A partir da análise química dos regimes e utilizando os valores de digestibilidade ileal standard relatados pelo INRA (2002) foi calculada a composição dos mesmos em AA DIS (quadro 13 e anexo C).

Quadro 13 - Composição dos regimes em lisina, treonina, metionina, cistina, triptofano, valina, isoleucina e leucina (DIS %) e respetivos rácios em relação à lisina

	Regimes			
	R1	R2	R3	R4
DIS (%) ⁽¹⁾				
Lisina	0,808	0,809	0,809	0,809
Treonina	0,539	0,546	0,546	0,546
Metionina	0,252	0,277	0,277	0,277
Cistina	0,236	0,210	0,210	0,210
Met + Cys	0,488	0,487	0,487	0,487
Triptofano	0,167	0,141	0,165	0,190
Valina	0,601	0,550	0,550	0,550
Isoleucina	0,519	0,436	0,436	0,436
Leucina	0,926	0,790	0,790	0,790
Treonina:lisina (%)	66,7	67,5	67,5	67,5
AA sulfurados:lisina (%)	60,4	60,3	60,3	60,3
Triptofano:lisina (%)	20,7	17,4	20,5	23,5
Valina:lisina (%)	74,4	67,9	67,9	67,9
Isoleucina:lisina (%)	64,2	53,9	53,9	53,9
Leucina:lisina (%)	114,6	97,7	97,7	97,7

⁽¹⁾ Aminoácidos digestíveis ileais standard

O Trp DIS foi de 0,17%, 0,14%, 0,17% e 0,19% e o rácio Trp:Lys DIS de 20,7%, 17,4%, 20,5% e 23,5% para os regimes 1, 2, 3 e 4, respetivamente. Os rácios Thr:Lys e AA sulfurados:Lys DIS estavam próximos entre os regimes e cobriram as necessidades dos animais tendo em conta os rácios recomendados pelo NRC (1998), Thr:Lys DIS de 63% e AA sulfurados:Lys DIS de 57%. Os rácios Val:Lys, Ile:Lys e Leu:Lys DIS foram superiores a 67%, 53% e 97%, respetivamente, em todos os regimes, respeitando assim as recomendações do NRC (1998) para suínos entre 20-50 kg, pelo que não é expectável que estes AA tenham sido limitativos das performances de crescimento.

4.2 - Estado de saúde e performances zootécnicas

Todos os suínos estiveram em bom estado de saúde durante todo o ensaio. Consequentemente, não houve quaisquer problemas de mortalidade ou diarreia e por isso não são apresentados dados referentes à taxa de mortalidade ou consistência das fezes.

Os resultados relativos ao efeito dos regimes experimentais sobre o peso dos suínos e sobre o GMD são apresentados no quadro 14. O peso vivo inicial dos suínos nos 4 regimes foi de aproximadamente 19 kg, o valor mais baixo 18,96 kg (R1) e o valor mais alto 19,02 kg (R4). No final das 5 semanas, o peso vivo (kg) dos suínos nos 4 regimes não foi significativamente diferente, o peso final mais baixo foi de 41,18 kg no R2 e o peso final mais alto foi de 42,45 kg no R1.

A redução do teor de PB em dois pontos percentuais sem equilíbrio na relação Trp:Lys (R1 vs R2 - contraste 1) influenciou significativamente o GMD dos suínos na primeira ($P=0,0276$) e na quinta semana ($P=0,0473$), mostrando também uma tendência para influenciar na terceira semana ($P=0,0609$). Os animais que receberam o R2 tiveram um GMD mais baixo 7%, na primeira e na quinta semana em relação ao R1. Considerando o total das 5 semanas constatou-se que a redução do teor de PB sem equilíbrio na relação Trp:Lys influenciou negativamente o GMD dos suínos ($P=0,0187$). Na totalidade do ensaio, os suínos do R2 tiveram um GMD inferior em cerca de 6% relativamente aos do R1.

Comparando os resultados do R1 com os do R3 (contraste 2) verificou-se que a redução do teor de PB em dois pontos percentuais com equilíbrio na relação Trp:Lys afetou de forma significativa o GMD dos suínos na terceira ($P=0,0104$) e na quinta semana ($P=0,0160$). Na terceira semana com o R3 o GMD foi mais baixo em 10% e na quinta semana em cerca de 9% que com o R1. Contudo, no conjunto das 5 semanas a redução do teor de PB em dois pontos percentuais mas mantendo a relação Trp:Lys não revelou ter influência significativa sobre o GMD ($P=0,1228$).

O aumento do rácio Trp:Lys DIS de 17,4 para 20,5% em regimes com 14,5% de PB (R2 vs R3 - contraste 3), influenciou de forma significativa o GMD apenas na primeira semana ($P=0,0038$). Os suínos do R3 tiveram um GMD mais alto em cerca de 10% que os do R2, na primeira semana.

Em relação ao aumento do rácio Trp:Lys DIS de 17,4 para 23,5% em regimes de baixa proteína (14,5%) (R2 vs R4 - contraste 4), constatou-se que afetou significativamente o GMD dos suínos na primeira semana ($P=0,0070$). Com o R4 o GMD foi 9% mais alto do que com o R2. Não se tendo verificado um efeito significativo sobre o GMD no total das 5 semanas ($P=0,0815$).

Quadro 14 - Efeito do teor de proteína bruta e da relação triptofano:lisina no peso vivo (kg) e no ritmo de crescimento (GMD) dos suínos

	Regime 1 n=30	Regime 2 n=30	Regime 3 n=30	Regime 4 n=30	SEM ⁽¹⁾	Contrastes ⁽¹⁾				
						1	2	3	4	5
PB (%)	16,5	14,4	14,6	14,7	—					
Trp:Lys DIS (%)	20,7	17,4	20,5	23,5	—					
Semana 1										
Peso inicial (kg)	18,96	18,99	18,95	19,02	0,131	0,9299	0,9876	0,9175	0,9134	0,8319
Peso final (kg)	23,87	23,55	23,98	24,01	0,162	0,4464	0,7995	0,3102	0,2705	0,9304
GMD (g)	702	652	717	713	8,06	0,0276	0,4791	0,0038	0,0070	0,8380
Semana 2										
Peso final (kg)	28,17	27,68	28,33	28,16	0,191	0,3059	0,7448	0,1777	0,3158	0,7292
GMD (g)	615	590	622	593	8,17	0,2463	0,7373	0,1354	0,8945	0,1734
Semana 3										
Peso final (kg)	33,03	32,16	32,67	32,68	0,205	0,1288	0,5361	0,3667	0,3636	0,9953
GMD (g)	693	640	621	645	11,61	0,0609	0,0104	0,4850	0,8685	0,3878
Semana 4										
Peso final (kg)	37,84	36,90	37,81	37,67	0,235	0,1314	0,9549	0,1500	0,2176	0,8271
GMD (g)	688	677	707	713	9,60	0,6388	0,4489	0,2220	0,1386	0,8035
Semana 5										
Peso final (kg)	42,45	41,18	41,60	42,17	0,258	0,0771	0,2359	0,5577	0,1663	0,4237
GMD (g)	658	611	601	643	8,91	0,0473	0,0160	0,6657	0,1754	0,0745
Total										
Peso inicial (kg)	18,96	18,99	18,95	19,02	0,131	0,9299	0,9876	0,9175	0,9134	0,8319
Peso final (kg)	42,45	41,18	41,60	42,17	0,258	0,0771	0,2359	0,5577	0,1663	0,4237
GMD (g)	671	634	647	661	7,90	0,0187	0,1228	0,4135	0,0815	0,3532

⁽¹⁾ **SEM**: Desvio padrão da média; **Contraste 1**: R1 vs R2 (redução do teor de PB sem equilíbrio do rácio Trp:Lys DIS); **Contraste 2**: R1 vs R3 (redução do teor de PB com equilíbrio do rácio Trp:Lys DIS); **Contraste 3**: R2 vs R3 (rácio Trp:Lys DIS 17,4% vs 20,5%); **Contraste 4**: R2 vs R4 (rácio Trp:Lys DIS 17,4% vs 23,5%); **Contraste 5**: R3 vs R4 (rácio Trp:Lys DIS 20,5% vs 23,5%);

No quadro 15, apresenta-se a análise dos resultados sobre a IMD e o IC. A IMD dos suínos no global das 5 semanas nos 4 regimes foi de 1322 g (a mais baixa de 1295 g no R2 e a mais alta de 1347 g no R1) e a IMD expressa em g/kg de peso vivo foi de 43,5 g/kg (43,0 g/kg a mais baixa (R2) e 43,9 g/kg a mais elevada (R1)). No que respeita ao IC, o valor médio foi de 2,06 nos 4 regimes no total das 5 semanas (o valor mais baixo 2,03 (R1 e R4) e o mais alto 2,10 (R3)).

A redução do teor de PB em dois pontos percentuais sem equilíbrio do rácio Trp:Lys (R1 vs R2 - contraste 1) influenciou significativamente a IMD expressa em g e em g/kg de peso vivo na primeira semana de ensaio ($P=0,0028$ e $P=0,0150$, respetivamente). Os suínos do R2 tiveram uma IMD (g) e uma IMD em g/kg de peso vivo menor em cerca de 8%, que os suínos do R1 durante esta semana. Tendo em conta o total das 5 semanas constatou-se que a redução do teor de PB sem equilíbrio do rácio Trp:Lys teve influência significativa sobre a IMD (g) ($P=0,0432$). No total os suínos do R2 tiveram uma IMD (g) inferior em cerca de 4% comparativamente aos do R1.

Da mesma forma, quando a relação Trp:Lys DIS passou de 17,4 para 20,5% em regimes de baixa proteína (R2 vs R3 - contraste 3), houve um aumento significativo da IMD (g) na primeira semana ($P=0,0158$) e uma tendência para o aumento da IMD expressa em g/kg de peso vivo na primeira semana ($P=0,0606$) e expressa em g e em g/kg de peso vivo na segunda semana de ensaio ($P=0,0616$ e $P=0,0526$, respetivamente). Pelo contrário o aumento do rácio Trp:Lys DIS acima dos 20,5% (contrastes 4 e 5) não afetou significativamente a IMD ao longo das 5 semanas experimentais.

Relativamente ao IC, os resultados mostraram uma melhoria significativa na primeira semana de ensaio quando se reduziu o teor de PB de 16,5 para 14,6% mantendo-se o rácio Trp:Lys DIS em 20,5% ($P=0,0139$; contraste 2 - R1 vs R3). Contudo, efeito contrário ocorreu na terceira semana experimental pelo que considerando a totalidade das 5 semanas experimentais a variação do teor de PB dos regimes não afetou significativamente o IC dos suínos ($P=0,9155$).

Por outro lado, o aumento da relação Trp:Lys DIS até 23,5% melhorou significativamente o IC durante a primeira semana (contrastes 4 e 5; $P<0,0001$ e $P=0,0036$, respetivamente), mas este efeito não se manteve nas semanas seguintes. Assim, considerando a totalidade do período experimental a relação Trp:Lys não afetou significativamente o IC.

Quadro 15 - Efeito do teor de proteína bruta e da relação triptofano:lisina na ingestão de alimento e no índice de conversão dos suínos

	Regime 1 n=10	Regime 2 n=10	Regime 3 n=10	Regime 4 n=10	SEM ⁽¹⁾	Contrastes ⁽¹⁾				
						1	2	3	4	5
PB (%)	16,5	14,4	14,6	14,7	—					
Trp:Lys DIS (%)	20,7	17,4	20,5	23,5	—					
Semana 1										
IMD (g)	1053	966	1035	980	0,011	0,0028	0,5390	0,0158	0,6090	0,0543
IMD (g/kg peso vivo)	49,3	45,6	48,5	45,6	0,55	0,0150	0,5599	0,0606	0,9893	0,0624
IC	1,50	1,49	1,45	1,38	0,010	0,4549	0,0139	0,0812	<0,0001	0,0036
Semana 2										
IMD (g)	1228	1174	1251	1204	0,014	0,1880	0,5713	0,0616	0,4586	0,2529
IMD (g/kg peso vivo)	47,1	45,9	47,8	46,1	0,353	0,1944	0,5114	0,0526	0,8239	0,0849
IC	2,01	2,01	2,02	2,07	0,021	0,9482	0,8456	0,8967	0,3478	0,4180
Semana 3										
IMD (g)	1399	1359	1358	1365	0,014	0,3213	0,3045	0,9719	0,8858	0,8581
IMD (g/kg peso vivo)	45,8	45,5	44,6	45,1	0,502	0,8246	0,3952	0,5289	0,7500	0,7553
IC	2,06	2,17	2,27	2,15	0,034	0,2425	0,0216	0,2467	0,8477	0,1778
Semana 4										
IMD (g)	1554	1521	1532	1548	0,020	0,5594	0,7013	0,8410	0,6323	0,7810
IMD (g/kg peso vivo)	43,8	44,0	43,7	44,1	0,489	0,9154	0,9154	0,8318	0,9042	0,7394
IC	2,27	2,26	2,30	2,19	0,021	0,8916	0,6214	0,5289	0,2486	0,0766
Semana 5										
IMD (g)	1504	1452	1453	1497	0,016	0,2549	0,2650	0,9809	0,3288	0,3407
IMD (g/kg peso vivo)	37,6	37,2	36,9	37,7	0,440	0,7526	0,5655	0,7948	0,6937	0,5136
IC	2,32	2,40	2,45	2,35	0,027	0,2582	0,0867	0,5529	0,4848	0,1982
Total										
IMD (g)	1347	1295	1326	1319	0,009	0,0432	0,4060	0,2261	0,3500	0,7804
IMD (g/kg peso vivo)	43,9	43,0	43,8	43,1	0,241	0,2058	0,8838	0,2623	0,9417	0,2943
IC	2,03	2,07	2,10	2,03	0,020	0,4070	0,9155	0,4693	0,5482	0,9015

⁽¹⁾ SEM: Desvio padrão da média; **Contraste 1:** R1 vs R2 (redução do teor de PB sem equilíbrio do rácio Trp:Lys DIS); **Contraste 2:** R1 vs R3 (redução do teor de PB com equilíbrio do rácio Trp:Lys DIS); **Contraste 3:** R2 vs R3 (rácio Trp:Lys DIS 17,4% vs 20,5%); **Contraste 4:** R2 vs R4 (rácio Trp:Lys DIS 17,4% vs 23,5%); **Contraste 5:** R3 vs R4 (rácio Trp:Lys DIS 20,5% vs 23,5%);

Foram calculadas as equações de regressão linear que traduzem a evolução do peso vivo dos suínos com a idade para cada um dos regimes (quadro 16), sendo todas as regressões altamente significativas (os valores P são todos <0,0001). Pela observação dos resultados das regressões, constata-se que os animais do R1 têm um aumento de peso esperado de 670 g/dia, os do R2 635 g/dia e os do R3 e R4 658 g/dia. Todas as equações apresentam um coeficiente de determinação superior a 0,84, o que significa que mais de 84% da variabilidade inerente à variação do peso dos suínos foi explicada pela variação da idade (dias). As equações de regressão linear foram elaboradas para suínos a partir dos 19 kg de peso vivo e por isso, não é de estranhar que os coeficientes de regressão b (ordenada na origem) sejam negativos para todos os regimes.

Quadro 16 - Equações de regressão linear ($Y = ax + b$) ⁽¹⁾ que traduzem a evolução do peso vivo dos suínos (Y) com a idade (x)

	a	b	R² (2)	P (2)
Regime 1	0,670	-18,54	0,8649	<0,0001
Regime 2	0,635	-16,57	0,8857	<0,0001
Regime 3	0,658	-17,72	0,8513	<0,0001
Regime 4	0,658	-17,75	0,8435	<0,0001

⁽¹⁾ Y: Peso vivo dos suínos (kg); a: Coeficiente de regressão (kg); x: idade (dias); b: Ordenada na origem (kg);

⁽²⁾ R²: Coeficiente de determinação; P: Nível de significância do valor de F do modelo;

As equações de regressão linear foram comparadas e usadas para estimar a idade dos suínos aos 90 e 100 kg de peso vivo (quadro 17). Desta comparação verifica-se que a redução do teor de PB de 16,5 para 14,4% sem equilíbrio do rácio Trp:Lys (R1 vs R2 - contraste 1) influencia significativamente os coeficientes a e b (P=0,0166 e P=0,0180, respetivamente). Os suínos do R2 têm tendência para aumentar por dia (em g) menos 5% que os do R1. No que respeita à estimativa da idade (dias) constata-se que a redução do teor de PB de 16,5 para 14,4% sem equilíbrio do rácio Trp:Lys (R1 vs R2 - contraste 1) também afeta significativamente a idade dos suínos tanto aos 90 como aos 100 kg de peso vivo. Os animais do R2 necessitam de mais 7 dias para atingirem os 90 kg e de mais 8 dias para atingirem os 100 kg do que os do R1. Não havendo diferenças significativas entre as outras equações de regressão linear (seja para os coeficientes seja para a idade aos 90 kg ou 100 kg).

Quadro 17 - Efeito do teor de proteína bruta e da relação triptofano:lisina nos parâmetros que traduzem a evolução do peso dos suínos em função da idade ($Y = ax + b$) ⁽¹⁾

	Regime 1 n=30	Regime 2 n=30	Regime 3 n=30	Regime 4 n=30	SEM ⁽²⁾	Contrastes ⁽²⁾				
						1	2	3	4	5
PB (%)	16,5	14,4	14,6	14,7	—					
Trp:Lys DIS (%)	20,7	17,4	20,5	23,5	—					
a	0,670	0,635	0,658	0,658	7,50	0,0166	0,4240	0,1129	0,1141	0,9850
b	-18,54	-16,57	-17,68	-17,75	0,435	0,0180	0,3037	0,1845	0,1561	0,9366
d90 ⁽³⁾	163	170	166	166	1,51	0,0200	0,2652	0,2296	0,1661	0,8630
d100 ⁽³⁾	178	186	182	181	1,71	0,0206	0,2439	0,2540	0,1590	0,7972

⁽¹⁾ Y: Peso vivo dos suínos (kg); a: Coeficiente de regressão (kg); x: idade (dias); b: Ordenada na origem (kg);

⁽²⁾ **SEM**: Desvio padrão da média; **Contraste 1**: R1 vs R2 (redução do teor de PB sem equilíbrio do rácio Trp:Lys DIS); **Contraste 2**: R1 vs R3 (redução do teor de PB com equilíbrio do rácio Trp:Lys DIS); **Contraste 3**: R2 vs R3 (rácio Trp:Lys DIS 17,4% vs 20,5%); **Contraste 4**: R2 vs R4 (rácio Trp:Lys DIS 17,4% vs 23,5%); **Contraste 5**: R3 vs R4 (rácio Trp:Lys DIS 20,5% vs 23,5%);

⁽³⁾ d90: Estimativa da idade (dias) dos suínos aos 90 kg de peso vivo; d100: Estimativa da idade (dias) dos suínos aos 100 kg de peso vivo;

No quadro 18, está apresentada uma modelação efetuada com o Modelo Linear Plateau (MLP) e Modelo Curvilíneo Plateau (MCP) para se estimar o rácio ótimo Trp:Lys DIS que maximiza o GMD.

Quadro 18 - Variação do GMD em função da relação Trp:Lys DIS dos regimes dos suínos analisada de acordo com os modelos linear plateau ($Y = L + U(R-X)$ com $R-X=0$ quando $X > R$) e curvilíneo plateau ($Y = L + V(R-X)(R-X)$ com $R-X=0$ quando $X > R$) ⁽¹⁾

Modelo Linear Plateau					Modelo Curvilíneo Plateau				
Pa. ⁽²⁾	Est. ⁽²⁾	E.P ⁽²⁾	F ⁽³⁾	P ⁽³⁾	Pa. ⁽²⁾	Est. ⁽²⁾	E.P ⁽²⁾	F ⁽³⁾	P ⁽³⁾
L	661,4	15,7922	1,00	0,3703	L	661,4	15,7922	1,00	0,3703
U	-8,3000	6,4471			V	-1,4951	4,2907		
R	20,2932	2,4158			R	21,2758	6,8244		

⁽¹⁾ Y= GMD (g); X= Rácio Trp:Lys DIS; L: GMD no ponto de quebra; U: Inclinação da reta; V: Inclinação da curva; R: valor da relação Trp:Lys DIS no ponto de quebra.

⁽²⁾ Pa. - Parâmetros; Est. - Estimativa; E.P - Erro padrão

⁽³⁾ Valor de F e nível de significância do modelo.

Através do quadro 18, observa-se que o ponto de quebra em ambos os modelos (MLP e MCP) foi coincidente, correspondente a um GMD de 661 g/dia. Contudo, o rácio Trp:Lys DIS que permitiu um GMD máximo diferiu em um ponto percentual em função do modelo utilizado: 20,3% com o MLP e 21,3% com o MCP.

5 - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O Trp é um AAE que apresenta várias funções biológicas para além do papel importante que tem no crescimento (efeito na síntese proteica). Estimula a ingestão de alimento através da regulação da produção de serotonina no cérebro (Le Floch e Sève, 2007) e das hormonas melatonina (Bubenik et al., 1996) e grelina (Zhang et al., 2007) produzidas no trato gastrointestinal. Tem uma ação na regulação do comportamento animal e no aumento da resistência ao stress (Koopmans et al., 2005, 2006). Além disso, ainda promove um bom estado sanitário, pois está envolvido no controlo da resposta imunitária (Le Floch et al., 2007). No presente ensaio não se evidenciou o possível efeito benéfico do Trp no estado sanitário dos suínos face às boas condições de higiene e de sanidade, não tendo havido diferenças significativas na mortalidade e na frequência de diarreias entre os suínos que receberam os diferentes regimes.

Os resultados obtidos com os regimes de baixa proteína (PB = 14,5%) mostram que o aumento da relação Trp:Lys DIS influenciou significativamente o GMD e o IC dos suínos apenas na primeira semana de ensaio, efeito que não persistiu nas semanas seguintes. Este resultado sugere uma maior sensibilidade dos suínos mais jovens à variação da relação Trp:Lys. Acresce ainda que o aumento desta relação na primeira semana de ensaio pode ter ajudado os animais a combaterem a situação de stress certamente mais presente no início do ensaio, com efeito benéfico no seu crescimento. Na realidade, Koopmans et al. (2005, 2006) mostraram que suínos em crescimento alimentados com níveis elevados de Trp dietético (7 g Trp/kg de alimento vs 2 g Trp/kg de alimento) foram menos afetados quando sujeitos a situações de stress social.

Ainda na primeira semana de ensaio, os resultados mostram uma melhoria do IC quando a relação Trp:Lys DIS aumentou até 23,5%. Contudo, o GMD dos suínos foi máximo para uma relação Trp:Lys DIS de 20,5%. Pode-se assim concluir que na primeira semana de ensaio a relação Trp:Lys DIS para melhor IC foi superior à relação para máximo GMD. Esta discrepância poderá justificar-se por diferenças na composição do aumento de peso dos suínos. É possível que com a relação Trp:Lys DIS de 23,5% os suínos tenham sintetizado mais tecido muscular e menos tecido adiposo em comparação aos alimentados com uma relação Trp:Lys DIS de 20,5%. Sendo sabido que quando os suínos sintetizam mais tecido muscular há melhoria no IC (Oksbjerg e Therkildsen, 2012; Steyn et al., 2012), é perceptível que com a relação Trp:Lys DIS de 23,5%, embora o GMD não tenha aumentado, o IC tenha sido significativamente melhor.

Considerando a globalidade do período experimental, a redução do teor de PB de 16,5 para 14,5% entre o R1 e o R2 reduziu significativamente a ingestão de alimento. Dado que todas as relações Thr:Lys, AA sulfurados:Lys, Val:Lys, Ile:Lys, Leu:Lys DIS cobriram as

recomendações do NRC (1998) para suínos na fase inicial de crescimento, a redução na ingestão de alimento com o R2 pode justificar-se por uma carência de Trp, uma vez que a relação Trp:Lys DIS foi reduzida para 17,4%. Este resultado está de acordo com outros autores que demonstraram que uma carência de Trp tem efeito negativo na ingestão de alimento (Bubenik et al., 1996; Le Floc'h e Sève, 2007; Zhang et al., 2007).

Da mesma forma, a redução do teor de PB em dois pontos percentuais, sem equilíbrio da relação Trp:Lys DIS diminuiu o GMD. Este resultado, em concordância com a redução da ingestão de alimento, mostra que uma relação Trp:Lys DIS de 17,4% foi insuficiente para maximizar o ritmo de crescimento dos suínos. Resultados semelhantes foram obtidos por Jansman et al. (2010) e Naatjes et al. (2010) que concluíram que um rácio Trp:Lys DIS de 17,6% penalizou o GMD de suínos em crescimento. Também no estudo de Vinyeta et al. (2010) com suínos dos 23 aos 50 kg foi demonstrado que um rácio Trp:Lys DIS de 18% não contribuiu para um eficiente ritmo de crescimento. Em contraste, Quant et al. (2012) relataram que para suínos dos 25 aos 50 kg alimentados com uma dieta reduzida em PB, o rácio ótimo Trp:Lys DIS foi de 15,8% para maximizar o GMD. De qualquer modo, é importante notar que Quant et al. (2012) incluíram um antibiótico nos regimes usados, enquanto que os regimes do presente estudo não continham qualquer antibiótico. O uso de antibióticos poderá ter reduzido a degradação do Trp pela microflora intestinal (Puiman et al., 2013) aumentando a sua disponibilidade para o crescimento. Por outro lado, o uso de antibióticos ao melhorar a condição sanitária dos suínos poderá ter reduzido a solicitação do seu sistema imunitário (Le Floc'h et al., 2007) e assim reduzir a necessidade de Trp na resposta inflamatória e imunitária (Melchior et al., 2004).

Considerando ainda a totalidade do período experimental, os resultados mostram que foi possível diminuir a percentagem de PB de 16,5 para 14,5% sem penalização do ritmo de crescimento dos suínos desde que a relação Trp:Lys DIS tenha sido mantida em 20,5%. Contudo, o aumento da relação Trp:Lys DIS para 23,5% não melhorou significativamente o GMD dos animais. Estes resultados apontam para uma relação Trp:Lys DIS de 20,5% para maximização do ritmo de crescimento dos suínos. Também Quiniou et al. (2011) mostraram que o GMD não foi afetado com a redução do teor de PB de 16 para 14,5% mantendo o rácio Trp:Lys DIS em 21% em suínos dos 27 aos 65 kg. Num estudo posterior, realizado por Van der Aar et al. (2012) verificaram que para suínos dos 23 aos 50 kg o rácio Trp:Lys DIS de 21% foi suficiente para maximizar o GMD. Le Bellego e Noblet (2002) e Norgaard e Fernández (2009) relataram que o nível de PB para suínos em crescimento pode ser reduzido sem qualquer efeito negativo no GMD, desde que a suplementação de AA livres assegure o fornecimento correto de AAE.

Com o objetivo de ilustrar a variação do GMD em função da relação Trp:Lys DIS utilizou-se o MLP e o MCP para esta análise (figura 14).

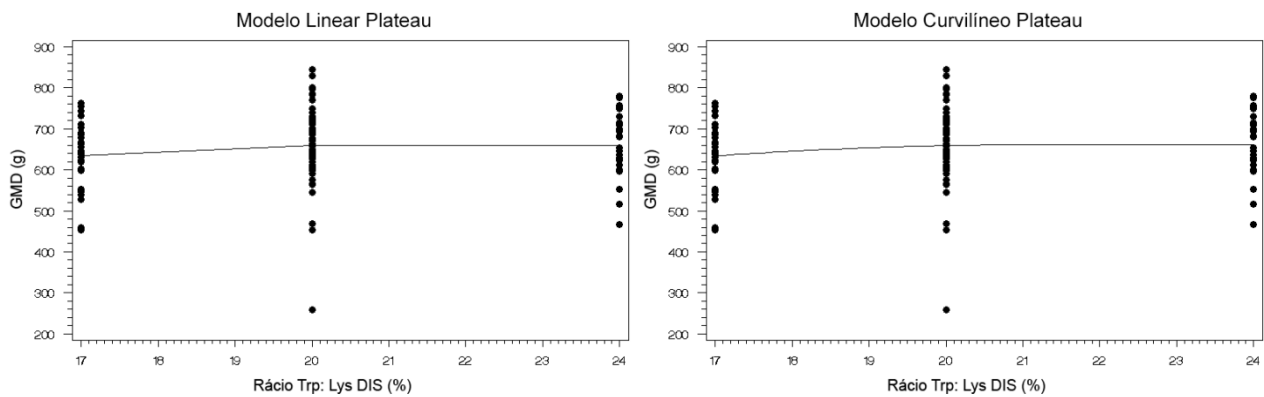


Figura 14 - Representação gráfica da resposta do GMD em função do rácio Trp:Lys DIS dos regimes dos suínos utilizados no presente ensaio, com os modelos linear plateau e curvilíneo plateau

Deste estudo pode-se concluir que o modelo estatístico influencia a estimativa da necessidade do rácio, o que está em linha com os resultados de Barea et al. (2009) e Simongiovanni et al. (2012). As estimativas do rácio Trp:Lys DIS obtidas pelo MLP (20,3%) e MCP (21,3%) estão de acordo com o trabalho de Gloaguen et al. (2013), que relataram que a necessidade estimada pelo MLP é inferior à estimada pelo MCP. O MLP define o valor da necessidade do rácio Trp:Lys como a necessidade mínima para o qual o GMD ótimo é atingido (Robbins et al., 2006). Desta forma, este modelo (MLP) poderá ser mais apropriado para avaliar os dados de um só animal, pois não descreve adequadamente a resposta média de um grupo de animais, enquanto que o MCP tem sido sugerido como o mais adequado para uma população de animais (Pomar et al., 2003; Hauschild et al., 2010). Com efeito, o MCP é o que melhor prediz a variação das necessidades de Trp dos animais ao longo do crescimento, pelo que dá uma estimativa mais correta da relação Trp:Lys que maximiza o GMD.

Todavia, os resultados da modelação demonstram que ambos os modelos não foram significativos (quadro 18). Na origem, pode estar o facto de as relações Trp:Lys DIS testadas neste ensaio não terem permitido um ponto de quebra claro do GMD em função da relação Trp:Lys DIS (figura 14).

Susenbeth (2006) relata que o número de regimes experimentais a testar deverá ser apropriado ($n \geq 5$) e estes devem apresentar um espaçamento aceitável no rácio Trp:Lys DIS, de forma a que o desenho experimental contemple os intervalos de deficiência, adequado e excessivo para permitir uma determinação correta do rácio Trp:Lys. Posto isto, a inexistência do ponto de quebra, poderá justificar-se com o número reduzido de relações Trp:Lys DIS utilizadas.

A análise dos resultados obtidos através da regressão linear revela que a redução do teor de PB de 16,5 para 14,5% sem equilíbrio da relação Trp:Lys DIS leva a que os suínos demorem mais 8 dias a atingirem os 100 kg de peso vivo. Estima-se que na fase de crescimento e acabamento a alimentação represente 80-82% do custo de produção (Agostini e Gasa, 2012). Assim um aumento em 8 dias no tempo de alimentação dos animais implicará um maior consumo de alimento e agravará o custo de produção dos animais. Acresce ainda que uma menor rotatividade dos animais nas infraestruturas é igualmente penalizante para os resultados económicos das suiniculturas.

6 - CONCLUSÃO

A redução do teor de PB em dois pontos percentuais sem equilíbrio no rácio Trp:Lys DIS (20,7% vs 17,4%) resultou numa penalização significativa do ganho médio diário (GMD) e da ingestão média diária (IMD) dos suínos. Contudo, nos regimes de baixa proteína (PB = 14,5%) quando o rácio Trp:Lys DIS foi de 20,5% não houve penalização significativa das performances zootécnicas dos suínos. Por outro lado, o aumento da relação Trp:Lys DIS para 23,5% não melhorou significativamente o GMD, a IMD ou o IC dos animais. Pode-se assim concluir que nos regimes de baixa proteína uma relação Trp:Lys DIS de 20,5% permitiu maximizar as performances zootécnicas dos suínos. Os resultados mostram ainda que o GMD e a IMD foram parâmetros mais sensíveis à variação do rácio Trp:Lys DIS que o IC.

Assim, os resultados obtidos neste estudo mostram que a redução do teor de PB de 16,5 para 14,5% não penaliza as performances zootécnicas dos animais desde que seja mantido o equilíbrio no rácio Trp:Lys DIS em 20,5%.

7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aarnink, A. J. A., Verstegen, M. W. A. (2007). Nutrition, key factor to reduce environmental load from pig production. *Livestock Science*, 109: 194-203.
- Adeola, O., Ball, R. O. (1992). Hypothalamic neurotransmitter concentrations and meat quality in stressed pigs offered excess dietary tryptophan and tyrosine. *Journal of Animal Science*, 70: 1888-1894.
- Agostini, P. S., Gasa, J. (2012). Descripción de las condiciones de producción del engorde porcino en España. Disponível em: <http://www.3tres3.com/>. Acedido em maio 20, 2014.
- Agriculture Research Council (ARC) (1981). The nutrient requirements of pigs. Commonwealth Agricultural Bureaux. Slough, UK, 305 pp.
- Ajinomoto Eurolysine (2011). Formulating pig grower diets with no minimum crude protein. Information nº 37, October 2011.
- Ajinomoto Eurolysine (2014). Methods and measures. Disponível em: <http://ajinomoto-eurolysine.fr/>. Acedido em abril 16, 2014.
- Almeida, F. N., Stein, H. H. (2012). Aspects of amino acid digestibility in feed ingredients fed to pigs. In: P. C. Gransworthy, J. Wilseman (Eds), *Recent Advances in Animal Nutrition*. Nottingham University Press, Nottingham, UK, pp 253-266.
- Baker, D. H. (1997). Ideal amino acid profiles for swine and poultry and their applications in feed formulation. *BioKyowa Technical Review No. 9*.
- Baker, D. H., Allee, G. L. (1970). Effect of dietary carbohydrate on assessment of the leucine need for maintenance of adult swine. *Journal of Nutrition*, 100: 277-280.
- Baker, D. H., Becker, D. E., Norton, H. W., Jensen, A. H., Harmon, B. G. (1966a). Quantitative evaluation of the threonine, isoleucine, valine and phenylalanine needs of adult swine for maintenance. *Journal of Nutrition*, 88: 391-396.
- Baker, D. H., Becker, D. E., Norton, H. W., Jensen, A. H., Harmon, B. G. (1966b). Quantitative evaluation of the tryptophan, methionine and lysine needs of adult swine for maintenance. *Journal of Nutrition*. 89: 441-447.
- Baker, D. H., Chung, T. K. (1992). Ideal protein for swine and poultry. *BioKyowa Technical Review No. 4*.

- Baker, D. H., Hahn, J. D., Chung, T. K., Han, Y. (1993). Nutrition and growth: The application of an ideal protein for swine growth. In: G. R. Hollis (Eds), Growth of the pig. Wallingford, UK, CAB International, pp 133-139.
- Barea, R., Brossard, L., Le Floc'h, N., Primot, Y., Melchior, D., van Milgen, J. (2009). The standardized ileal digestible valine-to-lysine requirement ratio is at least seventy percent in postweaned piglets. *Journal of Animal Science*, 87: 935-947.
- Bergen, W. G. (2007). Contribution of research with farm animals to protein metabolism concepts: A historical perspective. *Journal of Nutrition*, 137: 706-710.
- Boelens, P. G., Nijveldt, R. J., Houdijk, A. P. J., Meijer, S., van Leeuwen, P. A. M. (2001). Glutamine alimentation in catabolic state. *Journal of Nutrition*, 131: 2569S-2577S.
- Boisen, S. (2003). Ideal Dietary Amino Acid Profiles for Pigs. In: J. P. F. D'Mello (Eds), Amino Acids in Animal Nutrition. Second edition. CABI Publishing, London, UK, pp 157-168.
- Boisen, S., Hvelplund, T., Weisbjerg, M. R. (2000). Ideal amino acid profiles as a basis for feed protein evaluation. *Livestock Production Science*, 64: 239-251.
- Bubenik, G. A., Pang, S. F., Hacker, R. R., Smith, P. S. (1996). Melatonin concentrations in serum and tissues of porcine gastrointestinal tract and their relationship to the intake and passage of food. *Journal of Pineal Research*, 21: 251-256.
- Campos, L. S. (1998). Entender a Bioquímica. Escolar Editora, Lisboa. 683 pp.
- Christen, S., Peterhans, E., Stocker, R. (1990). Antioxidant activities of some tryptophan metabolites: Possible implication for inflammatory diseases. *Proceedings of the National Academy of Sciences U.S.A.*, 87: 2506-2510.
- Creswell, D., Swick, R. A. (2001). Formulating with digestible amino acids. *Asian Poultry Magazine*, January/February.
- Cromwell, G. L. (2004). Identifying the limiting amino acids in complex and cereal grain-based diets to minimize nitrogen excretion. *Proceedings Midwest Swine Nutrition Conference*, Indianapolis, IN, August 31, pp 69-83.
- Deng, D., Huang, R. L., Li, T. J., Wu, G. Y., Xie, M. Y., Tang, Z. R., Kang, P., Zhang, Y. M., Fan, M. Z., Kong, X. F., Ruan, Z., Xiong, H., Deng, Z. Y., Yin, Y. L. (2007). Nitrogen balance in barrows fed low-protein diets supplemented with essential amino acids. *Livestock Science*, 109: 220-223.

- D'Mello, J. P. F. (2003). Amino Acids as Multifunctional Molecules. In: J. P. F. D'Mello (Eds), Amino Acids in Animal Nutrition. Second edition. CABI Publishing, London, UK, pp 1-14.
- Eder, K., Nonn, H., Kluge, H., Peganova, S. (2003). Tryptophan requirement of growing pigs at various body weights. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 87: 336-346.
- Emmert, J. L., Baker, D. H. (1997). Use of the ideal protein concept for precision formulation of amino acid levels in broiler diets. *Journal of Applied Poultry Research*, 6: 462-470.
- Ettle, T., Roth, F. X. (2004). Specific dietary selection for tryptophan by the piglet. *Journal of Animal Science*, 82: 1115-1121.
- Fernández, J. A., Strathe, A. (2009). Dietary tryptophan and threonine supply to 28 days old weaned piglets. *Animal Feed Science and Technology*, 154: 265-270.
- Figuroa, J. L., Lewis, A. J., Miller, P. S., Fischer, R. L., Diedrichsen, R. M. (2003). Growth, carcass traits, and plasma amino acid concentrations of gilts fed low-protein diets supplemented with amino acids including histidine, isoleucine and valine. *Journal of Animal Science*, 81: 1529-1537.
- Figuroa, J. L., Lewis, A. J., Miller, P. S., Fischer, R. L., Gómez, R. S., Diedrichsen, R. M. (2002). Nitrogen metabolism and growth performance of gilts fed standard corn-soybean meal diets or low-crude protein, amino acid-supplemented diets. *Journal of Animal Science*, 80: 2911-2919.
- Freire, A. P., Quintas, A. (2008). Proteínas: Estrutura e função. In: A. Quintas, P. A. Freire, J. M. Halpern (Eds), *Bioquímica*. Lidel, Lisboa, pp 139-316.
- Freire, J. P. B. (2000). Nutrição Azotada dos Suínos: Conceitos Actuais. *Alimentação Animal*. XI, 37: 60-67.
- Fuller, M. F., Livingstone, R. M., Baird, A., Atkinson, T. (1979). The optimal amino acid supplementation of barley for the growing pig. 1. Response of nitrogen metabolism to progressive supplementation. *British Journal of Nutrition*, 41: 321-331.
- Fuller, M. F., McWilliam, R., Wang, T. C., Giles, L. R. (1989). The optimum dietary amino acid pattern for growing pigs. 2. Requirements for maintenance and for tissue protein accretion. *British Journal of Nutrition*, 62: 255-267.

- Gaines, A. M., Kendall, D. C., Allee, G. L., Usry, J. L., Kerr, B. J. (2011). Estimation of the standardized ileal digestible valine-to-lysine ratio in 13 to 32 kilogram pigs. *Journal of Animal Science*, 89: 736-742.
- Gloaguen, M., Le Floc'h, N., van Milgen, J. (2013). Couverture des besoins en acides aminés chez le porcelet alimenté avec des régimes à basse teneur en protéines. *INRA Productions Animales*, 26 (3): 277-288.
- 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. *Journal of Animal Science*, 84: 2251-2259.
- Guzik, A. C., Pettitt, M. J., Beltranena, E., Southern, L. L., Kerr, B. J. (2005a). Threonine and tryptophan ratios fed to nursery pigs. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 89: 297-302.
- Guzik, A. C., Shelton, J. L., Southern, L. L., Kerr, B. J., Bidner, T. D. (2005b). The tryptophan requirements of growing and finishing barrows. *Journal of Animal Science*, 83: 1303-1311.
- Hahn, J. D., Baker, D. H. (1995). Optimum ratio to lysine of threonine, tryptophan, and sulfur amino acids for finishing swine. *Journal of Animal Science*, 73: 482-489.
- Halpren, M. J., Quintas, A. (2008). Metabolismo de Aminoácidos e de outras moléculas nitrogenadas. In: A. Quintas, P. A. Freire, J. M. Halpern (Eds), *Bioquímica*. Lidel, Lisboa, pp 533-598.
- Hartog, L., Sijtsma, R. (2007). Estrategias nutricionales para reducir la contaminación ambiental en la producción de cerdos. XXIII Curso de Especialización FEDNA, Madrid.
- Hauschild, L., Pomar, C., Lovatto, P. A. (2010). Systematic comparison of the empirical and factorial methods used to estimate the nutrient requirements of growing pigs. *Animal*, 4 (5): 714-723.
- Hayaishi, O. (1996). Utilization of superoxide anion by indoleamine oxygenase-catalyzed tryptophan and indoleamine oxidation. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 398: 285-289.
- 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. *Journal of Animal Science*, 70: 1873-1887.
- Henry, Y., Sève, B., Mounier, A., Ganier, P. (1996). Growth performance and brain neurotransmitters in pigs as affected by tryptophan, protein, and sex. *Journal Animal Science*, 74: 2700-2710.
- Htoo, J. K., Quant, A. D., Cho, J. H., Kerr, B. J., Cromwell, G. L., Lindemann, M. D. (2010). Optimum isoleucine to lysine ratio in wheat and barley based diets fed to growing pigs. In: M. G. Crovetto (Eds), European Federation of Animal Science publication No. 127 - Energy and protein metabolism and nutrition. Wageningen Academic Publishers, Itália, pp 611-612.
- INRA (2002). Tables de composition et valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage. INRA, Paris, France.
- Jansman, A. J. M., van Diepen, J. T. M., Melchior, D. (2010). The effect of diet composition on tryptophan requirement of young piglets. *Journal of Animal Science*, 88: 1017-1027.
- Kendall, D. C., Gaines, A. M., Kerr, B. J., Allee, G. L. (2007). True ileal digestible tryptophan to lysine ratios in ninety- to one hundred twenty-five-kilogram barrows. *Journal of Animal Science*, 85: 3004-3012.
- Kerr, B. J., Guzik, A., Southern, L. L. (2002). Tryptophan: Effects on neurotransmitters, behavior, meat quality and the results of current requirement studies in nursery pigs. *Biokyowa Technical Review*, No. 13.
- Kerr, B. J., McKeith, F. K., Easter, R. A. (1995). Effect on performance and carcass characteristics of nursery to finisher pigs fed reduced crude protein, amino acid-supplemented diets. *Journal of Animal Science*, 73: 433-440.
- Kerr, B. J., Southern, L. L., Bidner, T. D., Friesen, K. G., Easter, R. A. (2003a). Influence of dietary protein level, amino acid supplementation, and dietary energy levels on growing-finishing pig performance and carcass composition. *Journal of Animal Science*, 81: 3075-3087.
- Kerr, B. J., Yen, J. T., Nienaber, J. A., Easter, R. A. (2003b). Influences of dietary protein level, amino acid supplementation and environmental temperature on performance, body composition, organ weights and total heat production of growing pigs. *Journal of Animal Science*, 81: 1998-2007.

- 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. *Journal of Animal Science*, 84: 963-971.
- Koopmans, S. J., Ruis, M., Dekker, R., van Diepen, H., Korte, M., Mroz, Z. (2005). Surplus dietary tryptophan reduces plasma cortisol and noradrenaline concentrations and enhances recovery after social stress in pigs. *Physiology & Behavior*, 85: 469-478.
- Langer, S., Scislowski, P. W. D., Brown, D. S., Dewey, P., Fuller, M. F. (2000). Interactions among the branched-chain amino acids and their effects on methionine utilization in growing pigs: effects on plasma amino - and keto-acid concentrations and branched-chain keto-acid dehydrogenase activity. *British Journal of Nutrition*, 83: 49-58.
- Le Bellego, L., Noblet, J. (2002). Performance and utilization of dietary energy and amino acids in piglets fed low protein diets. *Livestock Production Science*, 76: 45-48.
- Le Bellego, L., van Milgen, J., Dubois, S., Noblet, J. (2001). Energy utilization of low-protein diets in growing pigs. *Journal of Animal Science*, 79: 1259-1271.
- Le Bellego, L., van Milgen, J., Noblet, J. (2002). Effect of high temperature and low-protein diets on the performance of growing-finishing pigs. *Journal of Animal Science*, 80: 691-701.
- Le Floc'h, N., Jondreville, C., Matte, J. J., Sève, B. (2006). Importance of sanitary environment for growth performance and plasma nutrient homeostasis during the post-weaning period in piglets. *Archives of Animal Nutrition*, 60: 23-34.
- Le Floc'h, N., Melchior, D., Le Bellego, L., Matte, J. J., Sève, B. (2007). Le statut sanitaire affecte-t-il le besoin en tryptophane pour la croissance des porcelets après sevrage? *Journées Recherche Porcine*, 39: 125-132.
- Le Floc'h, N., Melchior, D., Sève, B. (2008). Dietary tryptophan helps to preserve tryptophan homeostasis in pigs suffering from lung inflammation. *Journal of Animal Science*, 86: 3473-3479.
- Le Floc'h, N., Melchior, D., Sève, B. (2005). Effet de la détérioration du statut sanitaire et de la teneur en tryptophane de l'aliment sur les performances de croissance des porcelets après le sevrage. *Journées Recherche Porcine*, 37: 231-238.

- Le Floc'h, N., Melchior, D., Sève, B. (2004). The importance of dietary tryptophan for preserving growth and controlling inflammatory response of weaned pigs submitted to immune stress. In: F. Madec, G. Clément (Eds), *Animal Production in Europe: the Way Forward in a Changing World*, Proceedings of International Society for Animal Hygiene, pp. 239-240.
- Le Floc'h, N., Sève, B. (2007). Biological roles of tryptophan and its metabolism: Potential implications in pig feeding. *Livestock Science*, 112: 23-32.
- Le, P. D., Aarnink, A. J. A., Jongbloed, A. W., van der Peet-Schwering, C. M. C., Ogink, N. W. M., Verstegen, M. W. A. (2007). Effects of dietary crude protein level on odour from pig manure. *Animal*, 1: 734-744.
- Lepage, O., Tottmar, O., Winberg, S. (2002). Elevated dietary intake of L-tryptophan counteracts the stress-induced elevation of plasma cortisol in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Journal of Experimental Biology*, 205: 3679-3687.
- Lewis, A. J. (2001). Amino acids in swine nutrition. In: A. J. Lewis, L. L. Southern (Eds), *Swine nutrition*. Second edition. CRC Press, Boca Raton, Florida. pp 132-143.
- Lordelo, M. M., Gaspar, A. M., Le Bellego, L., Freire, J. P. B. (2008). Isoleucine and valine supplementation of a low-protein corn-wheat-soybean meal-based diet for piglets: Growth performance and nitrogen balance. *Journal of Animal Science*, 86: 2936-2941.
- Mackenzie, C. R., Hadding, U. (1998). Interferon – γ – Induced Activation of Indoleamine 2,3 – Dioxygenase in Cord Blood Monocyte-Derived Macrophages Inhibits the Growth of Group B Streptococci. *Journal of Infectious Diseases*, 178: 875-878.
- Marquardt, R. R., Jin, L. Z., Kim, J. W., Fang, L., Frohlich, A. A., Baidoo, A. K. (1999). Passive protective effect of egg-yolk antibodies against enterotoxigenic *Escherichia coli* K88+ infection in neonatal and early-weaned piglets. *FEMS Immunology and Medical Microbiology*, 23: 283-288.
- McDonald, P., Edwards, R. A., Greenhalgh, J. F. D., Morgan, C. A. (2006). *Animal Nutrition*. (6th ed.). Editorial Acirbia, S.A., Zaragoza. 587 pp.
- Melchior, D., Mézière, N., Sève, B., Le Floc'h, N. (2005). Is tryptophan catabolism increased under indoleamine 2,3 dioxygenase activity during chronic lung inflammation in pigs?. *Reproduction Nutrition Development*, 45: 175-183.

- Melchior, D., Sève, B., Le Floc'h, N. (2004). Chronic lung inflammation affects plasma amino acid concentrations in pigs. *Journal of Animal Science*, 82: 1091-1099.
- Mellor, A. L., Münn, D. H. (1999). Tryptophan catabolism and T-cell tolerance: immunosuppression by starvation? *Immunology Today*, 20: 469-473.
- Meunier-Salaün, M. C., Monnier, M., Colléaux, Y., Sève, B., Henry, Y. (1991). Impact of dietary tryptophan and behavioral type on behavior, plasma cortisol, and brain metabolites of young pigs. *Journal of Animal Science*, 69: 3689-3698.
- Moffett, J. R., Namboodiri, M. A. (2003). Tryptophan and the immune response. *Immunology and Cell Biology*, 81: 247-265.
- Mosenthin, R., Rademacher, M. (2003). Digestible Amino Acids in Diet Formulation for Pigs. In: J. P. F. D'Mello (Eds), *Amino Acids in Animal Nutrition*. Second edition. CABI Publishing, London, UK, pp 169-186.
- Mosenthin, R., Sauer, W. C., Blank, R., Huisman, J., Fan, M. Z. (2000). The concept of digestible amino acids in diet formulation for pigs. *Livestock Production Science*, 64: 265-280.
- Mosenthin, R., Sauer, W. C., Henkel, H., Ahrens, F., 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. *Journal of Animal Science*, 70: 3467-3472.
- Moter, V., Stein, H. H. (2004). Effect of feed intake on endogenous losses and amino acid and energy digestibility by growing pigs. *Journal of Animal Science*, 82: 3518-3525.
- Murphy, J. M., Murch, S. J., Ball, R. O. (1996). Proline is synthesized from glutamate during intragastric infusion but not during intravenous infusion in neonatal piglets. *Journal of Nutrition*, 126: 878-886.
- Naatjes, M., Htoo, J. K., Tölle, K. H., Susenbeth, A. (2010). Effect of dietary tryptophan to lysine ratio on performance of growing pigs fed wheat-barley or corn-soybean meal based diets. In: M. G. Croveto (Eds), *European Federation of Animal Science publication No. 127 – Energy and protein metabolism and nutrition*. Wageningen Academic Publishers, Itália, pp 605-606.
- Noblet, J., Dubois, S., Labussière, E., Carré, B., van Milgen, J. (2010). Metabolic utilization of energy in monogastric animals and its implementation in net energy systems. In: M.

- G. Croveto (Eds), European Federation of Animal Science publication No. 127 – Energy and protein metabolism and nutrition. Wageningen Academic Publishers, Itália, pp 573-582.
- Norgaard, J. V., Fernández, J. A. (2009). Isoleucine and valine supplementation of crude protein-reduced diets for pigs aged 5-8 weeks. *Animal Feed Science and Technology*, 154: 248-253.
- NRC (1998). Nutrient requirements of swine, 10th ed. The National Academies Press, Washington DC, USA. 189 pp.
- NRC (2012). Nutrient requirements of swine, 11th rev. ed. The National Academies Press, Washington DC, USA. 400 pp.
- Oksbjerg, N., Therkildsen, M. (2012). Importance of muscle development and growth for animal production and meat quality. In: B. E. K. Knudsen, J. N. Kjeldsen, D. H. Poulsen, B. B. Jensen (Eds), Nutritional physiology of pigs. E-book. Videncenter for Svineproduktion, Foulum, DK, Cap. 15, pp 1-22. Disponível em: <http://vsp.lf.dk/>. Acedido em maio 22, 2014.
- Pfefferkorn, E. R. (1984). Interferon γ blocks the growth of *Toxoplasma gondii* in human fibroblasts by inducing the host cells to degrade tryptophan. *Proceedings of the National Academy of Sciences U.S.A.*, 81: 908-912.
- Pomar, C., Kyriazakis, I., Emmans, G. C., Knap, P. W. (2003). Modeling stochasticity: Dealing with populations rather than individual pigs. *Journal of Animal Science*, 81: E178-E186.
- Portejoie, S., Dourmad, J. Y., Martinez, J., Lebreton, Y. (2004). Effect of lowering dietary crude protein on nitrogen excretion, manure composition and ammonia emission from fattening pigs. *Livestock Production Science*, 91: 45-55.
- Puiman, P., Stoll, B., Molbak, L., Bruijn, A., Schierbeek, H., Boye, M., Boehm, G., Renes, I., van Goudoever, J., Burrin, D. (2013). Modulation of the gut microbiota with antibiotic treatment suppresses whole body urea production in neonatal pigs. *American Journal of Physiology - Gastrointestinal and Liver Physiology*, 304: G300-G310.
- Quant, A. D., Lindemann, M. D., Kerr, B. J., Payne, R. L., Cromwell, G. L. (2012). Standardized ileal digestible tryptophan-to-lysine ratios in growing pigs fed corn-based and non-corn-based diets. *Journal of Animal Science*, 90: 1270-1279.

- Quiniou, N., Primot, Y., Peyronnet, C., Quinsac, A. (2011). Interest of using synthetic amino acids, including L-valine for formulating low crude protein pig diets based on rapeseed meal. European Federation of Animal Science, Stavanger, NO, 62nd Annual Meeting of the EAAP. Session 50, paper 6, pp 1-4.
- Reeds, P. J. (2000). Dispensable and indispensable amino acids for humans. *Journal of Nutrition*, 130: 1835S-1840S.
- Rérat, A. (1978). Digestion and absorption of carbohydrates and nitrogenous matters in the hindgut of the omnivorous nonruminant animal. *Journal of Animal Science*, 46: 1808-1837.
- Rhoads, J. M., Wu, G. (2009). Glutamine, arginine and leucine signaling in the intestine. *Amino Acids*, 37: 111-122.
- Robbins, K. R., Saxton, A. M., Southern, L. L. (2006). Estimation of nutrient requirements using broken-line regression analysis. *Journal of Animal Science*, 84: E155-E165.
- Sainio, E. L., Pulkki, K., Young, S. N. (1996). L-tryptophan: Biochemical, nutritional, and pharmacological aspects. *Amino Acids*, 10: 21-47.
- SAS (1991). *SAS Systems for Linear Models*, 3th ed. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Schulze, H., van Leeuwen, P., Verstegen, M. W., van den Berg, J. W. (1995). Dietary level and source of neutral detergent fiber and ileal endogenous nitrogen flow in pigs. *Journal of Animal Science*, 73: 441-448.
- Sève, B., Meunier-Salaün, M. C., Monnier, M., Colléaux, Y., Henry, Y. (1991). Impact of dietary tryptophan and behavioral type on growth performance and plasma amino acids of young pigs. *Journal of Animal Science*, 69: 3679-3688.
- Shriver, J. A., Carter, S. D., Sutton, A. L., Richert, B. T., Senne, B. W., Pettey, L. A. (2003). Effects of adding fiber sources to reduced-crude protein, amino acid-supplemented diets on nitrogen excretion, growth performance, and carcass traits of finishing pigs. *Journal of Animal Science*, 81: 492-502.
- Simongiovanni, A., Corrent, E., Le Floc'h, N., van Milgen, J. (2012). Estimation of the tryptophan requirement in piglets by meta-analysis. *Animal*, 6 (4): 594-602.
- Stein, H. H., Benzoni, G., Bohlke, R. A., Peters, D. N. (2004). Assessment of the feeding value of South Dakota-grown field peas (*Psium sativum L.*) for growing pigs. *Journal of Animal Science*, 82: 2568-2578.

- Stein, H. H., Fuller, M. F., Moughan, P. J., Sève, B., Mosenthin, R., Jansman, A. J. M., Fernández, J. A., Lange, C. F. M. (2007a). Definition of apparent, true, and standardized ileal digestibility of amino acids in pigs. *Livestock Science*, 109: 282-285.
- Stein, H. H., Pedersen, C., Wirt, A. R., Bohlke, R. A. (2005). Additivity of values for apparent and standardized ileal digestibility of amino acids in mixed diets fed to growing pigs. *Journal of Animal Science*, 83: 2387-2395.
- Stein, H. H., Sève, B., Fuller, M. F., Moughan, P. J., Lange, C. F. M. (2007b). Invited review: Amino acid bioavailability and digestibility in pig feed ingredients: Terminology and application. *Journal of Animal Science*, 85: 172-180.
- Steyn, W. J., Casey, N. H., van Rensburg, C. J. (2012). Effects of different penning conditions, feeding regimens and season on growth and carcass attributes of boars of a selected genetic line. *South African Journal of Animal Science*, 42 (2): 178-188.
- Stoll, B., Burrin, D. G. (2006). Measuring splanchnic amino acid metabolism in vivo using stable isotopic tracers. *Journal of Animal Science*, 84: E60-E72.
- Stoll, B., Henry, J., Reeds, P. J., Yu, H., Jahoor, F., Burrin, D. G. (1998). Catabolism dominates the first-pass intestinal metabolism of dietary essential amino acids in milk protein-fed piglets. *Journal of Nutrition*, 128: 606-614.
- Susenbeth, A. (2006). Optimum tryptophan: Lysine ratio in diets for growing pigs: Analysis of literature data. *Livestock Science*, 101: 32-45.
- Susenbeth, A., Lucanus, U. (2005). The effect of tryptophan supplementation of diets of restricted – and unrestricted–fed young pigs. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 89: 331-336.
- Trevisi, P., Melchior, D., Mazzoni, M., Casini, L., De Filippi, S., Minieri, L., Costerbosa, G. L., Bosi, P. (2009). A tryptophan-enriched diet improves feed intake and growth performance of susceptible weanling pigs orally challenged with *Escherichia coli* K88. *Journal of Animal Science*, 87: 148-156.
- Tuitoek, J. K., Young, L. G., Lange, C. F. M., Kerr, B. J. (1997a). Body composition and protein and fat accretion in various body components in growing gilts fed diets with different protein levels but estimated to contain similar levels of ideal protein. *Journal of Animal Science*, 75: 1584-1590.

- Tuitoek, J. K., Young, L. G., Lange, C. F. M., Kerr, B. J. (1997b). The effect of reducing excess dietary amino acids on growing–finishing pig performance: An evaluation of the ideal protein concept. *Journal of Animal Science*, 75: 1575-1583.
- Van Cauwenberghe, S., Relandeau, C. (2000). L-Tryptophan supplementation to enhance piglet growth. *Ajinomoto Eurolysine Information* N°23. 12 pp.
- Van der Aar, P., Bikker, P., Rovers, M., Corrent, E. (2012). Etude du besoin en tryptophane chez le porc en croissance et en finition. *Journées Recherche Porcine*, 44: 205-206.
- Van Milgen, J., Gloaguen, M., Le Floc'h, N., Brossard, L., Primot, Y., Corrent, E. (2012). Meta-analysis of the response of growing pigs to the isoleucine concentration in the diet. *Animal*, 6 (10): 1601-1608.
- Vinyeta, E., Bikker, P., Corrent, E., Rovers, M. (2010). Tryptophan requirements of growing pigs: a dose response study. In: M. G. Croveto (Eds), *European Federation of Animal Science publication No. 127 – Energy and protein metabolism and nutrition*. Wageningen Academic Publishers, Itália, pp 607-608.
- Waguespack, A. M., Bidner, T. D., Payne, R. L., Southern, L. L. (2012). Valine and isoleucine requirement of 20 - to 45 - kilogram pigs. *Journal of Animal Science*, 90: 2276-2284.
- Wang, T. C., Fuller, M. F. (1989). The optimum dietary amino acid pattern for growing pigs. 1. Experiments by amino acid deletion. *British Journal of Nutrition*, 62: 77-89.
- Weil, J. H. (2000). *Bioquímica Geral*. (2ª ed.). Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa. 787 pp.
- Wiltafsky, M. K., Bartelt, J., Relandeau, C., Roth, F. X. (2009). Estimation of the optimum ratio of standardized ileal digestible isoleucine to lysine for eight to twenty-five-kilogram pigs in diets containing spray-dried blood cells or corn gluten feed as a protein source. *Journal of Animal Science*, 87: 2554-2564.
- Wiltafsky, M. K., Pfaffl, M. W., Roth, F. X. (2010). The effects of branched-chain amino acid interactions on growth performance, blood metabolites, enzyme kinetics and transcriptomics in weaned pigs. *British Journal of Nutrition*, 103: 964-976.
- Winberg, S., Overli, O., Lepage, O. (2001). Suppression of aggression in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) by dietary L-tryptophan. *Journal of Experimental Biology*, 204: 3867-3876.
- Wu, G. (2009). Amino acids: metabolism, functions and nutrition. *Amino Acids*, 37: 1-17.

- Zhang, G. J., Song, Q. L., Xie, C. Y., Chu, L. C., Thacker, P. A., Htoo, J. K., 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. *Livestock Science*, 149: 260-266.
- 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. *Domestic Animal Endocrinology*, 33: 47-61.

8 - ANEXOS

Anexo A - Composição química (%) das matérias-primas ⁽¹⁾

	Trigo	Cevada	Sêmea de Trigo	Bagaço de Soja	Ervilha
Matéria Seca	88,47	88,63	90,14	88,92	89,15
Proteína Bruta	13,18	9,95	15,06	48,78	19,87
Lisina	0,35	0,37	0,64	2,99	1,48
Treonina	0,36	0,32	0,49	1,83	0,74
Metionina	0,19	0,16	0,22	0,62	0,19
Cistina	0,27	0,21	0,30	0,67	0,30
Metionina + Cistina	0,45	0,36	0,51	1,29	0,48
Triptofano	0,16	0,13	0,26	0,65	0,19
Valina	0,55	0,47	0,73	2,33	0,94
Isoleucina	0,44	0,34	0,47	2,26	0,85
Leucina	0,84	0,65	0,93	3,68	1,39
Arginina	0,59	0,46	1,01	3,55	1,61
Fenilalanina	0,62	0,48	0,58	2,53	0,96
Tirosina	0,38	0,28	0,42	1,81	0,66
Histidina	0,29	0,21	0,39	1,22	0,47
Serina	0,58	0,43	0,62	2,37	0,91
Alanina	0,44	0,39	0,72	2,06	0,86
Ácido Aspártico	0,61	0,58	1,07	5,49	2,23
Ácido Glutâmico	3,83	2,17	2,59	8,71	3,19
Glicina	0,52	0,41	0,79	2,02	0,88

⁽¹⁾ Por cada regime os resultados analíticos são uma média de duas amostras. Dados analisados por AJINOMOTO EUROLYSINE.

Anexo B - Composição química (%) dos regimes experimentais: Resultados analíticos ⁽¹⁾

	Regimes			
	R1	R2	R3	R4
Matéria Seca	88,52	88,32	88,61	88,47
Proteína Bruta	16,48	14,44	14,60	14,67
Lisina	0,94	0,91	0,95	0,95
Treonina	0,66	0,65	0,65	0,65
Metionina	0,28	0,31	0,30	0,31
Cistina	0,23	0,24	0,21	0,23
Metionina + Cistina	0,52	0,55	0,51	0,54
Triptofano	0,20	0,17	0,19	0,22
Valina	0,73	0,67	0,67	0,67
Isoleucina	0,61	0,51	0,51	0,52
Leucina	1,09	0,93	0,94	0,94
Arginina	0,99	0,85	0,87	0,86
Fenilalanina	0,76	0,66	0,67	0,66
Tirosina	0,51	0,43	0,43	0,43
Histidina	0,37	0,32	0,32	0,32
Serina	0,75	0,65	0,65	0,64
Alanina	0,64	0,56	0,56	0,56
Ácido Aspártico	1,27	1,07	1,08	1,07
Ácido Glutâmico	3,55	3,11	3,12	3,07
Glicina	0,68	0,60	0,61	0,60
Prolina	1,13	1,01	1,03	1,00

⁽¹⁾ Por cada regime os resultados analíticos são uma média de duas amostras. Dados analisados por AJINOMOTO EUROLYSINE.

Anexo C - Aminoácidos digestíveis ileais standard dos regimes experimentais ⁽¹⁾

	Regimes			
	R1	R2	R3	R4
Lisina (% DIS)	0,808	0,809	0,809	0,809
Treonina (% DIS)	0,539	0,546	0,546	0,546
Metionina (% DIS)	0,252	0,277	0,277	0,277
Cistina (% DIS)	0,236	0,210	0,210	0,210
Metionina + Cistina (% DIS)	0,488	0,487	0,487	0,487
Triptofano (% DIS)	0,167	0,141	0,165	0,190
Valina (% DIS)	0,601	0,550	0,550	0,550
Isoleucina (% DIS)	0,519	0,436	0,436	0,436
Leucina (% DIS)	0,926	0,790	0,790	0,790
Arginina (% DIS)	0,854	0,735	0,735	0,735
Fenilalanina (% DIS)	0,664	0,568	0,568	0,568
Tirosina (% DIS)	0,436	0,367	0,367	0,367
Histidina (% DIS)	0,321	0,275	0,275	0,275
Serina (% DIS)	0,604	0,512	0,512	0,512
Alanina (% DIS)	0,492	0,423	0,423	0,423
Ácido Aspártico (% DIS)	1,087	0,904	0,904	0,904
Ácido Glutâmico (% DIS)	3,140	2,717	2,717	2,717
Glicina (% DIS)	0,544	0,471	0,471	0,471
Prolina (% DIS)	1,032	0,922	0,922	0,922

⁽¹⁾ Valores calculados a partir da composição química dos regimes experimentais (anexo B) e dos valores de digestibilidade ileal standard relatados pelo INRA (2002).