

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA  
SETOR DE ENGENHARIAS, CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

RAFAELA HILGEMBERG

MODELAGEM DAS EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DE TREONINA EM SUÍNOS NAS  
FASES DE CRECHE, CRESCIMENTO E TERMINAÇÃO

PONTA GROSSA

2023

RAFAELA HILGEMBERG

MODELAGEM DAS EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DE TREONINA EM SUÍNOS NA  
FASE DE CRECHE, CRESCIMENTO E TERMINAÇÃO

Dissertação elaborada para obtenção do título de mestre na Universidade Estadual de Ponta Grossa, Zootecnia (Produção Animal).

Orientadora: Prof. Dra. Cheila Roberta Lehnen.

Co-Orientadora: Dra. Aline Remus.

PONTA GROSSA

2023

Hilgemberg, Rafaela  
H644 Modelagem das exigências nutricionais de treonina em suínos na fase de creche, crescimento e terminação / Rafaela Hilgemberg. Ponta Grossa, 2024.  
78 f.

Dissertação (Mestrado em Zootecnia - Área de Concentração: Produção Animal),  
Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientadora: Profa. Dra. Cheila Roberta Lehen.  
Coorientadora: Dra. Aline Remus.

1. Aminoácido. 2. Desempenho. 3. Estimativa. 4. Leitão. 5. Nutrição. I. Lehen, Cheila Roberta. II. Remus, Aline. III. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Produção Animal. IV.T.

CDD: 636



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA  
Av. General Carlos Cavalcanti, 4748 - Bairro Uvaranas - CEP 84030-900 - Ponta Grossa - PR - <https://uepg.br>

## **TERMO**

### **TERMO DE APROVAÇÃO**

**RAFAELA HILGEMBERG**

#### **“MODELAGEM DAS EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DE TREONINA EM SUÍNOS NA FASE DE CRECHE, CRESCIMENTO E TERMINAÇÃO”**

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Zootecnia – Mestrado em Zootecnia, Setor de Ciências Agrárias e Tecnologia da Universidade Estadual de Ponta Grossa.

01 de dezembro de 2023.

Ponta Grossa,

Profª. Dra. Cheila Roberta Lehen – (UEPG)  
Presidente

Profª. Dra. Aline Remus - Agri-Food / Canada  
Membro Externo

Prof. Dr. Luan Sousa dos Santos – (UFMS)  
Membro Externo



Documento assinado eletronicamente por **Adriana Aparecida Telles, Secretário(a)**, em 29/11/2023, às 14:45, conforme Resolução UEPG CA 114/2018 e art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Cheila Roberta Lehnen, Professor(a)**, em 01/12/2023, às 18:29, conforme Resolução UEPG CA 114/2018 e art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Luan Sousa dos Santos, Usuário Externo**, em 07/12/2023, às 17:32, conforme Resolução UEPG CA 114/2018 e art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Aline Remus, Usuário Externo**, em 15/12/2023, às 12:39, conforme Resolução UEPG CA 114/2018 e art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.uepg.br/autenticidade> informando o código verificador **1739371** e o código CRC **DD65D31B**.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus em primeiro lugar. O Senhor sempre esteve comigo em todos os momentos, dos mais fáceis aos mais difíceis. O Senhor me deu sustento quando os dias estavam difíceis e me estendeu. Obrigado Senhor por sempre se fazer presente em minha vida.

Agradeço a minha família por sempre me apoiarem a fazer o que gosto. Obrigado por serem abraço, carinho, amor, perdão, felicidade, entre muitos outros significados de “família”. Obrigado minha mãe por ser colo, ser puxão de orelha, ser incentivo. Obrigado meu pai por ser inspiração, um homem que sempre batalhou desde pequeno e lutou por uma vida melhor. Ao meu querido futuro esposo, Marcelo por todo apoio e cuidado comigo durante esse período, por sempre estar presente, me ajudando, me divertindo e incentivando, e é claro por todos os kms de bike.

A todos meus amigos, que de alguma forma sempre se fazem presentes em minha vida.

Agradeço ao meu grupo de estudos BioModel (Biologia Integrativa na Produção de Não-Ruminantes), a todos os integrantes do grupo, em especial a Professora Cheila, minha orientadora. Muito mais que uma orientadora, uma mãe que a universidade me deu, agradeço por todos os conselhos, todos os puxões de orelha, as risadas, e por acreditar no meu potencial que muitas das vezes eu duvidava. Desejo que Deus ilumine sempre sua vida, pois a senhora vale ouro.

Agradeço ao Agri-food Canada e toda sua equipe, em especial Aline Remus minha co-orientadora. Pessoa exemplar, nos quais construímos juntas um ótimo trabalho e uma grande amizade e que com certeza me fez crescer muito durante esse período de trabalho juntas. Agradeço também ao time do Agrifood Canada em especial minha amiga Grazi.

Agradeço a CAPES e ao Agri-Food pelas bolsas concedidas durante o período do mestrado.

It is not enough to dream it is necessary, to believe and fight to make it happen.

## RESUMO

O objetivo deste trabalho é estudar as exigências nutricionais de treonina em suínos nas fases de creche, crescimento e terminação, através da revisão sistemática e meta-análise. A treonina, é um aminoácido nutricionalmente essencial para suínos nas fases de crescimento. Esse aminoácido é importante para o crescimento animal, defesa contra patógenos atuando no sistema imune, nos quais produz mucina e imunoglobulinas. Diante disso, o fornecimento e estimativa das exigências nutricionais de treonina para suínos se faz importante, pois a carência do mesmo reduz o desempenho animal. A base de dados contemplou 41 artigos publicados entre os anos 1990 a 2020, totalizando 4028 suínos, com 274 tratamentos. Os critérios de seleção foram: artigos revisados por pares, espaço temporal de 30 anos, experimentos com suínos nas fases de creche, crescimento e terminação, artigo apresentar no mínimo 4 tratamentos (controle + 3 níveis de treonina), haver dados de desempenho no artigo e composição das dietas (porcentagem dos ingredientes). A avaliação dos dados envolveu análises gráficas, descritivas, teste de variância e covariância, modelos mistos, modelos lineares, modelos quadráticos, modelos não lineares e machine learning. Para as fases de creche e crescimento, o modelo linear foi o melhor para estimar as exigências de treonina, onde obteve-se um ganho diário de 38 e 18 gramas para cada grama de treonina ingerida respectivamente. Para terminação, o modelo múltiplo foi o mais adequado, com um ganho de 16 gramas diárias para cada grama de treonina ingerida. Na forma inversa de estimativa, para as fases de creche e crescimento, o modelo linear foi o mais adequado, estimando 0,0103 e 0,0193 gramas de treonina para cada grama de ganho de peso diário respectivamente. Na terminação, o modelo múltiplo foi selecionado obtendo uma exigência de Tre de 0,01 gramas para cada grama de ganho de peso. Com relação aos modelos não lineares, a reestimativa obteve um ganho de 45 gramas para cada grama de treonina ingerida para fase de creche e 26 gramas para crescimento. Para o machine learning, o modelo XGBOOST apresentou os melhores coeficientes de seleção do modelo, nos quais teve como principais variáveis preditoras o ganho de peso, consumo de ração e porcentagem de treonina na dieta. Porém o uso do machine learning não foi adequado para estimar as exigências nutricionais de treonina, por conta da limitação de dados. Concluiu-se que através da meta-análise foi possível estimar as exigências nutricionais de treonina para leitões e suínos nas fases de creche, crescimento e terminação.

Palavras-chaves: aminoácido, desempenho, estimativa, leitão, nutrição.



## ABSTRACT

The objective of this work is to study the nutritional requirements of threonine in pigs in the nursery, growing and finishing phases, through systematic review and meta-analysis. Threonine is a nutritionally essential amino acid for pigs in the growth phases. This amino acid is important for animal growth and defense against pathogens acting on the immune system, in which it produces mucin and immunoglobulins. Therefore, the supply and estimation of threonine nutritional requirements for pigs is important, as its lack reduces animal performance. The database included 41 papers published between 1990 and 2020, totaling 4028 pigs, with 274 treatments. The selection criteria were: peer-reviewed papers, temporal space of 30 years, experiments with pigs in the nursery, growing and finishing phases, papers presenting at least 4 treatments (control + 3 levels of threonine), have performance data in the papers and composition of diets (percentage of ingredients). Data evaluation involved graphical and descriptive analyses, variance and covariance tests, mixed models, linear models, quadratic models, nonlinear models and machine learning. For the nursery and growing phases, the linear model was the best to estimate threonine requirements, where a daily gain of 38 and 18 grams was obtained for each gram of threonine ingested respectively. For finishing, the multiple model was the most appropriate, with a gain of 16 grams daily for each gram of threonine ingested. In the inverse form of estimation, for the nursery and growing phases, the linear model was the most appropriate, estimating 0.0103 and 0.0193 grams of threonine for each gram of daily weight gain respectively. At finishing, the multiple model was selected obtaining a Tre requirement of 0.01 grams for each gram of weight gain. In relation to the non-linear models, the reestimation obtained a gain of 45 grams for each gram of threonine ingested for the nursery phase and 26 grams for growing. For machine learning, the XGBOOST model presented the best model selection coefficients, in which the main predictor variables were weight gain, feed consumption and percentage of threonine in the diet. However, the use of machine learning was not suitable for estimating threonine nutritional requirements, due to limited data. It is concluded that through meta-analysis it was possible to estimate the nutritional requirements of threonine for pigs in the nursery, growing and finishing phases.

Keywords: performance, amino acids, pig, estimation, nutrition.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Via metabólica da treonina.....	14
Figura 2 – Efeito da treonina na modulação do sistema imune intestinal.....	19
Figura 3 – Forest plot mostrando ingestão de treonina (Thr) SID (g/d) e diferença média estandardizada (SMD) em relação ao ganho médio diário (g/d) para suínos em crescimento submetidos a desafio sanitário (Thr+) em comparação com suínos não suplementados (Thr-).....	20
Figura 4 – Fluxograma PRISMA do processo de busca e seleção de artigos seguindo para Tre em leitões e suínos em crescimento.....	36

## LISTA DE GRÁFICOS

- Gráfico 1 – Ganho de peso médio diário em relação ao nível de treonina digestível ileal estandardizada (%) para leitões em creche (5,8-32,70 kg) e suínos em crescimento (12,60-105,60 kg) e terminação (50-134,70 kg)<sup>1</sup>... ..17
- Gráfico 2 – Exigência individual de lisina digestível ileal estandardizada para suínos (linhas coloridas) e níveis de lisina fornecidas na alimentação por fase (linha vermelha).. ..23
- Gráfico 3 – Ganho de peso médio diário em função da treonina digestível ileal estandardizada ingerida e em porcentagem na dieta para leitões em creche.....44
- Gráfico 4 – Ganho de peso médio diário em função da treonina digestível ileal estandardizada ingerida e em porcentagem na dieta para suínos em crescimento.....44
- Gráfico 5 – Ganho de peso médio diário em função da treonina digestível ileal estandardizada ingerida e em porcentagem na dieta para suínos em terminação.....45
- Gráfico 6 – Gráfico de correlação para as variáveis de desempenho em função a suplementação de treonina para a fase de creche.....45
- Gráfico 7 – Gráfico de correlação para as variáveis de desempenho em função a suplementação de treonina para a fase de crescimento.....46
- Gráfico 8 – Gráfico de correlação para as variáveis de desempenho em função a suplementação de treonina para a fase de terminação.....47
- Gráfico 9 – Regressão linear de treonina digestível ileal estandardizada ingerida (g/d) para ganho de peso médio diário (g/d) na fase de creche.....51
- Gráfico 10 – Regressão linear de treonina digestível ileal estandardizada ingerida (g/d) para ganho de peso médio diário (g/d) para suínos nas fases de creche, crescimento e terminação.....52
- Gráfico 11 – Exigências individuais estimadas de treonina digestível ileal estandardizada em função do ganho de peso médio diário para leitões desmamados.....59
- Gráfico 12 – Exigências individuais estimadas de treonina digestível ileal estandardizada em função do ganho de peso médio diário para suínos em crescimento.....60
- Gráfico 13 – Análise de clusters do ganho de peso médio diário em função da ingestão de Tre SID (g/d) e Tre SID (% da dieta).....63
- Gráfico 14 – Algoritmo XGBOOST para ganho de peso médio diário para leitões e suínos nas fases de creche, crescimento e terminação.....65

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Exigências de Tre digestível ileal estandardizada e sua relação com Lis para suínos de 30 a 50 kg.....	15
Tabela 2 – Revisão sistemática da base de dados com 41 artigos de treonina para suínos nas fases de creche, crescimento e terminação.....	38
Tabela 3 – Revisão sistemática da base dados com 58 experimentos com treonina para suínos nas fases de creche, crescimento e terminação.....	41
Tabela 4 – Modelos lineares, quadráticos e múltiplos para avaliar a eficiência de treonina digestível ileal estandardizada e seu impacto no ganho de peso diário para leitões na fase da creche.....	48
Tabela 5 – Modelos lineares, quadráticos e múltiplos para avaliar a eficiência de treonina digestível ileal estandardizada e seu impacto no ganho de peso diário para suínos na fase de crescimento.....	49
Tabela 6 – Modelos lineares, quadráticos e múltiplos para avaliar a eficiência de treonina digestível ileal estandardizada e seu impacto no ganho de peso diário para suínos na fase de terminação.....	50
Tabela 7 – Modelos lineares, quadráticos e múltiplos para avaliar a eficiência de treonina digestível ileal estandardizada e seu impacto no ganho de peso diário para leitões na fase da creche.....	54
Tabela 8 – Modelos lineares, quadráticos e múltiplos para avaliar a eficiência de treonina digestível ileal estandardizada e seu impacto no ganho de peso diário para suínos na fase de crescimento.....	55
Tabela 9 – Modelos lineares, quadráticos e múltiplos para avaliar a eficiência de treonina digestível ileal estandardizada e seu impacto no ganho de peso diário para suínos na fase de terminação.....	56
Tabela 10 – Modelo linear platô criado para as fases de creche e crescimento como modelo de estimação.....	58
Tabela 11 – Estimções de exigência nutricional de treonina digestível ileal estandardizada para leitões em creche.....	59
Tabela 12 – Estimções de exigência nutricional de treonina digestível ileal estandardizada para suínos em crescimento.....	60
Tabela 13 – Avaliação do modelo de machine learning e regressão linear via RMSE, RSQ e MAE na avaliação interna (n = 274) no treinamento (80% dos dados) e teste (20% do conjunto de dados).....	64

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1: TREONINA: METABOLISMO, DESEMPENHO E RESPOSTA IMUNE.....</b>	<b>12</b>
1.1 INTRODUÇÃO.....	12
1.2 AMINOÁCIDO TREONINA.....	12
1.3 ABSORÇÃO E METABOLISMO DA TREONINA.....	13
1.4 EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DE TREONINA PARA SUÍNOS EM CRESCIMENTO.....	15
1.4.1 Resposta Sobre o Crescimento.....	15
1.4.2 Desafio Sanitário e Modulação do Sistema Imune.....	17
1.4.2.1 Importância da treonina.....	17
1.4.2.2 Exigência de treonina.....	21
1.5 ESTIMAÇÃO DAS EXIGÊNCIAS.....	22
REFERÊNCIAS.....	24
<b>CAPÍTULO 2: MODELAGEM DAS EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DE TREONINA PARA SUÍNOS DA FASE DE CRECHE, CRESCIMENTO E TERMINAÇÃO: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA E META-ANÁLISE.....</b>	<b>27</b>
2.1 INTRODUÇÃO.....	27
2.2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	29
2.2.1 Construção da Base de Dados.....	29
2.2.2 Tabulação, Codificação e Filtragem dos Dados.....	30
2.2.3 Padronização das Dietas.....	31
2.2.4 Revisão Sistemática.....	31
2.2.5 Análise Estatística.....	31
2.2.5.1 Análise descritiva e gráfica.....	31
2.2.5.2 Análises de variância-covariância.....	32
2.2.5.3 Modelos mistos e quadráticos.....	32
2.2.5.3.1 <i>Seleção dos modelos</i> .....	33
2.2.5.4 Modelos não lineares.....	33
2.2.5.5 Machine learning.....	34
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
2.3.1 Resultados da Busca nas Bases Indexadoras.....	35
2.3.2 Descrição da Base de Dados e Revisão sistemática.....	37
2.3.3 Análise Gráfica.....	44
2.3.4 Modelos Mistos.....	47
2.3.4.1 Meta regressão – ganho de peso diário.....	47
2.3.4.2 Meta regressão – treonina digestível ileal estandardizada ingerida.....	53
2.3.5 Modelos Não Lineares.....	57
2.3.5.1 Exigência de treonina da população.....	57
2.3.5.2 Exigências individuais de treonina.....	58
2.3.6 Machine Learning – Estimação do Ganho Médio Diário de Suínos nas Fases de Creche, Crescimento e Terminação Usando Modelos Empíricos.....	62
2.4 CONCLUSÃO.....	66
REFERÊNCIAS.....	67
<b>ANEXO A - ARTIGOS PUBLICADOS COM OBJETIVO DE ESTIMAR AS EXIGÊNCIAS DE TREONINA DIGESTÍVEL ILEAL ESTANDARDIZADA PARA SUÍNOS NAS FASES DE CRESCIMENTO.....</b>	<b>70</b>

## CAPÍTULO 1: TREONINA: METABOLISMO, DESEMPENHO E RESPOSTA IMUNE

### 1.1 INTRODUÇÃO

Um dos aminoácidos de importância da suinocultura, é a treonina (Tre). A Tre atua na deposição proteica juntamente com todos os demais aminoácidos, além de desempenhar funções relacionadas a resposta imune. Sua deficiência limita a deposição de tecido muscular em leitões e suínos nas fases de crescimento, comprometendo o desempenho animal (HAMARD; SÈVE; LE FLOC'H, 2009). Assim, sua limitação em dietas reduz o ganho de peso médio diário e piora a eficiência alimentar.

A Tre atua em diversas funções de proteção no animal e digestão de nutrientes. Dentre os principais destaques, a produção de mucina, produção de imunoglobulinas intestinais, melhora na absorção de nutrientes e funções no metabolismo energético estão ligadas diretamente a Tre (TANG *et al.*, 2021). Portanto, o fornecimento adequado das exigências nutricionais de Tre são essenciais para o crescimento e manutenção do animal.

Diante da sua relevância na produção de suínos, é necessário compreender a utilização da treonina pelo animal. Neste capítulo serão abordadas as vias de metabolismo da Tre no organismo, sua resposta imunológica diante desafios, a resposta no desempenho dos suínos nas fases de crescimento e os métodos de estimação da exigência de treonina para suínos.

### 1.2 AMINOÁCIDO TREONINA

Entre os aminoácidos conhecidos, a Tre foi o último a ser identificado, sendo descoberta em meados de 1938. Este aminoácido pertence ao grupo R polares não carregados, na qual é solúvel em água pois em sua estrutura apresentam grupos que fazem ligações de hidrogênio (H) com água (NELSON; COX, 2014). A Tre é categorizada como nutricionalmente essencial, onde o animal não é capaz de sintetizar em quantidades necessárias que atendam às suas exigências (MCGILVRAY *et al.*, 2019). Sendo considerado o segundo (2º) aminoácido limitante para suínos, a Tre pode ser fornecida através dos ingredientes que são inclusos na dieta e adicionada de forma sintética. Para atender as exigências nutricionais de Tre somente com os ingredientes da dieta são necessários elevados níveis de fontes proteicas. Essa alta inclusão de fontes proteicas na dieta pode suprir as exigências de Tre porém este excedente não é utilizado pelo animal. O excesso de nitrogênio (N) (componente principal das proteínas) contido na dieta é excretado nas fezes e urina o qual gera um grande impacto ambiental,

ocasionando eutrofização e nitrificação das águas (TOLEDO; HUEPA; GRIESER, 2017; YU *et al.*, 2019).

A Tre na forma sintética é produzida via fermentação a partir da *Escherichia coli*, assim produzindo somente o isômero L-Treonina, com 100% de biodisponibilidade (SAKOMURA *et al.*, 2014). A Tre ao contrário dos demais AAs, não pode ser transaminada, pois os suínos não têm transaminases que possam transformar D- em L-treonina (D: Dextrogiro, desvia a luz polarizada para a direita; L: Levogiro, desvia a luz polarizada para a esquerda) (NELSON; COX, 2014). Diante das problemáticas ambientais que podem existir por conta do excesso de N nas fezes, se faz necessário a adição de Tre na forma sintética. Ao incluir L-Tre na dieta de suínos, além de atender as exigências nutricionais, reduzimos o uso de fontes proteicas vegetais com menor excreção de N reduzindo o impacto ambiental.

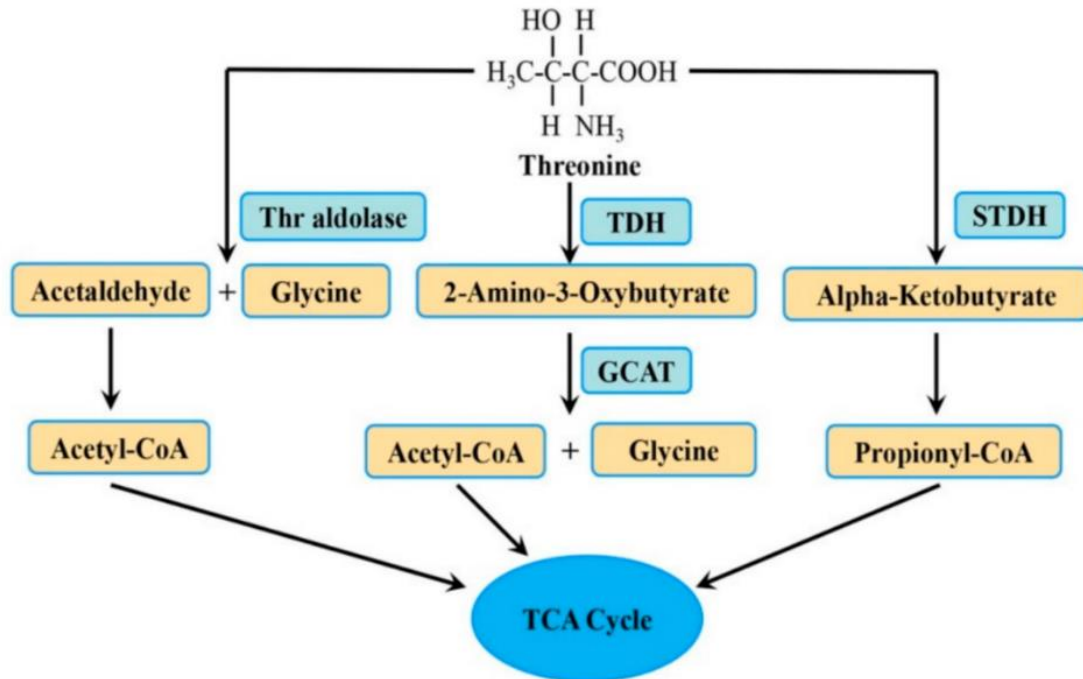
### 1.3 ABSORÇÃO E METABOLISMO DA TREONINA

A absorção da Tre em suínos melhora a deposição proteica, bem como traz benefícios em nível intestinal e imunológico. Para que a Tre seja absorvida e realize suas funções no organismo animal se faz necessária a quebra das proteínas em peptídeos menores e aminoácidos livres no intestino delgado. Todo esse processo envolve enzimas capazes de fazer essa hidrólise (NELSON; COX, 2014). A absorção da Tre ocorre pela mucosa intestinal. Incorporada pelo enterócito na forma simples como aminoácido, a Tre é direcionada para executar suas funções dentro do organismo do suíno (SAKOMURA *et al.*, 2014). Após a absorção a Tre é transportada pela veia porta, metabolizada e utilizada em diferentes órgãos, como músculos (deposição proteica) e intestino (produção de mucina) (WU, 2013).

Diante das importantes funções que a Tre desempenha, ela pode ser catabolizada por três vias metabólicas para a produção de energia, sendo Tre aldolase, Tre desidrogenase (TDH) e Tre desidratase (STDH) como apresentada na figura 1 (TANG *et al.*, 2021). Os órgãos responsáveis pelo catabolismo da Tre são o fígado e o pâncreas. As duas primeiras vias são dependentes de glicina e a degradação da Tre resulta em acetil-CoA, onde é direcionada para o ciclo de Krebs (ciclo do ácido cítrico) para a geração de energia (ATP- adenosina trifosfato). Já a via da STDH produz propionil-CoA. A propionil-CoA também é direcionada para a produção de energia via ciclo de Krebs, porém entra por uma via diferente que contém três enzimas. Após a ação dessas três enzimas (propionil-CoA-carboxilase, metilmalonil-CoA-epimerase e metilmalonil-CoA-mutase) forma o succinil-CoA, que por sua vez entra no ciclo de Krebs produzindo ATP (TCA Cycle) (NELSON; COX, 2014; SAKOMURA *et al.*, 2014). A Tre que é direcionada

para a produção de energia, representa cerca de 2 a 9% do total (NEIS; DEJONG; RENSEN, 2015). Além da produção de energia via ciclo de Krebs, a Tre pela via da Tre desidratase pode ser utilizada como precursora na produção do aminoácido isoleucina (BENDER, 2012).

Figura 1 – Via metabólica da treonina



Fonte: TANG, Q. *et al.* Physiological Functions of Threonine in Animals: Beyond Nutrition Metabolism. 2021. Thr: Treonina; TDH: Treonina desidrogenase; STDH: Treonina desidratase; GCAT: 2-amino-3-oxibutirato Coenzima A ligase; TCA cycle: ciclo do ácido tricarbóxico (ciclo de Krebs).

A treonina possui papel fundamental na produção das células tronco. Nesse processo, a Tre participa em conjunto com os aminoácidos prolina (Pro) e Metionina (Met), os quais regulam a proliferação e diferenciação celular. A Tre produz glicina, na qual produz purinas e pirimidinas, importantes para a proliferação das células tronco, e o acetil-CoA, co-responsável na produção de energia direcionado para o ciclo de Krebs na produção de ATP (BORTOLUZZI; ROCHELL; APPLGATE, 2018; TANG *et al.*, 2021).

A Tre também tem efeito sobre o metabolismo lipídico hepático. A deficiência de Tre na dieta pode levar ao acúmulo de triglicerídeos no fígado (TANG *et al.*, 2021). Dentro do metabolismo lipídico, a Tre juntamente com a serina (Ser) atua como ativadora de proteínas quinases, as quais são capazes de controlar a produção de ácidos graxos do fígado. A restrição de Tre na dieta pode influenciar no aumento do hormônio regulador fator de crescimento (GHR) de fibroblastos hepáticos. Esse por sua vez, prejudica a efetividade da função do fígado (QI *et al.*, 2020).



## 1.4 EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DE TREONINA PARA SUÍNOS EM CRESCIMENTO

### 1.4.1 Resposta Sobre o Crescimento

A Tre desempenha diversas funções no organismo do suíno, as quais impactam diretamente no desempenho. A redução do ganho de peso e da deposição proteica estão ligados diretamente à deficiência de Tre na dieta de suínos (WANG *et al.*, 2007). O baixo desempenho associado a deficiência de Tre pode estar relacionado ao sistema imune do animal. Suínos imunologicamente desafiados e com suplementação abaixo do ideal apresentam redução no ganho de peso. Esta redução no ganho de peso dos animais é decorrente do direcionamento de energia para debelar algum patógeno/infecção (MCGILVRAY *et al.*, 2019).

O conceito proteína ideal estabelece a relação entre os aminoácidos usando a Lis como referência, o qual atua diretamente na deposição proteica dos suínos (SAKOMURA *et al.*, 2014). Assim, a relação da Lis com a Tre e demais aminoácidos apresentados em muitas tabelas são importantes para calcular as necessidades nutricionais dos suínos em determinada fase (Tabela 1). Porém, muitos resultados controversos são publicados, não obtendo uma coerência na exigência de Tre para suínos nas fases de creche, crescimento e terminação. Ao observar as Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos (2017) e o NRC (2012) são observados valores divergentes para Tre digestível ileal estandardizada, quanto para a relação Tre:Lis SID (treonina digestível ileal estandardizada – standardized ileal digestibility) em suínos de 30 a 50 kg (Tabela 1) (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2012; ROSTAGNO *et al.*, 2017). Alguns fatores que podem contribuir para essa variação nas exigências, é o ano de publicação na qual está ligado diretamente com a genética animal. Desse modo, a cada ano que passa as linhagens genéticas se tornam cada vez mais desenvolvidas, conseqüentemente tornando os suínos mais exigentes devido a maior deposição proteica (SAKOMURA *et al.*, 2014).

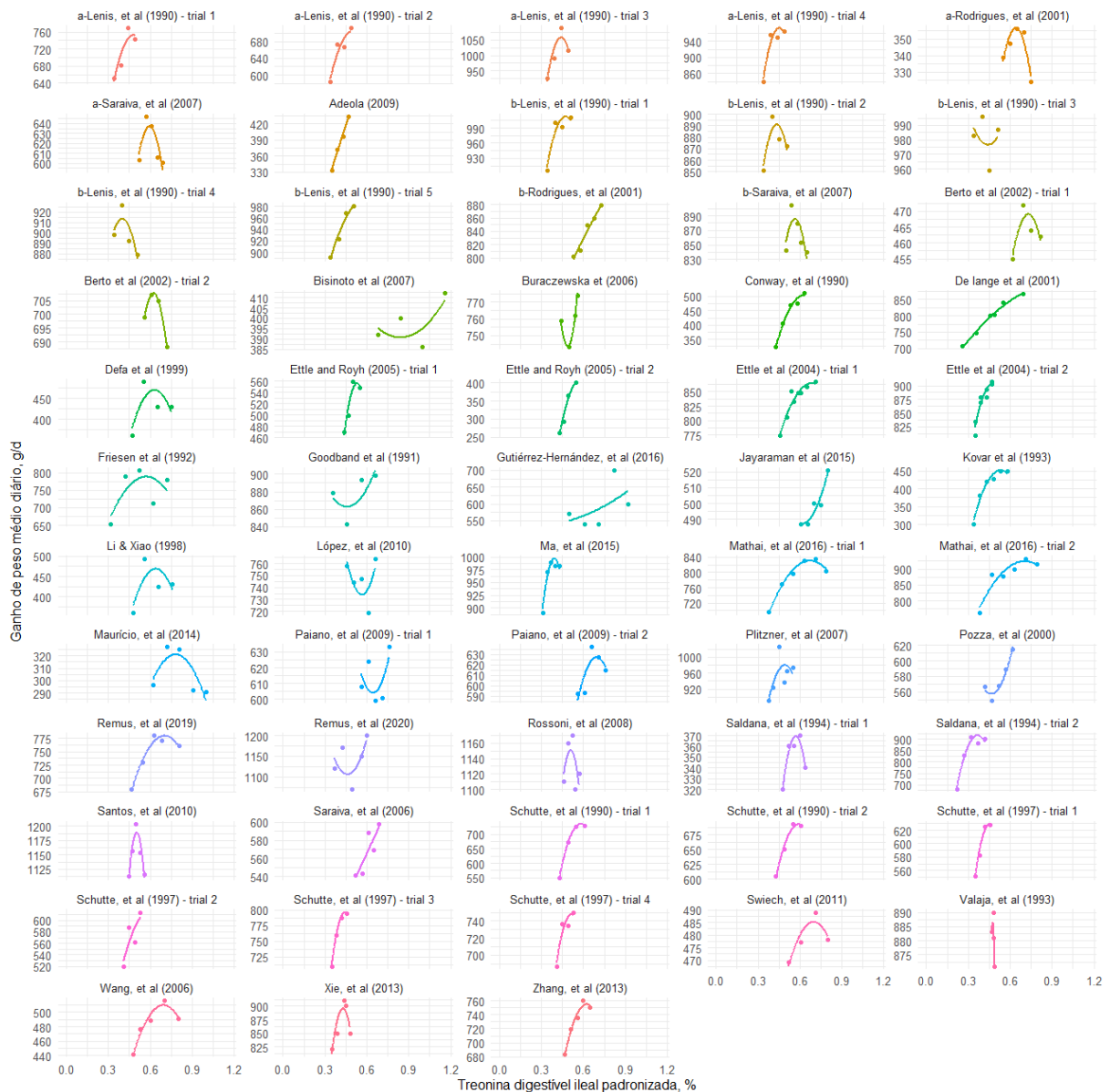
Tabela 1 – Exigências de Tre digestível ileal estandardizada e sua relação com Lis para suínos de 30 a 50 kg.

	<b>NRC, 2012</b>	<b>Rostagno, 2017</b>
Tre SID, %	0,59	0,62
Tre:Lis SID, %	60	65

NRC: National Research Council 2012; Rostagno: Tabelas Brasileiras para aves e suínos 2017. Tre SID: Treonina digestível ileal estandardizada (Standardized Ileal Digestibility); Tre:Lis SID: Relação de treonina e lisina digestível ileal estandardizada (Standardized Ileal Digestibility).

Observamos que as exigências nutricionais de Tre são um desafio, visto que a integração das respostas de diferentes estudos apresenta variações nas indicações em níveis e em relação a Lis, como apresentada na tabela contida no anexo A. O peso vivo é uma das variáveis importantes na determinação das exigências, pois há variação mesmo dentro de cada fase estudada. O sexo dos suínos é determinante nas exigências, visto que há diferença de ganho e deposição proteica entre machos inteiros ou castrados e fêmeas. Além dos fatores já citados, os ingredientes que compõem a dieta podem influenciar nas exigências de Tre, especialmente quando apresentam altos níveis de fibra. O nível de fibra na dieta gera alterações nas exigências nutricionais de Tre por conta da redução no tempo de trânsito da digesta, ao considerarmos ingredientes com fibra insolúveis. Já fibras solúveis aumentam a viscosidade da dieta, assim aumentando seu tempo de passagem (OELKE; FRAGA; ROSSI, 2020; WELLINGTON *et al.*, 2018, 2019). No gráfico 1, pode-se observar os diferentes comportamentos de ganho de peso médio diário em função do nível de Tre na dieta de suínos nas fases de creche, crescimento e terminação, nos quais totalizou 4028 suínos, 58 experimentos, níveis de suplementação de L-Tre entre 0,017% e 0,520% oriundos de 42 artigos (Anexo A). Observamos um comportamento quadrático em boa parte dos resultados da suplementação de Tre SID em relação ao ganho de peso médio diário presumindo que existe um limiar na suplementação de Tre e, quando atinge seu platô há uma redução no desempenho animal. A maior porcentagem das respostas quadráticas são observadas na fase de terminação. Já nas fases de creche e crescimento o comportamento é linear em resposta a suplementação de Tre na dieta. Essa resposta linear para as fases de creche e crescimento, se dão pela linearidade de deposição proteica e sua eficiência de crescimento, assim obtendo uma melhor conversão alimentar (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2012).

Gráfico 1 – Ganho de peso médio diário em relação ao nível de treonina digestível ileal estandardizada (%) para leitões em creche (5,8-32,70 kg) e suínos em crescimento (12,60-105,60 kg) e terminação (50-134,70 kg).



Fonte: A autora

## 1.4.2 Desafio Sanitário e Modulação do Sistema Imune

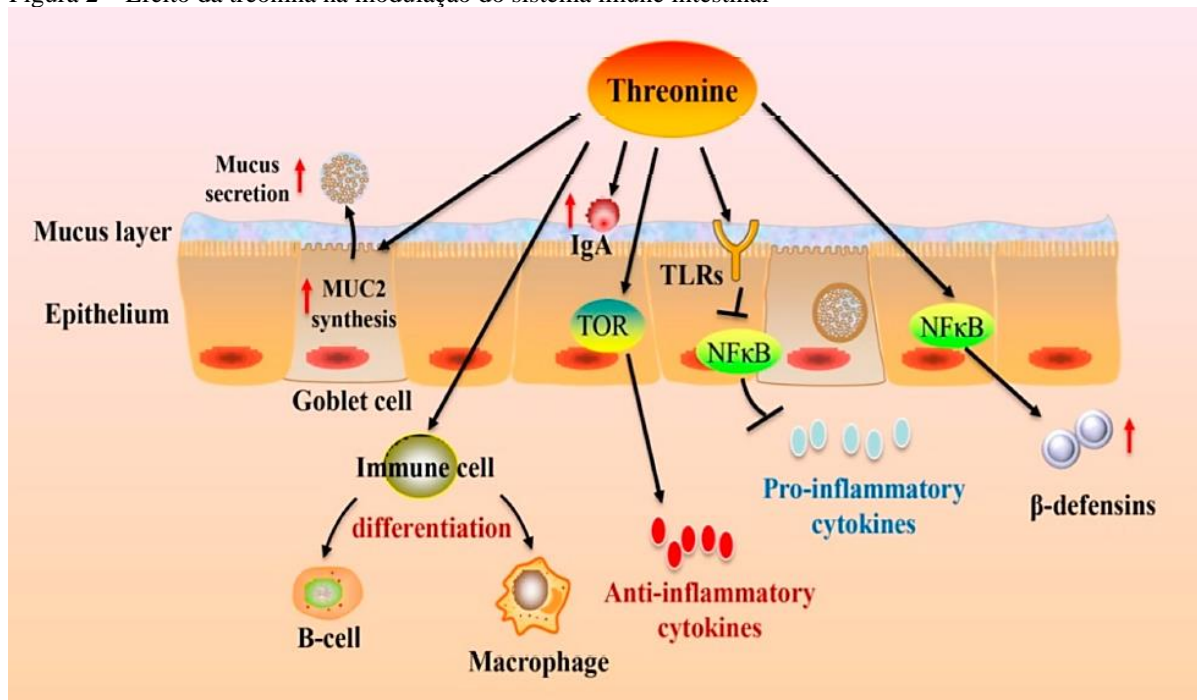
### 1.4.2.1 Importância da treonina

Além da importância no crescimento animal e síntese de proteínas do músculo esquelético, a Tre responde pela manutenção do sistema imunológico, na qual participa da reparação da mucosa intestinal. A Tre é utilizada na produção de mucinas pelas células intestinais. As mucinas são glicoproteínas que atuam na barreira contra a translocação

bacteriana, importante mecanismo de defesa no intestino. De todos os aminoácidos que compõem as glicoproteínas intestinais, a Tre representa até 40% do total (MOU *et al.*, 2019). De toda a Tre metabolizada, cerca de 71% é utilizada na síntese de proteínas da mucosa (TANG *et al.*, 2021). Nesse processo, a Tre atua em conjunto com outros aminoácidos como: glutamato (Glu), arginina (Arg) e cisteína (Cis) (BEQUETTE, 2003). Com a redução na produção de mucina, a mucosa intestinal reduz a absorção dos nutrientes, deixando o intestino mais propenso a infecções (ABBASI *et al.*, 2014).

As mucinas atuam diretamente na defesa contra patógenos, assim em rebanhos desafiados sanitariamente há um aumento das exigências nutricionais de Tre. Neste estado, o animal desenvolve uma resposta inflamatória na qual a mucina é a principal responsável por proteger o epitélio intestinal. Esse aumento na produção de mucina resulta em maior demanda de Tre (BORTOLUZZI; ROCHELL; APPLGATE, 2018; JÚNIOR *et al.*, 2020). Toda a Tre incorporada e metabolizada mantém a homeostase intestinal e quando um processo inflamatório é desenvolvido, a Tre regula a diferenciação de células imunes, expressão de citocinas e sinalizações. Dentro desse processo de defesa intestinal, onde o animal não é deficiente em Tre, ocorre a ativação de vias de sinalização por meio da Tre, por exemplo a proteína quinase ativada por mitógeno (MAPK) e o alvo da rapamicina (TOR), que regulam a liberação de citocinas anti-inflamatórias (Figura 2). Em animais deficientes em Tre, o comportamento se altera, onde a falta de Tre induz a expressão de citocinas pro-inflamatórias, nos quais reduz a proliferação de células anti-inflamatórias, assim agravando a inflamação intestinal (MOU *et al.*, 2019; TANG *et al.*, 2021). Além disso, as mucinas juntamente com imunoglobulinas, sais, substâncias antimicrobianas (secretadas pelas células de Paneth) formam a camada de muco atuando em conjunto como barreira intestinal contra patógenos (TANG *et al.*, 2021).

Figura 2 – Efeito da treonina na modulação do sistema imune intestinal



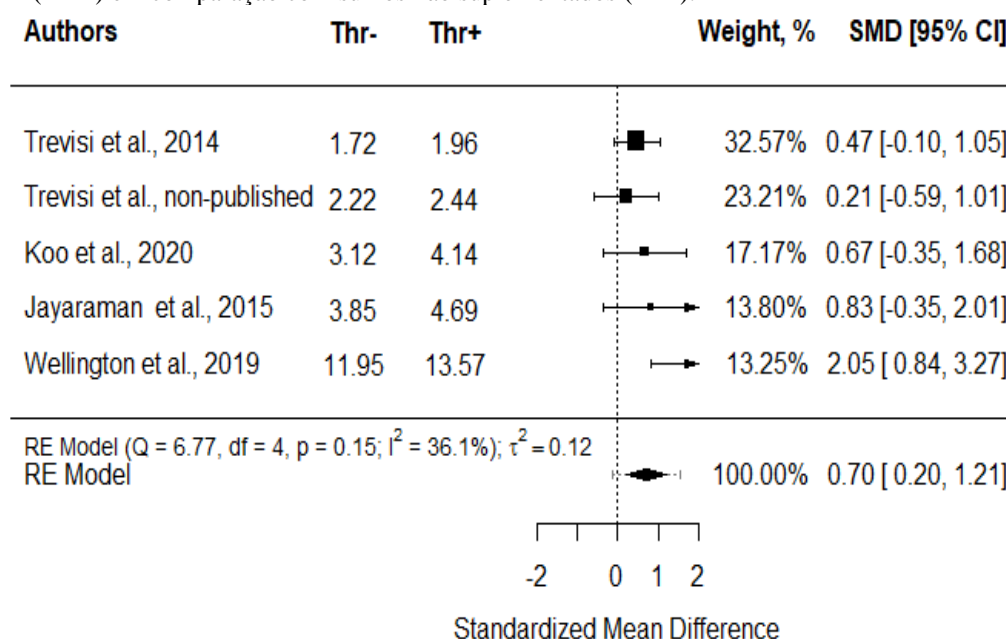
Fonte: TANG, Q. *et al.* Physiological Functions of Threonine in Animals: Beyond Nutrition Metabolism. 2021. IgA: Imunoglobulina A; TLRs; TOR: Alvo da rapamicina; NFκB: Fator nuclear κ-potenciador de cadeia leve de células B; MUC2: mucina; TLRs: receptores Toll-Like.

A Tre é AA indispensável na formação das imunoglobulinas (Ig), na qual compõem cerca de 7 a 11% do total de aminoácidos em sua composição, principalmente IgA e IgG, importantes para neutralização inespecífica de microrganismos (XU *et al.*, 2014). Na superfície do epitélio intestinal há receptores responsáveis por realizar o transporte de Ig (receptor de Ig polimérica - pIgR) até o lúmen. Na deficiência de Tre a quantidade desses receptores existentes é reduzida, pois através do NF-κB (Fator nuclear κ-potenciador de cadeia leve de células B) na qual é ativado pela Tre, reduz sua expressão, comprometendo a produção e transporte de Ig. Diversos estudos comprovaram que a ingestão de dietas suplementadas com Tre aumentam a produção de anticorpos, IgA e IgG em leitões no pós-desmame, melhorando seu desempenho e resposta diante das adversidades impostas (TANG *et al.*, 2021). Suínos suplementados com Tre apresentam desempenho superior em comparação aos suínos que não receberam a suplementação quando alojados em ambientes com desafio sanitário (CHEN *et al.*, 2017; TANG *et al.*, 2021; XU *et al.*, 2014).

Estudos realizados mostram a eficiência da suplementação (Thr +) ou não (Thr -) de Tre em suínos desafiados sanitariamente. Cinco estudos publicados entre 2014 e 2020 compuseram a base de desafio sanitário (*Escherichia coli* Enterotoxigênica e *Salmonella typhimurium*), totalizando 371 suínos nas fases de creche e crescimento (Figura 3). Através de

uma abordagem meta-analítica, suínos submetidos a desafio sanitário suplementados com Tre apresentaram uma redução de perdas no GPD em até 19% comparados com animais não suplementados.

Figura 3 – Forest plot mostrando ingestão de treonina (Thr) SID (g/d) e diferença média estandardizada (SMD) em relação ao ganho médio diário (g/d) para suínos em crescimento submetidos a desafio sanitário (Thr+) em comparação com suínos não suplementados (Thr-).



Fonte: A autora

Diante disso, mostra-se necessária a suplementação de Tre em suínos em animais desafiados, visto que há um aumento no GPD desses suínos, nos quais observa-se na figura 3. Porém, somente cinco estudos compreenderam essa meta-análise, que metodologicamente consideramos como uma lacuna de estudo encontrada. A necessidade de maiores esclarecimentos e respostas são essenciais para a compreensão dos benefícios da Tre nos suínos de forma mais detalhada diante o desafio sanitário.

Além da proteção da mucosa, a suplementação de Tre pode influenciar na área de contato do epitélio intestinal. O fornecimento adequado de Tre de acordo com a exigência do suíno, gera melhorias na altura de vilosidade e profundidade de criptas, maior quantidade de células caliciformes e redução da atrofia celular do epitélio (TANG *et al.*, 2021). Todos esses fatores, levam a um maior aproveitamento dos nutrientes e como consequência, melhor desempenho animal (HAMARD *et al.*, 2010). A absorção dos nutrientes também pode se tornar mais eficiente com o aumento da enzima Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>-ATP e aumento da sua atividade e quantidade está relacionada a suplementação de Tre (TANG *et al.*, 2021). Wang e colaboradores (2010)

afirmaram que tanto a deficiência quanto o excesso de Tre podem influenciar negativamente no epitélio intestinal, nos quais observaram redução de mucina a nível intestinal devido a diminuição da síntese de RNA mensageiro responsável pela produção de mucina (WANG *et al.*, 2010).

É importante considerar que atualmente conhecemos as demandas nutricionais de Tre para deposição proteica para um desempenho ótimo e ainda são incipientes as determinações de valores para a manutenção fisiológica do animal em desafio sanitário. O grande desafio é estimar as exigências que integram os conceitos de proteína ideal e as demandas específicas do aminoácido em questão.

#### 1.4.2.2 Exigência de treonina

A exigência nutricional de Tre para ser estimada de forma exata, depende de diversos fatores. Condições sanitárias, microbiota intestinal e nível de fibra na dieta podem interferir na exigência de Tre para leitões em creche e suínos em crescimento e terminação. Estudos afirmam que quanto maior o desafio sanitário e nível de fibra na dieta maior a exigência de Tre SID para suínos (JAYARAMAN; HTOO; NYACHOTI, 2015; MATHAI *et al.*, 2016). As exigências de Tre em suínos aumentam em desafio sanitário, pois há uma elevação na produção de mucina para a proteção do intestino contra patógenos. Em relação a níveis de fibra na dieta, seu aumento gera efeitos negativos na digestibilidade, reduzindo o tempo de trânsito e aumentando a taxa de passagem da digesta, o que gera uma maior exigência de Tre (ROSE; HAMAKER, 2011; WELLINGTON *et al.*, 2018). Outro fator que pode influenciar é a genética, pois a partir do melhoramento genético desenvolveram-se linhagens comerciais com crescimento mais rápido e mais eficientes (linhagens paternas), consequentemente produzindo animais mais exigentes nutricionalmente (MOTE; ROTHSCILD, 2019; ROSTAGNO *et al.*, 2017). Sabe-se que animais mais eficientes e produtivos tem melhor conversão alimentar, onde segundo estudos é uma característica moderada de herdabilidade, assim influenciando nas exigências nutricionais dos animais ao decorrer de seu melhoramento (DAVOUDI *et al.*, 2022). Além desses fatores, os modelos escolhidos para estimar a exigência e suas variáveis resposta podem apresentar variações. É necessário um modelo que represente a população e permita estudar as variações entre os animais, assim tornando o sistema cada vez mais rentável, sustentável e eficiente (POMAR *et al.*, 2003).

## 1.5 ESTIMAÇÃO DAS EXIGÊNCIAS

As exigências de Tre podem ser estimadas por dois métodos: fatorial e empírico. No método fatorial utiliza-se um suíno referência (animal médio) que represente a população, na qual estima-se as necessidades para manutenção e crescimento do suíno. Dois exemplos que muito bem se aplicam no método fatorial é o NRC (National Research Council) e as Tabelas Brasileiras (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2012; ROSTAGNO *et al.*, 2017). Ao utilizar esses cálculos para estabelecer as necessidades, algumas limitações no método são encontradas. Alguns exemplos destas limitações é a determinação de um valor constante para manutenção e a utilização de um animal médio para a estimação no qual pode haver animais superalimentados e subalimentados (HAUSCHILD, 2010). No entanto, mesmo com esses entraves esse método é aplicável em diferentes ambientes e populações (HAUSCHILD; POMAR; LOVATTO, 2010; POMAR *et al.*, 2003). Já o método empírico, consiste na condução de experimentos dose-resposta, no qual há aumento gradativo do aminoácido estudado. Esse método pode ser usado para validar o método fatorial. Todavia, a estimativa empírica é para uma população específica, na qual depende de fatores externos (REMUS, 2018).

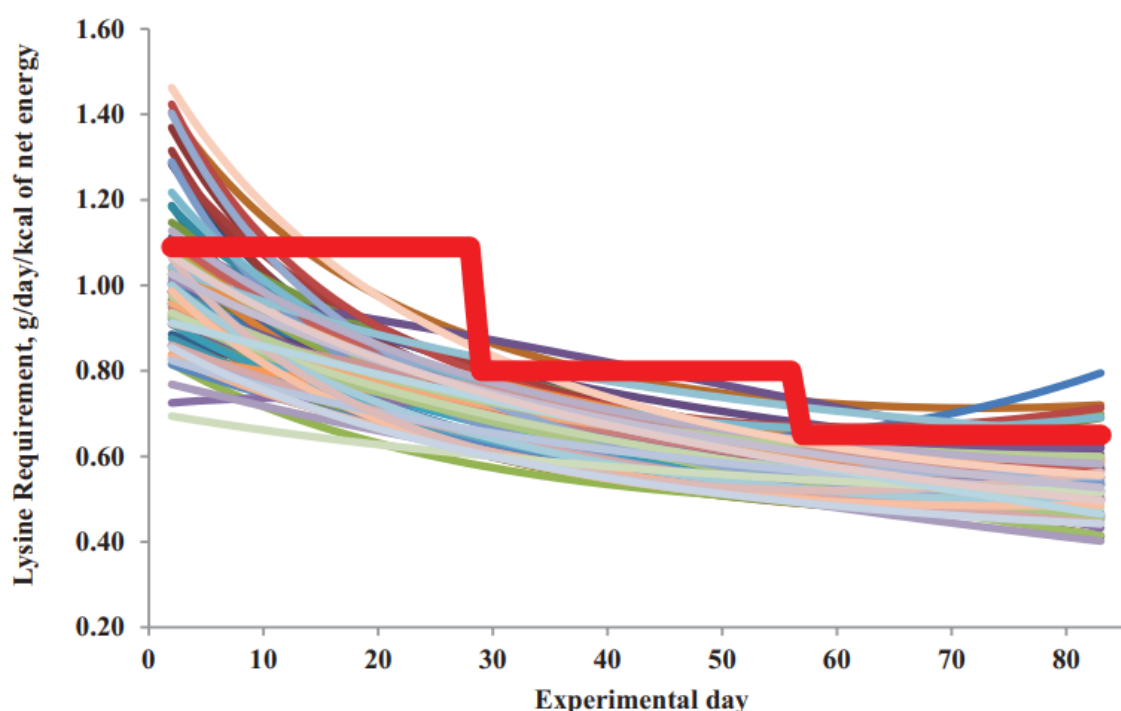
Assim a modelagem matemática desses modelos e métodos se torna importante pois envolve equações que ajudam a entender, quantificar fatores e variabilidades de difícil mensuração quantitativa (exemplo: sexo). Essa metodologia procura transformar conceitos e conhecimentos pertinentes em equações matemáticas e implementá-las por meio de processos lógicos, simulando situações reais em computadores (HAUSCHILD, 2010). Diante disso, a nutrição de indivíduos ou de precisão pode considerar diversos fatores que influenciam nas diferenças de exigências nutricionais entre os animais contemplando desde fatores genéticos, fase, peso, até ambiente, dieta etc. (HAUSCHILD, 2010; POMAR *et al.*, 2009).

Sabe-se que atualmente na produção de suínos, a alimentação é dividida em fases para alimentar um grupo de suínos, como podemos observar a linha vermelha na gráfico 2 (POMAR; REMUS, 2019). No gráfico são apresentadas exigências para o aminoácido Lis, mas essa comparação é equivalente para a Tre. Ao comparar as exigências diárias dos suínos, observa-se suplementações acima e abaixo das exigências em diferentes períodos. Assim, os animais no início da fase recebem dietas acima de suas exigências, na qual excesso é excretado e perdido, reduzindo a eficiência econômica. Porém no final da fase, esse suíno é alimentado com a dieta que corresponde abaixo da sua exigência, desse modo não atingiu o seu potencial máximo (HAUSCHILD, 2010). Diante dessa problemática, se faz necessário e importante a nutrição de



indivíduos, fornecendo adequadamente as exigências de Tre para os suínos em crescimento. Assim maximiza-se a produção, tornando-a cada vez mais eficaz e consequentemente gerando menor impacto ambiental. Além das variações durante o período do fornecimento da dieta, há diferença entre os próprios animais do mesmo grupo alimentado. Dessa maneira suínos com a mesma idade, podem ter exigências bem variadas, aumentando a variabilidade do rebanho. Diante disso são necessárias ferramentas e métodos para reduzir falhas na nutrição dos suínos tornando a suinocultura cada vez mais eficiente (POMAR *et al.*, 2009).

Gráfico 2 – Exigência individual de lisina digestível ileal estandardizada para suínos (linhas coloridas) e níveis de lisina fornecidas na alimentação por fase (linha vermelha)



Fonte: POMAR, C.; REMUS, A. Precision pig feeding: A breakthrough toward sustainability. **Animal Frontiers**, v. 9, n. 2, p. 52–59, 1 abr. 2019.

Diante da diversidade de recomendações de Tre SID para suínos nas fases de crescimento, se faz necessário estudos para tentar elucidar melhor essas estimativas. A nutrição de indivíduos permite estimar a exigência adequada para o animal, respeitando a variação de exigência entre os animais. Assim fornece a exigência adequada para o animal, sem excesso ou subnutrição de Tre como acontece na alimentação por fases. Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo estudar a nutrição individual dos animais referente ao aminoácido Tre, usando ferramentas matemáticas para a estimação. Portanto, o estudo busca novas formas de fazer estimações e simulações das exigências individuais, assim buscando a melhor nutrição de suínos em crescimento e terminação.

## REFERÊNCIAS

- ABBASI, M. A. *et al.* Effects of Different Levels of Dietary Crude Protein and Threonine on Performance, Humoral Immune Responses and Intestinal Morphology of Broiler Chicks. **Brazilian Journal of Poultry Science**, v. 16, p. 35–44, 2014.
- BENDER, D. A. **Amino acid metabolismo**. 3rd Edition ed., 2012.
- BEQUETTE, B. **Amino acid in Animal Nutrition**. 2. ed., 2003.
- BORTOLUZZI, C.; ROCHELL, S. J.; APPLGATE, T. J. Threonine, arginine, and glutamine: Influences on intestinal physiology, immunology, and microbiology in broilers. **Poultry Science**, Oxford University Press, 1 mar. 2018.
- CHEN, Y. P. *et al.* Effects of threonine supplementation on the growth performance, immunity, oxidative status, intestinal integrity, and barrier function of broilers at the early age. **Poultry Science**, v. 96, n. 2, p. 405–413, 2017.
- DAVOUDI, P. *et al.* Application of Genetic, Genomic and Biological Pathways in Improvement of Swine Feed Efficiency. **Frontiers in Genetics**, v. 13, 9 jun. 2022.
- HAMARD, A. *et al.* A moderate threonine deficiency affects gene expression profile, paracellular permeability and glucose absorption capacity in the ileum of piglets. **The Journal of Nutritional Biochemistry**, v. 21, n. 10, p. 914–921, 2010.
- HAMARD, A.; SÈVE, B.; LE FLOC'H, N. A moderate threonine deficiency differently affects protein metabolism in tissues of early-weaned piglets. **Comparative Biochemistry and Physiology - A Molecular and Integrative Physiology**, v. 152, n. 4, p. 491–497, 2009.
- HAUSCHILD, L. **Modelagem individual e em tempo real das exigências nutricionais de suínos em crescimento**. Santa Maria, 2010.
- HAUSCHILD, L.; POMAR, C.; LOVATTO, P. A. Systematic comparison of the empirical and factorial methods used to estimate the nutrient requirements of growing pigs. **Animal**, v. 4, n. 5, p. 714–723, 2010.
- JAYARAMAN, B.; HTOO, J.; NYACHOTI, C. M. Effects of dietary threonine:lysine ratios and sanitary conditions on performance, plasma urea nitrogen, plasma-free threonine and lysine of weaned pigs. **Animal Nutrition**, v. 1, n. 4, p. 283–288, 1 dez. 2015.
- JÚNIOR, G. M. DE O. *et al.* Digestible threonine-to-lysine ratio for piglets under health challenge. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 12, p. e21691210899, 19 dez. 2020.
- MATHAI, J. K. *et al.* Effects of dietary fiber on the ideal standardized ileal digestible threonine:lysine ratio for twenty-five-to-fifty-kilogram growing gilts. **Journal of Animal Science**, v. 94, p. 4217–4230, 2016.

MCGILVRAY, W. D. *et al.* Immune system stimulation increases dietary threonine requirements for protein deposition in growing pigs. **Journal of Animal Science**, v. 97, n. 2, p. 735–744, 2019.

MOTE, B. E.; ROTHSCCHILD, M. F. Modern genetic and genomic improvement of the pig. Em: **Animal Agriculture: Sustainability, Challenges and Innovations**. Elsevier, p. 249–262, 2019.

MOU, Q. *et al.* Amino Acids Influencing Intestinal Development and Health of the Piglets. **Animal**, v. 9, n. 302, p. 1–11, 2019.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient Requirements of Swine**, 2012.

NELSON, D. L.; COX, M. M. **Princípios de Bioquímica de Lehninger**. 6. ed. 2014.

OELKE, C. A.; FRAGA, B. N.; ROSSI, P. Fibra dietética: um novo enfoque na nutrição de suínos. Em: **Zootecnia: Nutrição e Produção Animal**. Editora Científica Digital, p. 134–147, 2020.

POMAR, C. *et al.* Modeling stochasticity: Dealing with populations rather than individual pigs. **Journal of Animal Science**, v. 81, p. E178–E186, 2003.

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

POMAR, C.; REMUS, A. Precision pig feeding: A breakthrough toward sustainability. **Animal Frontiers**, v. 9, n. 2, p. 52–59, 1 abr. 2019.

QI, M. *et al.* Dietary glutamine, glutamate, and aspartate supplementation improves hepatic lipid metabolism in post-weaning piglets. **Animal Nutrition**, v. 6, n. 2, p. 124–129, 1 jun. 2020.

REMUS, A. **The ideal protein profile for growing-finishing pigs in precision feeding systems: threonine**. Jaboticabal: Universidades Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2018.

ROSE, D. J.; HAMAKER, B. R. Overview of Dietary Fiber and its Influence on Gastrointestinal Health. Em: PAESCHKE, T.; ALMUTIS, W. R. (Eds.). **Nondigestible Carbohydrates and Digestive Health**. Paeschke, Teri ed. 2011.

ROSTAGNO, H. S. *et al.* **Tabelas Brasileiras Para Aves e Suínos**. 2017.

SAKOMURA, N. K. *et al.* **Nutrição de Não Ruminantes**. Funep ed. Jaboticabal: 2014.

TANG, Q. *et al.* Physiological Functions of Threonine in Animals: Beyond Nutrition Metabolism. 2021.

TOLEDO, J. B.; HUEPA, L. M. D.; GRIESER, D. DE O. Suplementação de aminoácidos essenciais em dietas de baixo nível proteico para leitões: Revisão. **Pubvet**, v. 11, n. 11, p. 1151–1162, 2017.

WANG, W. *et al.* Optimal dietary true ileal digestible threonine for supporting the mucosal barrier in small intestine of weanling pigs. **Journal of Nutrition**, v. 140, n. 5, 2010.

WANG, X. *et al.* A deficiency or excess of dietary threonine reduces protein synthesis in jejunum and skeletal muscle of young pigs. **Journal of Nutrition**, v. 137, n. 6, 2007.

WELLINGTON, M. O. *et al.* Impact of dietary fiber and immune system stimulation on threonine requirement for protein deposition in growing pigs. **Journal of Animal Science**, v. 96, n. 12, 2018.

WELLINGTON, M. O. *et al.* Effect of supplemental threonine above requirement on growth performance of *Salmonella typhimurium* challenged pigs fed high-fiber diets. **Journal of Animal Science**, v. 97, n. 9, p. 3636–3647, 3 set. 2019.

WU, G. **Amino Acids: Biochemistry and Nutrition**. CRC Press, 2013.

XU, S. *et al.* Effects of dietary threonine and tryptophan supplementation on growing pigs induced by porcine respiratory and reproductive syndrome vaccination. **Archives of Animal Nutrition**, v. 68, n. 5, p. 385–397, 1 jan. 2014.

YU, C. Q. *et al.* Managing nitrogen to restore water quality in China. **Nature**, v. 567, n. 7749, p. 516–520, 28 mar. 2019.

## **CAPÍTULO 2: MODELAGEM DAS EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DE TREONINA PARA SUÍNOS NAS FASES DE CRECHE, CRESCIMENTO E TERMINAÇÃO: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA E META-ANÁLISE**

### **RESUMO**

O objetivo deste trabalho é estudar as exigências nutricionais de treonina em suínos nas fases de creche, crescimento e terminação, através da revisão sistemática e meta-análise. A base de dados contemplou 41 artigos publicados entre os anos 1990 a 2020, totalizando 4028 suínos, com 274 tratamentos. Os critérios de seleção foram: artigos revisados por pares, espaço temporal de 30 anos, experimentos com suínos nas fases de creche, crescimento e terminação, artigo apresentar no mínimo 4 tratamentos (controle + 3 níveis de treonina), haver dados de desempenho no artigo e composição das dietas (porcentagem dos ingredientes). A avaliação dos dados envolveu análises gráficas, descritivas, teste de variância e covariância, modelos mistos, modelos lineares, modelos quadráticos, modelos não lineares e machine learning. Para as fases de creche e crescimento, o modelo linear foi o melhor para estimar as exigências de treonina, onde obteve-se um ganho diário de 38 e 18 gramas para cada grama de treonina ingerida respectivamente. Para terminação, o modelo múltiplo foi o mais adequado, com um ganho de 16 gramas diárias para cada grama de treonina ingerida. Na forma inversa de estimação, para as fases de creche e crescimento, o modelo linear foi o mais adequado, estimando 0,0103 e 0,0193 gramas para cada grama de ganho de peso diário respectivamente. Na terminação, o modelo múltiplo foi selecionado obtendo uma exigência de Tre de 0,01 gramas para cada grama de ganho de peso. Com relação aos modelos não lineares, a reestimação obteve um ganho de 45 gramas para cada grama de treonina ingerida para fase de creche e 26 gramas para crescimento. Para o machine learning, o modelo XGBOOST apresentou os melhores coeficientes de seleção do modelo, nos quais teve como principais variáveis preditoras o ganho de peso, consumo de ração e porcentagem de treonina na dieta. Porém o uso do machine learning não foi adequado para essa realidade estudada, por conta da limitação de dados. Conclui-se que através da meta-análise foi possível estimar as exigências nutricionais de treonina para leitões e suínos nas fases de creche, crescimento e terminação.

Palavras-chaves: desempenho, aminoácido, leitões, estimação, nutrição.

### **2.1 INTRODUÇÃO**

Os aminoácidos na qual compõe as proteínas, desempenham diversas funções no organismo. Dentre os aminoácidos, a Tre é geralmente o segundo aminoácido limitante em dietas de suínos, formuladas à base de milho e farelo de soja. Este aminoácido é nutricionalmente essencial para várias vias metabólicas e não pode ser sintetizado pelo animal de modo que atenda às suas necessidades (TANG *et al.*, 2021). A Tre juntamente com outros aminoácidos, estão envolvidas em funções de manutenção, principalmente aquelas relacionadas ao sistema imunológico e processos de reparo da mucosa intestinal (BEQUETTE, 2003). A participação da Tre no sistema imunológico se dá pela produção de mucina, na qual é composta

por 40% de Tre dentre os aminoácidos que a compõem. A produção de mucina intestinal atua na defesa contra patógenos, sendo um mecanismo de defesa importante para a boa sanidade do rebanho (MOU *et al.*, 2019). Com essa melhora na resposta imune do animal, efeitos benéficos são visualizados no desempenho dos mesmos. Um animal que responde melhor a desafios, está imunologicamente preparado, pode ter maior ganho de peso perante desafios. Portanto, diante das ações na Tre, conseqüentemente o desempenho dos suínos suplementados com Tre será superior.

Diversos experimentos *in vivo*, já foram executados com o objetivo de estimar o nível ideal de Tre em suínos. Ao estimar níveis ideais da Tre e demais aminoácidos, usa-se o conceito de proteína ideal, tendo a Lis como aminoácido referência (VAN MILGEN; DOURMAD, 2015). Majoritariamente, nos métodos fatoriais (HAUSCHILD *et al.*, 2012; NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2012; ROSTAGNO *et al.*, 2017) as exigências de Lis são calculadas em função do desempenho do animal como referência, enquanto as exigências nutricionais de Tre e demais aminoácidos são estabelecidas em relação a Lis. Apesar da importância e utilidade de modelos tradicionais, os mesmos são concebidos para estimar a exigência média do rebanho, ignorando a variação individual das exigências nutricionais. Ao considerar um suíno médio como referência, nas quais não assume a variação entre animais, uma parcela do rebanho irá receber nutrientes acima de suas exigências nutricionais pela dieta e outra parcela será abaixo das exigências (REMUS *et al.*, 2020). Estudos comprovam que há diferença entre os animais do mesmo rebanho, em relação a exigência nutricional de Tre, não somente quando estimada em relação a Lis, mas também quando estimada na forma de dose-resposta (REMUS *et al.*, 2019, 2021).

Diante disso, o desenvolvimento de técnicas modernas como a nutrição de precisão, permite otimizar a utilização dos aminoácidos, respeitando a variação entre indivíduos e bem como tornar o sistema de produção mais sustentável e preciso (POMAR; ANDRETTA; REMUS, 2021). Devido as variações das exigências nutricionais e a diversidade entre as condições existentes, a meta-análise pode combinar resultados de inúmeros experimentos e quantificar as exigências de Tre, nas quais pode identificar as diversas variações que podem existir dentro da produção de suínos (SAUVANT, 2008). Portanto, o presente estudo tem como objetivo estudar as exigências nutricionais de Tre SID (digestibilidade ileal standardizada – Standardized ileal digestibility) em leitões e suínos nas fases de creche, crescimento e terminação, através da revisão sistemática e meta-análise.

## 2.2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.2.1 Construção da Base de Dados

Uma revisão sistemática foi realizada com o objetivo de atualizar um banco de dados usado anteriormente em uma meta-análise (Franceschi, Hilgemberg *et al.*, forthcoming). As bases de dados indexadoras escolhidas para a busca foram: PubMed, ScienceDirect, Scopus e Web of Science. No final da busca nas bases selecionadas, uma verificação rápida no Google Scholar foi sucedida para encontrar possíveis artigos nos quais não foram encontrados nas bases eletrônicas. Para a realização das buscas nas plataformas digitais citadas foi utilizada a abordagem “PICO”, sendo “P” a população de estudo (leitões em creche e suínos nas fases de crescimento e terminação), “I” a intervenção (Tre) e “Co” o contexto (ganho de peso médio diário, consumo de ração, conversão alimentar, eficiência alimentar, peso final, deposição proteica, etc). As combinações utilizadas para a busca foram: pigs AND “threonine requirements” AND “growth performance”, pigs AND threonine AND “growth performance”, pigs AND threonine AND “growth performance” NOT egg NOT broiler. O idioma utilizado para a busca dos estudos foi o inglês, sem inserção de espaço temporal na pesquisa, nas quais foram realizadas entre setembro de 2021 a janeiro de 2022.

Após a busca, todas as referências encontradas foram exportadas para um gerenciador de referências, onde teve como finalidade revisar os títulos e resumos de cada trabalho encontrado e selecionar os artigos para que compusessem a base de dados. A primeira verificação consistiu em pré-selecionar os estudos que eram do foco do presente estudo, sendo a suplementação de Tre em leitões e suínos nas fases de crescimento. Os estudos pré-selecionados, foram revisados por completo, como propõem o método PRISMA (MOHER *et al.*, 2009). Os artigos selecionados na primeira verificação, foram avaliados de acordo com os critérios de seleção estipulados, tornando a base mais standardizada. Os critérios de seleção dos artigos foram: artigos revisados por pares publicados em revistas científicas, espaço temporal de 30 anos, experimentos com leitões e suínos nas fases de creche, crescimento e terminação (14 a 150 dias de idade), apresentar no mínimo 4 níveis de suplementação com Tre (controle + 3 níveis), conter resultados de desempenho dos suínos, apresentar a composição nutricional das dietas experimentais e porcentagem de cada ingrediente. Caso o artigo não cumprisse as premissas de seleção citadas, era automaticamente excluído.

## 2.2.2 Tabulação, Codificação e Filtragem dos Dados

Após a análise de elegibilidade, os estudos selecionados foram tabulados em planilha eletrônica, onde as colunas representaram cada variável de interesse no estudo e cada linha os tratamentos. As variáveis exploradas nos artigos foram: informações do artigo (ano de publicação, título, revista, volume, país e instituição), dados experimentais (nível de suplementação de treonina, composição calculada e analisada da dieta, ingredientes, fase animal, peso e/ou idade inicial) e resultados (peso final, consumo de ração, ganho de peso, conversão alimentar, eficiência alimentar, deposição proteica, ingestão de treonina). Fatores como inclusão ou não de L-treonina (controle vs. treonina), sexo, fase animal, delineamento experimental, limitação ou não de aminoácidos na dieta foram codificados e considerados como fontes de variação. As variáveis dependentes e independentes foram determinadas de acordo com as descrições da literatura (LOVATTO *et al.*, 2007; SAUVANT, 2008).

Para melhor análise dos dados, foram criados códigos, sendo: a) efeito do estudo, onde cada artigo recebeu um número sequencial (1, 2, 3...), b) codificação inter-estudo (101, 102, 103, 104...) e c) codificação intra-estudos, para considerar os efeitos de medidas repetidas no tempo ou doses seriadas (101, 102, 201, 202). Outras codificações foram implementadas para facilitar as análises dos dados, sendo: tratamento controle sem adição de L-treonina (C), tratamento com a suplementação de L-treonina e seus níveis (T), W ou 1 para fase de creche, G ou 2 para crescimento, F ou 3 para terminação, CM, F ou 4 para macho castrado e fêmea, CM ou 2 para macho castrado, F ou 3 para fêmea; M ou 1 para macho inteiro.

Cálculos foram realizados para algumas variáveis como ganho de peso, consumo de ração, conversão alimentar, entre outros, quando o artigo não apresentava, assim foram calculados a partir de outros valores apresentados pelo artigo. Todos esses valores calculados foram incluídos e codificados em nova coluna para posteriores análises na revisão sistemática da planilha.

## 2.2.3 Padronização das Dietas

A composição da dieta de cada artigo tabulado na base foi computada para recalculer a composição nutricional em termos de SID dos aminoácidos principalmente da Tre e sua relação com Lis e demais composições. Para esse procedimento foi utilizado o software EvaPig (“EvaPig®,” 2021). Esse método é usado para minimizar as variações entre estudos, pois cada



experimento pode usar diferentes referências para calcular a composição e obter a SID de Tre para suínos. Outros valores aos quais o artigo não apresentou, puderam ser obtidos pelo software, como: relação Tre:Lis, consumo diário de treonina, proteína bruta, fibra fruta e demais nutrientes a partir da composição da dieta fornecida pelo artigo.

#### 2.2.4 Revisão Sistemática

Uma planilha a parte foi criada para a revisão sistemática dos dados, onde os artigos foram os mesmos tanto para revisão quanto para a meta-análise, somente tabulados de forma diferente. Na planilha cada linha compreendia a um experimento. Foram tabuladas algumas variáveis de interesse para melhor análise e estudo como: código do artigo para identificação, ano, sexo, dias de experimento, fase, níveis de L-Tre, níveis de Tre SID, peso, ganho de peso diário (GPD), consumo de ração diário (CRD), conversão alimentar (CA), significância das variáveis (importante para a quantificação de resultados significativos e suas respectivas variáveis), exigência de Tre SID indicada pela NRC (2012), ingredientes base da dieta, proteína bruta (PB), relação Tre:Lis. Na base de dados para a revisão, codagens foram estabelecidas para avaliação de variáveis que foram apresentadas pelo estudo ou calculadas a partir de outros valores expressos. Essa codagem foi aplicada para as variáveis de desempenho animal. Todos esses dados foram estudados e analisados minuciosamente para realização da revisão sistemática.

#### 2.2.5 Análise Estatística

##### 2.2.5.1 Análise descritiva e gráfica

As análises descritivas da base de dados consistiram na quantificação do número de tratamentos (linhas), variáveis respostas (colunas), porcentagem correspondente a cada fase estudada inserida na planilha, variação dos anos, números de animais totais, variação de peso em suas respectivas fases, entre outros foram descritos. Para as análises gráficas, o objetivo foi observar a coerência e comportamento dos dados, possíveis erros de digitação e prováveis caminhos de estudo e análises. Os gráficos foram criados através do software R Studio (version 3.6.1; R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria). Análises gráficas foram executadas para a base total, contemplando as três fases de estudo (creche, crescimento e

terminação), e posteriormente gráficos individuais para cada fase. A maior parte das análises gráficas considerou as relações de Tre SID ingerida (g/d) e Tre SID (%) com as variáveis GPD, CRD e CA. Através dos gráficos gerados, verificações de outliers foram realizadas, nos quais observações com desvio padrão maior que 3 (-3 e 3) foram removidos. Os gráficos de correlação identificam interações entre fatores incluídos no estudo e suas respectivas significâncias foram geradas por códigos de forma individual (LOVATTO *et al.*, 2007; SAUVANT, 2008).

#### 2.2.5.2 Análises de variância-covariância

As análises de variância-covariância foram realizadas a partir do pacote lmerTest usando a função lmer do software R (version 3.6.1; R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria). A partir desse modelo simples inicial, sendo um modelo linear, gerou-se dados de análises de variância tipo III usando a função anova. Para obtenção dos dados completos do modelo como seu intercepto (representa o valor esperado de y quando a variável preditora x é zero), foi usada a função summary. Independente dos testes de outliers realizados anteriormente, nessa etapa realizou-se novamente a análise gráfica usando a função boxplot e normalidade dos resíduos.

#### 2.2.5.3 Modelos mistos e quadrático

Posteriormente a análise do primeiro modelo gerado, se procedeu a elaboração de modelos mais complexos com o objetivo de encontrar o melhor modelo para os dados existentes. Assim, gerou-se no final de toda a análise, modelo linear, modelo linear com covariável e modelos mistos. Usando o pacote lmerTest com as funções lmer e summary, gerou-se os valores pertinentes de cada modelo criado com seu intercepto. As estimações do modelo foram observadas com o pacote performance e a função check\_model. Nessa verificação, são exibidos sete gráficos de avaliação, sendo: verificação preditiva posterior (compara discrepâncias entre os dados originais e os estimados), linearidade (verificação de suposição linear dos dados), homogeneidade da variância (verifica a homocedasticidade, buscando um gráfico padrão e disperso sem agrupamento no gráfico), pontos influentes (apresenta se há pontos fora da distância da linha zero, assim sendo indicados em cor vermelha), colinearidade (influência das variáveis preditoras no modelo, nos quais deve apresentar correlação entre as variáveis), normalidade dos resíduos (verifica se os resíduos do modelo estão distribuídos

normalmente, estando próximos a linha) e normalidade dos efeitos aleatórios (segue o mesmo pressuposto da normalidade dos resíduos). Seguindo a mesma finalidade dos modelos mistos, os modelos quadráticos foram executados para ver seu comportamento dentro dos dados.

#### 2.2.5.3.1 Seleção dos modelos

Para a escolha do melhor modelo para cada fase estudada, uma série de critérios foram avaliados para a seleção. O primeiro critério de análise do modelo foi o critério de informação Bayesiano (BIC), que consiste na perda de informações do modelo, por isso quanto menor a quantidade de informações perdida de um modelo melhor ele é. O Critério de informação de Akaike (AIC), tem como objetivo identificar o modelo verdadeiro para a situação estudada, portanto quando menor o seu valor apresentado é melhor. O erro médio quadrático de predição (RMSE), tem como premissa analisar a distância entre os valores estimados e observados, assim quanto menor o valor apresentado melhor o modelo. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) marginal, fornece a variância explicada apenas pelos efeitos fixos do modelo e já o  $R^2$  condicional expressa a variância para efeitos fixos e aleatórios. Assim para ambos os  $R^2$ , quanto maior o valor apresentado na avaliação mais explicativo é o modelo. E o Coeficiente de correlação interclasses (ICC), contabiliza a correlação entre as variáveis, desse modo quanto mais próximo de 1 os valores apresentados, maior a relação entre as variáveis estudadas. Todos esses critérios avaliados para a escolha do modelo, foram gerados a partir do pacote `performance`, usando a função `compare_performance`.

#### 2.2.5.4 Modelos não lineares

Regressões foram criadas para cada fase nas quais foram plotadas e inserida a linha de regressão dos dados usando o software R Studio (version 3.6.1; R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria). Um modelo fixo foi criado para extração dos parâmetros iniciais, assim elaborando os modelos não lineares. A partir das regressões elaboradas, lineares platôs foram gerados com a função `nls` nos quais sujeitaram-se a análise de anova usando a função `anova.lme`, gerando valores de AIC e BIC. O RMSE foi extraído separadamente para comparação. Analisando os critérios de seleção, com a função `summary` extraiu-se as estimativas do modelo selecionado, como o intercepto do linear platô, coeficiente angular do modelo (variação do valor esperado de y dada a variação em x) e a exigência estimada para

cada modelo de Tre SID. Estas estimativas de exigência foram para a população estudada. A base de dados consistiu na população estudada para estimar as exigências, sendo leitões e suínos nas fases de crescimento.

Com base na estimativa da população, selecionou-se o modelo mais adequado através dos critérios de seleção. Com a função `boot_nlme`, executou-se a técnica do bootstrap com o objetivo de realizar uma reamostragem dos dados observados, gerando uma estimativa individual das exigências de Tre SID. A análise das exigências individuais, apresentou o ganho de peso estimado em função do seu intercepto, coeficiente angular e a exigências estimadas de Tre SID.

#### 2.2.5.5 Machine learning

A base de dados para a realização do machine learning (ML), diferentemente das análises anteriores foi feita uma varredura minuciosa na base de dados. As variáveis que apresentaram algum valor faltante, foram excluídas, sendo isso uma “premissa” para o ML. A seleção das características foi realizada usando correlação de Pearson, nas quais variáveis com alta correlação ( $>0,7$ ) foram evitadas. Na sequência, foi realizado um agrupamento de dados via análise de cluster, usando o pacote Kmeans para que o ML fosse executado. Após, os clusters escolhidos foram projetados para melhorar as estimações de ML. Os clusters foram elaborados através de um agrupamento dos dados em relação ao GPD, Tre ingerida e em porcentagem de inclusão. Os processos de ajuste fino, exclusão de variáveis e categorização de cluster, são essenciais para que seja distinguida como ML, assim sendo uma abordagem diferenciada.

As metodologias a seguir foram escolhidas para a comparação, onde uma regressão linear na base geral foi realizada para melhor comparação com os métodos de ML. Os modelos empíricos escolhidos para comparação foram: regressão linear, regressão penalizada com seleção de recursos, árvores de decisão com seleção de recursos, floresta aleatória (algoritmo ranger e algoritmo florestas aleatórias) e algoritmo XGBOOST.

Os dados submetidos a análise foram divididos em 80% de desenvolvimento e 20% de teste. Essa divisão foi aleatória e estandardizada, na qual usou-se a função `strata`. Os dados de desenvolvimento foram usados para ajustar e calibrar o algoritmo, e o conjunto de dados de teste foram usados para avaliar o modelo. Diferente dos modelos de regressão múltipla ou regressão linear mista, o ML não fornece parâmetros de avaliação. Assim para analisar a

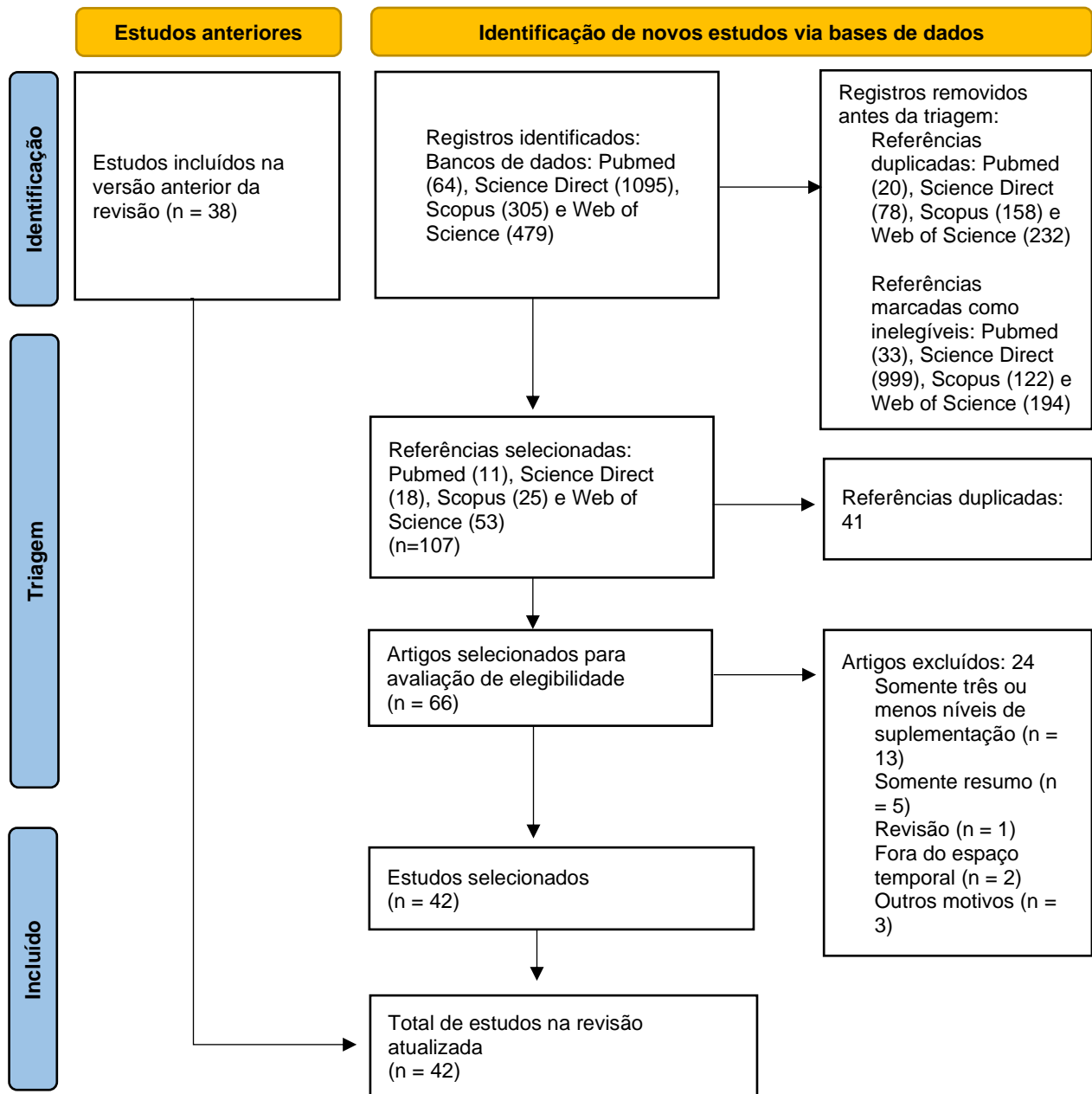
ferramenta, foi realizada uma análise com extração dos coeficientes do modelo e uma análise gráfica do modelo. Os coeficientes extraídos foram: RMSE = erro quadrático médio da raiz; RSQ = R-Quadrado, sendo uma medida de ajuste, em que indica o quanto uma variável dependente é explicada por uma variável independente; e MAE= Erro Absoluto Médio, nos quais mede a precisão para variáveis contínuas. Desse modo, a partir desses coeficientes foi selecionado o melhor método empírico para o estudo. Todas as análises de ML foram realizadas pelo software R Studio (version 3.6.1; R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria).

## 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 2.3.1 Resultados da Busca nas Bases Indexadoras

A busca com as palavras-chaves estabelecidas resultou em 1943 referências encontradas no ScienceDirect (1095 referências), Web of Science (479), Scopus (305) e Pubmed (64) (Figura 4). Buscas executadas no *Scholar Google*, não resultaram em novos artigos além dos encontrados na demais bases indexadoras. Das 1943 referências encontradas, foram excluídas 498 duplicadas, resultando em 1455 referências submetidas a uma pré-avaliação. Das 1455 referências, 1348 foram excluídas por não apresentar todos os itens de inclusão. 107 referências foram selecionadas para avaliação completa dos artigos sendo Web of Science com 53, Scopus com 25, ScienceDirect com 18 e Pubmed com 11 referências. Dentre essas 107 referências, 66 referências foram excluídas, sendo 41 referências duplicadas e 24 referências fora dos critérios de inclusão, restando 42 referências para avaliação completa. Na primeira busca realizada por Franceschi, Hilgemberg *et al.*, no ano de 2020, 38 artigos foram selecionados para compor a base de dados. Dentre os 38 artigos selecionados na primeira pesquisa (Franceschi, Hilgemberg *et al.*, forthcoming), todos estavam presentes dentro das 42 referências selecionadas para avaliação completa. Por fim, as 42 referências/artigos atenderam os critérios de inclusão na base de dados. Todo esse procedimento descrito seguiu o método PRISMA (MOHER *et al.*, 2009).

Figura 4 – Fluxograma PRISMA do processo de busca e seleção de artigos seguindo para Tre em leitões e suínos em crescimento



### 2.3.2 Descrição da Base de Dados e Revisão Sistemática

A base de dados contemplou 42 artigos, porém após a análise gráfica dos dados um artigo foi excluído por conta do comportamento anormal dos dados diante dos tratamentos. Na base de dados permaneceram 41 artigos, com 58 experimentos (um artigo poderia apresentar mais de um experimento), composta por 274 linhas (tratamentos) e 539 colunas (variáveis). Em relação as fases, 11 artigos eram de leitões na fase de creche (55 tratamentos), 24 em crescimento (143 tratamentos) e 12 para terminação (76 tratamentos), onde dentre os 58 experimentos 12 foram de leitões em creche, 30 de suínos em crescimento e 16 em terminação (Tabelas 1 e 2). Grande parte dos estudos de Tre foram em suínos na fase de crescimento. Somente 11 artigos avaliaram Tre em suínos na fase de creche, sendo a mesma uma fase crítica em que os leitões passam, assim exigindo muito do seu sistema imunológico, no qual tem ligação direta com a Tre (ZHANG *et al.*, 2019). Para a fase de terminação, a porcentagem de estudos também foi baixa em comparação a fase de crescimento. O mesmo perfil foi encontrado para estudos com o aminoácido isoleucina em suínos em terminação (VAN MILGEN *et al.*, 2012). Nesta fase, muitas dificuldades são relatadas ao realizar experimentações, como o tamanho do animal, falta de equipamentos, etc. Assim poucos estudos são realizados, porém essa fase deve receber atenção, pois se faz necessária a estimativa correta das exigências visto que, animais em terminação tem um consumo maior. Diante desse elevado consumo na fase terminação, uma exigência mal estimada pode ocasionar perdas econômicas e excreções nitrogenadas no meio ambiente (TOLEDO; HUEPA; GRIESER, 2017).

A base contemplou um espaço temporal de 30 anos (1990 a 2020). Dentre os 41 artigos, cerca de 53,66% do total são artigos publicados a partir do ano de 2005, assim uma boa porcentagem compreende a artigos mais antigos (Tabela 2). A base de dados foi constituída por 4028 leitões e suínos nas fases de crescimento, com um peso mínimo de 5,80 kg (peso inicial) e um máximo de 32,70 kg (peso final) para creche, mínimo de 12,60 kg (peso inicial) e um máximo de 105,60 kg (peso final) para crescimento e mínimo de 50,00 kg (peso inicial) e um máximo de 134,70 kg (peso final) para terminação. Grande porcentagem dos artigos e experimentos avaliaram machos e fêmeas juntos (48,78% e 39,66%), não considerando a variação de desempenho entre os sexos. Sabe-se que, há variações de exigências e desempenho a respeito do sexo do animal, assim sendo essencial a estimativa não generalizada e sim categorizada por sexo (ROSTAGNO *et al.*, 2017)

Tabela 2 – Revisão sistemática da base de dados com 41 artigos de treonina para suínos nas fases de creche, crescimento e terminação

Parâmetros	N=41 artigos
Year	
≤2005	19 (46,34%)
>2005	22 (53,66%)
Distribuição mundial	
Brasil	12 (29,27%)
Estados Unidos	6 (14,63%)
China	6 (14,63%)
Holanda	5 (12,20%)
Canada	4 (9,76%)
Alemanha	2 (4,88%)
México	2 (4,88%)
Polônia	2 (4,88%)
Áustria	1 (2,44%)
Finlândia	1 (2,44%)
Fase	
Creche	11 (23,40%)
Crescimento	24 (51,06%)
Terminação	12 (25,53%)
Sexo	
Macho castrado e fêmea	20 (48,78%)
Macho castrado	11 (26,83%)
Fêmea	9 (21,95%)
Macho inteiro	1 (2,44%)

Em relação aos experimentos, 58,62% foram publicados anteriormente ao ano de 2005 (Tabela 3). Na distribuição mundial, Brasil (29,27%), Estados Unidos (14,63%), China (14,63%) e Holanda (12,20%) tiveram maior representatividade na base de dados (Tabela 2). Em relação aos experimentos, a Holanda teve maior porcentagem (27,59%) seguido do Brasil com 24,14% (Tabela 3). Em relação as fases, 12 experimentos foram de leitões no pós-desmame, 30 em crescimento e 16 na fase de terminação, onde observou-se que mais de 50% dos estudos compreendem animais na fase de crescimento para ambas as tabelas (Tabela 3).



Em relação aos dias experimentais, a maior parte dos experimentos dispuseram entre 20 a 40 dias (62,07%) e 4 experimentos não apresentaram o número dos dias em que os animais foram submetidos as dietas experimentais. O período experimental em função da suplementação de Tre não são comumente estudados, pois há quantidade de dias fixos ao decorrer dos experimentos e a suplementação contínua nas fases quando há.

Dentre os 41 ingredientes utilizados nas formulações das rações, o milho (74,14%), farelo de soja (67,24%), trigo (37,93%), cevada (25,86%) e sorgo (12,07%) foram os mais encontrados nas dietas experimentais (Tabela 3). A composição da dieta influencia na exigência de Tre em suínos, visto que ingredientes fibrosos podem alterar a digestibilidade dos nutrientes pela redução do tempo de trânsito da digesta. Em relação a exigências Tre, os ingredientes com maior concentração de Tre são ingredientes proteicos, como o farelo de soja nos quais está presente em 67,24% das formulações na base de dados (MATHAI *et al.*, 2016; ROSE; HAMAKER, 2011). Demais ingredientes da dieta como aminoácidos sintéticos, minerais, vitaminas, premix, entre outros totalizaram 40 componentes.

Para avaliar a eficiência da suplementação de Tre em leitões e suínos em crescimento, diversas variáveis foram estudadas. As variáveis de desempenho foram as principais e as que apareciam com maior frequência nos experimentos. Na tabela 2, observa-se 6 variáveis de desempenho, onde o peso inicial e o GPD estavam presentes em 100% dos experimentos. A eficiência alimentar foi a variável com menor incidência, na qual esteve presente em somente 9 experimentos (15,52%).

Outras variáveis respostas como deposição proteica, IgG, parâmetros sanguíneos (aminoácidos), ureia e parâmetros nitrogenados apareceram com menor frequência nos experimentos. Dentre essas variáveis, os parâmetros sanguíneos foram os que tiveram maior porcentagem, estando presentes em cerca de 21 experimentos (36,21%) seguido da ureia plasmática (34,48%). A ureia, componente de excreção do excedente de proteína, nos quais é produzido no fígado e eliminado pela urina, associamos seu ciclo ao bom funcionamento do fígado com a suplementação de Tre. A adição de Tre de acordo com a exigência do animal, proporciona uma melhora no metabolismo hepático, reduzindo o acúmulo de gordura no fígado, assim tornando mais eficiente sua função (NELSON; COX, 2014; TANG *et al.*, 2021). O IgG foi a variável com menor presença de análise dos experimentos com 1,72%. A análise de imunoglobulinas (Ig) é relevante, pois a suplementação de Tre pode influenciar positivamente na síntese das mesmas, nas quais atuam no sistema imunológico (CHEN *et al.*, 2017).

Trinta e quatro experimentos apresentaram o modelo utilizado. Dentro os modelos encontrados nos estudos, o modelo linear teve maior representatividade, compreendendo 33,33% do total. Porém 24 experimentos (36,36%) não apresentaram os modelos (Tabela 3). O modelo mais explorado nos estudos foi o linear, visto que suínos nas fases de crescimento apresentam um ganho de peso linear em função da sua idade. Em frangos e em suínos, uma resposta linear é evidenciada em função da suplementação de Tre (CHEN *et al.*, 2017).

Atender adequadamente a exigência de Tre SID é essencial para o bom desempenho animal. Uma comparação dos níveis de Tre SID (%) na dieta dos experimentos com o nível de Tre SID (%) estimados pelo NRC 2012 indica que 67,24% dos experimentos estavam fornecendo em algum dos tratamentos níveis de Tre SID (%) acima do que o NRC 2012 recomenda (Tabela 3). Os demais experimentos que receberam suplementação de Tre inferior ao que o NRC (2012) indica, podem apresentar pior desempenho animal, visto que suas exigências não foram atendidas (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2012; REMUS *et al.*, 2021).

Ao avaliar os resultados significativos dos experimentos, 89,66% dos experimentos tabulados na base de dados apresentaram resultado significativo para alguma variável (peso final, GPD, CRD, CA, eficiência alimentar, deposição proteica, IgG e ureia plasmática) (Tabela 3). As variáveis que apresentaram maior número de resultados significativos foram a CA (33,65%) e o GPD (32,69%). A CA teve resultado significativo em 35 experimentos analisados, sendo cerca de 67,31% de todos os experimentos. O GPD da mesma forma, teve efeito significativo em 34 experimentos (65,38%). O IgG teve a menor porcentagem encontrada de significância nos experimentos (0,96%), mas isso se deve a pouca quantidade de experimentos que avaliaram IgG (Tabela 3). Sabe-se que o viés de publicação é presente na pesquisa científica, nas quais estudos com resultados significativos possuem maiores chances de publicação (LOVATTO *et al.*, 2007). Diante disso, pode haver um viés mesmo dentro da meta-análise, nas quais a busca retorne somente artigos com seus resultados significativos. Contudo, uma meta-análise bem elaborada, reduzindo viés de publicação, pode elucidar resultados nas quais somente um artigo não poderia trazer resultados conclusivos (LOVATTO *et al.*, 2007; SAUVANT; SCHMIDELY; DAUDIN, 2005).

Os resultados significativos de GPD comparados com a exigência de Tre SID (%) indicada pelo NRC 2012, verificou-se que 61,76% dos experimentos com resultado significativo para GPD, tinham em algum de seus tratamentos uma suplementação superior ao que o NRC 2012 indica. Porém, 38,24% dos experimentos estavam fornecendo em seus

tratamentos uma suplementação inferior a indicada. Ao analisar os experimentos com níveis inferiores de Tre SID (%) e com resultados significativos para GPD, exatamente 76,92% foram executados em anos anteriores a 2005. O ano em que o experimento foi realizado é fator significativo ( $P < 0,05$ ), pois diante de toda a evolução na produção de suínos e suas exigências, variações são observadas ao decorrer dos anos. Diante disso, ao comparar as exigências entre o NRC 2012 e de 1998 para um animal entre 20 a 50 kg, diferenças nas exigências são observadas. Segundo National Research Council 2012, a exigência de Tre SID % é de 0,59%, mas para o NRC 1998 sua exigência é de 0,52% para suínos na faixa de peso citada. Portanto, a grande porcentagem de tratamentos e experimentos com níveis abaixo do recomendado do NRC 2012, se deve nas estimativas baseadas em publicações mais antigas relacionado as exigências de Tre (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1998) (Tabela 3).

Tabela 3 – Revisão sistemática da base dados com 58 experimentos com treonina para suínos nas fases de creche, crescimento e terminação

Parâmetros	N=58 experimentos
Ano	
$\leq 2005$	34 (58,62%)
$> 2005$	24 (41,38%)
Distribuição mundial	
Holanda	16 (27,59%)
Brasil	14 (24,14%)
Estados Unidos	8 (13,79%)
China	6 (10,34%)
Alemanha	4 (6,90%)
Canada	4 (6,90%)
México	2 (3,45%)
Polônia	2 (3,45%)
Áustria	1 (1,72%)
Finlândia	1 (1,72%)
Fase	
Creche	12 (20,69%)
Crescimento	30 (51,72%)
Terminação	16 (27,59%)
Sexo	

Macho castrado e fêmea	23 (39,66%)
Fêmea	18 (31,03%)
Macho castrado	16 (27,59%)
Macho inteiro	1 (1,72%)
<b>Dias de experimento</b>	
< 20 dias	4 (6,90%)
20-40 dias	36 (62,07%)
> 40 dias	14 (24,14%)
Não apresentou	4 (6,90%)
<b>Ingredientes base da dieta</b>	
Milho	43 (74,14%)
Farelo de soja	39 (67,24%)
Trigo	22 (37,93%)
Cevada	15 (25,86%)
Sorgo	7 (12,07%)
<b>Desempenho animal</b>	
Peso inicial	58 (100,00%)
Peso final	31 (53,45%)
Ganho de peso médio diário	58 (100,00%)
Consumo médio ração diário	56 (96,55%)
Conversão alimentar	48 (82,76%)
Eficiência alimentar	9 (15,52%)
<b>Outras variáveis resposta</b>	
Deposição proteica	9 (15,52%)
IgG	1 (1,72%)
Parâmetros sanguíneos	21 (36,21%)
Ureia plasmática	20 (34,48%)
Variáveis nitrogenadas (retido, excretado)	5 (8,62%)
<b>Modelo</b>	
Linear	22 (33,33%)
Quadrático	20 (30,30%)
Não apresentou	24 (36,36%)
<b>Fornecimento adequado de Tre SID</b>	

Fornecimento acima das exigências do NRC 2012	39 (67,24%)
Fornecimento abaixo das exigências do NRC 2012	19 (32,76%)
Variáveis que apresentaram resultado significativo em algum nível de suplementação de L-Tre	
Experimentos com algum resultado significativo	52 (89,66%)
Experimentos com nenhum resultado significativo	6 (10,34%)
Peso final	2 (1,92%)
Ganho de peso médio diário	34 (32,69%)
Consumo médio ração diário	16 (15,38%)
Conversão alimentar	35 (33,65%)
Eficiência alimentar	8 (7,69%)
Deposição proteica	2 (1,92%)
IgG	1 (0,96%)
Ureia plasmática	6 (5,77%)
Suplementação de L-Tre em relação a ganho de peso médio diário significativo	
Acima do NRC 2012	21 (61,76%)
Abaixo do NRC 2012	13 (38,24%)
Abaixo do NRC 2012: publicado $\leq$ 2005	10 (76,92%)

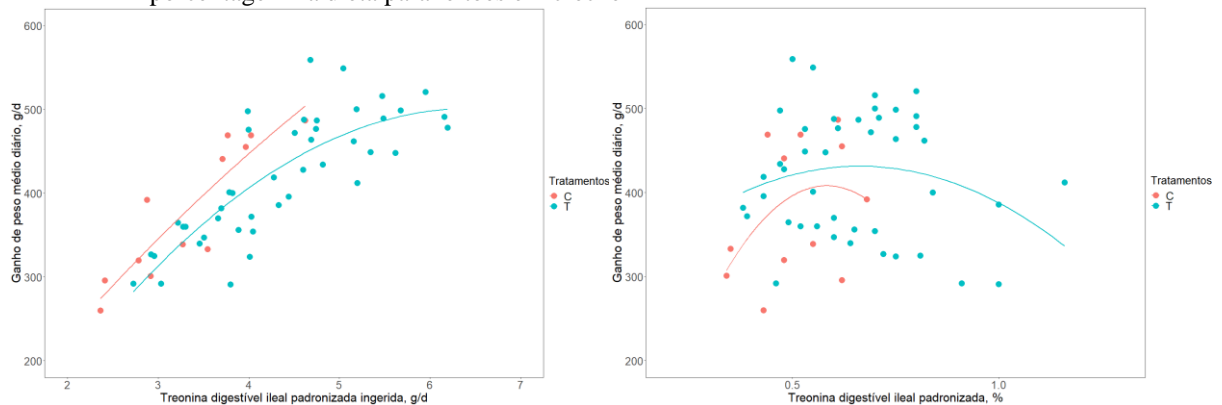
IgG; Imunoglobulinas G; Tre SID: Treonina digestível ileal estandarizada; NRC: National Research Council; L-Tre: Treonina sintética;

Um adendo importante a ser analisado, é diferença entre número de artigos e número de experimentos. Ambos são de grande importância na meta-análise e revisão sistemática, mas um maior número de experimentos é mais importante ao olhar estatístico. Trabalhar com experimentos, há um enriquecimento das análises e resultados por conta desmembramento do artigo, tornando maior o número de tratamentos (linhas). Muito artigos publicados, apresentam mais de um experimento em seu espoco, podemos sem dividido por fases, níveis de suplementação, entre outros. Assim pode-se observar nos dados estudados e apresentados na tabela 2 e 3.

### 2.3.3 Análise Gráfica

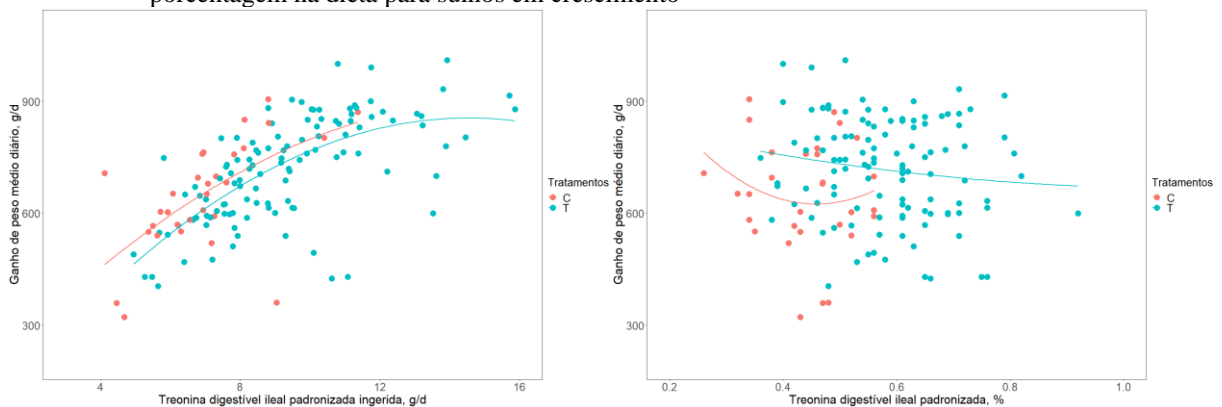
Gráficos para GPD foram gerados para visualizar o comportamento dos dados (Gráficos 3, 4 e 5). Na análise visual dos dados tabulados, um artigo foi excluído pois apresentou comportamento anormal dos dados. Esses dados anormais no qual o artigo excluído apresentou, foi um ganho de peso muito inferior ao normal de um animal que consome uma dieta básica (milho, farelo de soja e sem suplementação). Após a remoção desse artigo, os dados tabulados da base, apresentam coerência de tabulação sem possíveis erros de digitação ou comportamentos anormais dos dados. Além disso, observou-se de modo geral que o comportamento dos níveis ofertados de Tre SID não foi o mesmo evidenciado na quantidade de Tre ingerida. Esses diferentes comportamentos está associado a diferentes fases estudadas, velocidade de crescimento e comportamento ingestivo.

Gráfico 3 – Ganho de peso médio diário em função da treonina digestível ileal estandardizada ingerida e em porcentagem na dieta para leitões em creche



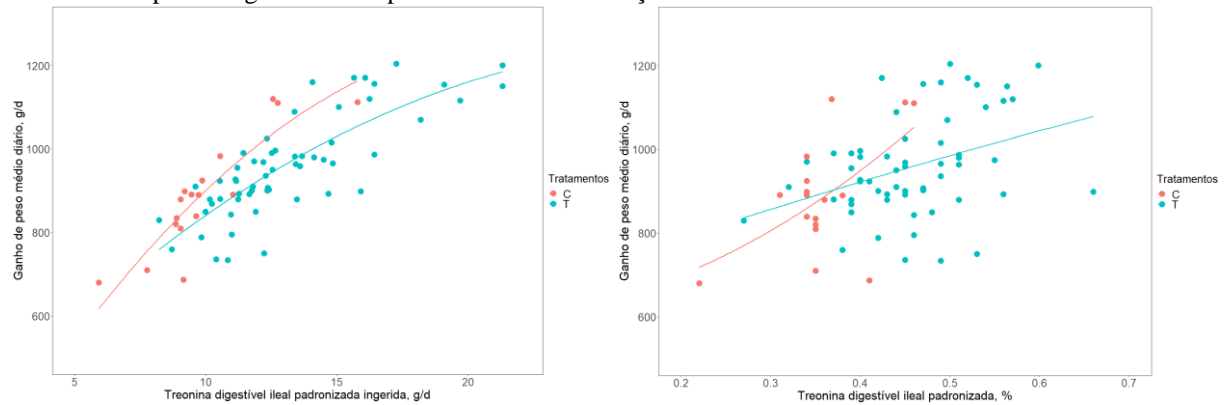
C= Tratamento controle sem adição de L-Treonina. T= Tratamento com L-Treonina

Gráfico 4 – Ganho de peso médio diário em função da treonina digestível ileal estandardizada ingerida e em porcentagem na dieta para suínos em crescimento



C= Tratamento controle sem adição de L-Treonina. T= Tratamento com L-Treonina

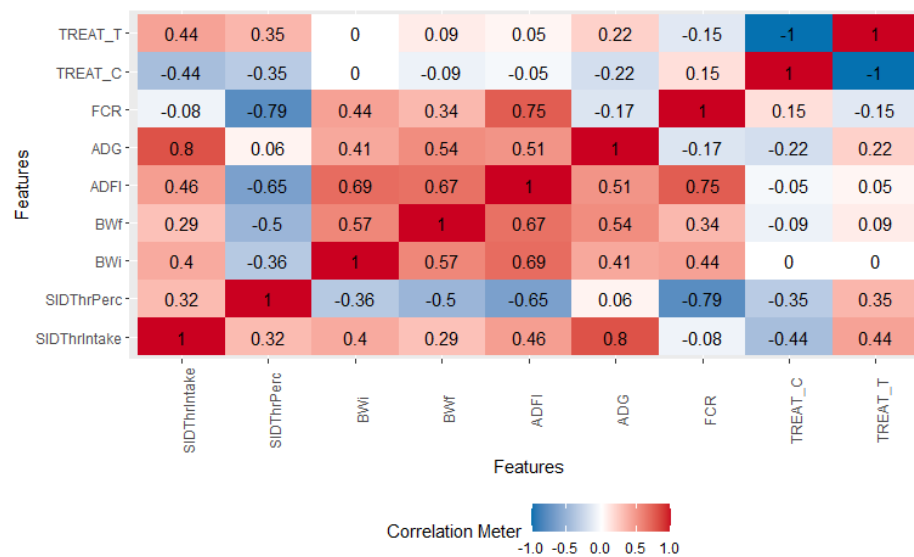
Gráfico 5 – Ganho de peso médio diário em função da treonina digestível ileal estandarizada ingerida e em porcentagem na dieta para suínos em terminação



C= Tratamento controle sem adição de L-Treonina. T= Tratamento com L-Treonina

Para análises gráficas de correlação, foram analisadas algumas variáveis de interesse para cada fase estudada separadamente. A correlação para a fase de creche de maior impacto no estudo evidenciada e significativa, foi a do GPD e a gramas de Tre SID ingerida (0,8 =  $P < 0,001$ ), nos reafirmou os resultados de análise gráfico em relação ao comportamento linear dessas duas variáveis (Gráfico 6). Assim, quanto maior a ingestão de Tre em gramas maior o GPD em leitões na fase de creche. Uma segunda variável que apresentou resultado relevante ( $P < 0,001$ ), foi a CA e a porcentagem de Tre SID na dieta, em que quanto maior o nível de Tre na dieta menor e melhor é a CA dos leitões (-0,79).

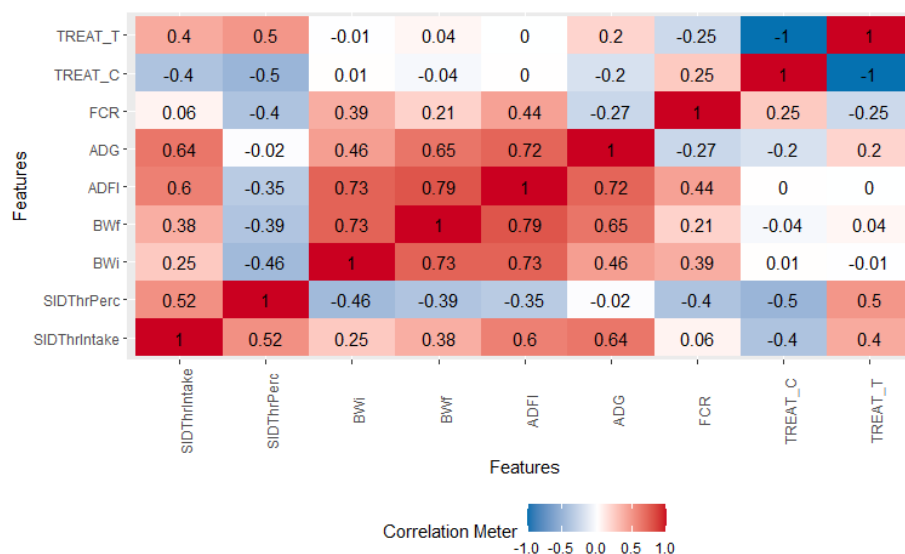
Gráfico 6 – Gráfico de correlação para as variáveis de desempenho em função a suplementação de treonina para a fase de creche.



SIDThrIntake: Treonina digestível ileal estandarizada ingerida (g/d); SIDThrPerc: Porcentagem de treonina digestível ileal estandarizada inclusa na dieta (%); BWi: Peso inicial; BWf: Peso final; ADFI: Consumo de ração médio diário; ADG: Ganho de peso médio diário; FCR: Conversão alimentar; TREAT\_C: Tratamento controle; TREAT\_T: Tratamento com suplementação de L-Treonina.

Na fase de crescimento, as variáveis estudadas apresentaram correlações de pouco impacto no estudo. O GPD apresentou resultado significativo ( $P < 0,001$ ) com uma correlação moderada para gramas ingerida de Tre SID (Gráfico 7). Ao avaliar o gráfico de correlação para fase de terminação, observou-se uma correlação positiva da quantidade de Tre SID ingerida e GPD ( $0,8 = P < 0,001$ ) (Gráfico 8). Portanto, quanto maior o consumo de Tre SID maior o GPD em suínos nas fases de creche, crescimento e terminação, o mesmo comportamento evidenciado em estudos recentes em suínos (FRANCESCHI, 2020). Estudos em frangos observaram a eficiência da suplementação de Tre, nos quais aumentou o GPD diante a suplementação, assim apresentando uma alta correlação para essas variáveis ( $P < 0,01$ ) (ABBASI *et al.*, 2014). Essa alta correlação entre o GPD e a suplementação de Tre, está associada a nível intestinal e imunológico, nos quais a suplementação disponibiliza maior quantidade substrato para produção de mucina, sendo a própria Tre. A produção da mucina ajuda diretamente na proteção do epitélio intestinal, que conseqüentemente melhora o status imunológico animal. Com uma melhora no status de defesa, pode elevar o GPD em relação a suínos não suplementados com Tre e também enfrentando melhor patógenos existentes. Dessa maneira, o aproveitamento da dieta ingerida se torna melhor, conseqüentemente melhorando os parâmetros de eficiência alimentar (EA) e CA como evidenciada nos resultados apresentados para a fase de creche (ZHANG *et al.*, 2019).

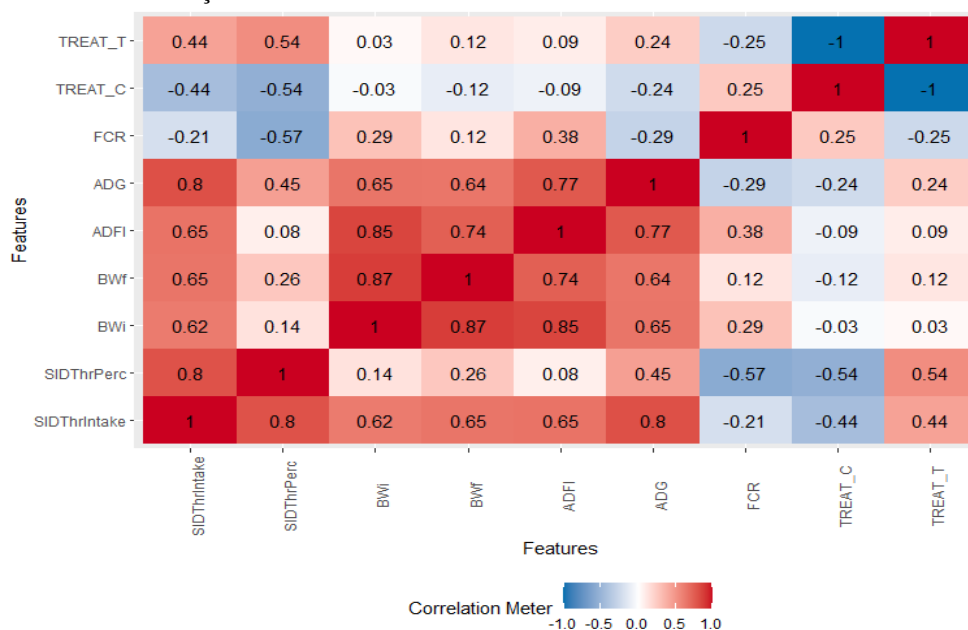
Gráfico 7 – Gráfico de correlação para as variáveis de desempenho em função a suplementação de treonina para a fase de crescimento.



SIDThrIntake: Treonina digestível ileal estandardizada ingerida (g/d); SIDThrPerc: Porcentagem de treonina digestível ileal estandardizada inclusa na dieta (%); BWi: Peso inicial; BWf: Peso final; ADFI: Consumo de ração médio diário; ADG: Ganho de peso médio diário; FCR: Conversão alimentar; TREAT\_C: Tratamento controle; TREAT\_T: Tratamento com suplementação de L-Treonina.



Gráfico 8 – Gráfico de correlação para as variáveis de desempenho em função a suplementação de treonina para a fase de terminação.



SIDThrIntake: Treonina digestível ileal estandardizada ingerida (g/d); SIDThrPerc: Porcentagem de treonina digestível ileal estandardizada inclusa na dieta (%); BWi: Peso inicial; BWf: Peso final; ADFI: Consumo de ração médio diário; ADG: Ganho de peso médio diário; FCR: Conversão alimentar; TREAT\_C: Tratamento controle; TREAT\_T: Tratamento com suplementação de L-Treonina.

### 2.3.4 Modelos Mistos

#### 2.3.4.1 Meta regressão – ganho de peso diário

Para estimar o GPD dos leitões na fase de creche, foram desenvolvidos 3 modelos lineares, 3 modelos quadráticos e 8 modelos múltiplos. O GPD de leitões em creche apresentou uma resposta linear a ingestão de Tre, obtendo os melhores coeficientes, portanto sendo o modelo mais acurado (Tabela 4). No modelo linear selecionado, os leitões na fase de creche alcançaram um GPD de 38,34 gramas para cada grama de Tre SID ingerida. Observa-se resultados significativos ( $P < 0,001$ ) para todas as variáveis inseridas no modelo linear, assim o GPD está ligado fortemente com a ingestão de Tre SID. Não houve melhora em comparação com modelo linear ao adicionar o termo quadrático ( $[\beta]^2 \times [\text{TreIng}]^2$ ). O modelo múltiplo não apresentou os melhores coeficientes não sendo um modelo adequado para estimar as exigências de Tre para leitões em creche.

Tabela 4 – Modelos lineares, quadráticos e múltiplos para avaliar a eficiência de treonina digestível ileal estandardizada e seu impacto no ganho de peso diário para leitões na fase da creche

Creche			
	Modelo linear	Modelo quadrático	Modelo múltiplo
	$GPD = \alpha + \beta \times TreIng + \varepsilon TreIng$	$GPD = \alpha + \beta \times TreIng + ([\beta]^2 \times [TreIng]^2) + \varepsilon TreIng$	$ADG = \alpha + \beta \times TreIng + \beta \times Pi + \beta \times Fibra + \varepsilon$
Intercepto (EP)	266,85(40,28)***	-71,83(64,80)	64,53(61,75)
Tre SID ingerida, g	38,34(8,71)***	197,47(29,74)***	35,21(5,01)***
Peso inicial, g			0,01(0,00)**
Fibra bruta, %			44,77(16,15)***
Tre SID ingerida <sup>2</sup> , g		-19,04(3,40)***	
AIC	433,7	449,5	546,4
BIC	444,7	462,6	558,4
Número de observações	46	48	55
R <sup>2</sup> condicional	0,97	0,97	0,88
R <sup>2</sup> marginal	0,61	0,31	0,66
RMSE	8,30	9,48	21,90
ICC	0,96	0,96	0,65

EP: Erro padrão; GPD: Ganho de peso diário; TreIng: Treonina digestível ileal estandardizada ingerida (SID: Standard ileal digestible); PB: Proteína bruta; Tre: Treonina; SID: Digestível ileal estandardizada; AIC: Critério de informação de Akaike; BIC: Critério de informação bayesiana; R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinação; RMSE: Erro quadrático médio da raiz; ICC: Coeficiente de correlação intraclasses; \*: Efeito significativo (P<0,05); \*\*: Efeito significativo (P<0,01); \*\*\*: Efeito significativo (P<0,001).

Para a fase de crescimento, foram desenvolvidos 3 modelos lineares, 3 modelos quadráticos e 8 modelos múltiplos. Os suínos apontaram uma resposta linear para o GPD e a ingestão de Tre predizendo que para cada grama de Tre SID ingerida é obtido um ganho de 18,69 gramas no GPD (Tabela 5). Os coeficientes que predizem a qualidade do modelo, apresentou os melhores valores para AIC, BIC, RMSE, R<sup>2</sup> e ICC no modelo linear. Todos os parâmetros inseridos no modelo apresentaram significância na análise (P<0,001). Do mesmo modo, como evidenciado na fase de creche, o modelo quadrático e o múltiplo não apresentaram melhores resultados em comparação com o modelo linear.

Tabela 5 – Modelos lineares, quadráticos e múltiplos para avaliar a eficiência de treonina digestível ileal estandardizada e seu impacto no ganho de peso diário para suínos na fase de crescimento

Crescimento			
	Modelo linear	Modelo quadrático	Modelo múltiplo
			$TreIng = \alpha + \beta \times$
			$GPD + \beta \times Pi + \beta \times$
			$DiasSuple + \beta \times$
			$Fibra + \beta \times PB + \beta$
			$\times EL + \beta + Lisdig$
			$+ \varepsilon$
Intercepto (EP)	542,71(36,63)***	248,26(48,01)***	-1377,53(548,24)**
Tre SID ingerida, g	18,69(2,45)***	81,88(8,61)***	16,90(1,98)***
Peso inicial, g			0,01(0,00)***
Dias de suplementação			3,86(1,57)**
Fibra bruta, %			30,03(16,06)*
Proteína bruta, %			-5,28(8,86)
Energia líquida, MJ			114,75(35,94)***
Lisina digestível, %			505,58(194,38)***
Tre SID ingerida <sup>2</sup> , g		-3,34(0,45)***	
AIC	1290,9	1411,4	1334
BIC	1308	1431,9	1362,2
R <sup>2</sup> condicional	0,98	0,98	0,95
R <sup>2</sup> marginal	0,09	0,14	0,59
RMSE	14,88	15,78	29,46
ICC	0,98	0,97	0,87

EP: Erro padrão; GPD: Ganho de peso diário; TreIng: Treonina digestível ileal estandardizada ingerida (SID: Standardized ileal digestible); Pi: Peso inicial; DiasSupl: Dias de experimento; PB: Proteína bruta; EL: Energia líquida; Lisdig: Lisina digestível; Tre: Treonina; SID: Digestível ileal estandardizada; AIC: Critério de informação de Akaike; BIC: Critério de informação bayesiana; R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinação; RMSE: Erro quadrático médio da raiz; ICC: Coeficiente de correlação intraclassas; \*: Efeito significativo (P<0,05); \*\*: Efeito significativo (P<0,01); \*\*\*: Efeito significativo (P<0,001).

Em suínos na terminação, 3 modelos lineares, 3 modelos quadráticos e 8 modelos quadráticos foram executados. Uma resposta múltipla foi evidenciada para a fase da terminação, na qual estimou um GPD de 16,98 gramas por grama de Tre SID ingerida (Tabela 6). O modelo múltiplo apresentou os melhores valores para os coeficientes de AIC, BIC e R marginal, porém apresentou o pior valor para RMSE, assim havendo maior variância entre o valor observado e

o previsto. Dentro do modelo selecionado, as variáveis peso inicial e fibra bruta não apresentaram significância ( $P > 0,05$ ). No mesmo modelo, observa-se alta relação entre o GPD, ingestão de Tre SID e proteína bruta ( $P < 0,001$ ). O modelo quadrático apresentou os piores coeficientes em comparação com os demais.

Tabela 6 – Modelos lineares, quadráticos e múltiplos para avaliar a eficiência de treonina digestível ileal estandardizada e seu impacto no ganho de peso diário para suínos na fase de terminação

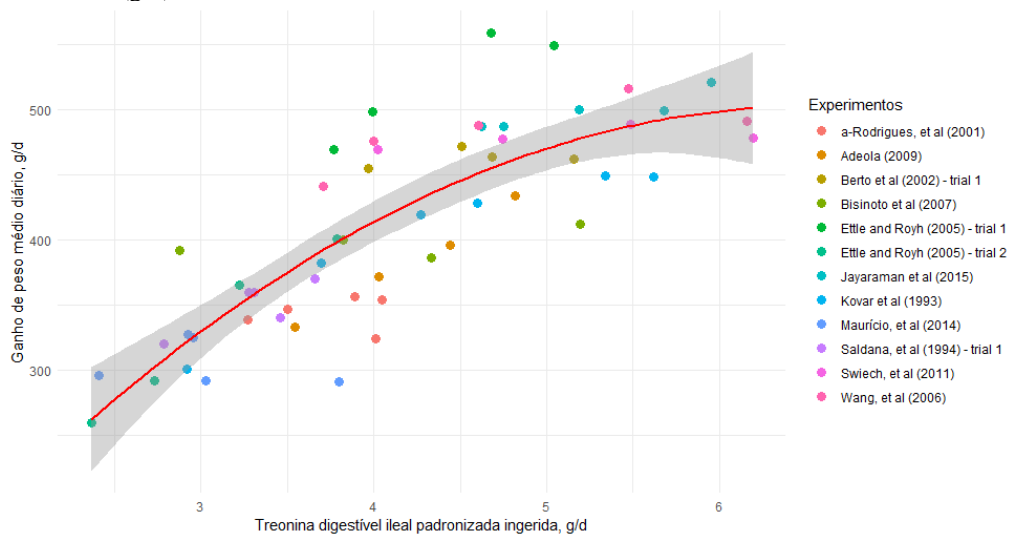
	Terminação		
	Modelo linear	Modelo quadrático	Modelo múltiplo
	$GPD = \alpha + \beta \times TreIng + \varepsilon TreIng$	$GPD = \alpha + \beta \times TreIng + ([\beta]^2 \times [TreIng]^2) + \varepsilon TreIng$	$TreIng = \alpha + \beta \times GPD + \beta \times Pi + \beta \times DiasSuple + \beta \times Fibra + \beta \times PB + \varepsilon$
Intercepto (EP)	782,04(46,50)***	286,22(57,83)***	676,65(179,06)***
Tre SID ingerida, g	13,65(1,21)***	92,12(9,49)***	16,98(3,10)***
Peso inicial, g			0,00(0,00)
Dias de suplementação			-4,53(2,38)*
Fibra bruta, %			-9,78(17,43)
Proteína bruta, %			27,24(9,44)***
Tre SID ingerida <sup>2</sup> , g		-3,10(0,37)***	
AIC	741,2	782,7	637,9
BIC	754,6	798,8	656,6
R <sup>2</sup> condicional		0,935	0,91
R <sup>2</sup> marginal	0,68	0,167	0,796
RMSE	25,015	25,251	33,79
ICC		0,922	0,561

EP: Erro padrão; GPD: Ganho de peso diário; TreIng: Treonina digestível ileal estandardizada ingerida (SID: Standardized ileal digestible); Pi: Peso inicial; DiasSupl: Dias de experimento; PB: Proteína bruta; Tre: Treonina; SID: Digestível ileal estandardizada; AIC: Critério de informação de Akaike; BIC: Critério de informação bayesiana; R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinação; RMSE: Erro quadrático médio da raiz; ICC: Coeficiente de correlação intraclass; \*: Efeito significativo ( $P < 0,05$ ); \*\*: Efeito significativo ( $P < 0,01$ ); \*\*\*: Efeito significativo ( $P < 0,001$ ).

Foram selecionados modelos lineares para as fases de creche e crescimento. Nessas fases, o suíno apresenta uma resposta linear para o GPD em função da suplementação de Lis e Tre em gramas ingeridas por dia (POMAR *et al.*, 2015). Essa resposta pode ser exemplificada no gráfico 9 para a fase de creche reportada nas análises gráficas realizadas no presente estudo

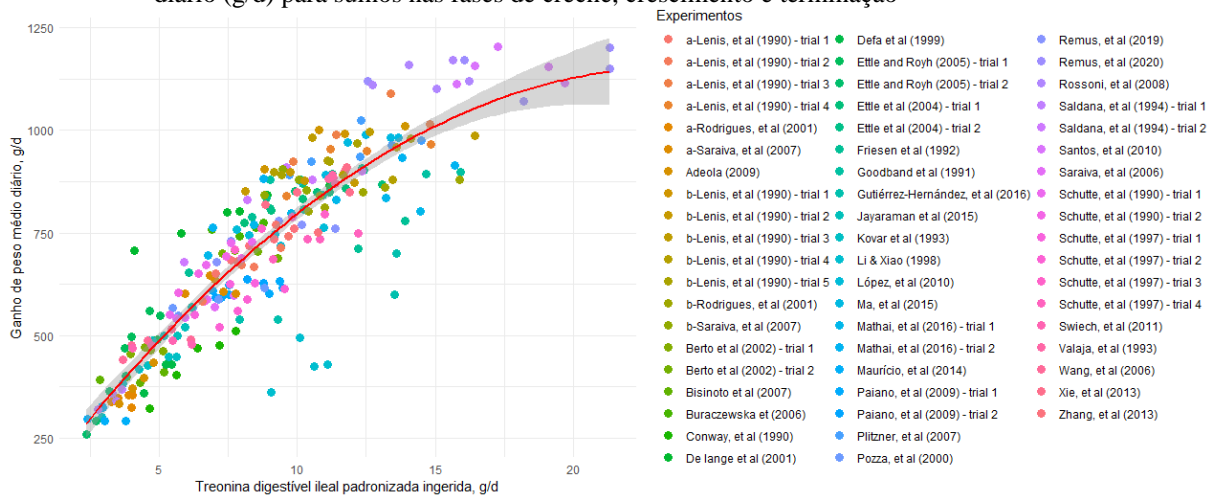
(NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2012). Os leitões e suínos que compreendem essas fases (creche: 5,80 a 32,70; crescimento: 12,60 a 105,60 kg) são mais eficientes em depositar proteína muscular em comparação a suínos na terminação (50,00 a 134,70 kg) (DE LANGE; GILLIS; SIMPSON, 2001; PATIENCE; ROSSONI-SERÃO; GUTIÉRREZ, 2015). No gráfico 10 apresenta as três fases compreendidas no estudo onde pode-se observar o comportamento linear para creche e crescimento, e uma resposta não linear em busca de platô para terminação. Portanto, em função do crescimento desse animal e do GPD, a exigência de Tre SID ingerida (g/d) aumenta. Esse aumento das exigências em gramas por dia é devido ao aumento do CRD. Já para a exigência de Tre SID em porcentagem na dieta, evidencia-se uma regressão linear inversa, de modo que com o aumento do peso vivo, menor é a exigência de Tre SID (%) (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2012; SAKOMURA *et al.*, 2014).

Gráfico 9 – Regressão linear de treonina digestível ileal estandarizada ingerida (g/d) para ganho de peso médio diário (g/d) na fase de creche



Fonte: A autora

Gráfico 10 – Regressão linear de treonina digestível ileal estandarizada ingerida (g/d) para ganho de peso médio diário (g/d) para suínos nas fases de creche, crescimento e terminação



Fonte: A autora

Na fase de terminação o modelo múltiplo foi o que mais se adequou aos dados. A resposta linear não é evidente nesta fase, visto que a partir dos 75 kg os suínos reduzem sua deposição proteica, diminuindo seu GPD. A redução na eficiência de deposição de proteína reduz as exigências de Tre SID (%), porém a quantidade ingerida é maior pois o suíno consome mais ração (SAKOMURA *et al.*, 2014).

No modelo escolhido para a fase de terminação, algumas das variáveis que compuseram o modelo não foram significativas. Dias de suplementação apresentou significância ( $P < 0,05$ ), nos quais evidencia a importância da suplementação de Tre. Outro fator importante nas exigências nutricionais é a fibra bruta, contudo apresentou resultado significativos somente nas fases de creche e crescimento ( $P < 0,05$ ). A fibra em grandes porcentagens na dieta de leitões e suínos geram impacto na nutrição. Essa alta inclusão da fibra aumenta a taxa de passagem da digesta alterando a digestibilidade dos nutrientes, assim havendo uma necessidade maior nas exigências nutricionais de Tre SID (MATHAI *et al.*, 2016; OELKE; FRAGA; ROSSI, 2020). A proteína bruta também inclusa no modelo múltiplo para a fase da terminação, apresentou grande importância no modelo ( $P < 0,001$ ), onde para cada porcentagem de proteína bruta inclusa, há um ganho de 27 gramas no GPD. A proteína a nível econômico, é o nutriente mais caro na formulação de rações para suínos. Além disso está ligada diretamente com diversas funções no organismo. Dessa forma, o fornecimento adequado das exigências de proteína e seus aminoácidos impacta diretamente no desempenho animal, visto que atuam na deposição muscular e, em particular, a Tre a nível imunológico (ABBASI *et al.*, 2014; MCGILVRAY *et al.*, 2019).

#### 2.3.4.2 Meta regressão – treonina digestível ileal estandardizada ingerida

Ao estimar a exigências de Tre SID ingerida (g/d) em suínos na fase de creche, foram desenvolvidos 6 modelos múltiplos, para crescimento 7 modelos múltiplos e 5 modelos múltiplos para terminação. Para os modelos lineares e quadráticos, foram elaborados 4 para lineares e 4 modelos quadráticos para cada fase. Nestes resultados, avaliou-se que para cada grama de GPD, necessita de uma quantidade x de Tre (Tabela 7).

Foram desenvolvidos 4 modelos lineares, 4 modelos quadráticos e 6 modelos múltiplos para a fase de creche. A ingestão de Tre SID para leitões em fase de creche apresentou uma resposta linear sobre o GPD, sendo que para cada grama de GPD é necessária uma ingestão de 0,0103 gramas de Tre SID (Tabela 7). Os coeficientes da regressão linear foram os melhores dentre os demais assim sendo o modelo mais adequado para a fase da creche. Um parâmetro que gerou significância no modelo, foi o aminoácido cisteína. Esse aminoácido tem papel semelhante ao da Tre sobre o sistema imune dos suínos, assim favorecendo o desempenho (LV *et al.*, 2018).

Tabela 7 – Modelos lineares, quadráticos e múltiplos para avaliar a eficiência de treonina digestível ileal estandardizada e seu impacto no ganho de peso diário para leitões na fase da creche

Creche			
	Modelo linear	Modelo quadrático	Modelo múltiplo
	$TreIng = \alpha + \beta \times GPD + \varepsilon   GPD$	$TreIng = \alpha + \beta \times GPD + ([\beta]^2 \times [GPD]^2) + \varepsilon   GPD$	$TreIng = \alpha + \beta \times GPD + \beta \times Pi + \beta \times Fibra + \beta \times EL + \beta \times LisDig + \beta \times CisDig + \beta \times IleDig + \varepsilon$
Intercepto (EP)	-0,05(0,46)	-2,76(2,42)	-7,03(2,16)***
GPD, g	0,0103(0,001)***	0,0240(0,012)**	0,0100(0,00)***
Peso inicial, g			0,00(0,00)
Fibra bruta, %			-0,10(0,15)
Energia líquida			0,57(0,17)***
Lisina SID, %			-0,37(0,45)
Cisteína SID, %			8,36(3,48)**
Isoleucina SID, %			-0,76(1,07)
GPD <sup>2</sup> , g		-0,00(0,00)	
AIC	96,74	97,45	98,05
BIC	104,76	107,49	118,12
R <sup>2</sup> condicional	0,98	0,98	
R <sup>2</sup> marginal	0,64	0,65	0,74
RMSE	0,05	0,05	0,49
ICC	0,94	0,93	

EP: Erro padrão; GPD: Ganho de peso diário; TreIng: Treonina digestível ileal estandardizada ingerida (SID: Standardized ileal digestible); Pi: Peso inicial; EL: Energia líquida; LisDig: Lisina digestível ileal estandardizada; CisDig: Cisteína digestível ileal estandardizada, IleDig: Isoleucina digestível ileal estandardizada; SID: Digestível ileal estandardizada; AIC: Critério de informação de Akaike; BIC: Critério de informação bayesiana; R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinação; RMSE: Erro quadrático médio da raiz; ICC: Coeficiente de correlação intraclasses; \*: Efeito significativo (P<0,05); \*\*: Efeito significativo (P<0,01); \*\*\*: Efeito significativo (P<0,001).

Para os suínos na fase de crescimento, 4 modelos lineares, 4 modelos quadráticos e 7 modelos múltiplos foram elaborados para a estimação. A ingestão de Tre SID evidenciou uma resposta linear para GPD, na qual os coeficientes AIC e BIC, foram os melhores dentre os demais modelos avaliados. Porém seu ICC e RMSE foram piores entre os outros modelos



(Tabela 8). Como premissa de avaliação, os coeficientes AIC e BIC foram considerados os mais importantes para a seleção dos modelos. Diante disso, o modelo prediz que, para cada grama de peso ganho o suíno na fase de crescimento deve ingerir 0,0193 gramas de Tre SID.

Tabela 8 – Modelos lineares, quadráticos e múltiplos para avaliar a eficiência de treonina digestível ileal estandardizada e seu impacto no ganho de peso diário para suínos na fase de crescimento.

	Crescimento		
	Modelo linear	Modelo quadrático	Modelo múltiplo
	$TreIng = \alpha + \beta \times GPD + \varepsilon$	$TreIng = \alpha + \beta \times GPD + (\beta^2 \times GPD^2) + \beta \times Pi + \varepsilon$	$TreIng = \alpha + \beta \times GPD + \beta \times Pi + \beta \times DiasSuple + \beta \times Fibra + \beta \times PB + \beta \times EL + \beta \times LisDig + \varepsilon$
Intercepto (EP)	-5,72(1,80)***	8,93(3,51)**	-2,67(10,61)
GPD, g	0,0193(0,0019)***	-0,0155(0,0102)	0,0143(0,0021)***
Peso inicial, g		-0,00(0,00)*	-0,00(0,00)
Dias de suplementação			0,01(0,03)
Fibra bruta, %			-0,15(0,28)
Proteína bruta, %			0,23(0,21)
Energia líquida, MJ			0,16(0,66)
Lisina SID, %			-3,52(3,29)
GPD <sup>2</sup> , g		0,00(0,00)***	
AIC	316,26	549,6	492,53
BIC	330,25	567,38	520,73
R <sup>2</sup> condicional	0,674	0,807	0,742
R <sup>2</sup> marginal	0,648	0,585	0,545
RMSE	1,671	1,184	1,26
ICC	0,075	0,534	0,432

EP: Erro padrão; GPD: Ganho de peso diário; TreIng: Treonina digestível ileal estandardizada ingerida (SID: Standardized ileal digestible); Pi: Peso inicial; DiasSupl: Dias de experimento; PB: Proteína bruta; EL: Energia líquida; LisDig: Lisina digestível ileal estandardizada; SID: Digestível ileal estandardizada; AIC: Critério de informação de Akaike; BIC: Critério de informação bayesiana; R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinação; RMSE: Erro quadrático médio da raiz; ICC: Coeficiente de correlação intraclases; \*: Efeito significativo (P<0,05); \*\*: Efeito significativo (P<0,01); \*\*\*: Efeito significativo (P<0,001).

Na fase de terminação, 4 modelos lineares, 4 modelos quadráticos e 5 modelos múltiplos foram elaborados. Observou-se uma resposta múltipla para suínos em terminação, predizendo uma ingestão de Tre SID de 0,01 gramas para cada grama de GPD (Tabela 9). Seus coeficientes foram os melhores dentre os demais modelos avaliados, sendo assim o modelo mais ajustado (AIC = 270,62; BIC = 293,25), predizendo uma ingestão de 0,01 gramas para cada grama de GPD.

Tabela 9 – Modelos lineares, quadráticos e múltiplos para avaliar a eficiência de treonina digestível ileal estandardizada e seu impacto no ganho de peso diário para suínos na fase de terminação.

Terminação			
	Modelo linear	Modelo quadrático	Modelo múltiplo
	$TreIng = \alpha + \beta \times GPD + \varepsilon$	$TreIng = \alpha + \beta \times GPD + (\beta^2 \times GPD^2) + \beta \times Pi + \varepsilon$	$TreIng = \alpha + \beta \times GPD + \beta \times Pi + \beta \times DiasSuple + \beta \times Fibra + \beta \times PB + \beta \times CisDig + \varepsilon$
Intercepto (EP)	-6,02(1,86)***	9,25(9,35)	-11,56(2,64)***
GPD, g	0,0196(0,0020)***	-0,0149(0,0197)	0,01(0,00)***
Peso inicial, g		0,00(0,00)*	0,00(0,00)***
Fibra bruta, %			-0,45(0,21)**
Proteína bruta, %			0,28(0,14)**
Cisteína SID, %			4,78(7,27)
GPD <sup>2</sup> , g		0,00(0,00)	
AIC	321,83	312,44	270,62
BIC	322,15	326,43	293,25
R <sup>2</sup> condicional	0,696		
R <sup>2</sup> marginal	0,65	0,675	0,716
RMSE	1,624	0,747	1,413
ICC	0,13		

EP: Erro padrão; GPD: Ganho de peso diário; TreIng: Treonina digestível ileal estandardizada ingerida (SID: Standardized ileal digestible); Pi: Peso inicial; DiasSupl: Dias de experimento; PB: Proteína bruta; CisDig: Cisteína digestível ileal estandardizada; SID: Digestível ileal estandardizada; AIC: Critério de informação de Akaike; BIC: Critério de informação bayesiana; R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinação; RMSE: Erro quadrático médio da raiz; ICC: Coeficiente de correlação intraclases; \*: Efeito significativo (P<0,05); \*\*: Efeito significativo (P<0,01); \*\*\*: Efeito significativo (P<0,001).

### 2.3.5 Modelos Não Lineares

#### 2.3.5.1 Exigência de treonina da população

Para a fase de creche, o modelo com efeito fixo estimou um GPD de 485 g/d, com uma exigência de 4,92 gramas de Tre SID. Dos cinco modelos não lineares executados, o modelo escolhido considerou efeitos aleatórios em todos os parâmetros e apresentou melhor acurácia (AIC: 503,12; BIC: 516,91; RMSE: 10,09). A exigência de Tre para leitões em creche (5,80 kg – 32,70 kg) foi 4,84 g/d de Tre SID ingerida resultando em um GPD de 449 g/d (Tabela 10). A estimativa feita pelo modelo aleatório da exigência de Tre, foi 1,4% menor do que a estimada no modelo com efeito fixo. Essa variação gerada, é explicada pelo modelo fixo, nos quais assume que as variáveis não são independentes, onde o efeito de interesse é o mesmo para todos os experimentos.

Na fase de crescimento, a exigência de Tre SID estipulada pelo modelo de efeito fixo foi de 11,96 g/d, proporcionando um GPD de 873 g/d (Tabela 10). Quatro modelos não lineares foram desenvolvidos e o mais adequado foi selecionado apresentando os melhores coeficientes entre os demais (AIC: 1250,14; BIC: 1269,82; RMSE: 15,59). O modelo escolhido estimou um GPD de 762 g/d e uma exigência de Tre de 10,69 g/d. O modelo selecionado, apresentou uma exigência cerca 10,62% inferior do modelo com efeito fixo. Tanto para a fase de creche quanto para crescimento, apresentou essa variação já explicada em relação aos modelos de estimação das exigências.

Tabela 10 – Modelo linear platô criado para as fases de creche e crescimento como modelo de estimação.

Parâmetros	<i>Creche</i>		<i>Crescimento</i>	
	Efeito	Modelo não linear	Efeito	Modelo não linear
	fixo	misto	fixo	misto
Intercepto, g	89,36	234,00	274,73	486,23
GPD/Tre ingerida, g/g	80,36	44,33	50,02	25,74
Exigência de Tre, g	4,92	4,84	11,96	10,69
GPD, g	484,50	448,57	873,09	761,53
EP (GPD)	12,76		29,21	
EP (Intercepto)		398,21		35,97
EP (GPD/Tre ingerida, g/g)		10,62		3,27
EP (Exigência de Tre)		0,12		0,27
Número de estimações impostas		1000		50
Número de estimações geradas		217		21
GPD estimado, g		451,38		761,54
EP (GPD estimado)		20,98		22,06
Menor GPD, g	459,50	405,02	815,85	713,88
Maior GPD, g	509,50	491,41	930,33	797,53

GPD: Ganho de peso médio diário; EP: Erro padrão; g: gramas; Tre: Treonina digestível ileal estandardizada/estandardizada.

### 2.3.5.2 Exigências individuais de treonina

Em seguida, o modelo escolhido para cada fase foi usado para gerar uma população de indivíduos. Das 1000 estimações impostas, 241 convergiram na fase de creche. Cada linear platô foi considerado como a exigência de um indivíduo da população em questão (Gráficos 11 e 12). Na fase de creche, o GPD estimado foi de 450 g/d (254-660 g/d) em função da exigência individual de Tre SID, que foi de 4,86 g/d, sendo que o leitão menos exigente estimou uma necessidade de 4,53 g/d e o mais exigente 5,22 g/d de Tre SID como apresenta a tabela 11. Para a fase de crescimento, inicialmente foi imposta 1000 estimações, porém por conta de sistema operacional não obtivemos convergência dos dados. Portanto, 50 estimações foram impostas nas quais obteve-se 19 convergências, nos quais pode comprometer a confiabilidade das estimações. Na tabela 12, o GPD foi de 767 g/d (576-951 g/d), com uma exigência de Tre SID

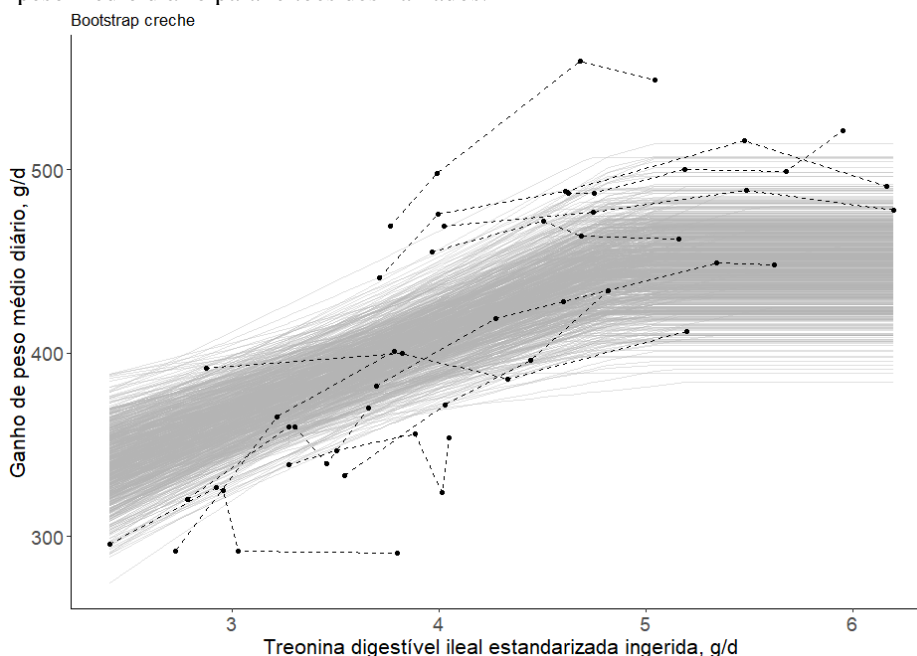
de 10,74 g/d para suínos em crescimento. A menor exigência estimada foi de 10,21 g/d e a maior de 12,14 g/d, sendo para o animal menos e o mais exigente.

Tabela 11 – Estimações de exigência nutricional de treonina digestível ileal estandardizada para leitões em creche.

<i>Creche</i>				
Parâmetros	Estimado			
Nº de estimações impostas	1000			
Nº de estimações geradas	241			
	Intercepto, g	GPD/Tre ingerida, g/g	Exigência de Tre SID, g	GPD, g
Estimado, g	230,20	45,26	4,86	450,29
EP (estimado)	40,30	10,84	0,17	
Mínimo, g	152,83	22,28	4,53	253,67
Máximo, g	310,39	66,99	5,22	660,05

GPD: Ganho de peso médio diário; EP: Erro padrão; g: gramas; Tre SID: Treonina digestível ileal estandardizada/estandardizada.

Gráfico 11 – Exigências individuais estimadas de treonina digestível ileal estandardizada em função do ganho de peso médio diário para leitões desmamados.



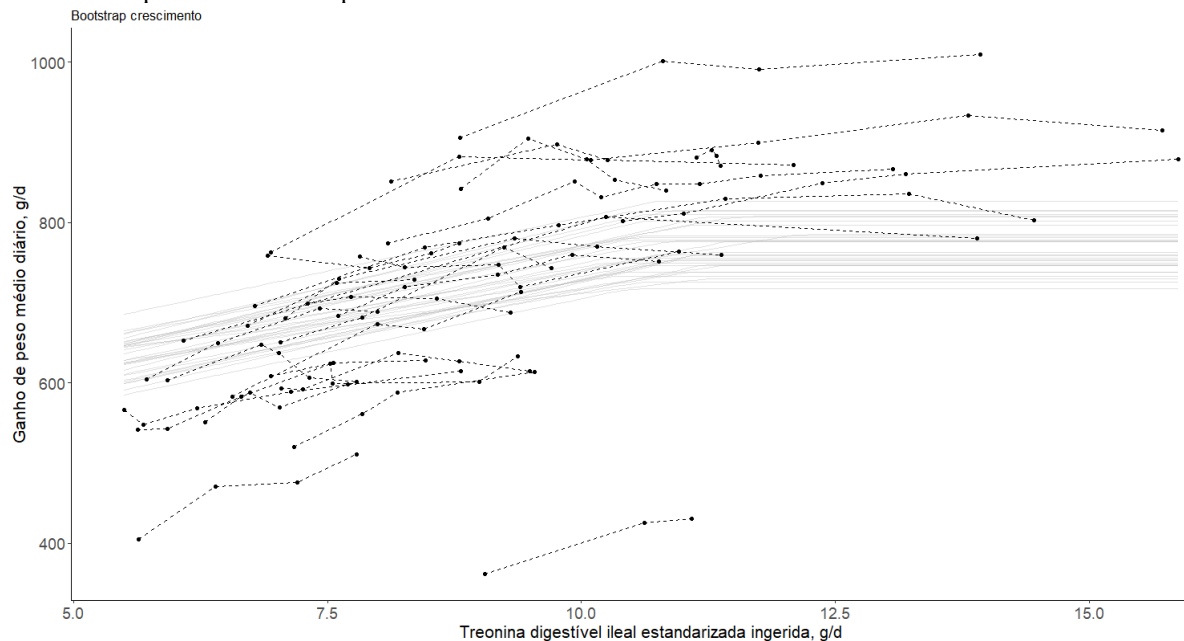
Linhas pontilhadas com pontos pretos: Linhas traçadas de cada experimento tabulado na base de dados e seus respectivos níveis e ganho de peso; Linhas cinzas contínuas: Estimções geradas pelo bootstrap tendo como base os experimentos da base de dados.

Tabela 12 – Estimacões de exigência nutricional de treonina digestível ileal estandarizada para suínos em crescimento.

<i>Crescimento</i>				
Parâmetros	Estimado			
Nº de estimacões impostas	50			
Nº de estimacões geradas	19			
	Intercepto, g	GPD/Tre ingerida, g/g	Exigência de Tre SID, g	GPD, g
Estimado, g	484,76	26,24	10,74	766,64
EP (estimado)	35,24	4,03	0,44	
Mínimo, g	426,25	14,71	10,21	576,47
Máximo, g	564,29	31,83	12,14	951,59

GPD: Ganho de peso médio diário; EP: Erro padrão; g: gramas; Tre: Treonina digestível ileal estandarizada/estandarizada.

Gráfico 12 – Exigências individuais estimadas de treonina digestível ileal estandarizada em função do ganho de peso médio diário para suínos em crescimento.



Linhas pontilhadas com pontos pretos: Linhas traçadas de cada experimento tabulado na base de dados e seus respectivos níveis e ganho de peso; Linhas cinzas contínuas: Estimacões geradas pelo bootstrap tendo como base os experimentos da base de dados.

Para a fase de terminacão, não foi possível realizar estimacões via bootstrap pois erros de simulacão foram constantes, assim impedindo a estimacão. Na fase de creche, obteve-se uma estimacão mais robusta, visto que o número de estimacões feitas foi grande em comparacão a

fase de crescimento (1000 e 50). Dessa forma, uma aceitabilidade maior é encontrada na fase de creche.

Nas exigências nutricionais de Tre SID para a população estimadas com o banco de dados da meta-análise, observou-se variabilidade do GPD estimado, onde uma variação de aproximadamente 406,38 gramas de GPD na creche e 357,12 gramas no crescimento. Com essa variação no GPD e amplitude do maior e menor animal, assume-se que há variação das exigências nutricionais de Tre SID em leitões e suínos, assim se fazendo importante a nutrição de indivíduos (POMAR *et al.*, 2015). Variações inter-estudos na base são evidentes, pois há diferentes formas de estimação de exigência e níveis impostos para estudo, alojamento, densidade, linhagem, dieta e seus respectivos ingredientes, entre outros. Esses fatores contribuem na variação na base e também na estimação realizado, pois utilizou-se a base como parâmetro de embasamento.

Atualmente as exigências nutricionais de Tre na indústria são estimadas por métodos fatoriais, nas quais utiliza-se um animal médio que represente a população (HAUSCHILD; POMAR; LOVATTO, 2010; NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2012; ROSTAGNO *et al.*, 2017). Esse animal selecionado tem suas exigências estimadas e aplicada na população pela alimentação por fases. Desse modo a mesma alimentação é fornecida em um determinado tempo. Nesse método de estimação das exigências, há suínos suplementados acima do que o necessário, assim excretando o excedente e suínos recebendo quantidades inferiores as suas exigências, dessa forma não expressando seu máximo potencial de ganho (POMAR; REMUS, 2019). Os artigos usados na meta-análise, são experimentos dose resposta, onde há variação dos níveis, podendo ser acima ou abaixo do que é indicado, assim obtendo maior gama de resultados e estimação de níveis ideias.

Dentro de um mesmo grupo de suínos, variações nas exigências são evidenciadas, como no presente estudo (maior e menor GPD). Diversos fatores podem contribuir na variabilidade das exigências de Tre em leitões e suínos. Peso, sexo, genética e saúde são alguns dos fatores que podem contribuir para alteração das exigências (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2012). Além desses fatores, o tempo também é um fator crucial, nas quais as exigências podem alterar dia após dia (HAUSCHILD *et al.*, 2012). Dentro dos métodos fatoriais, essas variações entre indivíduos e ao longo do tempo são desconsideradas (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2012; ROSTAGNO *et al.*, 2017).

Para a nutrição de indivíduos, nas quais obteve-se uma reamostragem do modelo não linear dos dados, evidenciou a variabilidade entre os animais tanto na fase de creche quanto

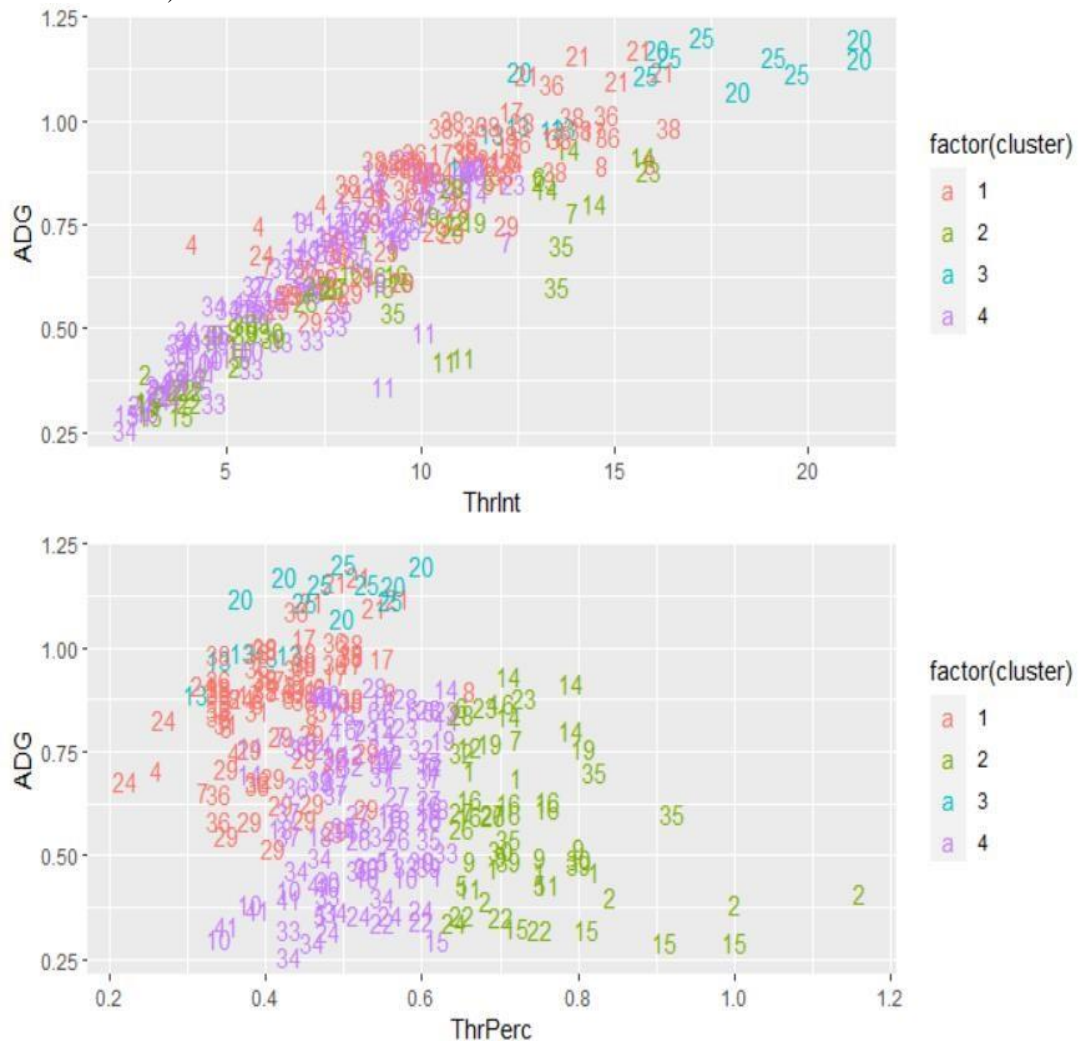
para crescimento (Gráficos 15 e 16). A variação do GPD suínos dos dados reamostrados foram ainda maiores para as fases de creche e crescimento (407 e 375g). Nesta estimacão, observou-se variacão das exigências nutricionais de Tre SID para ambas as fases (0,69 e 1,93 g), dessa forma conseqüentemente há variacão no desempenho animal dos suínos nas fases de crescimento (REMUS *et al.*, 2019). Mesmo diante da variacão das exigências de Tre em leitões e suínos nas fases de crescimento, observa-se um aumento do GPD com a adico de Tre na dieta e também de forma direta melhora os resultados de CA nos suínos, pois não apresentaram diferenças significativas em relao ao CRD (BURACZEWSKA; WICH; LE BELLEGO, 2006; REMUS *et al.*, 2019).

### 2.3.6 Machine Learning – Estimacão do Ganho Médio Diário de Suínos nas Fases de Creche, Crescimento e Terminaco Usando Modelos Empíricos

Em primeira análise, o gráfico de cluster foi realizado agrupando os dados para GPD em funo da quantidade de Tre SID ingerida e porcentagem contida na dieta (Gráfico 13). Na análise de cluster, verificamos relao entre Tre SID (%) e o peso inicial. A categorizaco que melhor dispôs os dados foi de 4 grupos.



Gráfico 13 – Análise de clusters do ganho de peso médio diário em função da ingestão de treonina digestível ileal estandardizada (g/d) e a porcentagem de treonina digestível ileal estandardizada inclusa na dieta (% na dieta).



ADG: Average daily gain (ganho de peso médio diário); ThrInt: Tre digestível ileal estandardizada ingerida (g/d); ThrPerc: Porcentagem de Tre digestível ileal estandardizada contida na dieta.

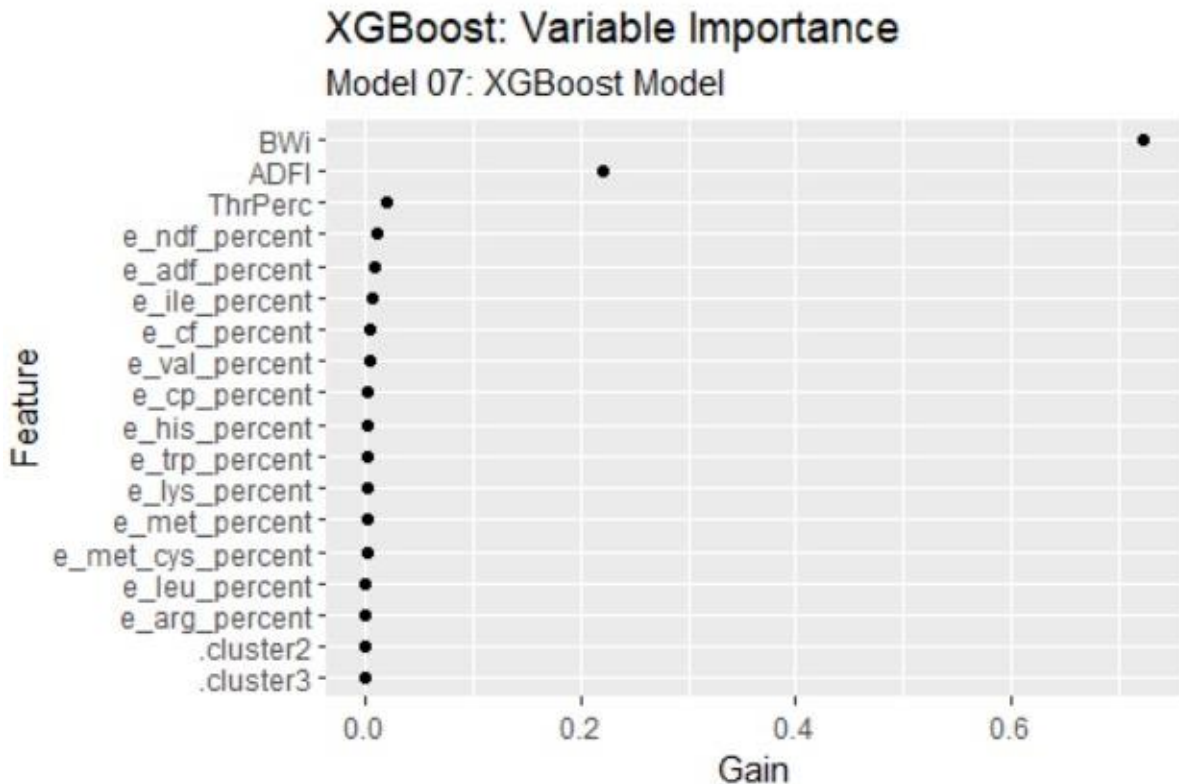
O conjunto de dados selecionado para a análise ML continha 274 observações e 20 variáveis preditivas, nas quais foram separadas para desenvolvimento e teste do modelo. Assim, os resultados dos modelos são apresentados na tabela 13. O melhor algoritmo foi o XGBOOST, onde apresentou os melhores coeficientes (menores RMSE, RSQ e MAE) e teve como principais variáveis preditivas para o GPD o peso inicial, CRD e Tre SID (% da dieta) (Gráfico 14). Uma escolha lógica para um ponto de vista biológico.

Tabela 13 – Avaliação do modelo de machine learning e regressão linear via RMSE, RSQ e MAE na avaliação interna (n = 274) no treinamento (80% dos dados) e teste (20% do conjunto de dados).

Algoritmo	Variável	RMSE	RSQ	MAE	RMSE	RSQ	MAE
		Conjunto de dados de treinamento			Conjunto de dados de teste		
Regressão linear	Tre SID (%), CRD	0.086	0.841	0.068	0.083	0.877	0.067
Recurso de regressão linear	Todos	0.066	0.906	0.044	0.060	0.938	0.047
Recurso de regressão penalizada	Todos	0.073	0.890	0.053	0.070	0.915	0.055
Recurso Decisão Três	Todos	0.037	0.971	0.029	0.057	0.943	0.042
Floresta Aleatória: Ranger	Todos	0.017	0.994	0.012	0.043	0.968	0.033
Floresta Aleatória: Floresta Aleatória	Todos	0.017	0.994	0.012	0.043	0.967	0.033
XGBOOST	Todos	0.007	0.999	0.005	0.040	0.973	0.030

RMSE: Erro quadrático médio da raiz; RSQ: R-quadrado; MAE= Erro Absoluto Médio. Tre SID: Treonina digestível ileal estandardizada; CRD: Consumo de ração médio diário.

Gráfico 14 – Algoritmo XGBOOST para ganho de peso médio diário para leitões e suínos nas fases de creche, crescimento e terminação.



BWi: Peso inicial; ADFI: Consumo de ração diário; ThrPerc: Porcentagem de treonina incluída na dieta; e\_ndf\_percent: Fibra bruta em detergente neutro (%); e\_adf\_percent: Fibra bruta em detergente ácido (%); e\_ile\_percent: Isoleucina (%); e\_cf\_percent: Fibra bruta (%); e\_val\_percent: Valina (%); e\_cp\_percent: Proteína bruta (%); e\_his\_percent: Histidina (%); e\_trp\_percent: Triptofano (%); e\_lys\_percent: Lisina (%); e\_met\_percent: Metionina (%); e\_met\_cys\_percent: Relação metionina e cistina (%); e\_leu\_percent: Leucina (%); e\_arg\_percent: Arginina (%).

A ferramenta do ML na produção animal, tem a precisão de aprender com os dados automaticamente. Assim, com esse aprendizado pode detectar melhor os modelos nas quais se adequam a situação estudada (MOROTA *et al.*, 2018). Essa melhor predição se dá pelo processo de desenvolvimento do modelo e teste (ELLIS *et al.*, 2020a; JACOBS *et al.*, 2022). Porém, no estudo não permitiu uma melhor compreensão biológica em comparação aos modelos mistos e não lineares.

Outra limitação na base de dados estudada foi a quantidade de valores faltantes os quais tiveram que ser excluídos para a execução do ML. Isso reduziu as variáveis a serem estudadas e o tamanho da base de dados não trazendo novas informações, o que pode ter causado um viés nos dados, pela redução do banco de dados. Sugere-se que ao trabalhar com ML, os bancos de dados sejam robustos para poder desenvolver e testar o modelo sem introduzir viés nos resultados (ELLIS *et al.*, 2020a, 2020b).

Diante disso, se faz necessário dados complementados na literatura, assim aumentando as variáveis (colunas) e tratamentos (linhas) para que possa haver dados pertinentes para o ML. Além disso, uma colaboração entre área é relevante no desenvolvimento e melhoria nos modelos matemáticos, assim contribuindo na melhor tomada de decisão.

## 2.4 CONCLUSÃO

Nas fases de creche e crescimento, o modelo linear é o mais adequado para a estimação das exigências nutricionais de Tre, nos quais estimou um ganho de peso diário de 38 e 18 gramas para cada grama de Tre ingerida. Para ambas as predições na fase de terminação o modelo múltiplo foi o selecionado, visto que mais variáveis como fibra bruta, proteína bruta e dias de suplementação influenciam no ganho de peso. Na terminação o modelo misto selecionado estimou um ganho de peso diário de 16 gramas para cada grama de Tre ingerida. Na forma inversa de estimação, a ingestão necessária de Tre pra leitões em creche foi de 0,0103 gramas para cada grama de ganho de peso diário através de um modelo linear selecionado. Na fase de crescimentos, o modelo linear também foi selecionado apresentando uma exigência de 0,0193 gramas. Na terminação, o modelo múltiplo foi selecionado obtendo uma exigência de Tre de 0,01 gramas para cada grama de ganho de peso. Na reestimação pelo bootstrap, mostrou-se grande variação entre os leitões e suínos avaliados na questão no GPD e exigência nutricional de Tre SID (g/d), nos quais determinou um ganho de peso diário de 45 gramas e 26 gramas para as fases de creche e crescimentos respectivamente. Para o ML, o modelo XGBOOST apresentou os melhores coeficientes, porém o de ML não foi adequado devido à limitações de resultados na base de dados referência.

## REFERÊNCIAS

- ABBASI, M. A. *et al.* Effects of Different Levels of Dietary Crude Protein and Threonine on Performance, Humoral Immune Responses and Intestinal Morphology of Broiler Chicks. **Brazilian Journal of Poultry Scienc**, v. 16, n. 1516– 635X, p. 35–44, 2014.
- BEQUETTE, B. **Amino acid in Animal Nutrition**. 2. ed. v. 2, 2003
- BURACZEWSKA, L.; ŚWIĘCH, E.; LE BELLEGO, L. Nitrogen retention and growth performance of 25 to 50 kg pigs fed diets of two protein levels and different ratios of digestible threonine to lysine. **Journal of Animal and Feed Sciences**, v. 15, n. 1, p. 25–36, 2006.
- CHEN, Y. P. *et al.* Effects of threonine supplementation on the growth performance, immunity, oxidative status, intestinal integrity, and barrier function of broilers at the early age. **Poultry Science**, v. 96, n. 2, p. 405–413, 2017.
- DE LANGE, C. F.; GILLIS, A. M.; SIMPSON, G. J. Influence of threonine intake on whole-body protein deposition and threonine utilization in growing pigs fed purified diets. **Journal of Animal Science**, v. 79, n. 12, p. 3087, 2001.
- ELLIS, J. L. *et al.* **Review: Synergy between mechanistic modelling and data-driven models for modern animal production systems in the era of big data**. **Animal**. Elsevier B.V., 1 jan. 2020a.
- ELLIS, J. L. *et al.* Application of meta-analysis and machine learning methods to the prediction of methane production from in vitro mixed ruminal micro-organism fermentation. **Animals**, v. 10, n. 4, 1 abr. 2020b.
- FRANCESCHI, C. H. **Exigência de treonina para suínos em crescimento: uma abordagem meta-analítica**. 2020.
- HAUSCHILD, L. *et al.* Development of sustainable precision farming systems for swine: Estimating realtime individual amino acid requirements in growing-finishing pigs. **Journal of Animal Science**, v. 90, n. 7, p. 2255–2263, 2012.
- HAUSCHILD, L.; POMAR, C.; LOVATTO, P. A. Systematic comparison of the empirical and factorial methods used to estimate the nutrient requirements of growing pigs. **Animal**, v. 4, n. 5, p. 714–723, 2010.
- JACOBS, M. *et al.* ASAS-NANP symposium: Mathematical modeling in animal nutrition: Limitations and potential next steps for modeling and modelers in the animal sciences. **Journal of Animal Science**, v. 100, n. 6, 1 jun. 2022.
- LOVATTO, P. A. *et al.* Meta-análise em pesquisas científicas: enfoque em metodologias. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, n. suppl, p. 285–294, jul. 2007.

LV, D. *et al.* Effect of dietary soy oil, glucose, and glutamine on growth performance, amino acid profile, blood profile, immunity, and antioxidant capacity in weaned piglets. **Science China Life Sciences**, v. 61, n. 10, p. 1233–1242, 1 out. 2018.

MATHAI, J. K. *et al.* Effects of dietary fiber on the ideal standardized ileal digestible threonine:lysine ratio for twenty-five to fifty kilogram growing gilts. **Journal of Animal Science**, v. 94, p. 4217–4230, 2016.

MCGILVRAY, W. D. *et al.* Immune system stimulation increases dietary threonine requirements for protein deposition in growing pigs. **Journal of Animal Science**, v. 97, n. 2, p. 735–744, 2019.

MOHER, D. *et al.* Guidelines and Guidance Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. **PloS Medicine**, v. 6, n. 7, 2009.

MOROTA, G. *et al.* Big data analytics and precision animal agriculture symposium: Machine learning and data mining advance predictive big data analysis in precision animal agriculture. **Journal of Animal Science**, v. 96, n. 4, p. 1540–1550, 1 abr. 2018.

MOU, Q. *et al.* Amino Acids Influencing Intestinal Development and Health of the Piglets. **Animal**, v. 9, n. 302, p. 1–11, 2019.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient Requirements of Swine**. 1998.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient Requirements of Swine**. 2012.

NELSON, D. L.; COX, M. M. **Princípios de Bioquímica de Lehninger**. 6. ed. 2014.

OELKE, C. A.; FRAGA, B. N.; ROSSI, P. Fibra dietética: um novo enfoque na nutrição de suínos. Em: **Zootecnia: Nutrição e Produção Animal**. Editora Científica Digital, p. 134–147, 2020.

PATIENCE, J. F.; ROSSONI-SERÃO, M. C.; GUTIÉRREZ, N. A. A review of feed efficiency in swine: Biology and application. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, v. 6, n. 1, 6 ago. 2015.

POMAR, C. *et al.* Estimating real-time individual amino acid requirements in growing-finishing pigs: towards a new definition of nutrient requirements in growing-finishing pigs? Em: **Nutritional modelling for pigs and poultry**. UK: CABI, p. 157–174, 2015.

POMAR, C.; ANDRETTA, I.; REMUS, A. Feeding Strategies to Reduce Nutrient Losses and Improve the Sustainability of Growing Pigs. **Frontiers in Veterinary Science**, v. 8, n. October, 2021.

POMAR, C.; REMUS, A. Precision pig feeding: A breakthrough toward sustainability. **Animal Frontiers**, v. 9, n. 2, p. 52–59, 1 abr. 2019.

REMUS, A. *et al.* Pigs receiving daily tailored diets using precision-feeding techniques have different threonine requirements than pigs fed in conventional phase-feeding systems. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, v. 10, n. 1, p. 1–17, 2019.

REMUS, A. *et al.* The ideal protein profile for late-finishing pigs in precision feeding systems: Threonine. **Animal Feed Science and Technology**, v. 265, n. May 2019, p. 114500, 2020.

REMUS, A. *et al.* Estimating amino acid requirements in real-time for precision-fed pigs: The challenge of variability among individuals. **Animals**, v. 11, n. 12, 2021.

ROSE, D. J.; HAMAKER, B. R. Overview of Dietary Fiber and its Influence on Gastrointestinal Health. Em: PAESCHKE, T.; ALMUTIS, W. R. (Eds.). **Nondigestible Carbohydrates and Digestive Health**. Paeschke, Teri ed., 2011.

ROSTAGNO, H. S. *et al.* **Tabelas Brasileiras Para Aves e Suínos**. 2017.

SAKOMURA, N. K. *et al.* **Nutrição de Não Ruminantes**. Funep ed. Jaboticabal: 2014.

SAUVANT, D. *et al.* Meta-analyses of experimental data in animal nutrition. **Animal**, v. 2, p. 1203–1214, 2008.

SAUVANT, D.; SCHMIDELY, P.; DAUDIN, J. J. Les méta-analyses des données expérimentales: applications en nutrition animale. **INRA Productions Animales**, v. 8, n. 1, p. 63–73, 2005.

TANG, Q. *et al.* Physiological Functions of Threonine in Animals: Beyond Nutrition Metabolism. 2021.

TOLEDO, J. B.; HUEPA, L. M. D.; GRIESER, D. DE O. Suplementação de aminoácidos essenciais em dietas de baixo nível proteico para leitões: Revisão. **Pubvet**, v. 11, n. 11, p. 1151–1162, 2017.

VAN MILGEN, J. *et al.* Meta-analysis of the response of growing pigs to the isoleucine concentration in the diet. **Animal**, v. 6, n. 10, p. 1601–1608, out. 2012.

VAN MILGEN, J.; DOURMAD, J. Y. Concept and application of ideal protein for pigs. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, v. 6, n. 1, p. 1–11, 2015.

ZHANG, H. *et al.* l-Threonine improves intestinal mucin synthesis and immune function of intrauterine growth-retarded weanling piglets. **Nutrition**, v. 59, p. 182–187, 2019.

**ANEXO A - ARTIGOS PUBLICADOS COM OBJETIVO DE ESTIMAR AS EXIGÊNCIAS DE TREONINA DIGESTÍVEL ILEAL ESTANDARDIZADA PARA SUÍNOS NAS FASES DE CRESCIMENTO (CONTINUA).**

Referência	Fase	Peso, kg (inicial-final)	Sexo	L-Tre, % (mínimo-máximo)	Tre SID, %	Nível de Tre SID com maior GPD	Tre:Lis SID, %	Variável resposta	Dieta base	PB, %	Dias de experimento
Berto <i>et al.</i> , 2002 - trial 1	W	7,2-12,39	CM,F	0,07-0,20	0,62-0,82	0,69	53,9-71,3	GPD, CR, CA	Milho, farelo de soja, soro de leite em pó	18,89-19,03	11
Berto <i>et al.</i> , 2002 - trial 2	G	12,6-23,9	CM,F	0,06-0,17	0,56-0,72	0,61	53,8-69,2	GPD, CR, CA	Milho, farelo de soja, soro de leite em pó	17,79-17,91	16
Bisinoto <i>et al.</i> , 2007	W	6,07-11,8	CM,F	0,04-0,52	0,68-0,16	1,16	48,2-82,3	GPD, CR, CA	Milho, farelo de soja, soro de leite em pó	18,93-19,28	14
Buraczewska <i>et al.</i> , 2006	G	25,5-52,2	CM	0,06-0,14	0,44-0,56	0,56	75,9-96,6	GPD, CA	Farelo de soja, soja integral, trigo	16,01-16,1	35
De Lange <i>et al.</i> , 2001	G	39,1-78,3	F	0,09-0,43	0,26-0,69	0,69	76,5-202,9	GPD, CR	Amido de milho	10,63-10,95	NI
Defa <i>et al.</i> , 1999	G	17,1-31,6	CM,F	0,08-0,28	0,47-0,75	0,55	58,8-93,8	GPD, CR, CA	Milho, farelo de soja, soro de leite em pó	15,64-15,84	28
Ettle <i>et al.</i> , 2004 - trial 1	G	32,5-69,3	CM,F	0,05-0,25	0,46-0,71	0,71	51,7-79,8	GPD, CR, CA	Farelo de soja, trigo, cevada	16,66-16,86	NI

Tre SID: Treonina digestível ileal estandardizada (Standardized Ileal Digestibility); PB: Proteína bruta; CM: Macho castrado; F: Fêmea; M: Macho; GPD: Ganho de peso médio diário; CR: Consumo de ração diário; CA: Conversão alimentar; EA: Eficiência alimentar; NI: Não informado.



**ANEXO A - ARTIGOS PUBLICADOS COM OBJETIVO DE ESTIMAR AS EXIGÊNCIAS DE TREONINA DIGESTÍVEL ILEAL ESTANDARDIZADA PARA SUÍNOS NAS FASES DE CRESCIMENTO (CONTINUA).**

Referência	Fase	Peso, kg (inicial-final)	Sexo	L-Tre, % (mínimo-máximo)	Tre SID, %	Nível de Tre SID com maior GPD	Tre:Lis SID, %	Variável resposta	Dieta base	PB, %	Dias de experimento
Ettle <i>et al.</i> , 2004 - trial 2	F	65-112,6	CM,F	0,04-0,12	0,35- 0,47	0,47	50,7- 69,1	GPD, CR, CA	Farelo de soja, trigo, cevada	13,57- 13,48	NI
Friesen <i>et al.</i> , 1992	G	31-53,59	CM	0,10-0,40	0,32- 0,72	0,52	36,4- 81,8	GPD, CR, CA	Sorgo, farinha de amendoim	14,67- 14,96	28
Goodband <i>et al.</i> , 1991	F	59,42- 104,32	CM	0,10-0,30	0,36- 0,66	0,66	23,5- 43,1	GPD, CR, CA	Sorgo, farinha de amendoim	17,37- 17,59	NI
Jayaranan <i>et al.</i> , 2015	W	7,16-18	CM,F	0,05-0,19	0,61- 0,8	0,8	51,7,67,8	GPD, CR, EA	Milho, farelo de soja, trigo	19,58- 19,72	21
Kovar <i>et al.</i> , 1993	W	10,9- 20,329	CM,F	0,05-0,25	0,34- 0,58	0,53	33-56,3	GPD, CR, EA	Milho, farelo de soja, amido de milho	11,71- 11,89	21
Li and Xiao, 1998	G	17,1-31,6	CM,F	0,08-0,28	0,48- 0,76	0,56	60-95	GPD, CR, CA	Milho, farelo de soja, farelo de trigo	15,69- 15,87	28
Lopez <i>et al.</i> , 2010	G	23,49- 56,06	CM,F	0,02-0,22	0,46- 0,66	0,66	58,2- 83,5	GPD, CR, CA	Pasta de soja, sorgo	15,42- 15,56	42
Ma <i>et al.</i> , 2015	F	90- 117,72	F	0,30-0,12	0,31- 0,43	0,37	60,8- 84,3	GPD, CR, CA	Milho, farelo de trigo	9,41- 9,5	28

Tre SID: Treonina digestível ileal estandardizada (Standardized Ileal Digestibility); PB: Proteína bruta; CM: Macho castrado; F: Fêmea; M: Macho; GPD: Ganho de peso médio diário; CR: Consumo de ração diário; CA: Conversão alimentar; EA: Eficiência alimentar; NI: Não informado.

**ANEXO A - ARTIGOS PUBLICADOS COM OBJETIVO DE ESTIMAR AS EXIGÊNCIAS DE TREONINA DIGESTÍVEL ILEAL ESTANDARDIZADA PARA SUÍNOS NAS FASES DE CRESCIMENTO (CONTINUA).**

Referência	Fase	Peso, kg (inicial- final)	Sexo	L-Tre, % (mínimo- máximo)	Tre SID, %	Nível de Tre SID com maior GPD	Tre:Lis SID, %	Variável resposta	Dieta base	PB, %	Dias de experimento
Mathai <i>et al.</i> , 2016 - trial 1	G	25,73- 50,36	F	0,09-0,41	0,38- 0,79	0,71	43,2- 89,7	GPD, CR, EA	Milho, farelo de soja, ervilha forrageira, amido de milho	12,74- 13	28
Mathai <i>et al.</i> , 2016 - trial 2	G	26,28- 52,64	F	0,09-0,42	0,38- 0,79	0,71	43,2- 89,8	GPD, CR, EA	Milho, farelo de soja, ervilha forrageira, casca de soja	13,26- 13,53	28
Mauricio <i>et al.</i> , 2014	W	7,43-14,35	CM	0,09-0,38	0,62- 1,00	0,72	47,3- 76,3	GPD, CR, CA	Milho, farelo de soja, leite desnatado	19,44- 19,72	21
Paiano <i>et al.</i> , 2009 - trial 1	G	15,531,325	CM	0,03-0,23	0,56- 0,76	0,76	60,2- 81,7	GPD, CR, CA	Milho, farelo de soja	16,66- 16,8	25
Paiano <i>et al.</i> , 2009 - trial 2	G	15,5- 31,425	F	0,03-0,23	0,56- 0,76	0,66	60,2- 81,7	GPD, CR, CA	Milho, farelo de soja	16,66- 16,8	25
Plitzner <i>et al.</i> , 2007	F	68-114,9	CM,F	0,03-0,17	0,38- 0,55	0,45	53,5- 77,5	GPD, CR, CA	Milho, farelo de soja, trigo, farelo de trigo	13,71- 13,84	50
Pozza <i>et al.</i> , 2000	G	15,45- 34,55	F	0,05-0,20	0,42- 0,62	0,62	52,5- 77,5	GPD, CR, CA	Milho, farelo de soja, sorgo	14,28- 14,42	31

Tre SID: Treonina digestível ileal estandardizada (Standardized Ileal Digestibility); PB: Proteína bruta; CM: Macho castrado; F: Fêmea; M: Macho; GPD: Ganho de peso médio diário; CR: Consumo de ração diário; CA: Conversão alimentar; EA: Eficiência alimentar; NI: Não informado.

**ANEXO A - ARTIGOS PUBLICADOS COM OBJETIVO DE ESTIMAR AS EXIGÊNCIAS DE TREONINA DIGESTÍVEL ILEAL ESTANDARDIZADA PARA SUÍNOS NAS FASES DE CRESCIMENTO (CONTINUA).**

Referência	Fase	Peso, kg (inicial-final)	Sexo	L-Tre, % (mínimo-máximo)	Tre SID, %	Nível de Tre SID com maior GPD	Tre:Lis SID, %	Variável resposta	Dieta base	PB, %	Dias de experimento
Remus <i>et al.</i> , 2019 - a	G	25,7-42,48	CM	0,16-0,52	0,47- 0,81	0,63	54,6- 93,7	GPD, CR, EA	Milho, farelo de soja, trigo, amido de milho	12,7	21
Remus <i>et al.</i> , 2020 - b	F	108-134,6	CM	0,08-0,30	0,37- 0,60	0,6	55,4- 91,2	GPD, CR, EA	Milho, farelo de soja, trigo, amido de milho	12,7	21
Rossoni <i>et al.</i> , 2008	F	59-96,44	CM	0,03-0,11	0,46- 0,57	0,52	56,1- 69,5	GPD, CR, CA	Milho, farelo de soja	14,8	32
Rodrigues <i>et al.</i> , 2001 - a	W	5,8-15,412	CM	0,05-0,20	0,55- 0,75	0,65	53,4- 72,8	GPD, CR, CA	Milho, farelo de soja	18,34- 18,49	27
Rodrigues <i>et al.</i> , 2001 - b	G	29,2- 61,723	F	0,003-0,20	0,53- 0,73	0,73	61,6- 84,9	GPD, CR, CA	Milho, farelo de soja	16,85- 17	37
Saldana <i>et al.</i> , 1994 - trial 1	W	6,5-17,42	CM,F	0,04-0,16	0,48- 0,64	0,6	41,7- 55,7	GPD, CR, EA	Farelo de soja, soro de leite em pó, sorgo, farelo de ervilha	18,52- 18,64	28
Saldana <i>et al.</i> , 1994 - trial 2	F	58-96,86	CM,F	0,05-0,20	0,22- 0,42	0,32	31-59,2	GPD, CR, EA	Sorgo	9,74- 9,89	42

Tre SID: Treonina digestível ileal estandardizada (Standardized Ileal Digestibility); PB: Proteína bruta; CM: Macho castrado; F: Fêmea; M: Macho; GPD: Ganho de peso médio diário; CR: Consumo de ração diário; CA: Conversão alimentar; EA: Eficiência alimentar; NI: Não informado.

**ANEXO A - ARTIGOS PUBLICADOS COM OBJETIVO DE ESTIMAR AS EXIGÊNCIAS DE TREONINA DIGESTÍVEL ILEAL ESTANDARDIZADA PARA SUÍNOS NAS FASES DE CRESCIMENTO (CONTINUA).**

Referência	Fase	Peso, kg (inicial-final)	Sexo	L-Tre, % (mínimo-máximo)	Tre SID, %	Nível de Tre SID com maior GPD	Tre:Lis SID, %	Variável resposta	Dieta base	PB, %	Dias de experimento
Santos <i>et al.</i> , 2010	F	95-128,712	CM	0,0-0,12	0,45-0,56	0,5	57-70,9	GPD, CR, CA	Milho, farelo de soja	14,2	28
Saraiva., <i>et al</i> 2006	G	14,9-31,0,46	F	0,04-0,17	0,52-0,69	0,69	53,1,70,4	GPD, CR, CA	Milho, farelo de soja	17,6	27
Saraiva <i>et al.</i> , 2007 - a	G	15,1-30,628	F	0,0-0,167	0,52-0,69	0,57	53,1-70,4	GPD, CR, CA	Milho, farelo de soja	17,6	24
Saraiva., <i>et al</i> 2007 - b	G	30-62,58	F	0,04-0,15	0,50-0,65	0,54	56,2-73	GPD, CR, CA	Milho, farelo de soja	16,1	36
Schutte., <i>et al</i> 1997 - trial 1	G	50-62,56	F	0,04-0,12	0,35-0,46	0,46	55,6-73	GPD, CR, CA	Cevada, milho, trigo, tapioca	15,16-15,25	20
Schutte., <i>et al</i> 1997 - trial 2	G	50-62,28	F	0,04-0,12	0,41-0,53	0,53	59,4-76,8	GPD, CR, CA	Cevada, milho, trigo, tapioca	14,85-14,94	20
Schutte., <i>et al</i> 1997 - trial 3	F	50-97,7	F	0,04-0,12	0,35-0,46	0,46	55,6-73	GPD, CR, CA	Cevada, milho, trigo, tapioca, centeio	15,16-15,25	60
Schutte., <i>et al</i> 1997 - trial 4	F	50-95	F	0,04-0,12	0,41-0,53	0,53	59,4-76,8	GPD, CR, CA	Cevada, milho, trigo, tapioca, centeio	14,85-14,94	60

Tre SID: Treonina digestível ileal estandardizada (Standardized Ileal Digestibility); PB: Proteína bruta; CM: Macho castrado; F: Fêmea; M: Macho; GPD: Ganho de peso médio diário; CR: Consumo de ração diário; CA: Conversão alimentar; EA: Eficiência alimentar; NI: Não informado.

**ANEXO A - ARTIGOS PUBLICADOS COM OBJETIVO DE ESTIMAR AS EXIGÊNCIAS DE TREONINA DIGESTÍVEL ILEAL ESTANDARDIZADA PARA SUÍNOS NAS FASES DE CRESCIMENTO (CONTINUA).**

Referência	Fase	Peso, kg (inicial- final)	Sexo	L-Tre, % (mínimo- máximo)	Tre SID, %	Nível de Tre SID com maior GPD	Tre:Lis SID, %	Variável resposta	Dieta base	PB, %	Dias de experimento
Wang <i>et al.</i> , 2006	W	9,85- 24,298	CM	0,05-0,32	0,48- 0,80	0,7	44-73,4	GPD, CR, CA	Milho, farelo de amendoim, soro de leite seco, amido de milho	20,45- 20,69	28
Xie., <i>et al</i> 2013	F	72,5-96,16	CM	0,06-0,19	0,35- 0,48	0,44	54,7-75	GPD, CR, CA	Milho, farelo de trigo, farelo de soja	10,54- 10,64	26
Zhang <i>et al.</i> , 2013	G	22-51,64	CM,F	0,06-0,24	0,47- 0,65	0,63	53,4- 73,9	GPD, CR, CA	Milho, farelo de trigo, farelo de soja	13,72- 13,85	39
Conway <i>et al.</i> , 1990	G	16,8-48,99	CM,F	0,05-0,2	0,43- 0,63	0,63	43-63	GPD, CR, CA	Milho, canjica	15,89- 16,04	63
Ettle and Roth, 2005 - trial 1	W	9,1-32,7	CM,F	0,02-0,12	0,44- 0,55	0,5	41,9- 52,4	GPD, CR, CA	Trigo, ervilha, farelo de soja, cevada	16,31- 16,38	42
Ettle and Roth, 2005 - trial 2	W	7,2-24	CM,F	0,05-0,17	0,43- 0,55	0,55	41,3,52,9	GPD, CR, CA	Trigo, fava, milho, farelo de soja, melão, farinha de peixe	16,46- 16,55	42

Tre SID: Treonina digestível ileal estandardizada (Standardized Ileal Digestibility); PB: Proteína bruta; CM: Macho castrado; F: Fêmea; M: Macho; GPD: Ganho de peso médio diário; CR: Consumo de ração diário; CA: Conversão alimentar; EA: Eficiência alimentar; NI: Não informado.

**ANEXO A - ARTIGOS PUBLICADOS COM OBJETIVO DE ESTIMAR AS EXIGÊNCIAS DE TREONINA DIGESTÍVEL ILEAL ESTANDARDIZADA PARA SUÍNOS NAS FASES DE CRESCIMENTO (CONTINUA).**

Referência	Fase	Peso, kg (inicial- final)	Sexo	L-Tre, % (mínimo- máximo)	Tre SID, %	Nível de Tre SID com maior GPD	Tre:Lis SID, %	Variável resposta	Dieta base	PB, %	Dias de experimento
Gutiérrez-Hernández <i>et al.</i> , 2016	G	20,84- 22,17	CM,F	0,08-0,50	0,50- 0,92	0,82	67,6- 124,3	GPD, CR, CA	Sorgo, farelo de soja	14,68- 14,99	42
Lenis <i>et al.</i> , 1990 - a - trial 1	G	33,9-65	CM	0,05-0,15	0,34- 0,49	0,44	44,7,64,5	GPD, CR, CA	Mandioca, Trigo, Farelo de Soja, Canjica, Ervilha, Melaço	13- 13,11	47
Lenis <i>et al.</i> , 1990- a - trial 2	G	34,7-65	F	0,05-0,15	0,34- 0,49	0,49	44,7,64,5	GPD, CR, CA	Mandioca, Trigo, Farelo de Soja, Canjica, Ervilha, Melaço	13- 13,11	47
Lenis <i>et al.</i> , 1990- a - trial 3	F	65-110,1	CM	0,05-0,15	0,34- 0,49	0,44	44,7- 64,5	GPD, CR, CA	Mandioca, Trigo, Farelo de Soja, Canjica, Ervilha, Melaço	13- 13,11	43
Lenis <i>et al.</i> , 1990- a - trial 4	F	65-108	F	0,05-0,15	0,34- 0,49	0,49	44,7- 64,5	GPD, CR, CA	Mandioca, Trigo, Farelo de Soja, Canjica, Ervilha, Melaço	13- 13,11	43
Schutte <i>et al.</i> , 1990- trial 1	G	19-39,41	CM,F	0,06-0,18	0,43- 0,61	0,61	42,2- 59,8	GPD, CR, CA	Tapioca, cevada, milho, farinha de soja	15,29- 15,42	28

Tre SID: Treonina digestível ileal estandardizada (Standardized Ileal Digestibility); PB: Proteína bruta; CM: Macho castrado; F: Fêmea; M: Macho; GPD: Ganho de peso médio diário; CR: Consumo de ração diário; CA: Conversão alimentar; EA: Eficiência alimentar; NI: Não informado.

**ANEXO A - ARTIGOS PUBLICADOS COM OBJETIVO DE ESTIMAR AS EXIGÊNCIAS DE TREONINA DIGESTÍVEL ILEAL ESTANDARDIZADA PARA SUÍNOS NAS FASES DE CRESCIMENTO (CONTINUA).**

Referência	Fase	Peso, kg (inicial- final)	Sexo	L-Tre, % (mínimo- máximo)	Tre SID, %	Nível de Tre SID com maior GPD	Tre:Lis SID, %	Variável resposta	Dieta base	PB, %	Dias de experimento
Schutte <i>et al.</i> , 1990 - trial 2	G	19-38,40	CM,F	0,06-0,18	0,43- 0,61	0,55	42,2- 59,8	GPD, CR, CA	Tapioca, cevada, milho, farinha de soja	15,29- 15,42	28
Lenis <i>et al.</i> , 1990 - b - trial 1	G	47,2-70	CM	0,06-0,18	0,34- 0,51	0,51	42,5- 63,8	GPD, CR, CA	Mandioca, cevada, milho, alfafa	13,03- 13,16	28
Lenis <i>et al.</i> , 1990 - b - trial 2	G	47,7-70	F	0,06-0,18	0,34- 0,51	0,4	42,5- 63,8	GPD, CR, CA	Mandioca, cevada, milho, alfafa	13,03- 13,16	28
Lenis <i>et al.</i> , 1990 - b - trial 3	F	70-107,1	CM	0,06-0,18	0,34- 0,51	0,4	42,5- 63,8	GPD, CR, CA	Mandioca, cevada, milho, alfafa	13,03- 13,16	40
Lenis <i>et al.</i> , 1990 - b - trial 4	F	70-105,6	F	0,06-0,18	0,34- 0,51	0,4	42,5- 63,8	GPD, CR, CA	Mandioca, cevada, milho, alfafa	13,03- 13,16	40
Lenis <i>et al.</i> , 1990 - b - trial 5	F	64,4-96,8	CM,F	0,06-0,18	0,34- 0,51	0,51	42,5- 63,8	GPD, CR, CA	Mandioca, cevada, milho, alfafa	13,03- 13,16	33

Tre SID: Treonina digestível ileal estandardizada (Standardized Ileal Digestibility); PB: Proteína bruta; CM: Macho castrado; F: Fêmea; M: Macho; GPD: Ganho de peso médio diário; CR: Consumo de ração diário; CA: Conversão alimentar; EA: Eficiência alimentar; NI: Não informado.

**ANEXO A - ARTIGOS PUBLICADOS COM OBJETIVO DE ESTIMAR AS EXIGÊNCIAS DE TREONINA DIGESTÍVEL ILEAL ESTANDARDIZADA PARA SUÍNOS NAS FASES DE CRESCIMENTO (CONCLUSÃO).**

Referência	Fase	Peso, kg (inicial- final)	Sexo	L-Tre, % (mínimo- máximo)	Tre SID, %	Nível de Tre SID com maior GPD	Tre:Lis SID, %	Variável resposta	Dieta base	PB, %	Dias de experimento
Swiech <i>et al.</i> , 2011	W	12,7-21,8	M	0,09-0,29	0,52- 0,80	0,71	44,4- 68,4	GPD, CA	Trigo, milho, farelo de soja	20,18- 20,39	19
Valaja <i>et al.</i> , 1993	G	25,4-105,6	CM,F	0,05-0,16	0,47- 0,49	0,48	71,2- 74,2	GPD, CR, CA	Cevada, farinha de colza, ervilhas	16,38- 12,07	90
Adeola, 2009	W	9,56-21,88	CM,F	0,04-0,12	0,35- 0,47	0,47	72,9- 97,9	GPD, CR, EA	Milho, farelo de soja	11,07- 11,16	28

Tre SID: Treonina digestível ileal estandardizada (Standardized Ileal Digestibility); PB: Proteína bruta; CM: Macho castrado; F: Fêmea; M: Macho; GPD: Ganho de peso médio diário; CR: Consumo de ração diário; CA: Conversão alimentar; EA: Eficiência alimentar; NI: Não informado.