

ANA LÚCIA ALMEIDA SANTANA

**DIGESTIBILIDADE DO CÁLCIO DE FONTES MINERAIS AVALIADAS
EM SUÍNOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2013

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

S232d
2013

Santana, Ana Lúcia Almeida, 1986-
Digestibilidade do cálcio de fontes minerais avaliadas em
suínos / Ana Lúcia Almeida Santana. – Viçosa, MG, 2013.
ix, 27f. : il. ; 29cm.

Orientador: Juarez Lopes Donzele.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Referências bibliográficas: f. 22-27.

1. Suíno - Nutrição. 2. Suíno - Alimentação e rações.
3. Digestibilidade. 4. Minerais na nutrição animal. 5. Cálcio
na nutrição animal. 6. Coleta de fezes. I. Universidade
Federal de Viçosa. Departamento de Zootecnia. Programa de
Pós-Graduação em Zootecnia. II. Título.

CDD 22. ed. 636.4085

ANA LÚCIA ALMEIDA SANTANA

**DIGESTIBILIDADE DO CÁLCIO DE FONTES MINERAIS AVALIADAS
EM SUÍNOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 01 de março de 2013

Alexandre de Oliveira Teixeira
(Coorientador)

Melissa Izabel Hannas
(Coorientadora)

Vanusa Patrícia de Araujo Ferreira

Juarez Lopes Donzele
(Orientador)

A Deus, criador de todas as coisas, centro da minha vida, fiel e inseparável amigo.

Aos meus amados pais, Januário e Lúcia.

Aos meus irmãos, Adriana, Reginaldo, Rodrigo e Ariadne.

Ao meu amado esposo Flávio.

Em especial, ao amigo e professor Jair (em memória).

DECICO ESTE TRABALHO

“A paz é o resultado das suas escolhas,
A harmonia é a consequência dos seus atos e
O milagre é a confirmação da sua fé.”

“Nenhum número de experiências, por muitas que sejam,
podem provar que tenho razão. Mas será suficiente uma só experiência,
para demonstrar que estou equivocado.”

(Albert Einstein)

“Quanto mais o ser humano se afasta de Deus,
mais ele se aproxima do nada!”

(São Tomás de Aquino)

“Ainda que eu falasse a língua dos anjos,
Sem amor, eu nada seria!”

(Coríntios 13, 1)

AGRADECIMENTOS

A **DEUS**, por ser o centro da minha vida, condutor dos meus passos e luz na minha escuridão, fortaleza da minha fraqueza e equilíbrio da mente e da alma. Pelo amor e cuidado incondicional. E a Nossa Senhora das Graças pela proteção e interseção!

Aos meus amados pais, **Januário e Lúcia**, pelo amor incondicional, por acreditar em mim mais do que eu mesma e compreender minha ausência, pelos conselhos e amor.

Aos meus queridos irmãos, **Adriana, Reginaldo, Rodrigo e Ariadne** (a filha que Deus me deu), pelos momentos de descontração, pelas histórias no fundo da casa, conselhos. Amo muito vocês!

Ao meu amado esposo **Flávio**, presente de Deus na minha vida, pelo apoio e compreensão em todos os momentos. Por estar sempre do meu lado e me fazer tão feliz! Amo muito você!

Ao meu coorientador **Profº Alexandre de Oliveira Teixeira** pela dedicação, atenção, paciência e ajuda. Muito obrigada por tudo professor! Que Deus permaneça iluminando seus passos!

Aos professores **Darci Clementino, Juarez Donzele e Melissa Hannas**, pela orientação, disponibilidade e atenção! Muito obrigada!

Toda minha família Almeida e Santana por tudo. Em especial, aos meus primos e irmãos em Cristo **Ene, Nina, Rafa, Ricardo e Ailton**, obrigada por terem estado do meu lado no momento mais difícil de toda a minha vida, jamais esquecerei tudo que fizeram por mim, pelo meu irmão, pela minha família...

Aos irmãos que Deus me presenteou, **Cristiane Duarte (Cris), Eliane Leal (Lica), Poliana Coqueiro (Poli), Carolina Filarde (Carol), Rosana Maia (Rô), Camila Brasil!** Eu amo muito vocês! Agradeço a Deus por ter me presenteado com vocês! “Só existe uma coisa melhor do que fazer novos amigos: conservar os velhos!”

À **Universidade Federal de Viçosa** e ao **Departamento de Zootecnia** pela oportunidade e apoio para o desenvolvimento do meu trabalho.

À **Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais**, pela concessão da bolsa, o que facilitou a minha estadia tão longe de casa.

Aos meus amados mestres da UFRB, por não ter me deixado sozinha, mesmo tão distante, sempre mantendo contato, em especial, agradeço ao professor **Jair de Araújo Marques** (em memória), que muito me apoiou, ensinou, enxugou por muitas vezes minhas lágrimas. Amo muito cada um de vocês!

Aos amigos, **Guisela, Neto, David, Daiana, Amanda** (chata), **Magna, Alex, Santiago...** muito obrigada por tudo, pelos momentos de risos e descontração. Já sinto muita falta de vocês! **Sandra, Thony e Silvano** pelas dicas essenciais, por me tirar dos momentos de sufoco, obrigada!

Todos os funcionários do Setor de Suinocultura da UFV, em especial ao **Dedeco**; do Laboratório de Nutrição Animal, **Valdir, Mário, Plínio, Monteiro e Vera** e, do DZO, especialmente seu **Adilson, Venâncio e Fernanda**. Muito obrigada por tudo!

Aos **professores** do DZO pelo conhecimento adquirido, em especial, aos professores Juquinha e Claudio por me receber como filha.

Ao **MUR** e **MOCL** pela recepção e companheirismo, por me levar para mais perto de Deus. Especialmente ao GOU Imaculado Coração de Maria!

Aos amigos **Ana Carolina, Poliana Farias, Elma, Simone, Dani, Paty, Zezinho!** Muito obrigada pelas gargalhadas, partilhas... amo muito vocês!

Aos meus avós, **Otávio e Sabino** (em memória), **Elísia e Heloína**, pela criação e direcionamento.

E por fim, não menos importante, agradeço aos meus irmãos **Rodrigo e Ariadne** e, ao meu esposo **Flávio** por terem se deslocado da Bahia para me ajudar na execução do projeto, sem vocês eu não sei o que teria sido de mim. A execução do meu trabalho se tornou mais fácil com vocês ao meu lado que, mesmo não sabendo o que estavam fazendo na teoria, foram impecavelmente práticos. Obrigada!

Enfim, agradeço de coração a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desse trabalho, muito obrigada.

BIOGRAFIA

Ana Lúcia Almeida Santana, filha de Januário Nunes Santana e Lúcia Almeida Santana, nasceu na cidade de Santo Antônio de Jesus, interior da Bahia, em 28 de maio de 1986.

Em março de 2006 iniciou o curso de graduação em Zootecnia pela Universidade Federal da Bahia, Campus de Cruz das Almas, a qual foi institucionalizada em 2007, passando para Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, onde concluiu o curso em cinco de fevereiro de 2011.

Em fevereiro de 2011 ingressou no curso de Pós-graduação na Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa – MG, nível de mestrado, pelo programa da Zootecnia na área de Nutrição e Produção de Monogástrico, concluindo-o em primeiro de março de 2013, submetendo-se à defesa de dissertação.

INDICE

Lista de tabelas	8
Resumo	9
Abstract	10
Introdução	11
Revisão de literatura	12
1. Minerais: Aspectos gerais	12
2. Absorção e homeostase do cálcio	14
2.1. Transporte paracelular (passivo)	15
2.2. Transporte transcelular (ativo)	15
3. Fontes de cálcio utilizadas na formulação das dietas	17
4. Digestibilidade e disponibilidade das fontes de cálcio	18
5. Granulometria das fontes de cálcio	20
6. Solubilidade dos fosfatos	21
Material e Métodos	23
Resultados e discussão.....	28
Conclusão	31
Referências bibliográficas	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição dos tratamentos.....	23
Tabela 2. Composição centesimal e calculada da dieta basal.....	24
Tabela 3. Composição e relação entre minerais dos tratamentos experimentais.....	25
Tabela 4. Percentual de substituição da ração basal pelos suplementos.....	25
Tabela 5. Distribuição do tamanho de partículas das fontes de cálcio e do diâmetro geométrico médio (DGM).....	29
Tabela 6. Parâmetros relacionados ao metabolismo do cálcio de diferentes fosfatos método de coleta de fezes total e com o uso do indicador.....	29
Tabela 7. Coeficiente de digestibilidade aparente e verdadeiro obtido pelo método da coleta total de fezes e com o uso do indicador.....	30

RESUMO

SANTANA, Ana Lúcia Almeida, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2013. **Digestibilidade do cálcio de fontes minerais avaliadas em suínos.** Orientador: Juarez Lopes Donzele. Coorientador: Alexandre de Oliveira Teixeira.

Objetivou-se determinar os coeficientes de digestibilidade aparente e verdadeiro de cálcio em diferentes fontes minerais para suínos utilizando duas metodologias. Foram utilizados 42 suínos híbridos machos castrados, com peso inicial de $30\text{kg} \pm 2,8\text{kg}$, distribuídos em delineamento em blocos casualizados num arranjo fatorial (2×7), sendo duas metodologias e sete tratamentos, os quais compreenderam uma dieta basal (DB) e seis dietas contendo diferentes fontes de cálcio, com quatro repetições por tratamento e um suíno por unidade experimental. Os animais foram alojados em gaiolas de metabolismo por 12 dias para coleta de fezes e urina. Não houve interação entre os fatores estudados. Não houve diferença ($P > 0,05$) entre as fontes de cálcio para os coeficientes de digestibilidade verdadeira pelo método de coleta total. Houve diferença entre as fontes de minerais para os coeficientes de digestibilidade aparente e verdadeira pelo método do indicador fecal ($P < 0,05$). Os valores médios dos coeficientes de digestibilidade verdadeira, determinado pelo método de coleta total foram: calcário calcítico – 81,89%; Fosfato bicálcio A – 77,52%; Fosfato bicálcico B – 85,08%; Fosfato microgranulado A 80,89%; Fosfato microgranulado B 83,52%; Fosfato microgranulado C 86,85% e pelo método do indicador fecal: calcário calcítico – 83,06%; Fosfato bicálcio A – 84,22%; Fosfato bicálcico B – 86,23%; Fosfato microgranulado A 82,42%; Fosfato microgranulado B 84,78%; Fosfato microgranulado C 89,86%, respectivamente. Ambos os métodos de coleta fecal podem ser utilizados na determinação da digestibilidade do cálcio.

ABSTRACT

SANTANA, Ana Lúcia Almeida, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, March, 2013. **Calcium digestibility in mineral sources for pigs.** Adviser: Juarez Lopes Donzele. Co-adviser: Alexandre de Oliveira Teixeira.

The purpose of this study was to determine the apparent total tract digestibility of Calcium and the true total tract digestibility of Calcium in different sources of minerals to pigs. A total of 42 barrows with average initial weight of $30 \text{ kg} \pm 2,8 \text{ kg}$ were used. The pigs were divided into experimental design of randomized blocks in a factorial diagram (2X7) with two methodologies and seven treatments. The treatments were one basal diet and six diets containing different sources of Calcium, four replicates and one pig as experimental unit. The animals were allocated in metabolism cages by 12 days for feces and urine collection. Has had no interaction among study factors. Has had no difference ($P>0,05$) among the sources of Calcium for the true total tract digestibility by total collection of feces method. Has had difference ($P<0,05$) among mineral sources for the total tract digestibility and for the true total tract digestibility by fecal indicator method. The true total tract digestibility by total collection method was in percent (%): Limestone -81,89; Dicalcium phosphate A -77,52; Dicalcium phosphate B - 85,08; Granulated phosphate A - 80,89; Granulated phosphate B - 83,52; Granulated phosphate C - 86,85. The true total tract digestibility by fecal indicator method was in percent (%): Limestone - 83,06; Dicalcium phosphate A - 84,22; Dicalcium phosphate B - 86,23; Granulated phosphate A - 82,42; Granulated phosphate B - 84,78; Granulated phosphate C - 89,86. Both methods can be used to determine the digestibility of Calcium in diets to swine.

INTRODUÇÃO

O cálcio é essencial para todos os seres vivos, sendo o elemento de maior concentração no organismo. A maior parte do cálcio presente no organismo constitui o esqueleto (99%) e o restante (1 a 2%) encontra-se distribuída nos tecidos e fluídos corporais, na forma ionizada (Ca^{2+}) fisiologicamente ativa e na forma não ionizada, unido a proteínas, principalmente a albumina. O cálcio plasmático está envolvido em vários processos fisiológicos, como regulação da atividade de sistemas enzimáticos, funções neurais, contração muscular e demais funções reguladoras do organismo (Leenson & Summers, 2001; Bertechini, 2006).

Os minerais não são sintetizados pelo organismo e precisam ser fornecidos via dieta (Maiorka e Macari, 2002), sendo os alimentos naturais, de origem vegetal ou animal, a principal fonte, porém, nem sempre esses alimentos disponibilizam a quantidade para atender a necessidade do organismo (Fiorini, 2008). A suplementação do cálcio está em função dos ingredientes das rações, pois a concentração deste mineral varia com os alimentos fornecidos como fonte de cálcio, além de fatores intrínsecos do animal, como potencial genético, sanidade, demais nutrientes presentes na ração, dentre outros fatores (Mc Dowell, 1992), o que favorece ou não a digestibilidade e conseqüentemente a disponibilidade do mineral para o organismo.

Um dos problemas na alimentação dos suínos está relacionado com a digestibilidade dos minerais, pois nos principais ingredientes da dieta, milho e soja, boa parte desses encontram-se complexados com o ácido fítico (Selle et al., 2006), tornando necessário a inclusão de fonte inorgânica na ração. Entretanto, as características físicas e químicas da fonte pode afetar negativamente a digestibilidade e conseqüentemente a disponibilidade do mineral. A solubilidade da fonte, por exemplo, é comprometida em pH tendendo ao básico, encontrado no intestino do animal, o que dificulta sua absorção (Bronner, 1998) comprometendo a digestibilidade. A granulometria e a relação cálcio:fósforo da dieta também podem comprometer a digestibilidade do mineral.

Alguns métodos de coleta fecal têm sido utilizados para determinação da digestibilidade dos alimentos e nutrientes, dentre eles, para monogástricos, estão os métodos de coleta total e o método do indicador fecal (cinza ácida insolúvel - CAI),

métodos direto e indireto, respectivamente, entretanto, os dados obtidos ainda são contraditórios.

A literatura é escassa de estudos conduzidos para elucidar a digestibilidade verdadeira das fontes de cálcio utilizadas nas dietas para suínos. Uma vez tendo valores reais da digestibilidade dos minerais para as espécies monogástricas, a inclusão nas dietas poderia ser reduzida e o espaço disponibilizado para inclusão destes seria preenchido por energia e/ou proteína, minimizando ainda a poluição ambiental pelo excesso de mineral na excreta.

Desta forma, objetivou-se determinar os coeficientes de digestibilidade aparente e verdadeiro do cálcio em diferentes fontes de minerais utilizando duas metodologias.

REVISÃO DE LITERATURA

1. MINERAIS: ASPECTOS GERAIS

Todos os organismos vivos apresentam quantidades variáveis de minerais, que são necessários para manter seu metabolismo fisiológico. Por isso, os minerais são de grande importância para o desenvolvimento das espécies. Constantemente tem se buscado a quantidade e a forma ideal de suplementação mineral na dieta, uma vez que a sua deficiência pode causar prejuízos ao organismo animal (Maiorka e Macari, 2002).

Os minerais não podem ser decompostos ou sintetizados por reações químicas, sendo necessária a suplementação nas dietas dos animais. Em termos nutricionais, aqueles minerais que são necessários em grandes quantidades pelos organismos são classificados como macrominerais, enquanto que outros minerais necessários em menor quantidade são classificados como microminerais ou elementos traços. É importante salientar que, apesar de microminerais serem necessários em quantidades ínfimas pelos animais, frequentemente tem papel

fundamental em várias rotas metabólicas essenciais para o crescimento e a vida (Maiorka e Macari, 2002).

O cálcio (Ca^{+2}), classificado como macromineral, é um metal de baixa dureza, prateado, que reage facilmente com o oxigênio do ar e com a água. Na natureza é encontrado principalmente como constituinte de rochas, como calcários, mármore (CaCO_3), gipso (Sulfato de cálcio ou gesso - $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) e fluorita (CaF_2). Ocorrendo também em dentes, cascas de ovos, pérolas e nas conchas de muitos animais marinhos, sendo considerado o quinto elemento mais abundante da terra (Peixoto, 2004).

É um elemento essencial para todos os seres vivos, o mais abundante no organismo, considerado como um dos principais constituintes dos ossos (99%) e apenas 1 a 2% dos demais tecidos corpóreos (McDowell, 1992).

Essa pequena fração (1 a 2%), encontram-se distribuídos nos tecidos e fluídos corporais, na forma de íons livres, ligados a proteína do soro e complexados a ácidos orgânicos ou inorgânicos (González & Silva, 2006), apresentando importantes funções no organismo animal, como manutenção da permeabilidade normal das células, auxiliando na contração muscular, transmissão do impulso nervoso, ativação e estabilização de sistemas enzimáticos e outras funções reguladoras do organismo. Quando necessário, o osso é reabsorvido para liberar cálcio para estas funções e repor o cálcio perdido diariamente (Bertechini, 2006).

Ou seja, com uma dieta pobre em cálcio, o organismo recorre aos ossos para suprir a sua necessidade metabólica e com isto pode desenvolver a osteoporose - distúrbio osteometabólico caracterizado pela diminuição da densidade mineral óssea (DMO) (Peixoto, 2004). Por isso, sua concentração plasmática é cuidadosamente mantida dentro de uma faixa estreita (9-11 mg/100mL), de modo que sua concentração extracelular na forma ionizada é cerca de 10.000 vezes maior que sua concentração no interior da célula.

O nível plasmático do cálcio é regulado pelo efeito integrado dos hormônios calcitonina e paratormônio (PTH) e pela vitamina D (1,25 - dihidroxicolecalciferol DHC) no trato gastrointestinal e rins e tamponado por grandes quantidades de cálcio de reserva, principalmente no osso. Praticamente metade do cálcio plasmático está na forma de cálcio livre ionizado (Ca^{2+}) fisiologicamente ativo nos tecidos alvo. Cerca de 15% está associado a ânions de baixo peso molecular (citratos, fosfatos) e 40%

está na forma não ionizada, ligados reversivelmente a proteínas plasmáticas (80% está ligado as albuminas e 20% as globulinas) (Eaton & Pooler, 2006).

O fornecimento de cálcio para os animais ocorre através das dietas, e sua suplementação está em função dos ingredientes das rações, pois a concentração deste mineral varia com os alimentos fornecidos como fonte de cálcio, além do potencial genético do animal, níveis de energia das dietas, condições ambientais, sanidade do animal, demais nutrientes presentes na ração, dentre outros fatores (Mc Dowell, 1992).

Os alimentos de origem vegetal, normalmente milho e soja, constituem a base da alimentação dos monogástricos e possuem teores insuficientes de cálcio para suprir as exigências nutricionais, pois o fósforo destes ingredientes está na forma de fitato, complexando outros minerais e nutrientes tornando-os pouco disponível para suínos. Desta forma, há necessidade de fazer uma suplementação de cálcio na dieta para atender estas exigências (Guinotte et al. 1991; Sá et.al., 2004).

A resposta dos animais às concentrações dos minerais na dieta pode ser de três maneiras: níveis muito baixos podem acarretar em sinais de deficiência; quantidades intermediárias resultam em manutenção da homeostase e podem proporcionar alguma reserva nos tecidos; e, níveis muito acima dos requeridos podem acarretar em sinais de toxicidade. Os sinais de deficiência e toxicidade causados pela falta ou excesso do mineral são difíceis de ser evidenciados no início, por isso o conhecimento do limite entre esses dois extremos deve ser constantemente observado quando se busca manter o equilíbrio fisiológico animal (Maiorka e Macari, 2002).

2. ABSORÇÃO E HOMEOSTASE DO CÁLCIO

A absorção de cálcio ocorre ao longo de todo intestino delgado (Hoenderop et al, 2005), principalmente no duodeno e jejuno, por dois mecanismos distintos, o transporte paracelular (passivo) e transcelular (ativo), garantindo ao organismo um adequado suprimento de cálcio, sem que ocorra excesso. A velocidade de absorção do cálcio é maior do que os demais íons, exceto o sódio. Sua absorção pode ser influenciada por fatores intrínsecos dos animais, como idade e pH intestinal e pela

dieta, como tamanho de partícula, vitamina D e a relação Ca:P da dieta (Bertechini, 2006). Como a maioria dos nutrientes, quanto maior a necessidade maior é a absorção, isto até determinado nível de ingestão. Esta absorção é facilitada pelo baixo pH, necessário para a solubilidade destes elementos químicos (Hays & Swenson, 1996).

2.1- Transporte paracelular (passivo)

O transporte passivo de cálcio, sistema não saturável, é a passagem de Ca^{2+} pelo epitélio, sem gastos de energia, mas, extremamente dependente do gradiente eletroquímico. É a principal forma de absorção deste mineral e ocorre ao longo de todo trato gastrointestinal através das junções firmes – espaços intercelulares existentes entre as camadas de células individuais que formam o epitélio (Hoenderop et al., 2005).

Numa dieta com alto nível de cálcio solúvel ou em concentração adequada, há uma rápida absorção no intestino por esta via, em função do gradiente eletroquímico favorável (Bronner, 1998), com isso ocorre a elevação do cálcio iônico no sangue e inibição do apetite (Lobaugh et al., 1981).

Esta via de absorção depende não só de um gradiente de concentração favorável, como também do tempo de permanência da digesta no lúmen intestinal, da solubilidade do mineral no intestino e pH ideal. O Ca^{2+} das fontes inorgânicas, assim como CaCO_3 , calcário, casca de ostras e fosfatos de cálcio, podem ser rapidamente solubilizados pelo meio ácido do estômago (Klasing, 1998).

2.2- Transporte transcelular (ativo)

O transporte ativo de cálcio, sistema saturável, é regulado pela entrada de cálcio no organismo. Diferente do transporte passivo, requer energia metabólica para que ocorra, é dependente da vitamina D e ocorre essencialmente no duodeno e jejuno proximal, ocorrendo pouco no jejuno distal e íleo devido a ausência de sistemas

carreadores específicos dependentes da dihidroxicolecalciferol e pH adequado nestes segmentos intestinais (Hoenderop et al., 2005). Com baixo consumo de cálcio na ração, a absorção de Ca^{2+} acontece principalmente através da via transcelular (Bronner, 2003).

O transporte transcelular ocorre através do enterócito em três etapas, entrada, difusão e extrusão. A eficiência do transporte de cálcio é dependente das proteínas ligadoras, dos transportadores e da bomba, além de ser modulada pela idade, vitamina D e concentração do mineral na dieta (Brown et al., 2005). A forma ativa da vitamina D (DHC) é que estimula as etapas do transporte transcelular pelo aumento da expressão dos transportadores de cálcio, da proteína de ligação e do sistema de expulsão (Hoenderop et al., 2005). Ela atua sobre o DNA do enterócito, induzindo a produção do RNAm, responsável pela codificação da proteína transportadora do cálcio através da membrana celular.

A homeostase do cálcio no organismo é mantida pela ação combinada da absorção de Ca^{2+} no intestino, reabsorção nos rins e trocas nos ossos (Hoenderop et al., 2005). A presença de receptores de membrana Ca-sensíveis nesses órgãos é fundamental para essa regulação e para o adequado desenvolvimento esquelético (Chang et al., 2008).

A concentração de cálcio no sangue e nos tecidos deve ser mantida constante, porém, sabe-se que ocorre uma troca contínua entre o cálcio do plasma sanguíneo e dos ossos, portanto, o cálcio dietético absorvido seria responsável pelo aumento na concentração desse íon na corrente sanguínea se não fosse a rápida deposição mineral no tecido ósseo (Junqueira & Carneiro, 2004).

Em situações de baixa concentração sanguínea, ocorre a mobilização do cálcio dos ossos para o sangue no intuito de manter o equilíbrio orgânico e essa mobilização do cálcio é feita por dois mecanismos. O primeiro é a transferência dos íons dos cristais de hidroxiapatita para o líquido intersticial, do qual o cálcio passa para o sangue e, o segundo mecanismo, sendo de ação lenta, ocorre pela ação do paratormônio (PTH) no tecido ósseo. O PTH aumenta o número de osteoclastos e a reabsorção da matriz óssea, liberando fosfato de cálcio e aumentando a calcemia, atua sobre os rins diminuindo a excreção de fósforo e estimulando a síntese de vitamina D ativa (McDowell, 1992).

Outro hormônio que atua no metabolismo do cálcio para manter normal o seu nível no plasma é a calcitonina, produzido pelas células parafoliculares da tireóide, que age inibindo a reabsorção da matriz óssea e, portanto, a mobilização do cálcio. O estímulo para sua secreção é dado quando os níveis de cálcio estão elevados no sangue (Maiorka e Macari, 2002; Junqueira e Carneiro, 2004).

A homeostase do cálcio no fluido extracelular também sofre efeito da vitamina D, que possui papel importante no metabolismo do cálcio e fósforo, sendo que a deficiência de cálcio pode ser devido à carência desse mineral na dieta ou à falta de vitamina D, responsável pela absorção intestinal do mesmo (Pinheiro, 2009).

3. FONTES DE CÁLCIO UTILIZADAS NA FORMULAÇÃO DAS DIETAS

As fontes de minerais podem ser classificadas em alimentos, quando são de origem vegetal e animal e em suplementos minerais, quando originados de rochas, por exemplo. Entretanto, existe uma alta variação na concentração de minerais nos alimentos, devido à variabilidade nos grãos em decorrência de diferenças no solo de origem e fertilização artificial.

Das fontes de cálcio de origem animal, as principais são as farinhas de carne e ossos, vísceras de aves, peixe, ossos calcinada e ostras e, dentre as fontes inorgânica estão os fosfatos monocálcico, monobicálcico, bicálcico e tricálcico (Rostagno et al., 2011). Todas essas fontes são utilizadas na formulação de dietas para monogástricos, variando normalmente a quantidade utilizada, visto que, há diferenças na concentração deste mineral em função da fonte utilizada, quanto sua forma física e química.

O cálcio e o fósforo encontram-se presente na maioria dos alimentos, mas estão disponíveis principalmente nos ingredientes de origem animal e mineral, uma vez que a maioria dos cereais e grãos apresenta baixos teores de cálcio e fósforo devido à complexação com o ácido fítico. A presença de ácido fítico na dieta reduz substancialmente a disponibilidade do cálcio, uma vez que este é absorvido na forma iônica e o ácido fítico se liga a essa forma, originando compostos insolúveis (fitatos), os quais podem ser degradados pela fitase, como a maioria dos monogástricos não

produz essa enzima, a quantidade de mineral excretado, principalmente pelas fezes, é aumentada (McDoweel, 1992).

O uso correto de cálcio na nutrição animal tem sido motivo de grande preocupação dos profissionais que atuam na área de nutrição de monogástricos, devido a que suas exigências são expressas em cálcio total, apresentam baixo custo e toxicidade, resultando em altos níveis nas rações para os animais. A consequência desta prática é que o cálcio em excesso pode agir como antagonista, formando quelatos insolúveis e dificultando a absorção dos outros minerais especialmente do fósforo (McDonald, 1993).

Nas tabelas brasileiras elaboradas por Rostagno et al. (2011) para aves e suínos, estão discriminadas algumas fontes de cálcio utilizadas na alimentação desses animais e, o conteúdo de cálcio de cada uma delas. Sendo que os fosfatos tricálcico e de algumas rochas, o calcário calcítico e as farinhas de ossos calcinada e de ostras apresentam um percentual de cálcio acima de 30%.

4. DIGESTIBILIDADE E DISPONIBILIDADE DAS FONTES DE CÁLCIO

A digestibilidade de um alimento, expressa em porcentagem, representa o coeficiente de absorção de um nutriente, isto é, o percentual do que foi absorvido em relação ao que foi ingerido.

Para determinar a digestibilidade das fontes de cálcio é importante considerar a diferença quanto à composição química e física da fonte estudada. A granulometria e a solubilidade desses ingredientes, por exemplo, são características fundamentais que interferem na digestibilidade do alimento. Normalmente alimentos, cujas partículas são maiores, permanecem por mais tempo no organismo do animal (Bertechini, 2006) tornando-o mais digestível e conseqüentemente mais disponível se comparado àqueles na forma de pó.

A biodisponibilidade é inversamente proporcional à excreção do mineral pelas fezes e urina. Representa a fração do alimento ingerido que foi digerido e efetivamente utilizado pelo organismo do animal. A biodisponibilidade é entendida como a quantidade do mineral presente na dieta que está prontamente disponível para absorção e utilizado para as funções orgânicas (Bertechini, 2004). O termo

biodisponibilidade tenta incluir os efeitos de vários eventos metabólicos, como digestibilidade, solubilização, absorção, entrada nos órgãos e liberação, transformação enzimática, secreção e excreção. Com exceção da digestibilidade e solubilização, a mensuração dos demais eventos torna-se difícil (Bronner, 1993).

A biodisponibilidade das fontes de cálcio influencia no nível de suplementação, pois as fontes de origem vegetal apresentam menor biodisponibilidade que as de origem animal e estas menos ainda que as de origem mineral, exceto em relação a alguns quelatos orgânicos pela variabilidade em sua eficiência ou velocidade absorptiva (McDowell, 1992).

A análise química de um mineral num alimento ou mistura mineral não fornece informação sobre a disponibilidade do mineral para os animais. O termo “biodisponibilidade” é definido como o grau de absorção de um nutriente ingerido de uma forma que possa ser utilizado pelo metabolismo do animal. Digestibilidade, absorção aparente ou retenção são muitas vezes usados como sinônimos para descrever quanto um nutriente pode ser utilizado pelos tecidos do animal (Ammerman et al., 1995).

Os dados de digestibilidade de cálcio das diferentes fontes de fosfatos sofrem variações em função de alguns fatores, como a granulometria e solubilidade. Para avaliar corretamente a utilização dos fosfatos como fonte de cálcio para suínos, é necessário conhecer a composição química da fonte, a padronização da composição, a biodisponibilidade e digestibilidade dos nutrientes (Teixeira et al., 2004a,b,c), os efeitos sobre o desempenho dos animais (Teixeira et al., 2005a) e os perigos da ingestão de produtos oriundos desses animais (Teixeira et al., 2005b).

A disponibilidade do cálcio depende de vários fatores, entre eles, espécie, estado fisiológico, idade, fontes de cálcio, tipo de dieta e consumo. A disponibilidade do cálcio diminui com o aumento de ingestão. Quando a ingestão de cálcio ultrapassa seus requisitos, a absorção declina independente da disponibilidade das fontes (NRC, 1998).

Na literatura, existe carência de informações sobre a digestibilidade do cálcio em função da estrutura química (tricálcico, bicálcico ou monocálcico), granulometria e solubilidade dos fosfatos, determinadas com suínos com alto potencial genético de deposição de músculo, visto que é recente a introdução desses genótipos no mercado.

Logo, o conhecimento dos valores da digestibilidade verdadeira e relativa do cálcio nos fosfatos para suínos podem diminuir a suplementação de cálcio e permitir

a formulação de rações na base de cálcio:fósforo digestível, sendo mais próximo das exigências deste nutriente para os animais.

5. GRANULOMETRIA DAS FONTES DE CÁLCIO

Os dados de digestibilidade de cálcio nas diferentes fontes de fosfato variam em função de diversos fatores, dentre eles, a característica física da fonte testada. Entre as características físicas, o tamanho da partícula é responsável pela variabilidade nos resultados encontrados de digestibilidade do mineral. Para Potter (1988) é fundamental verificar o grau de moagem dos fosfatos e enfatiza que, sendo maior o tamanho da partícula, maior será a disponibilidade do elemento no alimento.

A granulometria dos ingredientes da ração consiste em verificar as quantidades e suas respectivas porcentagens de material retido nas malhas de um conjunto de peneiras e que fornecida de forma inadequada influencia no estímulo ao consumo de ração, a uniformidade da ração, a digestibilidade dos nutrientes, o custo de moagem e o desempenho dos animais.

A granulometria é o ato de mensurar o tamanho das partículas nas peneiras e, a moagem, é o processo no qual os ingredientes são reduzidos em seu tamanho pela força do impacto, corte ou atrito. Seguindo-se a moagem está o peneiramento, o qual determinará o tamanho das partículas dos ingredientes destinados à fabricação de rações que pode influenciar na digestibilidade dos nutrientes e como consequência no desempenho do animal (Bellaver e Nones, 2000).

A eficiência da digestão dos alimentos pode ser influenciada, entre outros fatores, pela superfície de exposição destes às secreções digestivas, bem como pelo tempo de passagem no trato gastrointestinal dos suínos. Dessa forma, o grau de moagem dos alimentos pode determinar variações no valor da digestibilidade dos nutrientes (Zanotto et al., 1995b).

O tamanho das partículas dos ingredientes destinados à fabricação de rações pode influenciar na digestibilidade dos nutrientes e como consequência no desempenho produtivo (Leandro et al., 2001). Penz e Magro (1998) observaram que a granulometria da ração afeta o consumo de alimento e a digestão dos ingredientes, pela alteração da anatomia do aparelho digestivo e das secreções digestivas.

As fontes de cálcio possuem variações quanto à granulometria da partícula e solubilidade do cálcio (Fassani e Bertechini, 2004), o que pode causar diferença no consumo das rações, portanto, estas variáveis tornam-se imprescindíveis para então atender as necessidades fisiológicas dos animais. Segundo Jardim Filho et al. (2005) o uso indevido destas fontes acarreta prejuízo ao sistema esquelético das aves, ocasionando perdas na qualidade da casca dos ovos e redução da vida produtiva da poedeira.

Através da granulometria dos ingredientes da ração é possível constatar a quantidade e percentual de material retido nas malhas das peneiras e que fornecida de forma inadequada aos animais influencia no estímulo ao consumo de ração, pois interferem na uniformidade da ração.

Entre as características físicas alguns trabalhos (Gillis et al. 1951; Griffith e Schexnailder, 1970; Burnerll et al. 1990) chamam a atenção para o tamanho da partícula dos fosfatos observado com poedeiras em relação à disponibilidade de cálcio (Roland, 1986).

A granulometria, assim como a densidade, permite prever a mixibilidade e capacidade de segregação de partículas do produto, quando em mistura com ingredientes de uso rotineiro na alimentação animal. Produtos excessivamente pulverulentos apresentam menor probabilidade de manter-se em misturas a base de grãos, cereais e oleaginosas. Além disso, fosfatos pulverulentos resultam em problemas de ordem prática no manuseio ao nível de fábrica de ração (Lima et al., 1995).

De acordo com Silva (2012), o DGM ideal de matérias-primas e rações para suínos na fase de crescimento e terminação é de 400 a 550 μm . O uso da granulometria adequada é fator fundamental para obter o máximo desempenho dos animais e ao mesmo tempo, reduzir os custos de produção.

6. SOLUBILIDADE DOS FOSFATOS

Além da granulometria, a solubilidade desses alimentos é também fator preponderante para os resultados de digestibilidade, e conseqüentemente, disponibilidade do mineral para realização das funções vitais.

Um dos problemas na alimentação de suínos está relacionado com a digestibilidade de cálcio e fósforo, uma vez que, nos principais ingredientes da dieta, esses minerais encontram-se complexados com o ácido fítico (Selle et al., 2006). Por esse motivo, as rações para suínos comumente contêm uma fonte inorgânica de minerais. Entretanto, a solubilidade dessa fonte é comprometida em pH tendendo ao básico, encontrado no intestino delgado, o que dificulta sua absorção (Bronner, 1998).

A correlação entre solubilidade e absorção verdadeira em suínos é satisfatória. A solubilidade em ácido cítrico, muito utilizado para fósforo, é maior que 90% para todos os bons fosfatos e menor que 50% para fosfatos com pouca disponibilidade. Alguns fosfatos indisponíveis como o pirofosfato de cálcio e os fosfatos de alumínio ferroso são considerados insolúveis em ácido cítrico 2%. Esta porcentagem de solubilidade não deve ser confundida com absorção, é só uma maneira simples de classificar os fosfatos alimentares em bons, médios e ruins e não está discriminando a diferenciação entre alta qualidade de fosfatos.

Somente a solubilidade em água não deve ser utilizada como indicador da disponibilidade dos fosfatos, uma vez que muitos fosfatos insolúveis em água estão bem disponíveis aos animais (Rosa, 1991). A solubilidade em água subestima a digestibilidade dos fosfatos bicálcicos e a solubilidade em ácido cítrico superestima a digestibilidade de todos os fosfatos alimentícios (Kemme, 1993).

Segundo Lobaugh et al. (1981) sendo a fonte de cálcio mais solúvel, os níveis de cálcio iônico no sangue é rapidamente elevado, inibindo o apetite. De acordo com Axe (1989), a solubilidade *in vitro* dos calcários, e não sua simples granulometria é o melhor preditor da resposta de aves poedeiras. Zhang & Coon (1997) observaram aumento de retenção de calcário na moela das aves quando o nível de cálcio da ração foi alto ou a solubilidade *in vitro* do calcário foi baixa, além de menor solubilidade *in vivo* do cálcio quando aumentaram o nível de cálcio na dieta.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Setor de Suinocultura do Departamento de Zootecnia na Universidade Federal de Viçosa, nos meses de fevereiro e março de 2012.

Para execução do projeto, o mesmo foi submetido, avaliado e aprovado pelo Comitê de Ética para Uso de Animais do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa, processo 29/2011.

Foram utilizados 42 suínos híbridos, machos castrados, com peso vivo inicial de $30\text{kg} \pm 2,8\text{kg}$, distribuídos em delineamento em blocos casualizados num arranjo fatorial 2×7 , sendo dois métodos de coleta: coleta de fezes total e coleta com indicador – Cinza Insolúvel em Ácido (CIA) x sete dietas, as quais compreenderam uma dieta basal (DB) e seis dietas contendo diferentes fontes de cálcio, com quatro repetições por tratamento e um suíno por unidade experimental (Tabela 1).

Tabela 1. Composição dos tratamentos.

Tratamentos	Composição	% de Ca
T1	Ração basal (RB)	0,06
T2	Ração basal + calcário calcítico (CC)	0,45
T3	Ração basal + fosfato bicálcico pó 18% (FPA)	0,45
T4	Ração basal + fosfato bicálcico pó 19,5% (FPB)	0,45
T5	Ração basal + fosfato microgranulado 18% (FMA)	0,45
T6	Ração basal + fosfato microgranulado 20% (FMB)	0,45
T7	Ração basal + fosfato microgranulado 21% (FMC)	0,45

Os animais foram alojados individualmente em gaiolas de metabolismo semelhantes às descritas por Pekas (1968), instaladas em galpão de alvenaria com piso de concreto e coberto com telhas francesas, onde permaneceram por um período de 11 dias, sendo sete dias de adaptação às gaiolas e às dietas experimentais e quatro dias para coleta de fezes e urina.

Utilizou-se uma ração basal, formulada com aminoácidos industriais, contendo 0,06% de cálcio, para atender as exigências nutricionais dos suínos na fase de crescimento (Rostagno et al., 2011), exceto para cálcio (Tabela 2).

Tabela 2. Composição centesimal e analisada da dieta basal.

Composição centesimal	
Ingredientes	Quantidade (%)
Milho moído	68,798
Farelo de soja 45%	15,904
Glúten de milho 60%	6,000
Açúcar	3,000
Amido	3,000
Indicador (celite)	1,000
Óleo de soja	1,000
L- lisina HCL	0,449
L- treonina	0,071
DL- metionina	0,029
L- triptofano	0,029
Sal comum	0,409
Suplemento mineral ¹	0,100
Suplemento vitamínico ²	0,100
Cloreto de colina	0,100
BHT	0,100
Total	100,000
Composição analisada	
Nutriente	Quantidade
Cálcio (%)	0,060
Ener. Met. Suíno (Mkal/Kg)	3,348
Fósforo total (%)	0,289
Lisina Dig Suínos (%)	0,927
Met.+ Cist. Dig. Suínos (%)	0,547
Metionina Dig. Suínos (%)	0,291
Proteína bruta (%)	16,820
Triptofano Dig. Suínos (%)	0,167
Treonina Dig. Suínos (%)	0,603
Sódio (%)	0,180

²Composição por kg do produto: Fe, 180 g; Cu, 20 g; Co, 4 g; Mn, 80 g; Zn, 140 g; I, 4 g e veículo q.s.p., 1.000 g.

¹Composição por kg do produto: Vit A, 9.000.000 UI; Vit D3, 1.500.000 UI; Vit E, 10.000 UI; Vit B1, 2 g; Vit B2, 5 g; Vit B6, 30 g; Ácido Pantotênico 25 g; Vit K3, 4 g; Vit B12, 40 mg; Ácido Nicotínico 40 g; Antioxidante, 30 g; selênio, 23 mg e veículo q.s.p., 1.000 g.

Os suplementos (fontes de cálcio) avaliados foram adquiridos em estabelecimentos comerciais em Minas Gerais e foram enviadas para análise física e química (Tabela 3) seguindo a metodologia descrita pelo Compêndio Brasileiro de Alimentação Animal (2009) nº 38.

Tabela 3. Composição e relação entre minerais dos tratamentos experimentais.

Tratamentos	Fontes de Cálcio	Composição física		Composição química %	
		Granulometria	Solubilidade	P	Ca
T1 - RB	Orgânica	-	-	0,07	0,060
T2 - CC	Calcário calcítico	-	-	-	37,70
T3 - FPA	Fosfato Bicálcico	Pó	15	18	20,80
T4 - FPB	Fosfato Bicálcico	Pó	10	19	23,60
T5 - FMA	Fosfato Monobicálcico	Granulado	15	18	21,10
T6 - FMB	Fosfato Monobicálcico	Granulado	35	20	18,40
T7 - FMC	Fosfato Monobicálcico	Granulado	55	21	15,00

Análise química e física realizada no Laboratório de Análises Mineraias e Físico-Químicas para Nutrição Animal e Fertilizantes da Rodes Análises Químicas Ltda. (%).

Esses suplementos substituíram a ração basal em quantidades variadas, de modo a atingir 0,45% de cálcio total nas rações experimentais. O percentual de substituição basal pelos suplementos, bem como o conteúdo total de cálcio calculado e analisado dos suplementos e das dietas experimentais estão descritas na Tabela 4.

Tabela 4. Percentual de substituição da ração basal pelos suplementos.

Fontes	Conteúdo de Ca ¹	Subst. do suplement. ²	Ca dieta experiment. ³	Ca dieta experiment. ⁴
Calcário calcítico	37,70	1,034	0,450	0,449
Fosfato bicálcico pó A	20,80	1,875	0,450	0,437
Fosfato bicálcico pó B	23,60	1,652	0,450	0,456
Fosfato microgranulado A	21,10	1,848	0,450	0,450
Fosfato microgranulado B	18,40	2,119	0,450	0,453
Fosfato microgranulado C	15,00	2,600	0,450	0,475

¹ Valor analisado pelo Laboratório de Análises Mineraias e Físico-Químicas para Nutrição Animal e Fertilizantes da Rodes Análises Químicas Ltda. (%).

² Substituição do suplemento na matéria natural (Kg)

³ Valor calculado (%).

⁴ Valor analisado no Laboratório de Nutrição Animal – DZO – UFV (%).

Foi adicionado nas rações experimentais 1% de celite[®] - Cinza Insolúvel em Ácido (CIA), como indicador. Os animais foram alimentados duas vezes ao dia, as sete e as 16 horas. No período de adaptação o fornecimento de ração foi à vontade, com coleta de sobra para controle do consumo e, no período de coleta a quantidade de ração foi fornecida em função do peso metabólico dos animais ($PV^{0,75}$). No primeiro e no quarto dia de coleta a ração foi marcada com 0,5% de óxido férrico (Fe_2O_3) indicando inicio e fim da coleta de fezes. A água foi fornecida a vontade durante todo o período experimental.

As fezes excretadas a cada período de 24 horas foram coletadas, pesadas e acondicionadas em sacos plásticos, identificados e armazenados em freezer (-18°C) até o final do período de coleta, quando foram descongeladas, pesadas, homogeneizadas, feita amostragem composta e secas em estufas ventiladas a 55°C, por 72 horas. Posteriormente, as amostras foram moídas e armazenadas em recipientes de vidro para análises posteriores.

Da mesma forma, a urina excretada por um período de 24 horas teve o volume mensurado e retirado uma alíquota de 100mL/dia, sendo acondicionada em recipientes de vidro, previamente identificados e armazenados em geladeira até o final do período de coleta, quando foram homogeneizadas, novamente amostradas e encaminhada para laboratório. Colocou-se nos baldes para coleta de urina uma solução de HCl 1:1 para evitar a proliferação de bactérias.

Para o registro da temperatura ambiental utilizou-se o termômetro de máxima e mínima e, para o cálculo de umidade relativa utilizou-se o psicrômetro de bulbo seco e bulbo úmido.

As análises dos teores de matéria seca (MS) e cálcio total foram realizadas no Laboratório de Nutrição Animal do Departamento de Zootecnia da UFV, de acordo com as metodologias descritas por Silva e Queiroz (2002) e, para análise do indicador (CIA), utilizou-se a metodologia descrita por Joselyn (1970).

Foram determinados o consumo de alimento (g), consumo de matéria seca (g), consumo de cálcio total, da ração basal e do alimento (g), o cálcio fornecido pela ração basal e pelo alimento (%), o teor de cálcio nas rações e fezes (%), a excreção de cálcio nas fezes e urina (g), o fator de indigestibilidade (CIA: Cinza Insolúvel em Acido), cálcio endógeno (%) e cinzas. Estes dados foram utilizados nas equações adaptadas por Jongbloed & Kemme (1990) e Rostagno & Featherston (1977) para obtenção dos valores dos coeficientes de digestibilidade aparente e verdadeiro de cálcio dos alimentos.

Os valores para digestibilidade verdadeira foram estimados pela correção das perdas endógenas da dieta com baixo cálcio. As perdas endógenas da dieta com baixo cálcio utilizadas para a estimação da digestibilidade verdadeira do Ca nas rações e nos fosfatos foram de 0,541g Ca/Kg de matéria seca ingerida segundo Salguero Cruz (2009).

A) Método coleta total:

A.1) Coeficiente de digestibilidade aparente do cálcio (CDAp)

$$\text{CDAp (\%)} = \frac{\text{Ca ingerido (g)} - \text{Ca excretado fezes (g)}}{\text{Ca ingerido (g)}} \times 100$$

A.2) Coeficiente de digestibilidade verdadeira do cálcio (CDV)

$$\text{CDV (\%)} = \frac{\text{Ca ingerido (g)} - (\text{Ca excretado fezes (g)} - \text{Ca endógeno})}{\text{Ca ingerido (g)}} \times 100$$

B) Método do indicador fecal (CAI):

B.1) Fator de indigestibilidade (FI)

$$\text{FI} = \frac{\% \text{ CAI dieta}}{\% \text{ CAI fezes}}$$

B.2) Coeficiente de digestibilidade aparente do cálcio (CDAp)

$$\text{CDAp (\%)} = \frac{\% \text{ Ca dieta} - (\% \text{ Ca fezes} \times \text{FI})}{\% \text{ Ca dieta}} \times 100$$

B.3) Coeficiente de digestibilidade verdadeira do cálcio (CDV)

$$\text{CDV (\%)} = \frac{\% \text{ Ca dieta} - (\% \text{ Ca fezes} \times \text{FI} - \% \text{ Cae} \times \text{Fle})}{\% \text{ Ca dieta}} \times 100$$

Onde, Cae = cálcio endógeno excretado

Fle = fator de indigestibilidade da dieta com baixo cálcio

A análise estatística das variáveis estudadas foi realizada utilizando o programa SAEG versão 9.1 (UFV, 2001). Os dados foram submetidos à análise de variância. As médias dos fatores principais e das interações foram comparadas pelo teste de Tukey a 5%.

Modelo estatístico: $Y_{ijk} = \mu + F_i + M_j + FM_k + e_{ijk}$

Onde, Y_{ijk} = valor observado na parcela relativa à fonte i e ao método j;

μ = média geral do experimento;

F_i = efeito devido à fonte i: 1, 2, 3, 4, 5 e 6;

M_j = efeito devido ao método j: 1 e 2;

FM_k = efeito da interação entre as fontes de cálcio e os métodos de coleta;

e_{ijk} = efeito devido aos fatores não controlados (erro aleatório).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados foram obtidos sob condições de temperatura média mínima e máxima, respectivamente de $22 \pm 2,99^\circ\text{C}$ e $27 \pm 2,01^\circ\text{C}$, e umidade relativa de $78,66 \pm 2,71\%$. A temperatura média registrada nesse ambiente pode ser considerada como termoneutra por estar entre 15 e 27°C , limite de temperatura inferior e superior estabelecida para essa categoria (Orlando et al., 2005; Leal & Nããs, 1992; Perdomo et al. 1985). A temperatura é um dos fatores de interferência na digestibilidade de nutrientes. Kiefer et al. (2012) observaram maior coeficiente de digestibilidade de cálcio quando as dietas foram fornecidas a suínos submetidos à termoneutralidade.

Os dados de granulometria das fontes de cálcio são apresentados na tabela 5. Os fosfatos na forma de pó (A e B) apresentam maior percentual de partículas de tamanho abaixo de $0,15\text{mm}$ e os fosfatos microgranulados apresentam granulometria média superior a $0,5\text{mm}$. O diâmetro geométrico médio das fontes variou de 400 a $900 \mu\text{m}$. De acordo com Silva (2012), o DGM ideal de matérias-primas e rações para suínos na fase de crescimento e terminação é de 400 a $550 \mu\text{m}$. O uso da granulometria adequada é fator fundamental para obter o máximo desempenho dos animais e ao mesmo tempo, reduzir os custos de produção.

Tabela 5. Distribuição do tamanho de partículas das fontes de cálcio e do diâmetro geométrico médio (DGM).

Malha	Unidade	Fosfatos testados				
		FPA	FPB	FMA	FMB	FMC
Malha # 09 - 2,00 mm	% Retido	0,07	0,02	0	0	0
Malha # 12 - 1,41 mm	% Retido	0,61	0,34	3,6	4,8	1,37
Malha # 20 - 0,84 mm	% Retido	2,17	3,18	17,5	22,1	30,1
Malha # 35 - 0,50 mm	% Retido	5,4	10,3	30,3	26,9	54,5
Malha # 60 - 0,25 mm	% Retido	8,7	13,1	17,2	17,5	11,3
Malha # 100 - 0,15 mm	% Retido	12	14,7	8,3	13	1,79
DGM	µm	415,07	438,33	767,51	756,08	944,68

mm= milímetro; µm= micrômetro

Na tabela 6 estão descritos os dados referentes ao balanço de cálcio das fontes testadas. Não houve diferença ($P>0,05$) entre as fontes para nenhum dos parâmetros avaliados.

Tabela 6. Parâmetros relacionados ao balanço do cálcio de diferentes fontes.

Parâmetro	CC	FPA	FPB	FMA	FMB	FMC	CV (%)
Ca consumido (g/per)	19,58	18,48	19,97	18,35	20,96	18,34	15,48
Ca fezes (g/per)	6,09	6,79	5,71	5,89	6,50	5,23	26,15
Ca urina (g/per)	0,015	0,007	0,003	0,002	0,024	0,010	90,29
Ca endógeno (g/per)	2,16	2,10	2,20	2,00	2,39	2,10	15,42
Ca retido (g/per)	12,81	11,55	13,80	12,66	14,04	12,63	14,58
Ca retido %	64,58	62,92	68,29	69,03	66,10	69,03	7,56

CV = Coeficiente de Variação (%); (g/per) = gramas no período de coleta.

Observou-se que, a quantidade de cálcio excretada na urina dos suínos em todos os tratamentos foi muito baixa, o que causou um aumento exacerbado no coeficiente de variação. De acordo com Rostagno & Sakomura (2007) a excreção de alguns minerais pela urina, como o cálcio, é bastante reduzida, sendo bastante expressiva nas fezes, principal forma de excreção desse mineral.

Kiefer et al. (2012) trabalhando com a adição de fitase na dieta de suínos para avaliar a digestibilidade de nutrientes em condições de termoneutralidade encontraram excreção fecal de cálcio de 2,70%, valor maior que o encontrado no presente trabalho, no qual obteve-se média de 1,58% (6,35g) na excreção fecal de cálcio.

Os coeficientes de digestibilidade aparente e verdadeiro, determinados a partir de dados obtidos sob duas metodologias de coleta (coleta total e indicador fecal) estão apresentados na tabela 7.

Tabela 7. Coeficiente de digestibilidade aparente e verdadeiro obtido pelos métodos da coleta total e do indicador fecal.

Variável	Método	CC	FPA	FPB	FMA	FMB	FMC	CV
CDAF	Col.Total	76,01	71,57	79,14	74,91	77,54	80,80	7,81
	Indicador	83,76a	79,61ab	83,48ab	77,24b	81,30ab	85,88a	4,45
Média		79,88	75,59	81,31	76,07	79,42	83,34	
CDVF	Col.Total	81,89	77,52	85,08	80,89	83,52	86,85	7,24
	Indicador	83,06b	84,22b	86,23ab	82,42b	84,78ab	89,86a	3,55
Média		82,47	80,87	85,65	81,65	84,15	88,35	

Médias diferentes na linha diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. CDAF = Coeficiente de Digestibilidade Aparente do Fosfato; CDVF = Coeficiente de Digestibilidade Verdadeiro do Fosfato; CV = Coeficiente de Variação.

Não houve interação entre os fatores estudados (fontes minerais x método de coleta) para digestibilidade aparente e verdadeira do cálcio, indicando que ambos os métodos podem ser utilizados para a determinação da digestibilidade de nutrientes. Salguero Cruz (2009) trabalhando com dietas contendo diferentes fontes de cálcio e avaliando os dois métodos de coleta não observou interação entre os fatores.

Não houve diferença ($P > 0,05$) entre as fontes de cálcio para os coeficientes de digestibilidade aparente e verdadeiro pelo método da coleta total. Salguero Cruz (2009) não obteve diferença entre as fontes para os coeficientes ao avaliar o método de coleta total.

Houve diferença ($P < 0,05$) entre as fontes de cálcio para os coeficientes de digestibilidade aparente e verdadeiro pelo método do indicador fecal. A digestibilidade aparente foi maior nos animais que consumiram as dietas CC e FMC, as dietas FPA, FPB e FMB obtiveram valores intermediários e o tratamento FMA o menor ($P < 0,05$) valor. A digestibilidade verdadeira foi maior nos animais que consumiram a dieta FMC, as dietas FPB e FMB obtiveram valores intermediários e os tratamentos CC, FPA e FMA o menor ($P < 0,05$) valor.

Segundo Griffith & Schexnaider (1970), ocorre maior disponibilidade de cálcio nas fontes cujas partículas são maiores, por ocorrer maior retenção do alimento na parte superior do trato gastrintestinal. Esta retenção propiciaria maior período de permanência do alimento em ambiente ácido, ocasionando maior solubilização do alimento.

Não houve diferença ($P>0,05$) entre os métodos de coleta. Observou-se valores médios maiores ($P<0,05$) pelo método do indicador fecal em comparação ao método de coleta total. Bünzen et al. (2009) compararam os métodos de coleta total e do indicador fecal e não verificaram diferenças entre eles para os coeficientes de digestibilidade aparente e verdadeiro.

Salguero Cruz (2009) trabalhando com dietas contendo 0,37% de cálcio total não encontrou diferença entre as fontes de cálcio nem interferência dos métodos de coleta fecal na digestibilidade do cálcio. O valor dos coeficientes de digestibilidade verdadeiro de cálcio encontrado pela autora para o fosfato bicálcico e para o calcário calcítico foram, respectivamente, 84,80 e 79,36% ao utilizar o método de coleta total e 87,33 e 84,55% utilizando o método do indicador fecal. Esses valores foram ligeiramente maiores que os coeficientes de digestibilidade determinados no presente experimento.

As dietas experimentais utilizadas no trabalho de Salguero Cruz atendiam 0,37% de cálcio, valor inferior ao utilizado nas dietas do presente trabalho (0,45%), o que pode ter interferido nos resultados, já que há indícios de que com o aumento de cálcio na dieta afeta a digestibilidade pelo menor aproveitamento no trato gastrointestinal. Além disso, a autora trabalhou em condição de temperatura máxima de 22°C, enquanto que neste trabalho a temperatura máxima atingiu 28°C. A temperatura é fator de interferência na digestibilidade do cálcio e outros nutrientes.

CONCLUSÕES

Os valores médios de digestibilidade verdadeira, determinado pelo método de coleta total são: calcário calcítico – 81,89%; Fosfato bicálcio A – 77,52%; Fosfato bicálcico B – 85,08%; Fosfato microgranulado A 80,89%; Fosfato microgranulado B 83,52%; Fosfato microgranulado C 86,85% e pelo método do indicador fecal: calcário calcítico – 83,06%; Fosfato bicálcio A – 84,22%; Fosfato bicálcico B – 86,23%; Fosfato microgranulado A 82,42%; Fosfato microgranulado B 84,78%; Fosfato microgranulado C 89,86%, respectivamente.

O método da coleta total e o método do indicador fecal (CIA) não interferiram na digestibilidade do cálcio, permitindo inferir que ambos os métodos podem ser utilizados para determinação da digestibilidade de cálcio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMMERMAN, C. B.; BAKER, D. H.; LEWIS, A. J. **Bioavailability of nutrients for animals – Amino acids, minerals and vitamins**. San Diego: Academic Press, Inc., 1995. 441 p.
- AXE, D. Solubility should be used in selection of limestone product. **Feedstuffs**, v.61, n.53, p.16-20, 1989.
- BELLAVER, C.; NONES, K. A IMPORTÂNCIA DA GRANULOMETRIA, DA MISTURA E DA PELETIZAÇÃO DA RAÇÃO AVÍCOLA. Concórdia: EMBRAPA_CNPSA o **IV SIMPÓSIO GOIANO DE AVICULTURA, 2000**. Disponível em <
http://www.cnpsa.embrapa.br/sgc/sgc_publicacoes/publicacao_s3f21x6f.pdf>
- BERTECHINI, A. G. **Metabolismo dos Minerais**. In.: BERTECHINI, A. G. Nutrição de Monogástricos. Lavras: Editora UFLA – MG, 169 – 211, 2006.
- BERTECHINI, A. G. Absorção e metabolismo de minerais em aves. In: CURSO DE FISILOGIA DA DIGESTÃO E METABOLISMO DOS NUTRIENTES EM AVES, 2004, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: Unesp, 2004. CD-ROM.
- BRONNER, F. Mechanisms of intestinal calcium absorption. **Journal Cell Biochemical**, New York, v.88, n.2, p.387-393, 2003.
- BRONNER, F. Calcium absorption: A paradigm for mineral absorption. **The Journal of Nutrition** 128: 917-920, 1998.
- BRONNER, F. Calcium Handbook of nutritionally essential mineral elements. 1993.
- BROWN, A. J.; KRITS, I.; ARMBRECHT, H. J. Effect of age, vitamin D, and calcium on the regulation of rat intestinal epithelial calcium channels. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, New York, n.437, p. 51-58, 2005.
- BÜNZEN, S., H. S. ROSTAGNO, D. C. LOPES, P. C.; et al. Digestibilidade aparente e verdadeira do fósforo de alimentos de origem animal para suínos. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**. 61: 903–909. 2009b.

- BURNELL, T. W., CROMWELL, G. L., STAHLY, T. S. Effects of particle size on the biological availability of calcium and phosphorus in defluorinated phosphate for chicks. **Poultry Science**, v. 69, p. 1110 – 1117, 1990.
- CHANG, W.; TU, C.; CHEN, T.; BIKLE, D.; SHOBACK, D. The extracellular calcium-sensing receptor (CaSR) is a critical modulator of skeletal development. **Science signaling**, New York, v.1, n.35, p. 1-13, 2008.
- EATON, D. C.; POOLER, J. P. Regulação do equilíbrio do cálcio e do fósforo. IN: **Fisiologia Renal de Vander**, trad. Jahn, M.P. 6ed. Porto Alegre: Artmed, p. 215-227, 2006.
- FASSANI, É.J.; BETERCHINI, A.G.; KATO, R.K. et al. Composição e solubilidade *in vitro* de calcários calcínicos de Minas Gerais. **Ciências Agrotécnica**, v.28, n.4, p.913-918, 2004.
- FIORINI, L. S. Dossiê: Os minerais na alimentação. **Revista Food Ingredients Brail**, n. 4, 48 – 59, 2008.
- GILLIS, M. B., NORRIS, L. C., HEUSER, G. F. The influence of particle size on the utilization of phosphates by chick. **Poultry Science**, v. 30, p. 396 – 368, 1951.
- GONZÁLES, F.H.D.; SILVA, S.C. **Introdução à bioquímica clínica veterinária**. 2.ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006. 360p.
- GRIFFITH, G., SCHEXNAILDER, R. The relation of dietary particle size to phosphorus availability in purified diets. **Poultry Science**, v. 49, p. 1271 –1274, 1970.
- GUINOTTE, F.; NYS, Y. The effects of particle size and origin of calcium carbonate on performance and ossification characteristics in broiler chicks. **Poultry Science**, v.70, p.1908-1920, 1991.
- HAYS, V. W.; SWENSON, M. J. Minerais. **DUKES – Fisiologia dos Animais Domésticos**. Editados por SWENSON, M. J. e REECE, W. O. Editora Guanabara Koogan, 11ª edição, 1996, p. 471-487.
- HOENDEROP, J. G. L.; NILIUS, B.; BINDELS, R. J. M. Calcium absorption across epithelia. **Physiological Reviews**, New York, n.35, p. 373-422, 2005.
- JARDIM FILHO, R. M.; STRINGHINI, J. H.; CAFÉ, M. B.; et al. 2005. Influência das fontes e granulometria do calcário calcínico sobre o desempenho e qualidade da casca dos ovos de poedeiras comerciais. **Acta Scientiarum**, 27: 35-41.
- JONGBLOED, A.W., and KEMME, P. A. 1990. Apparent digestible phosphorus in the feeding of pigs in relation to availability, requirement and environment. Digestible phosphorus in feedstuffs from plant and animal origin. **Neth. Journal Agriculture Science** 38: 567–75.
- JOSLYN, M. A. Methods in food analysis (physical, chemical and instrumental

- methods of analysis). Nova Iorque e Londres: **Academic: Academic press**. 1970.
- JUNQUEIRA, L. C.; CARNEIRO, J. Tecido ósseo. In: _____. **Histologia Básica**. 10ª ed. Rio de Janeiro: Editora Ganabara Koogan S.A., 2004. cap. 8 p. 148 - 149.
- KEMME, P.A., JONGBLOED, A.W., PEET, G.F.V. VAN DER, DELLAERT, B.M., BEERS, S. y DEKKER, R.A. (1993) En: *Stikstof en fosfor in de voeding van eenmagige landbouwhuisdieren in relatie tot de milieu-problematiek*. Kwaliteitsreeks nr. 25, Productschap voor Veevoeder, Den Haag, Nederland.
- KIEFER, C.; SANTOS, T. M. B.; MOURA, M. S.; SILVA, C. M.; et al. Digestibilidade de dietas suplementadas com fitase para suínos sob diferentes ambientes térmicos. **Ciência Rural**, v. 42, n 8, p. 1483-1489, 2012.
- KLASING, K. C. **Comparative Avian Nutrition**. London: CAB International, 1998. 350p.
- LEAL, P.M.; NÃÃS I.A. Ambiência animal. In: CORTEZ, L.A.B.; MAGALHÃES, P.S.G. (Org.). **Introdução à engenharia agrícola**. Campinas, SP : Unicamp. p.121-135, 1992..
- LEANDRO, N. S. M.; STRINGHINI, J. H.; CAFÉ, M. B.; et al. Efeito da Granulometria do Milho e do Farelo de Soja sobre o Desempenho de Codornas Japonesas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 30 (4):1266-1271, 2001.
- LEESON, S.; SUMMER, J. D. **Scott's Nutrition of the Chicken**. 4. Ed. Guelph: University Books, 2001. 591p.
- LIMA, I.L. **Disponibilidade de fósforo e de flúor de alguns alimento e exigência nutricional de fósforo para frangos de corte**. Viçosa, MG: UFV. 121p. Tese (Doutorado em Nutrição de Monogástrico) - Universidade Federal de Viçosa, 1995.
- LOBAUGH, B.; JOSHUA, I. G.; MUZZLER, W. J. Regulation of calcium appetite in broiler chickens. **Journal of Nutrition**, Philadelphia, v.111, p.298-306, 1981.
- MAIORKA, A.; MACARI, M. **Absorção de minerais**. In: MACARI, M.; FURLAN, R.L.; GONZALES, E. *Fisiologia Aviária Aplicada a Frangos de Corte*. 2. ed. Jaboticabal: Funep/Unesp, p. 167-173, 2002.
- MCDONALD, P. E.; GREENHALGH, J. F. D. *Nutrición animal*. Editorial Acribia S. A. Zaragoza, 1993.
- McDOWELL, R. L. Calcium and phosphorus. In: _____. **Minerals in animal and human nutrition**. San Diego: Academic Press, 1992, p.31- 32.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Nutrient requirements of swine**. 10.ed. Washington, D.C.: National Academy Press, 1998. 189p.

- ORLANDO, U.A.D.; OLIVEIRA, R.F.O.; DONZELE, J.L. et al. Níveis de proteína bruta e suplementação de aminoácidos em rações para leitoas mantidas em ambiente de conforto térmico dos 30 aos 60 kg. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.1, p.134-141, 2005.
- PEIXOTO, E. M. A. Elemento Químico: Cálcio. Química Nova na Escola. Nº 20. 2004.
- PEKAS, J.C. 1968. Versatile swine laboratory apparatus for physiologic and metabolic studies. **Journal of Animal Science**. 27: 1303-1306.
- PENZ, A.M.; MAGRO, N. Granulometria de rações: Aspectos fisiológicos. Simpósio sobre granulometria de ingredientes e rações para suínos e aves. **Anais...** Concórdia: EMBRAPA-CNPASA, 1998. p.1-12.
- PERDOMO, C. C.; KOZEN, E. A.; SOBESTIANSKY, J.; SILVA, A. P. da; CORREA, N. I. Considerações sobre edificações para suínos. In: CURSO DE ATUALIZAÇÃO SOBRE A PRODUÇÃO DE SUÍNOS, 4., 1985, Concórdia, SC. [Anais]. Concórdia: EMBRAPA - CNPASA, 1985. Não paginado.
- PINHEIRO, S. R. F. **Níveis de fósforo, de cálcio e de cloreto de sódio para aves de linhagens de crescimento lento criadas em sistema semi-confinado**. Jaboticabal, SP: USP. 116p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Campus de Jaboticabal, 2009.
- POTTER, L. M. Bioavailability of phosphorus from various phosphates based on body weights and toe ash measurements. **Poultry Science**, v. 67, p. 96 – 102, 1988.
- ROLAND, D. A. Egg Shell quality. III. Calcium and phosphorus requirements of commercial leghorns. **World's Poultry Science Journal**, v. 42, p. 154 – 165, 1986.
- ROSA, I.V. Emprego de fontes de fósforo de diferentes solubilidades para bovinos. Em: Mini- Simpósio do Colégio Brasileiro de Nutrição Animal. **Anais...** Campinas. p. 53–78, 1991.
- ROSTAGNO, H. S., FEATHERSTON, W. R. 1977. Estudos de Métodos para a Determinação da Disponibilidade de aminoácidos em pintos. **Sociedade Brasileira Zootecnia**. 6: 64–76.
- ROSTAGNO, H.S., ALBINO, L.F.T., DONZELE, J.L. et al. **Tabelas brasileiras para aves e suínos**. ED. ROSTAGNO, H. S. Viçosa: UFV, 186p., 2011.
- SAKOMURA, N.; ROSTAGNO, H.S. **Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos**. Jaboticabal, SP: FUNEP, 2007. 283p.
- SALGUERO CRUZ, S. C. **Digestibilidade do cálcio de alimentos avaliada em frangos de corte e em suínos com diferentes métodos**. Viçosa-MG: UFV. 70fls. Dissertação (mestrado em Nutrição e Produção de Monogástricos) - Universidade Federal de Viçosa, 2009.

- SÁ, L.M.; GOMES, P. C.; ALBINO, L. F.T. et al. Exigências Nutricionais de Cálcio e sua Biodisponibilidade em alguns alimentos para frangos de corte no período de 1 a 21 dias de idade. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v.33, n.1, p. 157- 168, 2004.
- SELLE, P. H.; RAVINDRAN, V.; BRYDEN, W. L. et al. (2006) Influence of dietary phytate and exogenous phytase on amino acid digestibility in poultry: a review. **Journal Poultry Science** 43, 89–103.
- SILVA, R. A. M. **Granulometria das rações: Efeitos no desempenho de leitões desmamados**. 2012.
- SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. **Análise de alimentos**. Métodos químicos e biológicos. 3.ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2002. 235p.
- TEIXEIRA, A.O., LOPES, D.C., GOMES, P.C., LOPES, J.B., COSTA, L.F., FERREIRA, V.P.A., PENA, S.M., MOREIRA, J.A. Níveis de substituição do fosfato bicálcico pelo monobicálcico em dietas para suínos nas fases de crescimento e terminação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.1, p.142-150, 2005a.
- TEIXEIRA, A.O., LOPES, D.C., RIBEIRO, M.C.T., LOPES, J.B., FERREIRA, V.P.A., VITTI, M.S.S., MOREIRA, J.A., PENA, S.M. Composição química de diferentes fontes de fósforo e deposição de metais pesados em tecidos de suínos. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.57, n.4, p.502-509, 2005b.
- TEIXEIRA, A.O., LOPES, D.C., LOPES, J.B., VITTI, M.S.S., GOMES, P.C., HOSTAGNO, H.S., MOREIRA, J.A., INÁCIO, F. Determinação da biodisponibilidade do fósforo de diferentes fontes por intermédio da técnica de diluição isotópica, com suínos em crescimento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, n.5, p.1231-1237, 2004a.
- TEIXEIRA, A.O., LOPES, D.C., LOPES, J.B., VITTI, M.S.S., MOREIRA, J.A., FERREIRA, V.P.A., PENA, S.M., CALDERANO, A.A. Cinética do radiofósforo em tecidos de suínos em crescimento alimentados com dietas contendo diferentes fontes de fósforo. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.33, n.5, p.1238-1245, 2004b.
- TEIXEIRA, A.O., LOPES, D.C., VITTI, M.S.S., LOPES, J.B., GOMES, P.C., MOREIRA, J.A., PENA, S.M., TEIXEIRA, M.P. Estimativas do fluxo de fósforo entre os compartimentos anatômicos e fisiológicos de suínos alimentados com dietas contendo diferentes fontes de fósforo. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.33, n.5, p.1246-1253, 2004c.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA - UFV. **Sistema para Análises Estatísticas e Genética - SAEG** (Versão 8.0). Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2000.

ZHANG, B.; COON, C.N. The relationship of calcium intake, source, size solubility *in vitro* and *in vivo*, and gizzard limestone retention in laying hens. **Poultry Science**, v.76, n.12, p.1702-1706, 1997.

ZANOTTO, D.L., NICOLAIEWSKY, S., FERREIRA, A.S. et al. 1995b. Granulometria do milho na digestibilidade das dietas para suínos em crescimento e terminação. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, 24(3):428-436.