

Artigo Número 23

MINERAIS QUELATADOS NA NUTRIÇÃO DE AVES E SUÍNOS

Charles Kiefer¹

Introdução

Os minerais estão envolvidos em um grande número de funções metabólicas. Os macroelementos (enxofre, cálcio, fósforo, potássio, sódio, cloro e magnésio) estão envolvidos, em sua grande maioria, em funções estruturais ou fisiológicas. Já os microelementos ou elementos traço (ferro, zinco, cobre, manganês, níquel, cobalto, molibdênio, selênio, cromo, iodo, flúor, estanho, sílica, vanádio e arsênio) possuem funções metabólicas incluindo a resposta imune, reprodução e crescimento. Sua ação primária é a de catalistas em sistemas celulares enzimáticos. Nestes, os minerais agem principalmente em associações com proteínas como proporção fixa de metalenzimas em que a interação entre minerais e enzimas melhora as atividades catalíticas das mesmas (Vieira, 2004).

Deficiências subclínicas de microminerais são um grande problema na produção animal, uma vez que os sintomas não são evidentes e o animal, embora em taxa reduzida, continua o seu crescimento. Primeiramente ocorre o declínio da imunidade e o comprometimento das funções enzimáticas, seguida pela redução do crescimento e da fertilidade e finalmente, o crescimento e a fertilidade são drasticamente reduzidos, evidenciando a deficiência clínica (Fraker, 1983; Wikse, 1992).

Os microminerais possuem baixa biodisponibilidade, o que segundo Mabe (2001) pode estar relacionado com a formação de complexos com outras substâncias no trato digestivo reduzindo a solubilidade desses elementos. Esse fato justifica o interesse crescente em explorar fatores que aumentam a absorção ou metabolização dos elementos traço. Neste sentido, fontes quelatadas ou orgânicas de minerais têm sido utilizadas devido a sua maior biodisponibilidade. Os minerais quelatados ou orgânicos são assim denominados por serem constituídos por íons metálicos ligados a substâncias orgânicas.

Embora produzidos desde a década de 70 pelas indústrias brasileiras, a utilização dos minerais quelatados na nutrição animal é recente e a discussão de sua importância está baseada em suas ações específicas a nível celular e sua maior biodisponibilidade em relação aos minerais inorgânicos. Todavia, os trabalhos científicos sobre o uso de minerais quelatados são limitados. Assim, esta revisão abordará alguns princípios sobre a formação, absorção, biodisponibilidade, resultados e recomendações de utilização dos minerais quelatados na nutrição de aves e suínos.

O que são minerais quelatados?

São denominados quelatos os compostos formados por íons metálicos seqüestrados por substâncias orgânicas como aminoácidos, peptídeos ou complexos polissacarídeos que proporcionam a esses íons alta disponibilidade biológica, alta estabilidade e solubilidade. A palavra "quelato" vem do grego "*chele*" que significa "*garra ou pinça*", um termo adequado para descrever a forma pela qual os íons metálicos polivalentes são ligados aos compostos orgânicos ou sintéticos (Mellor, 1964).

¹ Zootecnista, Estudante de Doutorado na área de Nutrição de Monogástricos na Universidade Federal de Viçosa. charles@zootecnista.zzn.com

Os quelatos são o resultado do compartilhamento de elétrons entre um metal e um ligante. Ligante é a substância orgânica a qual está ligada ao metal (Leeson e Summers, 2001). O ligante geralmente é um ânion ou uma molécula que tenha um átomo com um par de elétrons em valências disponíveis. Os ligantes comuns contêm nitrogênio, oxigênio, enxofre, halogênios ou uma combinação deles devido às suas estruturas eletrônicas. Os ligantes são; não metálicos, portanto; orgânicos (Vieira, 2004).

Segundo Kratzer e Vohra (1996) o quelato é um complexo metálico, onde o metal apresenta mais ligações do que sua valência. E este é ligado a um ligante doador. O complexo possui um átomo de mineral no centro da molécula e um ligante ao seu redor. Quando o ligante possui mais de um átomo doador o complexo se torna um anel heterocíclico que é o anel quelato.

Os minerais quelatados são definidos por Leeson e Summers (1997) como sendo uma mistura de elementos minerais que são ligados a algum tipo de carreador o qual pode ser um aminoácido ou polissacarídeo que possuem a capacidade de ligar o metal por ligações covalentes através de grupamentos aminos ou oxigênio, formando assim uma estrutura cíclica.

Por sua vez, Ensminger e Oldfield (1990) definem quelatos como sendo estruturas cíclicas nas quais um elemento mineral é ligado a agentes carreadores ou quelantes através de ligações covalentes. Esses quelantes têm o papel de aumentar a absorção e a disponibilidade desse mineral no organismo, além de aumentar a sua estabilidade física reduzindo assim a tendência do micromineral de separar-se do alimento.

Segundo Leeson e Summers (2001), existem três grupos de quelatos que são reconhecidos pelo sistema biológico:

- Grupo I: Quelatos que servem de transportadores e de estoque para íons metálicos. Com este tipo de quelato o metal requer um ligante com propriedades químicas e físicas que o quelato é capaz de ser absorvido, transportado no sangue e passar pela membrana celular, enquanto o íon metal é utilizado no local em que é exigido. Ex: aminoácidos, especialmente a cisteína e a histidina e o EDTA.
- Grupo II: Quelatos que são essenciais no metabolismo. Existem um número de quelatos no organismo com estrutura na qual o íon metal está presente na forma quelatada, a qual é necessária para desempenhar funções metabólicas. A hemoglobina é um exemplo deste grupo de quelatos.
- Grupo III: Quelatos que interferem na utilização de cátions essenciais e não possuem valor biológico. Dentre estes quelatos está o ácido fítico (quelato de zinco) que pode interferir com o metabolismo normal por tornar esse mineral essencial indisponível para as funções metabólicas.

Formação dos Minerais Quelatados

Para a formação dos quelatos pode-se lançar mão de numerosas moléculas como ligantes que têm função específica no metabolismo. Elas são de baixo peso molecular e a capacidade oxidativa ou "ligante" depende do tamanho da molécula e da presença de radicais carboxílicos. As principais são os ácidos aminado, ascórbico, cítrico, glucônico e etilenodiaminotetracético (EDTA). Normalmente, um mineral pode fazer a ligação com uma, duas ou várias dessas moléculas para formar um "composto mineral organicamente ligado" ou quelato, podendo assim ser vendido como fonte de mineral.

A afinidade de um quelato com o íon metal pode ser expressa quantitativamente como sendo uma constante de estabilidade. Na Tabela 1 são apresentadas relações de constantes de estabilidade de alguns ligantes. Observa-se que os quelatos formados com

o cobre possuem a maior constante de estabilidade e que para cada ligante a estabilidade dos quelatos varia em ordem decrescente para o cobre, níquel, cobalto, ferro, manganês e magnésio, respectivamente.

TABELA 1: Constante de estabilidade de alguns quelatos comuns (relação 1:1 de Ligante:Íon metal H₂O a 20°C)

Ligante	Cu ⁺⁺	Ni ⁺⁺	Zn ⁺⁺	Co ⁺⁺	Fe ⁺⁺	Mn ⁺⁺	Mg ⁺⁺
Glicina	8,5	6	5	5	4	3	2
Cisteína	-	10	10	-	6	4	4
Histidina	10,5	9	7	7	5	4	4
Histamina	10	7	5	5	4	-	-
EDTA	19	18	16	16	14	13,5	9
Guanosina	6	4	4,5	3	4	3	-
Ácido oxálico	6	5,5	5	4,5	4,5	4	3
Ácido salicílico	11	7	7	7	6	6	-
Tetraciclina	8	6	5	5	5	4	4

Fonte: Leeson e Summers (2001)

A "Association of American Feed Control Officials" – AAFCO (1997) define esses produtos minerais orgânicos da seguinte forma:

- ❖ Quelato metal-aminoácido é um produto resultante da reação de um sal metálico solúvel com aminoácidos na proporção molar, isto é, um mol do metal para um a três moles (preferencialmente dois) de aminoácidos na forma de ligação covalente coordenada. O peso molecular médio dos aminoácidos hidrolisados pode ser, aproximadamente, de 150 dáltons e o peso molecular resultante do quelato não deve exceder a 800 dáltons;
- ❖ Complexo aminoácido-metal é um produto resultante da complexação de um sal metálico solúvel com aminoácido(s);
- ❖ Metal (Complexo aminoácido específico-metal) é o produto resultante da complexação de um sal metálico solúvel com um aminoácido específico;
- ❖ Metal proteinado é o produto resultante da quelação de um sal solúvel com uma proteína parcialmente hidrolisada;
- ❖ Complexo metal-polissacarídeo é o produto resultante da complexação de um sal solúvel com polissacarídeo.

Na Figura 1 são apresentados os diversos tipos de minerais orgânicos existentes. A estrutura química dos minerais orgânicos geralmente utilizados em dietas de aves e suínos é a de um mineral associado por uma ligação covalente a um único aminoácido.

Absorção dos quelatos

As fontes minerais, mais comumente utilizadas na nutrição animal são as inorgânicas (óxidos, sulfatos, cloretos, carbonatos e fosfatos). Quando estas fontes chegam ao estômago, ocorre uma dissociação das moléculas, liberando os íons metálicos como Zn⁺⁺, Mn⁺⁺, etc (Polli, 2002).



FIGURA 1: Diferenciação estrutural entre os diferentes minerais complexados existentes. Adaptado de Polli (2002)

No intestino, o transporte dos íons para o interior das células dá-se pela difusão passiva ou pelo transporte ativo, ou seja; para que esses íons sejam absorvidos, e atinjam a corrente sanguínea, órgãos e tecidos, eles necessitam estar atrelados a um agente ligante ou molécula transportadora, que permita a passagem através da parede intestinal. Muitas vezes estes íons não encontram o agente ligante e acabam sendo excretados. Nessas condições podem ocorrer perdas pela reação com compostos, como colóides insolúveis ou no processo de competição pelos sítios de absorção entre os elementos minerais, com interações antagônicas que inibem a absorção (Herrick, 1993).

Na tentativa de aumentar a disponibilidade para o animal, uma suplementação extra de minerais pode causar efeitos prejudiciais, como diarreia e desequilíbrios, que podem levar a redução da biodisponibilidade de outros minerais, além de não melhorarem sua concentração no sangue e causarem poluição ambiental. Um exemplo disso é o que ocorre com o sulfato de manganês, cuja disponibilidade é baixa, e, quando se aumenta a inclusão deste na dieta o problema é solucionado, mas causa efeito negativo na disponibilidade do fósforo, cálcio e ferro (Leeson e Summers, 1997).

Além disso, existe também um efeito de inibição da absorção de minerais por outras substâncias ou nutrientes quando apresentadas nas formas inorgânicas, dentre elas; o ácido oxálico e fítico, taninos, fibras, dentre outras.

Por sua vez, os minerais quelatados apresentam absorção superior aos inorgânicos, pois, geralmente, usam as vias de absorção das moléculas orgânicas que os ligam, o que faz com que não tenham problemas de interações com outros minerais. A absorção dos minerais quelatados pode ocorrer sob duas formas: o mineral pode ser ligado à borda em escova sendo absorvido pela célula epitelial ou como ocorre na maioria das vezes onde o agente quelante é absorvido levando junto a si o metal (Kratzer e Vohra, 1996).

Segundo Kratzer e Vohra (1996) o mecanismo pelo qual o agente quelante melhora a utilização do mineral, depende da capacidade do ligante seqüestrar o mineral, ou de sua habilidade em competir com outros ligantes, formando complexos solúveis com o mineral.

Para Clydesdale (1998) um ligante forma um composto solúvel com o mineral sendo com isso melhor absorvido pela mucosa intestinal. Conforme Spears (1996) o ligante pode formar um complexo estável no trato intestinal, evitando com isso que o mineral forme complexos insolúveis, dificultando a sua absorção.

No caso dos aminoácidos quelatados, o elemento mineral metálico na molécula é quimicamente inerte por causa da forma de ligação. Esta ligação é estável, não sofrendo dissociação das moléculas quando atingem o estômago.

No jejuno, o aminoácido do mineral quelatado, age como agente transportador, permitindo a passagem do mineral através da parede intestinal para a corrente sanguínea (diretamente para o plasma). A separação do aminoácido quelante dá-se no local onde o elemento mineral metálico será utilizado (Ashmead, 1993).

Biodisponibilidade dos quelatos

A biodisponibilidade de um nutriente é um termo relativo, sempre se referindo ao valor de outro produto usado como padrão. E pode ser definida como a medida da habilidade de um suplemento sustentar os processos biológicos nos animais (McGilliray, 1978). A biodisponibilidade também pode ser definida como a fração do mineral que realmente é absorvida e utilizada pelo animal (Polli, 2002).

Existem muitos fatores que influenciam a biodisponibilidade dos minerais, especialmente dos minerais traço, tais como: nível de consumo do mineral, forma química, digestibilidade da dieta, tamanho da partícula, interações com outros minerais e nutrientes, agentes quelantes, inibidores, estado fisiológico do animal, qualidade da água, condições de processamento, idade e espécie animal (Miles e Henry, 2000).

A partir da observação dos resultados de estudos nos últimos 20 a 30 anos torna-se claro a superioridade de biodisponibilidade dos quelatos quando comparados aos sais. Entretanto, qualquer avaliação que queira realçar a biodisponibilidade como característica de importância dos quelatos deve ter fontes mais solúveis; como os sulfatos, como parâmetro de comparação, uma vez que a disponibilidade de cobre e zinco a partir de óxidos é mínima para aves e suínos (Baker et al., 1991; Cromwell et al., 1989; Han e Baker, 1993).

Além disso, as respostas aos minerais quelatados são mais aparentes quando os níveis de fitatos das dietas são elevados (Wedekind et al., 1992). Desta forma, a vantagem dos minerais quelatados sobre as fontes inorgânicas pode não ser tão evidente em todas as situações, o que pode confundir a interpretação dos resultados. Da mesma forma, quando oferecidos na forma inorgânica, os minerais passam a ter forte interferência entre si.

Em geral a biodisponibilidade dos minerais na forma quelatada é dependente de três condições básicas na estrutura do composto:

- ❖ Da forma de ligação com o metal - Nos quelatos formados com dois ou três aminoácidos, o íon metálico fica inerte na molécula, entrando com facilidade nas vias metabólicas, pois assume a característica da molécula orgânica;
- ❖ Do peso molecular do quelato - O baixo peso molecular é a chave para a absorção como molécula intacta. Se o peso molecular de um quelato for maior do que 800 dáltons, certamente sofrerá prévia hidrólise na luz do trato digestivo e a absorção pela mucosa não será garantida (AAFCO, 1997);
- ❖ Da constante de estabilidade do quelato - Deve ser constituído de dois ou três anéis de aminoácidos quelantes para serem estáveis. Se a constante de estabilização dos aminoácidos é grande, estes irão resistir à ação de peptidases que quebram as ligações peptídicas internas, liberando o átomo de metal na molécula (Ashmead, 1993).

Além disso, a biodisponibilidade dos minerais também varia de acordo com o tipo de fonte mineral (Figura 2).

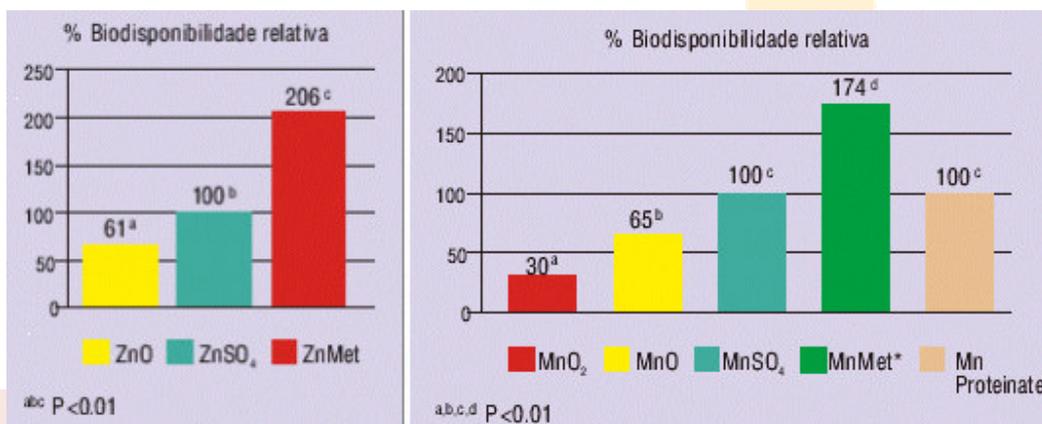


FIGURA 2: Biodisponibilidade relativa de fontes de zinco e manganês. Adaptado de Polli (2002)

Biodisponibilidade do Zinco

Existem muitos fatores que podem modificar a absorção de zinco, sendo que podem ser considerados como ativadores ou inibidores deste processo. Entre os ativadores da absorção estão o ácido picolínico, secretado pelo pâncreas, a Vitamina B₆ que aumenta a secreção de ácido picolínico, o citrato e aminoácidos como glicina, histidina, lisina e metionina. No grupo dos inibidores da absorção estão os ácidos: oxálico e fítico, os taninos, a fibra, o selênio, o ferro e o cálcio. A eficiência do processo de absorção está entre 15 a 40%. Portanto, o zinco é pouco absorvido, sendo excretado em grande proporção pelas fezes.

Por outro lado, na forma orgânica, o zinco está protegido do ácido clorídrico, passa para o duodeno, onde é eficientemente absorvido pelas células da mucosa, carregadas negativamente. Os complexos orgânicos são prontamente absorvidos para a corrente sanguínea, tornando-os altamente biodisponíveis às necessidades orgânicas e funcionais.

Os resultados de biodisponibilidade de fontes orgânicas e inorgânicas são variados. Pimentel et al. (1991) não observaram diferença na biodisponibilidade de zinco, na forma de zinco metionina, quando comparado com a forma inorgânica de zinco, entretanto Wedekind et al. (1992) realizando estudo sobre a biodisponibilidade de diversas fontes de zinco observou uma biodisponibilidade do zinco de 117%, na forma de zinco metionina, em uma dieta purificada, 177% em uma dieta com soja isolada e 206% em uma dieta composta por milho e soja, comparada com 100% de biodisponibilidade do zinco para o sulfato de zinco. Este trabalho demonstra que as vantagens do uso de quelatos em relação à suplementação de minerais inorgânicos parecem não ser necessariamente evidentes em todas as circunstâncias. Aoyagi e Baker (1993) verificaram que a biodisponibilidade aparente do quelato de zinco foi de 106% quando comparada à forma inorgânica de sulfato de zinco (100%).

Biodisponibilidade do Cobre

Aumento na biodisponibilidade do cobre de fontes orgânicas, comparadas às fontes inorgânicas foi observado por Baker et al. (1991) por meio de comparações da quantidade de cobre acumulado no fígado. Aoyagi e Baker (1993) também demonstraram uma melhor biodisponibilidade do cobre na forma orgânica, principalmente devido à molécula do quelato proteger o mineral contra interações com outras substâncias como a

L-cisteína e glutatona reduzida, que são capazes de reduzir a absorção de cobre no intestino. Em outro estudo, Aoyagi e Baker (1993) concluíram que a biodisponibilidade aparente do quelato de cobre foi de 120% quando comparada à forma inorgânica de sulfato de cobre (100%). Guo et al. (2001) verificaram uma biodisponibilidade de 111 e 109% para cobre lisina e cobre proteínato, respectivamente, quando comparados com o sulfato de cobre (100%).

Biodisponibilidade do Ferro

Segundo Underwood (1999), a absorção de ferro nos monogástricos é afetada pela idade, status de ferro no organismo, condições do trato intestinal (sítios de absorção), quantidade e forma química do ferro ingerido e quantidade e proporção de outros minerais e compostos na dieta, os quais podem interagir com o ferro. Os metais divalentes que afetam a absorção de ferro na dieta são o cobre, manganês, cobalto, cádmio, os quais podem competir pelo sítio de absorção do ferro.

Poucos estudos foram conduzidos para determinar a biodisponibilidade de fontes orgânicas de ferro para os animais. Spears et al. (1992) comparando fontes de ferro metionina com fontes inorgânicas concluíram por meio da concentração de hemoglobina que a biodisponibilidade do ferro orgânico foi de 180% quando comparado às formas inorgânicas consideradas como 100%.

Alguns estudos têm avaliado o status de ferro, nos leitões, mediante a suplementação de ferro na gestação. Geralmente, os resultados são pobres quando se utilizam fontes inorgânicas. Por outro lado, a utilização de ferro na forma de quelatos tem melhorado o nível de ferro hepático, formação de hemoglobina e o crescimento dos leitões (Mateos et al., 2004). Uma possível explicação para estes resultados é que o ferro na forma de quelato passa melhor pelas barreiras placentária e mamária. Outra explicação pode ser o fato de que os leitões tiveram acesso às fezes maternas, ricas em ferro, e, assim passaram sem problemas pela barreira digestiva.

Biodisponibilidade de Manganês

Com base na deposição óssea, Baker e Halpin (1987) não observaram diferença na biodisponibilidade de fontes quelatadas e inorgânicas de manganês. Entretanto, Henry et al. (1989) observaram que a biodisponibilidade da fonte orgânica de manganês foi significativamente maior do que as fontes inorgânicas (óxido e sulfato de manganês).

Comparando a biodisponibilidade do quelato de manganês ao óxido de manganês, em dieta composta por milho e farelo de soja, Fly et al. (1989) verificaram que a forma orgânica apresentou biodisponibilidade de 147% comparada a forma de óxido (100%).

Compilando dados sobre a biodisponibilidade de fontes de manganês, Ammerman et al. (1995) concluíram que a biodisponibilidade relativa para o manganês metionina e manganês proteínato foram de 120 e 110%, respectivamente, quando comparadas ao sulfato de manganês (100%).

Avaliando a biodisponibilidade de várias fontes de manganês, em aves, com e sem stress por altas temperaturas, Smith et al. (1995) observaram que a biodisponibilidade de manganês proteínato foi de 125% sob temperatura de conforto e de 145% sob stress por alta temperatura, concluindo que o quelato pode melhorar a disponibilidade dos minerais quando as aves são submetidas a altas temperaturas.

Biodisponibilidade de Selênio

O selênio, na forma orgânica de selenometionina é absorvido pelo trato digestivo através de mecanismo ativo, semelhante ao da absorção de metionina, enquanto o selênio inorgânico e o selenocisteína não são ativamente transportados (Leeson e

Summers, 2001). O seleniometionina é rapidamente absorvido e retido no organismo, mas ele é vagarosamente convertido em selenocisteína a qual é necessária para a síntese de proteínas funcionais (Underwood, 1999).

A biodisponibilidade relativa de selênio, avaliada através da atividade da glutathione peroxidase, não demonstrou diferença entre fontes orgânicas e o selenito de sódio (Ammerman et al., 1995). Contudo, Close (1998) verificou que o selênio orgânico apresenta maior biodisponibilidade (120 a 150%) em relação ao selenito de sódio (100%).

Biodisponibilidade do cromo

Segundo Anderson (1987), a absorção do cromo em fontes inorgânicas é muito baixa, variando de 0,4 a 3%. Esta característica fez com que este micromineral fosse utilizado como um marcador da passagem de alimentos e nutrientes através do trato digestivo. Além disso, as concentrações de cromo nos alimentos são baixas e variáveis (Lukaski, 1999). Estas características, associadas aos benefícios deste micromineral, aumentaram a importância das fontes orgânicas que são melhor absorvidas e utilizadas.

Resposta À Utilização De Minerais Quelatados Nas Dietas

Os minerais quelatados geralmente são mais caros do que as fontes inorgânicas. Assim, tradicionalmente, o uso de fontes inorgânicas é considerado mais econômico. Entretanto, há indicações de que em algumas situações, os minerais quelatados podem atingir fins biológicos que os inorgânicos não podem.

Conforme Patton (1997), os estudos com minerais quelatados sugerem que o uso destes produtos deve ter uma visão diferenciada, pois a simples observação da digestibilidade e absorção através da parede intestinal podem não estar exercendo os questionamentos corretos, e desta forma deve ser avaliado o que ocorre após a absorção sob o ponto de vista metabólico. Na realidade, a determinação das exigências de nutrientes está diretamente relacionada com o tipo de resposta observada. Ganho de peso e conversão alimentar são as medidas tradicionais de investigação das exigências para os macronutrientes. Entretanto, quando se trata de micronutrientes que estão envolvidos em funções específicas, a nível celular, estas medidas nem sempre são as melhores.

Respostas em Aves

Alguns trabalhos, como o de Deyhim e Teeter (1997), têm demonstrado que o uso de minerais quelatados na dieta de frangos de corte tem reduzido a incidência de ascite de 5 para 2%. Este trabalho também sugere que o uso de alta concentração de vitaminas e a suplementação de minerais inorgânicos em dietas contemporâneas potencializa a incidência de ascite.

A suplementação de dietas de perus com zinco-metionina e manganês-metionina resultou em melhora da conversão alimentar, reduziu a mortalidade e os problemas de anormalidades de penas (Ferket et al., 1992). As dietas continham minerais em níveis considerados adequados (80 ppm de zinco e 120 de manganês na forma de sulfatos), mas responderam positivamente quando 20 e 40 ppm de zinco-metionina e manganês-metionina foram suplementados.

Por outro lado, Pimentel et al. (1991) estudando o zinco, em frangos, verificaram que não há diferença entre o zinco-metionina e o óxido de zinco sobre a taxa de crescimento, níveis de zinco, cobre ou ferro na tíbia e fígado ou função imune.

Pesquisas de longa duração a respeito do uso de fontes minerais orgânicas são limitadas, especialmente para reprodutoras pesadas. Em estudos de curta duração,

Barber et al. (2002) não encontraram resposta com a suplementação de 150 ppm de zinco a partir de sulfato, ou então, uma mistura entre sulfato e zinco-aminoácido. Estas dietas, entretanto, foram utilizadas apenas de 21 a 43 semanas de idade. Já com estudos de maior duração, Hudson et al. (2004a) observaram uma melhora geral da qualidade de casca de ovos incubáveis, especialmente no início da produção, quando reprodutoras, consumindo dietas contendo complexo zinco-aminoácido e sulfato de zinco produziram 3,6 pintinhos a mais do que aquelas consumindo apenas zinco-aminoácido. Este complexo era composto de uma mistura de quelatos entre zinco e aminoácido. Contudo, em outro trabalho Hudson et al. (2004b) não observaram diferenças no tempo de incubação, peso de pintinho e peso de órgãos à eclosão quando foram comparados tratamentos similares àqueles recém citados por Hudson et al. (2004a). A suplementação de manganês na forma de complexo aminoácido, para reprodutoras pesadas, reduziu da mortalidade inicial de pintinhos, sem afetar, entretanto, as características relacionadas à carcaça (Virden et al., 2003). Recentemente, Tako et al. (2004) observaram que a injeção de zinco-metionina em ovos, aos 17 dias de incubação, determinou a melhoria do desenvolvimento morfológico e da atividade de enzimas e transportadores das células da mucosa de frangos de corte à eclosão.

Os efeitos de zinco sobre a imunidade são bastante conhecidos (Chevalier et al., 1996). O complexo zinco-metionina pode ser mais disponível que as fontes inorgânicas de zinco e também pode ser absorvido de forma intacta, desta forma alterando o equilíbrio deste mineral no organismo. Independentemente do mecanismo, há uma melhora de algumas funções celulares relacionadas à resistência a doenças, quando zinco-metionina é adicionado a dieta das aves ou mesmo quando este é passado das reservas maternas da matriz para o pintinho (Kidd et al., 1996).

A suplementação de dietas contendo níveis adequados de minerais na forma inorgânica com zinco e manganês quelatados com metionina melhorou a função imune de perus (Ferket e Qureshi, 1992). Segundo Hudson et al. (2004a), a resistência a doenças e transmissão de anticorpos a progênie, pode ser melhorada quando reprodutoras pesadas consomem complexo zinco-aminoácido, pois a resposta imune e os anticorpos foram elevados quando comparados aos de aves consumindo dietas suplementadas apenas com sulfato de zinco ou a mistura entre sulfato e complexo zinco-aminoácido.

Respostas em Suínos

Estudos com suínos demonstram respostas semelhantes às encontradas em aves. Coffey et al. (1994) observaram melhora no desempenho de suínos pós-desmame com o uso de cobre-lisina quando comparado com sulfato de cobre, enquanto que Apgar et al. (1994) não observaram diferença entre estas mesmas fontes sobre o desempenho dos suínos.

Por sua vez, Hill et al. (1986) observaram que o zinco-metionina aumentou o consumo de alimento comparado ao sulfato de zinco, mas não houve diferença para a eficiência alimentar. Posteriormente, Hill et al. (1987a) observaram maior absorção para o zinco-metionina, comparado com o cloreto de zinco, tanto em aves quanto em suínos. Isto sugere a possibilidade de diferenças de taxa de absorção e forma de transporte para estas fontes. Quando se avaliou o desempenho, Hill et al. (1987b) não verificaram diferença de ganho de peso e eficiência alimentar, em suínos e ratos alimentados com estas mesmas fontes.

Fornecendo 44 ppm de manganês a partir de manganês-aminoácido ou óxido de manganês para suínos, Kats et al. (1994) não observaram diferença para o ganho diário, eficiência alimentar e qualidade de carcaça. Em uma pesquisa comparando uma mistura de cobre, manganês e zinco nas formas quelatada e inorgânica, Richert et al. (1994) observaram maior ganho de peso em suínos desmamados alimentados com a forma

quelatada na primeira semana pós-desmame, mas ao 28º dia não houve efeito devido à fonte mineral.

Contudo, Schell e Komegay (1996) não verificaram efeito benéfico do zinco na forma quelatada quando comparada ao sulfato sobre o desempenho dos suínos. Da mesma forma, Stansbury et al. (1990) não observaram diferença no desempenho de leitões desmamados quando avaliaram o cobre nas formas de quelatos orgânico e inorgânico comparadas ao sulfato. Swinkels et al. (1996) avaliaram a capacidade do zinco-aminoácido quelatado e do sulfato de zinco em restabelecer os níveis de zinco no soro e nos tecidos em suínos com deficiência de zinco e não verificaram diferença entre as fontes. Wedekind et al. (1994) concluíram que para suínos em crescimento e terminação, o sulfato de zinco e o zinco-metionina apresentam o mesmo desempenho. Este estudo também demonstrou que o zinco plasmático é um indicador pobre do status de zinco nos suínos. O nível de cobre renal foi aumentado em ambos tratamentos e os níveis férricos intestinais aumentaram nos suínos alimentados com o tratamento quelatado.

Em outra avaliação, Ward et al. (1996) concluíram que em relação à eficiência alimentar em suínos, o zinco-metionina que provê zinco a 250 ppm foi igual ao sulfato de zinco que provê zinco a 160 ppm ou óxido de zinco a 2000 ppm.

Em experimento conduzido com fêmeas alimentadas com 200 ppb de cromo orgânico, durante a fase de gestação, Lindermann et al. (1995a) observaram aumento do tamanho da leitegada ao nascimento e a desmama. Em experimento similar, Campbell (1998) demonstrou que a suplementação da dieta com 200 ppb de cromo orgânico, durante as fases de gestação e lactação, aumentaram a fertilidade, o tamanho da leitegada e a taxa de prenhez (Tabela 2).

Em experimentos com suínos em crescimento e terminação, Page et al. (1991, 1993) utilizando o cromo orgânico oriundo do picolinato de cromo verificaram melhora do consumo de alimento, conversão alimentar, área de olho de lombo, percentagem de carne magra, redução da espessura de toucinho e do nível de colesterol no soro (Tabela 3).

TABELA 2: Efeito da suplementação de picolinato de cromo em dietas de porcas gestantes sobre o desempenho reprodutivo

Experimento	Variáveis	Cromo (ppb)		P
		0	200	
1	Número de porcas	831	775	
	Taxa de prenhez, %	82,0	86,3	0,125
	Nativos	12,3	12,4	0,325
	Partos normais, %	7,2	7,1	0,584
2	Número de porcas	197	222	
	Taxa de prenhez, %	85,0	84,0	0,900
	Nativos	10,9	11,1	0,345
	Partos normais, %	9,1	8,3	0,885

Fonte: Adaptado de Campbell (1998)

Lindemann et al. (1995b) e Mooney e Cromwell (1995) também verificaram um decréscimo da espessura de toucinho e aumento da área de olho de lombo quando o cromo, oriundo do picolinato de cromo, foi adicionado a dietas de suínos em crescimento e terminação. Estes efeitos benéficos do cromo, provavelmente, são mediados através da ação de hormônios promotores de crescimento, os quais, são repartidores de nutrientes e contribuem para a redução da deposição de gordura na carcaça (Close, 1999).

TABELA 3: Efeito do uso de diferentes fontes de cromo (200 ppb) sobre o desempenho e características de carcaça e do soro de suínos em crescimento

Variáveis	Dieta basal	Cloreto de Cr	Picolinato de Cr
Ganho de peso, kg/dia	0,69	0,73	0,72
Consumo de ração, kg/dia	2,09	2,08	2,25
EA	0,33	0,35	0,32
Colesterol, mg/dl	72,30	80,40	68,00
GH, ng/ml	2,61	2,37	1,55
Insulina, U/ml	19,50	20,60	22,50
Espessura de toucinho, cm	3,07	2,90	2,39
Área de olho de lombo, cm	31,50	31,20	38,40
Percentual de músculo, %	52,30	52,30	55,70
Rendimento de carcaça, %	74,60	74,60	74,20

Fonte: Adaptado de Page (1991)

Efeitos positivos da suplementação de 200 ppb de cromo, oriundo do picolinato de cromo, também foram verificados sobre o desempenho de leitões (Harper et al., 1995). Wenk (1994) avaliaram múltiplas fontes de cromo e não verificaram efeito no período de crescimento (27 aos 60 kg), mas o cromo aumentou a taxa de crescimento no período de terminação (60 aos 106 kg). Wang (1995) avaliando o efeito da adição de 200 ppb de cromo na forma de picolinato de cromo verificou que o cromo orgânico aumentou a absorção e retenção de nitrogênio e a digestibilidade da matéria seca. Em razão do aumento da eficiência de utilização do nitrogênio, o cromo orgânico tem efeito benéfico na redução do impacto ambiental dos dejetos suínos (Lindemann, 1996).

O cobre é um micromineral amplamente utilizado como promotor de crescimento nas dietas de leitões desmamados. Zhou et al. (1994) compararam sulfato de cobre com cobre-lisina para leitões desmamados e verificaram que os leitões alimentados com a dieta cobre-lisina consumiram mais alimento e tiveram maior taxa de crescimento que aqueles alimentados com a dieta contendo sulfato de cobre. Resultados similares foram observados por Coffey et al. (1994) quando avaliaram a eficiência de cobre-lisina como promotor de crescimento para leitões desmamados (Tabela 4).

TABELA 4: Efeito de fontes e níveis de cobre sobre o desempenho de leitões desmamados

Parâmetros	Controle	Cu-lisina		CuSO ₃	
	200ppm	100ppm	200ppm	100ppm	200ppm
Ganho de peso, g	364	406	392	391	394
Consumo de ração, g	717	776	745	733	747
CA	1,97	1,91	1,89	1,88	1,89
Cu fígado, ppm	223	33	337	34	272

Fonte: Adaptado de Coffey et al. (1994)

Recentemente, Smits e Henman (2000) verificaram melhora da taxa de crescimento na fase de crescimento, mas não no período de terminação (Tabela 5). Por outro lado, Close (1999) verificou que o desempenho de suínos alimentados com cobre orgânico e inorgânico foi similar. Contudo, tem-se observado considerável redução da excreção de cobre com a utilização de fontes orgânicas de cobre (Smits e Henman, 2000; Lee et al., 2001a).

O zinco, na forma inorgânica (óxido), tem sido suplementado em altas taxas em dietas de suínos devido aos seus efeitos farmacológicos. Entretanto, a grande fração do zinco é excretada devido à sua baixa disponibilidade (Ammermann et al., 1995). Por outro lado, a maior disponibilidade do zinco de fontes orgânicas, como o zinco-lisina e o zinco metionina, pode reduzir a quantidade necessária deste mineral na dieta. Mas os resultados têm sido conflitantes. Hahn e Baker (1993) não observaram melhora do desempenho de leitões desmamados alimentados com 3000 ppm de zinco a partir do zinco-lisina e zinco metionina. Este resultado também foi confirmado por Schell e Kornegay (1996) em leitões após o desmame (Tabela 6).

TABELA 5: Desempenho de suínos alimentados com dietas contendo diferentes fontes de cobre (controle = 20 ppm de cobre; sulfato de cobre = 150 ppm e complexo de cobre orgânico = 40 ppm)

Fase	Parâmetros	Controle	Sulfato de cobre	Cobre orgânico	P
Crescimento (30-60kg)	Ganho, kg/dia	0,902	0,957	0,942	0,077
	Consumo, kg/dia	1,94	2,05	2,08	0,044
	CA	2,15	2,16	2,21	0,470
	Cu fecal, ppm MS	130	853	275	
Terminação (60-90kg)	Ganho, kg/dia	0,845	0,871	0,836	0,660
	Consumo, kg/dia	2,39	2,59	2,65	0,730
	CA	2,84	2,98	3,02	0,002
	Cu fecal, ppm MS	108	776	199	

Fonte: Adaptado de Smits e Henman (2000)

TABELA 6: Efeito de altos níveis de zinco (3000 ppm) de diferentes fontes sobre o desempenho e concentração de zinco no soro de leitões

Parâmetros	Óxido de zinco	Zinco-metionina	Zinco-lisina	Sulfato de zinco
Ganho de peso, kg	0,15 ^a	0,13 ^{ab}	0,12 ^{ab}	0,09 ^b
Consumo de ração, kg	0,26 ^a	0,26 ^a	0,21 ^{ab}	0,18 ^b
EA	0,56	0,49	0,58	0,47
Zinco soro, mg/l	0,98 ^b	1,09 ^b	1,25 ^{ab}	1,42 ^a

Médias, na mesma linha, seguidas por letras diferentes, diferem entre si (P<0,05)

Fonte: Adaptado de Schell e Kornegay (1996)

A concentração de zinco no soro foi maior nos suínos alimentados com sulfato de zinco comparado àqueles alimentados com óxido de zinco e zinco-metionina. Entretanto, quando baseada na concentração plasmática, uma biodisponibilidade equivalente tem sido observada entre o sulfato de zinco, zinco-lisina e o zinco-metionina (Hahn e Baker, 1993). Também, Cheng et al. (1998) demonstraram que o sulfato de zinco e o complexo zinco-lisina parecem ser igualmente efetivos como promotores do crescimento. Igualmente, Swinkels et al. (1996) reportaram que o zinco, na forma de sulfato de zinco e zinco-metionina foi igualmente efetivo. Por outro lado, Wedekind et al. (1992) verificaram que o complexo zinco-metionina foi mais disponível que o sulfato de zinco ou óxido de zinco.

Avaliando fontes e níveis de selênio para porcas, Mahan (2000) verificou que o selênio orgânico aumentou o conteúdo de selênio no leite e a concentração de selênio no soro dos leitões em relação à fonte inorgânica (Tabela 7), indicando que o selênio é transferido através da placenta e tecido mamário (Mahan et al., 1977).

TABELA 7: Efeito de fontes e níveis de selênio para porcas em gestação sobre a leitegada e concentração de selênio no leite

Parâmetro	Se inorgânico		Se orgânico		SEM
	15ppm	30ppm	15ppm	30ppm	
Se colostro, ug/ml	0,061 ^a	0,093 ^a	0,131 ^b	0,188 ^c	0,016
Se leite, ug/ml					
7° dia	0,032 ^f	0,036 ^g	0,077 ^h	0,111 ⁱ	0,002
14° dia	0,027 ^f	0,036 ^g	0,072 ^h	0,105 ⁱ	0,003
GSH-Px, unit/ml	0,128	0,130	0,109	0,110	0,019
Se soro, ug/ml	0,015 ^b	0,061 ^{ab}	0,057 ^b	0,072 ^a	0,005
14° dia					
GSH-Px, unit/ml	0,147	0,206	0,205	0,217	0,021
Se soro, ug/ml	0,072 ^c	0,076 ^c	0,086 ^b	0,104 ^a	0,004

Médias, na mesma linha, seguidas por letras diferentes, diferem entre si (P<0,05)

Fonte: Adaptado de Mahan (2000)

A inclusão de selênio na dieta de suínos é importante para melhorar a atividade da glutatona peroxidase (GSH-Px), que atua na prevenção da oxidação das membranas celulares. Uma deficiência de selênio pode levar a vulnerabilidade da membrana celular levando a oxidação e precipitação de água da carne (Close, 1999).

Avaliando a eficiência de fontes orgânicas e inorgânicas de selênio para suínos em crescimento e terminação, Mahan et al. (1999) demonstraram que não há efeito da fonte ou nível de selênio sobre o desempenho dos animais (Tabela 8). Estes resultados são consistentes com o trabalho de Mahan e Parrett (1996) que demonstraram que não há resposta de desempenho quando fontes orgânicas ou inorgânicas de selênio são adicionadas em dietas de suínos em crescimento e terminação.

Utilização de minerais quelatados

Devido a sua maior biodisponibilidade, os minerais quelatados podem substituir as fontes inorgânicas em níveis mais baixos enquanto que o desempenho é mantido ou mesmo melhorado (Speers et al., 1992). Um importante aspecto relacionado ao uso mais baixo dos minerais quelatados é a possibilidade de redução da poluição ambiental (Lee et al., 2001b).

Contudo, o nível de redução mineral das dietas devido ao uso de fontes orgânicas é variável. Em um estudo, Paik (2001) verificou a possibilidade de redução de 31% do cobre quando usado na forma orgânica, em dietas de aves e suínos. Avaliando um complexo de microminerais orgânicos, Leeson (2003) relatou a possibilidade de redução em 30% da fração mineral, sem alterar o desempenho de frangos de corte. Posteriormente, Fremaut (2005) verificou que os melhores resultados de desempenho dos suínos foram obtidos quando o zinco, cobre, ferro e manganês foram reduzidos em 30% dos níveis normais e adicionados na forma orgânica. Por sua vez, Burkett et al. (2005) verificaram que os melhores resultados foram obtidos quando houve uma redução de 50% dos níveis normais dos minerais traços que foram adicionados na forma de um complexo orgânico na dieta de suínos.

TABELA 8: Efeitos de fontes e níveis de Se sobre o desempenho de suínos

Parâmetros	Se inorgânico				Se orgânico			
	0,05	0,10	0,20	0,30	0,05	0,10	0,20	0,30
Peso final	107,6	104,3	105,5	104,2	106,6	108,0	106,1	106,7
Ganho, g								
20 aos 55kg	772	764	780	763	770	782	783	804
55 aos 105kg	916	853	880	854	895	900	885	857
Total	852	812	838	813	838	847	837	835
Consumo, kg								
20 aos 55kg	1,73	1,69	1,77	1,71	1,72	1,74	1,73	1,77
55 aos 105kg	2,70	2,55	2,70	2,52	2,69	2,64	2,63	2,62
Total	2,25	2,15	2,27	2,14	2,32	2,22	2,21	2,23
EA								
20 aos 55kg	446	451	445	447	449	451	452	453
55 aos 105kg	340	335	326	339	333	340	337	329
Total	379	378	369	380	375	383	379	375

Fonte: Adaptado de Mahan et al. (1999)

Possibilidade de maiores reduções também foram obtidas, como no estudo de Ward et al. (1996) que verificaram mesmo desempenho de leitões desmamados alimentados com 250 e 2000 ppm, respectivamente, de zinco nas formas orgânica e inorgânica, o que sugere a possibilidade de reduções de até 87%, quando utilizadas as formas orgânicas, principalmente daqueles minerais que são utilizados como promotores de crescimento.

Todavia, comparando a suplementação isolada de zinco, manganês, selênio, cobre, iodo e ferro nas formas orgânicas em relação ao uso de premix totalmente nas formas orgânica ou inorgânica para poedeiras, Sechinato (2003) verificou que o uso isolado dos minerais na forma orgânica prejudicou o desempenho dos animais. Assim, o autor recomenda a utilização do suplemento contendo todos os minerais na forma orgânica, não recomendando a suplementação isolada dos minerais orgânicos.

Considerando a redução da fração mineral relacionada a melhor biodisponibilidade dos minerais orgânicos, a variação é ainda maior, como por exemplo, o trabalho de Pimentel et al. (1991) em que constataram mesma biodisponibilidade entre fontes orgânica e inorgânica de zinco. Por outro lado, Aoyagi e Baker (1993) e Wedekind et al. (1992) obtiveram melhora de 6 e 50%, respectivamente, com o uso de fontes de zinco orgânico. Também Guo et al. (2001) e Aoyagi e Baker (1993) observaram aumento de 10 e 20%, respectivamente, da biodisponibilidade de cobre devido ao uso de fontes orgânicas. Avaliando fontes orgânicas e inorgânicas de ferro, Spears et al. (1992) obtiveram superioridade de 80% para as fontes orgânicas. Para o manganês, Ammerman et al. (1995), Smith et al. (1995) e Fly et al. (1989), verificaram melhora, respectivamente, de 20, 25 e 47% na biodisponibilidade de fontes orgânicas em relação às inorgânicas. Por sua vez, Close (1998) observou uma variação de 20 a 50% na melhora da biodisponibilidade da fonte orgânica de selênio em relação às inorgânicas.

Assim, se considerarmos o valor de melhora da biodisponibilidade como sendo o valor possível de redução na utilização de fontes minerais quelatados teremos uma variação entre 0 e 80%. Essas grandes diferenças são causadas, em parte, pelo tipo de fonte inorgânica a qual estamos substituindo (óxido ou sulfato).

Considerações Finais

Os resultados do uso de minerais quelatados têm sido promissores, embora alguns trabalhos não apresentem respostas diferentes daquela proporcionada quando se fornece em maior concentração, o elemento mineral na forma inorgânica.

A maior biodisponibilidade dos minerais na forma quelata possibilita a redução do nível de inclusão dos minerais, minimizando o impacto ambiental dos dejetos. Contudo, o uso de fontes quelatadas ou orgânicas ainda é limitada devido ao seu custo elevado, o que onera o custo da fração mineral das dietas.

Referências Bibliográficas

AAFCO - ASSOCIATION OF AMERICAN FEED CONTROL OFFICIAL. **Official Publication**. Atlanta. 1997.

AMMERMAN, C.B., BAKER, D.H., LEWIS, A.J. **Bioavailability of nutrients for animals: amino acids, minerals and vitamins**. San Diego: Academic Press, 1995. 441p.

ANDERSON, R.A. Chromium. In: ORLANDO, W.M. **Trace Elements in Human and Animal Nutrition**, FL: Academic. p.225-44. 1987.

AOYAGI, S., BAKER, D.H. Nutritional evaluation of copper-methionine complex for chicks. **Poultry Science**, v.72, p.2309-2315, 1993.

APGAR, G.A., KOMEYAY, E.T., LINCER RNAN, M.D. Effect of copper lysine chelate and copper sulfate as growth promotants for weanling swine. **Journal of Animal Science**, v.72, (Suppl.1), p.273 (Abstr.). 1994.

ASHMEAD, H.D. Comparative intestinal absorption and subsequent metabolism of metal amino acid chelates and inorganic metals salts. In: ASHMEAD, H.D. (Ed.). **The roles of amino acid chelates in animal nutrition**. New Jersey: Noyes, 1993. p.47-51.

BAKER, D.H., HALPIN, K.M. Efficacy of a manganese-protein chelate compared with that of manganese sulfate for chicks. **Poultry Science**, v.66, p.1561-1563, 1987.

BAKER, D.H., ODLE, J., FUNK, M.A. et al. Bioavailability of copper in cupric oxide, cuprous oxide, and in a copper-lysine complex. **Poultry Science**, v.10, p.177-179, 1991.

BARBER, S.J., VIRDEN, W.S., WARD, T.L. et al. Broiler breeder reproductive performance as affected by AvailaZinc and AvailaManganese. **Poultry Science**, v.81(Supple.1), p.119(Abstr.). 2002.

BURKETT, J.L., STALDER, K.J., SCHWAB, C.R. et al. **Growth comparison and fecal mineral excretion of inorganic and organic trace mineral supplementation in swine**. Iowa State University Animal Industry Report. 8p. 2005.

CAMPBELL, R.G. Chromium and its role in pig production. In: **Biotechnology in the Feed Industry**. Nottingham University Press. Nottingham, UK., p.229-237. 1998.

CLOSE, W.H. The role of trace mineral proteينات in pig nutrition. In: LYONS, T.P., JACQUES, K.A. **Biotechnology in the Feed Industry**. Nottingham University Press. Nottingham, UK, p.469-483. 1998.

CLOSE, W.H. Organic minerals for pigs: an update. In: LYONS, T.P., JACQUES, K.A. **Biotechnology in the Feed Industry**. Nottingham University Press. Nottingham, UK, p. 51-60. 1999.

CLYDESDALE, F.M. Mineral interactions in foods. In: BODWELL, C.E., ERDMAN, Jr. J.W. **Nutrient interactions**. New York: Marcel Dekker, p.257-268. 1998.

CHENG, J., KORNEGAY, E.T. SCHELL, T. Influence of dietary lysine on the utilization of zinc from zinc sulphate and zinclysine complex by young pigs. **Journal of Animal Science**, v.76, p.1064-1074. 1998.

CHEVALIER, P., SEVILLA, R., ZALLES, L. et al. Effects of zinc supplementation on nutritional immune deficiency. **Nutrition Research**, v.16, p.369-379. 1996.

COFFEY, R.D., CROMWELL, G.L., MONEGUE, H.J. Efficacy of a copper-lysine complex as a growth promoting for weanling pigs. **Journal of Animal Science**, v.72, p.2880-2886. 1994.

CROMWELL, G.L., STAHLEY, T.S., MONEGUE, H.J. Effects of source and level of copper on performance and liver copper stores in weanling pigs. **Journal of Animal Science**, v.67, p.2996-3002. 1989.

DEYHIM, F., TEETER, R.G. **Dietary vitamin level and trace mineral premix form effects on broiler performance**. Technical data sheet. Chelated Minerals Corp. Salt Lake City, UT, 84127. 1997.

ENSMINGER, M.E., OLDFIELD, J.E. **Feeds & Nutrition**. 2ª Edition Clovis, Califórnia: Ensminger Publishing Company, 1990. 500p.

FERKET, P.R., QURESHI, M.A. Effect of level of inorganic and organic zinc and manganese on the immune function of turkey toms. **Poultry Science**, v.71(Suppl.1), p.60. 1992.

FLY, A.D., IZQUIERDO, O.A., LOWRY, K.R. et al. Manganese bioavailability in a Mn-methionine chelate. **Nutr. Res.**, v.9, p.901-910. 1989.

FRAKER, P.J. Zinc deficiency: A common immunodeficiency state. **Sur. Immunol. Res.**, n.2, p.155-157. 1983.

FREMAUNT, D. Trace mineral proteينات in modern pig production: reducing mineral excretion without sacrificing performance. Disponível em: http://www.engormix.com/e_articles_view.asp?art=125. Acessado em 15/04/2005.

GUO, R., HENRY, P.R., HOLWERDA, R.A. et al. Chemical characteristics and relative bioavailability of supplemental organic copper sources for poultry. **Journal of Animal Science**, v.79, p.1132-1141. 2001.

HAHN, J.D., BAKER, D.H. Growth and plasma zinc responses of young pigs fed pharmacological levels of Zinc. **Journal of Animal Science**, v.71, p.3020-3024. 1993.

HARPER, A.F., LINDEMANN, M.D., KORNEGAY, E.T. Effect of supplemental dietary chromium on growth performance of weanling swine. **Journal of Animal Science**, v.73 (Suppl.1), p.194 (Abstr.). 1995.

HENRY, P.R., AMMERMAN, C.B., MILES, R.D. Relative bioavailability of manganese-methionine complex for broiler chicks. **Poultry Science**, v.68, p.107-112, 1989.

HERRICK, J.B. Mineral in animal health. In: ASHMEAD, H.D. (Ed.). **The roles of amino acid chelates in animal nutrition**. New Jersey: Noyes, p.3-9. 1993.

HILL, D.A., PEO, E.R., LEWIS, A.J. Effect of zinc source and picolinic acid on pig performance and zinc balance in rats. **Nutrition Report Intmal**, v.35, p.1007-1014. 1987b.

HILL, D.A., PEO, E.R., LEWIS, A.J. Effect of zinc source and picolinic acid on Zn uptake in an in vitro continuous-flow perfusion system for pig and poultry intestine segments. **Journal of Nutrition**, v.117, p.1704-1707. 1987a.

HILL, D.A., PEO, E.R., LEWIS, A.J. et al. Zinc-amino acid complexes for swine. **Journal of Animal Science**, v.63, p.121-130. 1986.

HUDSON, B.P., DOZIER, W.A., WILSON, J.L. et al. Reproductive performance and immune status of caged broiler breeder hens provided diets supplemented with either inorganic and organic sources of zinc from hatching to 65 wk of age. **Journal of Applied Poultry Research**, v.13, p.349-359. 2004a.

HUDSON, B.P., FAIRCHILD, B.D., WILSON, J.L. et al. Breeder age and zinc source in broiler breeder hen diets on progeny characteristics at hatching. **Journal of Applied Poultry Research**, v.13, p.55-64. 2004b.

KIDD, M.T., FERKER, P.R., QURESHI, M.A. Zinc metabolism with especial reference to its role in immunity. **World's Poultry Science Journal**, v.52, p.309-324. 1996.

KATS, L.J., NELSEN, J.L., GOODBAND, R.D. et al. Effect of chelated manganese on growth performance and carcass of finishing pigs. **Kansas Swine Day, 165**. Garden City, KS. 1994.

KRATZER, F.H., VOHRA, P. Chelates and chelation. In: KRATZER, F.H., VOHRA, P. **Chelates in nutrition**. Boca Raton, Florida: CRC Press, p.5-33. 1996.

LEE, S.H., CHOI, S.C., CHAE, B.J. et al. Effect of feeding different chelated copper and zinc sources on growth performance and fecal excretions of weanling pigs. **Asian-Aus. Journal of Animal Science**, v.14, p.1616-1620. 2001a.

LEE, S.H., CHOI, S.C., CHAE, B. J. et al. Evaluation of metal-amino chelates and complexes at various levels of copper and zinc in weanling pigs and broiler chicks. **Asian-Aus. Journal of Animal Science**, v.14, p.1734-1740. 2001b.

LEESON, S., SUMMERS, J.D. **Commercial poultry nutrition**. 2^a Edition. Guelph, Ontario: University Books, 1997. p.57-58.

LEESON, S., SUMEERS, J.D. **Nutrition of the chicken**. 4^a Edition. Guelph, Ontario: University Books, 2001. 591p.

LEESON, S. A new look at trace mineral nutrition of poultry: can we reduce the environmental burden of poultry manure? In: LYONS, T.P., JACQUES, K.A. **Nutritional Biotechnology in the Feed and Food Industries**. Eds. Nottingham University Press, Nottingham. United Kingdom. 2003.

LINDEMANN, M.D., HARPER, A.F., KORNEGAY, E.T. Further assessments of the effects of supplementation of chromium from chromium picolinate on fecundity in swine. **Journal of Animal Science**, v.73 (Suppl 1), p.185 (Abstr.). 1995a.

LINDEMANN, M.D. Organic chromium - the missing link in farm animal nutrition. In: LYONS, T.P., JACQUES, K.A. **Biotechnology in the Feed Industry**. Nottingham University Press. Nottingham, UK, p.299-314. 1996.

LINDEMANN, M.D., WOOD, C.M., HARPER, A.F. et al. Dietary chromium picolinate additions improve gain:feed and carcass characteristics in growing-finishing pigs and increase litter size in reproducing sows. **Journal of Animal Science**, v.73, p.457-465. 1995b.

LUKASKI, H.C. Chromium as a supplement. **Annu. Rev. Nutr**, v.19, p.279–302. 1999.

MABE, I. Efeitos da suplementação dietética com quelatos de zinco e de manganês na produção de ovos e morfologia intestinal de galinhas poedeiras. 94p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, USP. 2001.

MAHAN, D.C., CLINE, T.R., RICHERT, B. Effects of dietary levels of selenium-enriched yeast and sodium selenite as selenium sources fed to growing-finishing pigs on performance, tissue selenium, serum glutathione peroxidase activity, carcass characteristics, and loin quality. **Journal of Animal Science**, v.77, p.2171-2179. 1999.

MAHAN, D.C. Effect of organic and inorganic selenium sources and levels on sow colostrum and milk selenium content. **Journal of Animal Science**, v.78, p.100-105. 2000.

MAHAN, D.C., MOXON, A.L., HUBBARD, M. Efficacy of inorganic selenium supplementation to sow diets on resulting carry-over to their progeny. **Journal of Animal Science**, v.45, p.738-746. 1977.

MAHAN, D.C., PARRETT, N.A. Evaluating the efficacy of selenium-enriched yeast and sodium selenite on tissue selenium retention and serum glutathione peroxidase activity in grower and finisher swine. **Journal of Animal Science**, v.74, p.2967-2974. 1996.

MATEOS, G.G., VALENCIA, D.G., MORENO, E.J. Microminerales em alimentación de monogástricos. Aspectos técnicos y consideraciones legales. In: **XX CURSO DE ESPECIALIZACION FEDNA**, Barcelona. 2004. p.275-323.

McGILLIRRAY, J.J. Biological availability of phosphorus sources. In: ANNUAL INTERNATIONAL MINERALS CONFERENCE, 1., 1978, Petersburg Beach. **Anais...** St. Petersburg Beach: IMC, 1978, p.104-150.

MELLOR, D. Historical background and fundamental concepts "of chelation". In: DWYER, F., MELLOR, D. (Ed.). **Chelating agents and metal chelates**. New York: Academic Press, 1964. p.1.

MILES, R.D., HENRY, P.R. Relative trace mineral bioavailability. **Ciência Animal Brasileira**, n.1, p.73-93. 2000.

MOONEY, K.W., CROMWELL, G.L. Effects of dietary chromium picolinate supplementation on growth, carcass characteristics and accretion rates of carcass tissues in growing-finishing swine. **Journal of Animal Science**, v.73, p.3351-3357. 1995.

PAGE, T.G., SOUTHERN, L.L., WARD, T.L. et al. Effect of chromium picolinate on growth and serum and carcass traits of growing-finishing pigs. **Journal of Animal Science**, v.71, p.656-662. 1993.

PAGE, T.G., WARD, T.L., SOUTHERN, L.L. Effect of chromium picolinate on growth and carcass characteristics of growing-finishing pigs. **Journal of Animal Science**, v.69 (Suppl 1), p.356 (Abstr.). 1991.

PAIK, I. Application of chelated minerals in animal production. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v.14, p.191-198. 2001.

PATTON, R. **Efficacy of chelated minerals: review of literature**. Proceedings of the Second Conference of the Nutrition Advisory Group of the American Zoo and Aquarium Association on Zoo and Wildlife Nutrition. Texas, EUA, p.14-31. 1997.

PIMENTEL, J.L., COOK, M.E., GREGER, J.L. Bioavailability of Zinc-Methionine for Chicks. **Poultry Science**, v.70, p.1637-1639, 1991.

POLLI, S.R. Boletim Informativo Nutron Pet, n.4, 2002. Disponível em: <http://www.animalworld.com.br/vet/ver.php?id=190>. Acessado em 15/04/2005.

RICHERT, B.T., GOODBAND, R.D., NELSSSEN, J.L. et al. Effect of chelated trace minerals on nursery pig growth performance. **Kansas Swine Day**, 111. 1994.

SHELL, T.C., KORNEGAY, E.T. Zinc concentration in tissues and performance of weanling pigs fed pharmacological level of zinc from ZnO, Zn-methionine, Zn-lysine or ZnSO₄. **Journal of Animal Science**, v.74, p.1584-1593. 1996.

SECHINATO, A.da S. **Efeito da suplementação dietética com micro minerais orgânicos na produção e qualidade de ovos de galinhas poedeiras**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de São Paulo - USP. São Paulo, 59p. 2003.

SMITS, R.J., HENMAN, D.J. Practical experience with bioplexes in intensive pig production. In: **Biotechnology in the Feed Industry**. Nottingham University Press. Nottingham, UK., p.293-300. 2000.

SMITH, M.O., SHERMAN, I.L., MILLER, C.L. et al. Relative biological availability of manganese from manganese proteinate, manganese sulfate e manganese monoxide in broilers reared at elevated temperatures. **Poultry Science**, v.74, p.702-707, 1995.

SPEARS, J.W. Optimizing mineral levels and sources for farm animal. In: KORNEGAY, E, T. **Nutrient management of food animals to enhance and protect the environment**. New York: CRC Press, 1996. p.259-275.

SPEARS, J.W., SCHOENHERR, W.D., KEGLEY, E.B. et al. Efficacy of iron methionine as a source for iron for nursing pigs. **Journal of Animal Science**, v.70, p.243, 1992. Supplement 1.

STANSBURY, W.F., TRIBBLE, L.F., ORR, Jr.D.E. Effect of chelated copper sources on performance of nursery and growing pigs. **Journal of Animal Science**, v.68, p.1318-1322. 1990.

SWINKELS, J.W.G.M., KORNEGAY, E.T., ZHOU, W. et al. Effectiveness of a zinc amino acid chelate and zinc sulfate in restoring serum and soft tissue zinc concentrations when fed to zinc-depleted pigs. **Journal of Animal Science**, v.74, p.2420-2430. 1996.

TAKO, E., FERKET, P.R., UNI, Z. Zinc-methionine enhances the intestine development and functionality in the late term embryos and chicks. **Poultry Science**, v.83(Suppl.), p.267(Abst.). 2004.

UNDERWOOD, E.J. **The mineral nutrition of livestock**. 3^a Edition. Wallingford: CABI, 1999. 614p.

VIEIRA, S.L. Minerais quelatados na nutrição animal. In: **SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E NUTRIÇÃO DE AVES E SUÍNOS**. CBNA – Campinas, SP, pg. 51-70. 2004.

VIRDEN, W.S., YEATMAN, J.B., BARBER, S.J. et al. Hen mineral nutrition impacts progeny livability. **Journal of Applied Poultry Research**, v.12, p.411-416. 2003.

WANG, Z. Influence of supplemental chromium picolinate on nitrogen balance, dry matter digestibility and lean-ness in growing-finishing pigs. M.S. Thesis. Virginia Polytechnic Institute and State University. 1995.

WARD, T.L., ASCHE, G.L., LOUIS, G.F. et al. Zinc-methionine improves growth performance of starter pigs. **Journal of Animal Science**, v.74 (Suppl.1), p.182 (Abstr.). 1996.

WEDEKIND, K.J., HORTIN, A.E., BAKER, D.H. Methodology for assessing zinc bioavailability: Efficacy estimates for zinc methionine, zinc sulfate, and zinc oxide. **Journal of Animal Science**, v.70, p.178-187. 1992.

WEDEKIND, K.J., LEWIS, A.J., GIESEMANN, M.A. et al. Bioavailability of zinc from inorganic and organic sources for pigs fed corn-soybean meal diets. **Journal of Animal Science**, v.72, p.2681-2689. 1994.

WENK, C. **Organic Chromium in growing pigs: observations following a year of use and research in Switzerland**. In: LYONS, T.P., JACQUES, K.A. Biotechnology in the Feed Industry. Nottingham University Press, Nottingham, UK. p.302-308. 1994.

WIKSE, S.E. **The relationship of trace element deficiencies to infectious diseases of beef calves**. Texas A & M University Beef Short Course Proceedings. 1992.

ZHOU, W., KORNEGAY, E.T., VAN LAAR, H. et al. The role of feed consumption and feed efficiency in copper-stimulated growth. **Journal of Animal Science**, v.72, p.2385-2394. 1994.