



BIODISPONIBILIDADE DE COBRE DE FONTES SULFATO PARA FRANGOS DE CORTE NA FASE INICIAL

CARLA CARDOZO CACHONI¹ e ANTÔNIO GILBERTO BERTECHINI²

RESUMO: Foram utilizados 300 pintos Hubbard, de ambos os sexos, distribuídos em 30 boxes de bateria, onde receberam 10 tratamentos em um delineamento inteiramente casualizado, arranjados num esquema fatorial três fontes de cobre X três níveis de suplementação e sem suplementação (3x3+1), com 3 repetições por tratamento e 10 aves por unidade experimental, com objetivo de estudar a biodisponibilidade de cobre das fontes sulfato de cobre para aves. A dieta basal continha 9,35 ppm de cobre analisado sendo utilizado o sulfato de cobre P.A. (25,46%) como padrão. As fontes comerciais avaliadas foram o sulfato de cobre F.C. (24,24%) e (23,61%) com níveis de suplementação de 0, 100, 200 e 300 ppm. Não foram observadas diferenças significativas, sendo que apenas os dados para a conversão alimentar diferiram significativamente ($P < 0,01$) entre as fontes, onde a fonte sulfato de cobre P.A., se mostrou superior às fontes comerciais. A análise da deposição de cobre nos tecidos, evidenciou efeitos significativos ($P < 0,01$) para o fígado e soro sanguíneo, sendo que para a tibia não houve resposta ($P > 0,05$). Os valores de biodisponibilidade relativa das fontes foi de 96% e 76% para as fontes sulfato de cobre F.C. (24,24%) e (23,61%) em relação ao sulfato P.A. As concentrações de cobre nos tecidos indicaram que o fígado foi o tecido mais sensível para se estimar a biodisponibilidade. Esta afinidade demonstrada pelo fígado em relação ao cobre, confirma seu papel de principal órgão armazenador deste microelemento no organismo. O teste de solubilidade do cobre em água foi de 98,6% para o sulfato de cobre F.C. (24,24%) e 97,3% para o sulfato de cobre F.C. (23,61%). Ambos foram altamente solúveis em HCl 0,4% e ácido cítrico 2,0%.

Termos para indexação: Biodisponibilidade, cobre, fígado, frangos .

BIOAVAILABILITY OF Cu FROM SULPHATE SOURCES FOR BROILER CHICKS AT THE STARTING PHASE

SUMMARY: Hubbard one-day old chicks were utilized, being 300 of both sexes. The experimental design utilized was the completely randomized, in a factorial scheme 3 x 3 + 1 (levels of Cu supplementation x sources + zero level of supplementation), with 3 replications and 10 birds per experimental unit. The experimental diet was formulated on the basis of corn and soybean meal containing 9.35 ppm of analysed copper. Analytical grade (AG) copper sulphate (25.46%) was used as a standard source. The commercial sources evaluated were F.G copper sulphate (24.24%) and F.G copper sulphate (23.61%). The levels of supplementation were 0, 100, 200 and 300 ppm. No significant differences were observed ($P > 0.05$) as regards both levels and sources of copper supplementation on the performance of the birds, being that only the data for feed conversion differed significantly ($P < 0.01$) among the sources, where AG copper sulphate proved to be superior to commercial sources. Analysis of copper deposition in the tissues, pointed out significant effects ($P < 0.01$) for the liver and serum, being that for the tibia, there was not response ($P > 0.05$). The values of relative bioavailability of the sources was 96.00% and 76.00% for the sources of F.G. copper sulphate (24.24) and F.G. copper sulphate (23.61%) as compared to AG sulphate. Copper

¹ Pesquisador Científico - E.E.Z de Brotas - I.Z - Brotas - SP.

² Prof. Titular - Área Nutrição Animal Monogástrico - UFLA - Lavras - MG.



concentrations in tissues pointed out that the liver was the most sensible to assess bioavailability. This relationship displayed by the liver respecting copper, supports its role as the chief organ storing this microelement in the organism. The copper solubilities in water were 98.6% for the of copper sulphate F.G.(24.24%) and, 97.3% for the copper sulphate F.G.(23.61%). Both sources showed high solubilities in HCl 0.4% and citric acid 2.0%.

Index terms: Bioavailability, chicks, copper, liver.

INTRODUÇÃO

A importância da avicultura no Brasil nos últimos anos não tem precedentes em outros setores da produção animal. Com o consumo da carne de frango crescendo anualmente, este setor constituiu-se em uma atividade econômica de grande destaque. O incremento da população avícola é resultado de vários fatores, sendo um deles, a alimentação adequada dos frangos, que ainda necessita de um maior domínio tecnológico nos estudos com exigências nutricionais.

Dos microminerais conhecidos, sete são considerados essenciais na suplementação dos alimentos comerciais: zinco, ferro, manganês, cobre, cobalto, selênio e iodo (MILLER, 1983b).

A biodisponibilidade ou valor biológico dos microminerais refere-se as porções que podem ser utilizadas pelos animais para realizar as funções para as quais o elemento é necessário. Parece ser relativamente simples analisar o conteúdo de um micromineral em um ingrediente, mas a determinação da biodisponibilidade frequentemente é muito mais difícil, já que não existe um critério único para fazer as medidas que sejam significativas para todos os elementos. As técnicas convencionais de balanço mostram-se insatisfatórias quando da determinação da biodisponibilidade de cobre, pois este elemento é necessário em pequenas quantidades e devido as interações que podem ocorrer com outros elementos como o cálcio, cádmio, zinco, ferro, chumbo, prata, molibdênio e enxofre, afetam a absorção, retenção e distribuição no corpo (UNDERWOOD, 1977), levando a erros que podem mascarar os resultados (MILLS e WILLIAMS, 1971 e MILLER, 1983b). As diferenças na absorção ocorrem devido as várias fontes que são utilizadas como, minerais naturais sob as formas salinas inorgânicas simples (cloretos, óxidos, carbonatos, sulfatos), formas complexas (minerais naturais), sob formas de complexos orgânicos com aminoácidos ou subprodutos da indústria e que geralmente podem conter muitos elementos minerais, sendo alguns potencialmente tóxicos e os mais utilizados devem ser

considerados (MILLS e WILLIAMS, 1971 e MILLER, 1983b).

Devido ao alto custo e complexidade de se estabelecer a porcentagem de um micromineral utilizado pelos animais, vários procedimentos são empregados, como medidas físicas (solubilidade e análise por difração de raio x) e biológicas que são as mais utilizadas, como análise dos tecidos tipo fígado, soro e ossos (WATSON et al., 1970, 1971; SOUTHERN e BAKER, 1983a; BLACK et al., 1984a, b; SMITH & KABAIIA, 1985 e BOND et al., 1991).

A deposição do cobre difere nos diversos órgãos e tecidos, sendo a maior concentração nos ossos, fígado, cérebro, baço, pele e pêlos; médio teor de cobre nos músculos, rins, pâncreas, coração e um baixo teor nas glândulas de secreção interna e órgãos sexuais. Animais recém nascidos (exceto os carneiros), contém mais cobre devido provavelmente a sua mais alta concentração no fígado em relação à um animal adulto (GEORGIEVSKII et al. (1982).

Estudos com fontes de cobre parecem evidenciar que o sulfato de cobre (sulfato cúprico $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$) é um dos compostos de cobre mais utilizados devido a sua boa disponibilidade em várias espécies, incluindo ratos, aves e ruminantes (LASSITER e BELL, 1960; BOWLAND et al., 1961; CHAPMAN e BELL, 1963; AMMERMAN e MILLER, 1972; UNDERWOOD, 1977 e MILLER, 1983a).

Diets experimentais purificadas ou semi-purificadas foram utilizadas em várias pesquisas com diferentes espécies (WAIBEL et al., 1964; MILNE e WESWING, 1968; MCNAUGHTON et al., 1974; SUTTLE, 1974; NEDERBRAGT, 1980; FUNK e BAKER, 1991 e AOYAGI e BAKER, 1993), e, como consequência, os níveis indicados podem não ser práticos para o cobre (MILLER e ENGEL, 1960 e FUNK e BAKER, 1991).

LEDOUX et al, 1989 a, b, 1991, sugerem a administração de altos níveis de cobre não tóxicos com



fontes inorgânicas em dietas de frangos por um curto período de tempo, para a determinação da biodisponibilidade em dietas práticas (milho e farelo de soja) associado a análise de deposição nos tecidos, que dão uma estimativa mais confiável. A vantagem deste método é que ele não é prejudicial ao desempenho normal dos animais, não ocorre contaminação das amostras e simplifica as análises através da técnica da absorção atômica. Outros trabalhos (CZARNECKI et al., 1984; CROMWELL et al., 1989; BAKER et al., 1991 e ZANETTI et al., 1991) confirmam essas vantagens.

O NRC (1994) recomenda a utilização de 8 ppm de cobre na ração de frangos de corte, não ocorrendo problemas de toxidez quando as aves ingerem dietas com concentrações de até 500 ppm (NRC, 1980).

O presente trabalho teve como objetivo determinar a biodisponibilidade de cobre de fontes sulfato para frangos de corte na fase inicial.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Setor de Avicultura do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Lavras no período de 02/04/93 a 29/04/93. A temperatura média do interior do galpão experimental foi 25,5°C.

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado com 10 tratamentos arranjos num esquema fatorial três fontes de cobre X três níveis de suplementação de cobre, mais um tratamento com nível zero de suplementação, com 3 repetições e 10 aves por unidade experimental, totalizando 300 pintos de corte de um dia de idade, machos e fêmeas da linhagem Hubbard, alojados durante 23 dias (período de 5 a 28 dias de idade das aves), em boxes de bateria de arame galvanizado, com aquecimento.

A fonte padrão utilizada foi a sulfato de cobre P.A. (25,46%) em comparação às fontes comerciais sulfato de cobre F.C. (24,24%) e o sulfato de cobre F.C. (23,61%), nos níveis de suplementação de 0, 100, 200 e 300 ppm.

A composição química dos ingredientes está apresentada no Quadro 1. A dieta basal foi formulada à base de milho e farelo de soja (Quadro 2), contendo 9,39 ppm de cobre analisado, suplementados com

vitaminas e minerais a exceção do elemento (cobre). As exigências de microelementos foi de acordo com o National Research Council (NRC, 1984) e os demais nutrientes equilibrados segundo as recomendações de ROSTAGNO et al. (1983).

Quadro 1. Composição química dos ingredientes

Ingredientes	PB (%)	EM (kcal/kg)	Ca (%)	P disp. (%)	Cu (%)
Milho	7,6 ¹	349 ²	0,02 ²	0,09 ²	5,22 ¹
Farelo de soja	46,41 ¹	2283 ²	0,36 ²	0,18 ²	17,92 ¹
Calcário			38,0 ¹		
Fosfato bicálcico			24,0 ¹	18,8 ¹	
Sulfato de Cobre P.A.					25,46 ¹
Sulfato de Cobre F.C. ³					24,24 ¹
Sulfato de Cobre F.C. ³					23,61 ¹

1-Análises realizadas no Laboratório de Nutrição Animal do Departamento de Zootecnia/ESAL.

2-Dados obtidos de ROSTAGNO et al.(1983)

3- F.C. - fontes comerciais

Quadro 2. Composição percentual da dieta basal

Ingredientes	%
Milho	61,593
Farelo de soja	34,674
Calcário calcítico	0,903
DL metionina (98%)	0,139
Suplemento vitamínico ¹	0,100
Suplemento microminerais ²	0,100
Sal	0,385
Fosfato bicálcico	1,956
Caulim	0,150
Total	100,00
Composição nutricional calculada:	
Proteína bruta(%)	20,800
Metionina(%)	0,470
Metionina + cistina (%)	0,816
Lisina (%)	1,137
Cálcio(%)	1,137
Fósforo disponível(%)	0,950
Sódio(%)	0,150
Cobre analisado (ppm)	9,39

1- VACCINAR- 1kg:Vit.A-15.000.000UI, Vit.D₃ - 2.000.000UI, Vit.E- 20.000UI, Vit.K₃ - 2g, Vit.B₁ - 1g, Vit.B₂- 10g, ácido nicotínico- 40g, ácido pantotênico- 20g, Vit. B₆- 2g, Vit. B₁₂- 15,0g, ácido fólico- 1g, Biotina-150mg, colina-300g, Vit.C-50g, BHT- 30g

2- Segundo NRC, conteúdo por kg:Mn-60g, Zn-40g, Fe- 80g, I- 0,35g, Se-0,15g e Co-0,20g

3- O cobre suplementar foi adicionado retirando o peso equivalente do caulim.



Para avaliação da biodisponibilidade de cobre foram utilizados a concentração do elemento nos tecidos (tíbia, fígado e soro sanguíneo) e os resultados de desempenho (WATSON et al., 1970; SOUTHERN e BAKER, 1983b; BLACK et al., 1984a,b; HENRY et al., 1986 e 1987). A iluminação do galpão foi constante (24 horas), sendo que as aves foram mantidas em baterias metálicas, com acesso ao alimento e a água "ad libitum". Os grupos de aves de cada box foram pesados ao início e final do experimento. O peso médio por ave foi calculado dividindo-se o peso total pelo número de aves do box. A ração fornecida foi pesada assim como a sobra no final do experimento. O consumo médio de ração por ave foi calculado pela divisão do consumo total de ração do box pelo número de aves no box correspondente. A conversão alimentar foi estimada pela razão entre o consumo médio de ração e o peso médio das aves.

Ao final do experimento, foram sacrificadas por deslocamento cervical ao acaso 120 aves, sendo retirados o fígado, a tíbia direita e o soro sanguíneo, para as análises químicas. Os fígados foram cortados em pequenos pedaços, desengordurados em extrator Soxhlet e posteriormente levados a estufa ventilada a 65°C por um período de 72 horas. Após isto, os fígados foram triturados em moinho de aço, onde procedeu-se a secagem definitiva em estufa a 105°C por 24 horas. As cinzas foram determinadas de acordo com FICK et al., 1979. Os ossos livres de tecido muscular, foram mantidos em água destilada em ebulição por 10 minutos, com isso facilitando a remoção dos resíduos dos tecidos moles. Em seguida, foram levados à estufa de ventilação forçada (65°C) por 72 horas, desengordurados em extrator Soxhlet por 8 horas, posteriormente foram pesados em balança analítica e triturados em moinho de aço inoxidável. Procedeu-se então a secagem definitiva em estufa à 105°C por 24 horas. Para determinação das cinzas, o material triturado foi submetido à temperatura de 600°C por 6 horas (A.O.A.C., 1980). O sangue foi coletado em tubos de ensaio por punção cardíaca anterior nas aves e, após um período de coagulação, retirou-se o soro sanguíneo que foi centrifugado a 1500 rpm por 15 minutos. O cobre do fígado, ossos e soro sanguíneo foram analisados por espectrofotometria de absorção atômica em aparelho modelo Perkin-Elmer 5.000, sendo a quantidade de cobre no fígado, ossos e soro sanguíneo analisados na base da matéria seca das cinzas.

A solubilidade relativa das fontes foi determinada em água destilada, ácido clorídrico a 0,4% e ácido cítrico a 2,0%, acrescentando-se 100 ml de cada solução

a 0,1 g dos produtos. O material foi mantido sob agitação constante durante uma hora, e então filtrado em papel filtro Whatman nº 42. O conteúdo de cobre da solução obtida foi comparado com a concentração total do mineral (WATSON et al., 1970, 1971).

Os resultados de desempenho foram submetidos à análise de variância e regressão utilizando o programa computacional SAEG, de acordo com EUCLYDES (1983). Os dados referentes às concentrações de cobre nos tecidos que não obtiveram linearidade foram ajustados por transformação logarítmica. Foi utilizada a técnica de relação dos coeficientes (Slope-Ratio Assay) para determinação da biodisponibilidade relativa das fontes testadas através da regressão linear simples e múltipla, segundo FINNEY (1978). De acordo com este autor, a biodisponibilidade relativa é a quantidade do padrão a que equivale uma unidade da substância teste, podendo ser estimado pela razão dos coeficientes das equações de regressão:

$$\text{Biodisponibilidade relativa} = \frac{\text{Coeficientes do teste} \times 100}{\text{Coeficientes do padrão}}$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos com a solubilidade das fontes testadas encontram-se no Quadro 3.

Quadro 3. Características físicas e químicas das fontes de cobre

Fonte	Aspecto físico	Solubilidade relativa ^a (%)		
		H ₂ O	0,4% HCl	2% ác. cítrico
Sulfato F.C. 24,24%	Azul claro, cristais	98,6	96,8	100,0
Sulfato F.C. 23,61%	Azul claro, pó fino	97,3	96,8	10,0

a-Solubilidade relativa de 0,1g em 100ml de solvente em 37°C por 1 hora de agitação constante.

A solubilidade do sulfato de cobre F.C. (24,24%) foi de 98,6% e do sulfato de cobre F.C. (23,61%) foi 97,3%. As duas fontes foram solúveis em HCl a 0,4% e em ácido cítrico a 2,0%, resultados que coincidem com os encontrados por NORVELL et al. (1974) e LEDOUX et al. (1991), provavelmente porque os solventes que foram utilizados para a determinação da solubilidade tinham a capacidade de simular os fluidos corporais dos animais.

Resultados de desempenho das aves são apresentados no Quadro 4.



fontes inorgânicas em dietas de frangos por um curto período de tempo, para a determinação da biodisponibilidade em dietas práticas (milho e farelo de soja) associado a análise de deposição nos tecidos, que dão uma estimativa mais confiável. A vantagem deste método é que ele não é prejudicial ao desempenho normal dos animais, não ocorre contaminação das amostras e simplifica as análises através da técnica da absorção atômica. Outros trabalhos (CZARNECKI et al., 1984; CROMWELL et al., 1989; BAKER et al., 1991 e ZANETTI et al., 1991) confirmam essas vantagens.

O NRC (1994) recomenda a utilização de 8 ppm de cobre na ração de frangos de corte, não ocorrendo problemas de toxidez quando as aves ingerem dietas com concentrações de até 500 ppm (NRC, 1980).

O presente trabalho teve como objetivo determinar a biodisponibilidade de cobre de fontes sulfato para frangos de corte na fase inicial.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Setor de Avicultura do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Lavras no período de 02/04/93 a 29/04/93. A temperatura média do interior do galpão experimental foi 25,5°C.

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado com 10 tratamentos arranjos num esquema fatorial três fontes de cobre X três níveis de suplementação de cobre, mais um tratamento com nível zero de suplementação, com 3 repetições e 10 aves por unidade experimental, totalizando 300 pintos de corte de um dia de idade, machos e fêmeas da linhagem Hubbard, alojados durante 23 dias (período de 5 a 28 dias de idade das aves), em boxes de bateria de arame galvanizado, com aquecimento.

A fonte padrão utilizada foi a sulfato de cobre P.A. (25,46%) em comparação às fontes comerciais sulfato de cobre F.C. (24,24%) e o sulfato de cobre F.C. (23,61%), nos níveis de suplementação de 0, 100, 200 e 300 ppm.

A composição química dos ingredientes está apresentada no Quadro 1. A dieta basal foi formulada à base de milho e farelo de soja (Quadro 2), contendo 9,39 ppm de cobre analisado, suplementados com

vitaminas e minerais a exceção do elemento (cobre). As exigências de microelementos foi de acordo com o National Research Council (NRC, 1984) e os demais nutrientes equilibrados segundo as recomendações de ROSTAGNO et al. (1983).

Quadro 1. Composição química dos ingredientes

Ingredientes	PB (%)	EM (kcal/kg)	Ca (%)	P disp. (%)	Cu (%)
Milho	7,6 ¹	349 ²	0,02 ²	0,09 ²	5,22 ¹
Farelo de soja	46,41 ¹	2283 ²	0,36 ²	0,18 ²	17,92 ¹
Calcário			38,0 ¹		
Fosfato bicálcico			24,0 ¹	18,8 ¹	
Sulfato de Cobre P.A.					25,46 ¹
Sulfato de Cobre F.C. ³					24,24 ¹
Sulfato de Cobre F.C. ³					23,61 ¹

1-Análises realizadas no Laboratório de Nutrição Animal do Departamento de Zootecnia/ESAL.

2-Dados obtidos de ROSTAGNO et al.(1983)

3- F.C. - fontes comerciais

Quadro 2. Composição percentual da dieta basal

Ingredientes	%
Milho	61,593
Farelo de soja	34,674
Calcário calcítico	0,903
DL metionina (98%)	0,139
Suplemento vitamínico ¹	0,100
Suplemento microminerais ²	0,100
Sal	0,385
Fosfato bicálcico	1,956
Caulim	0,150
Total	100,00

Composição nutricional calculada:

Proteína bruta(%)	20,800
Metionina(%)	0,470
Metionina + cistina (%)	0,816
Lisina (%)	1,137
Cálcio(%)	1,137
Fósforo disponível(%)	0,950
Sódio(%)	0,150
Cobre analisado (ppm)	9,39

1- VACCINAR- 1kg:Vit.A-15.000.000UI, Vit.D₃ - 2.000.000UI, Vit.E- 20.000UI, Vit.K₃ - 2g, Vit.B₁ - 1g, Vit.B₂- 10g, ácido nicotínico- 40g, ácido pantotênico- 20g, Vit. B₆- 2g, Vit. B₁₂- 15,0g, ácido fólico- 1g, Biotina-150mg, colina-300g, Vit.C-50g, BHT- 30g

2- Segundo NRC, conteúdo por kg:Mn-60g, Zn-40g, Fe- 80g, I- 0,35g, Se-0,15g e Co-0,20g

3- O cobre suplementar foi adicionado retirando o peso equivalente do caulim.

**Quadro 4. Ganho de peso (g), consumo de ração(g) e conversão alimentar (kg/kg), no período de 5 a 28 dias de idade, com níveis de suplementação de cobre e fontes**

Cobre (ppm)	Ganho de peso (g)				Consumo de ração (g)				Conversão alimentar			
	F ₁ *	F ₂ *	F ₃ *	X	F ₁ *	F ₂ *	F ₃ *	X	F ₁ *	F ₂ *	F ₃ *	X
0	847	847	847	847 ^a	1,42	1,42	1,42	1,42 ^a	1,68	1,68	1,68	1,68 ^a
100	850	866	876	864 ^a	1,43	1,48	1,47	1,46 ^a	1,68	1,72	1,68	1,69 ^a
200	823	799	848	823 ^a	1,39	1,42	1,49	1,43 ^a	1,68	1,77	1,75	1,74 ^a
300	849	781	805	811 ^a	1,33	1,38	1,49	1,38 ^a	1,56	1,76	1,78	1,70 ^a
Média	842A	842A	844A		1,39A	1,42A	1,45A		1,65A	1,73B	1,72B	
CV%	4,978				5,115				3,798			

*F₁- Sulfato de Cobre P.A.(25,46%); F₂- Sulfato de Cobre F.C. (24,24%); F₃- Sulfato de Cobre F.C. (23,61%).

Médias seguidas por diferentes letras minúsculas nas colunas, e maiúsculas nas linhas, foram estatisticamente diferentes pelo teste de Tukey (P<0,05).

Analisando esses resultados, verificou-se que para o ganho de peso e consumo de ração não houve diferenças significativas (P>0,05) para fontes e níveis de suplementação de cobre. Os dados obtidos com a conversão alimentar diferiram significativamente (P<0,01) entre as fontes, em que a fonte P.A. teve um resultado superior em relação as fontes comerciais. Para todos os níveis de suplementação foram estatisticamente iguais. Pesquisas realizadas (ZANETTI et al., 1991; BAKER et al., 1991 e LEDOUX et al., 1991) utilizando rações práticas, como no presente trabalho, também não foram observadas diferenças quanto à suplementação de cobre no desempenho. Esses autores comentam que as rações práticas possuem certas quantidades do microelemento cobre que contribui com parte das exigências, não afetando significativamente o desempenho das aves. Isto pode ser atribuído ao fato dos trabalhos serem conduzidos em períodos curtos. AOYAGI e BAKER (1993) observaram um aumento no ganho de peso e consumo de ração com a suplementação de todas as fontes comerciais testadas. No presente trabalho, a dieta basal continha 9,39 ppm de cobre analisado, valor acima das recomendações preconizadas pelo NRC (1994) que é de 8 ppm.

Os resultados das concentrações de cobre nos

tecidos, mostraram que para a tibia não houve resposta para níveis e fontes suplementação de cobre (P>0,05). LEDOUX et al (1991), utilizando as fontes acetato, óxido, carbonato e sulfato nos níveis de 150, 300 e 400 ppm verificaram ligeiro aumento na concentração de cobre na tibia nos níveis 150 e 300 ppm de suplementação, mas as fontes estudadas não afetaram a concentração de cobre nos ossos (Quadro 5).

As concentrações de cobre no soro sanguíneo, com níveis de suplementação, apresentaram efeitos significativos (P<0,01), embora não se tenha observado diferenças (P>0,05) para as fontes estudadas. Esses resultados não são um bom reflexo da porcentagem absorvida, fato que pode ser atribuído pelo nível de cobre no sangue ser controlado pelo conteúdo de cobre no fígado, Quadro 6.

As concentrações de cobre no fígado foram afetadas pelos níveis e fontes de suplementação (P<0,01). Pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, a fonte sulfato P.A. (25,46%) foi superior as duas fontes comerciais, já a fonte sulfato de cobre F.C. (24,24%) foi melhor absorvida do que a fonte sulfato de cobre F.C. (23,61%) (Quadro 7).

Quadro 5. Efeito das fontes e níveis de cobre na concentração do elemento na tibia de frangos de corte

Níveis de suplementação de cobre (ppm)	Fontes			Média
	Sulfato de Cobre P.A. (25,46%)	Sulfato de Cobre F.C. (24,24%)	Sulfato de Cobre F.C. (23,61%)	
0	17,8750	17,8750	17,8750	17,8750 ^b
100	26,3900	30,5850	19,9200	25,4717 ^{ab}
200	39,9800	30,5850	21,2000	30,5883 ^a
300	15,5700	34,4250	24,1100	24,7017 ^{ab}
Média	24,9538 ^{AB}	28,2475 ^A	20,7763 ^A	
CV%	18,39			

Médias seguidas por diferentes letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas diferiram estatisticamente pelo teste de Tukey (P<0,05).

P.A. representa a fonte para análise e F.C. as fontes comerciais.



Quadro 6. Efeito das fontes e níveis de cobre na concentração do elemento no soro sanguíneo de frangos de corte

Níveis de suplementação de cobre (ppm)	Fontes			Média
	Sulfato de Cobre P.A. (25,46%)	Sulfato de Cobre F.C. (24,24%)	Sulfato de Cobre F.C. (23,61%)	
0	0,2895	0,2895	0,2895	0,2895c
100	0,3340	0,3485	0,3585	0,3469c
200	0,5790	0,5200	0,4170	0,5056b
300	0,8100	0,5010	0,6575	0,6561a
Média	0,5731A	0,4148A	0,4307A	
CV%		17,91		

Médias seguidas por diferentes letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas diferiram estatisticamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

P.A. representa a fonte para análise e F.C. as fontes comerciais.

Quadro 7. Efeito das fontes e níveis de cobre na concentração do elemento no fígado de frangos de corte

Níveis de suplementação de cobre (ppm)	Fontes			Média
	Sulfato de Cobre P.A. (25,46%)	Sulfato de Cobre F.C. (24,24%)	Sulfato de Cobre F.C. (23,61%)	
0	22,0550	22,0550	22,0550	22,0550c
100	34,6400	24,2800	19,3550	26,0917b
200	35,3000	36,0400	31,3750	34,2383a
300	35,4300	35,4350	35,3650	35,4100a
Média	31,8563A	29,4525A	27,0375A	
CV%		17,91		

Médias seguidas por diferentes letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas diferiram estatisticamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

P.A. representa a fonte para análise e F.C. as fontes comerciais.

Os resultados obtidos, assemelham-se aos encontrados de JENSEN E MAURICE (1979) e LEDOUX et al (1991), que observaram a grande afinidade demonstrada pelo fígado em relação ao cobre, indicando que foi o tecido mais sensível para se estimar a biodisponibilidade. Segundo GOIHL (1990, 1991), as fontes sulfato são processadas diferentemente nas indústrias, resultando em composições químicas diferentes, e conseqüentemente valores de biodisponibilidade distintos.

As regressões obtidas com os dados transformados (log) para as concentrações de cobre no fígado em relação aos níveis de cobre ingeridos, tiveram aumento linear (Figura 1). Esses resultados concordam com os de JENSEN e MAURICE (1979) e LEDOUX et al. (1989b, 1991).

A análise de regressão linear múltipla da concentração de cobre no fígado com níveis e fontes de cobre nas dietas forneceu a seguinte equação:

$$Y = 5,39 + 0,000819 x_1 + 0,000656 x_2 + 0,000587 x_3;$$

$$R^2 = 0,73$$

onde:

Y = concentração de cobre no fígado (ppm);
 x_1 = ppm de cobre no sulfato de cobre P.A.(25,46%);
 x_2 = ppm de cobre no sulfato de cobre F.C.(24,24%);
 x_3 = ppm de cobre no sulfato de cobre F.C.(23,61%).

A biodisponibilidade relativa de cobre foi calculada baseando-se no coeficiente de regressão linear e regressão linear múltipla (Quadro 8).

A proporção de coeficientes de regressão foi calculado com o sulfato de cobre P.A. (25,46%) tomado como o padrão e fixado a 100%. A biodisponibilidade relativa foi estimada em 96,0% e 76% para o sulfato de cobre F.C. (24,24%) e sulfato de cobre F.C. (23,61%), respectivamente, concordando com os resultados obtidos por LEDOUX et al. (1991) que encontraram 88,5% de biodisponibilidade para a fonte sulfato de cobre F.C. (25,1%) e com os de AOAGI e BAKER (1993) que encontraram valores de 97,9% de biodisponibilidade para a fonte sulfato.



Quadro 8. Biodisponibilidade relativa estimada no fígado, do sulfato de cobre F.C.(24,24%) e sulfato de cobre F.C.(23,61%) para frangos de corte dos 5 aos 28 dias de idade

Fonte	Coefficiente de regressão linear	Valor relativo (%)	Coefficiente de regressão múltipla	Valor relativo(%)
Sulfato de cobre P.A (25,46%)	0,0008287	100,00	0,000819	100,00
Sulfato de cobre F.C. (24,24%)	0,0007931	95,70	0,000656	80,10
Sulfato de cobre F.C. (23,61%)	0,0006296	75,97	0,000587	71,67

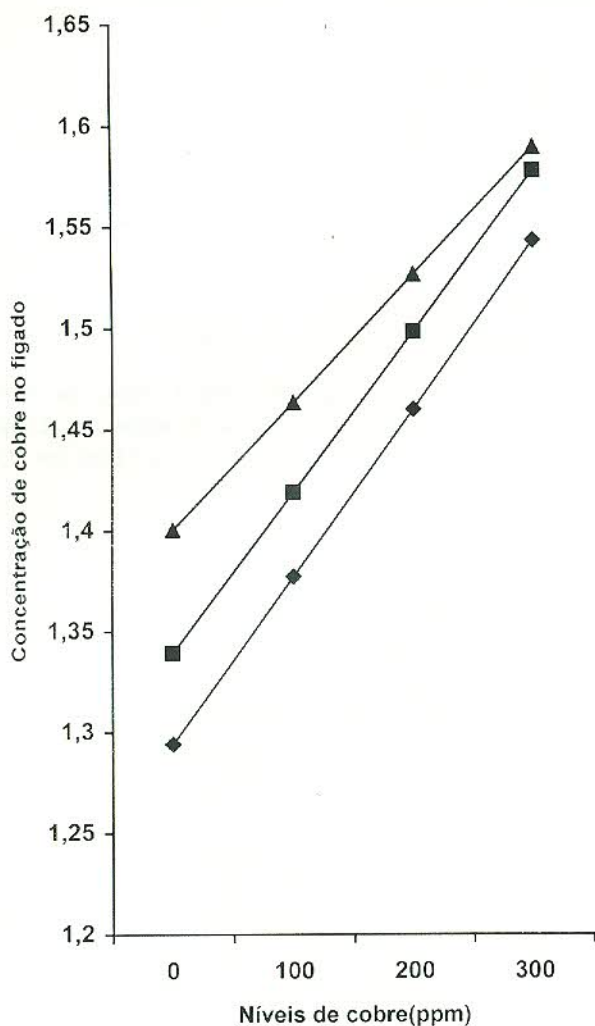
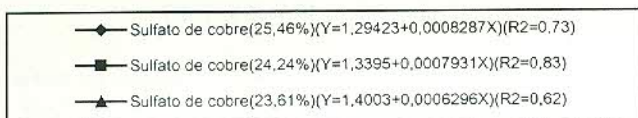


Figura 1. Conteúdo de cobre no fígado em função dos níveis de cobre ingeridos

CONCLUSÕES

A suplementação de cobre não afetou o desempenho das aves, com exceção da fonte padrão P.A., que apresentou melhor conversão alimentar.

A concentração de cobre no fígado foi o parâmetro mais adequado na estimativa da biodisponibilidade deste elemento.

A biodisponibilidade da fonte sulfato de cobre F.C.(24,24%) foi ligeiramente superior à fonte F.C.(23,61%).

A solubilidade do cobre foi elevada nos diferentes solventes utilizados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMMERMAN, C.B. , MILLER, S.M. Biological availability of minor mineral ion: a review. *J. Anim. Sci.*, Champaign, v. 35, n.3, p.681-694, 1972.
- AOYAGI, S. , BAKER, D.H. Bioavailability of copper in analytical-grade and feed-grade inorganic copper sources when fed to provide copper at levels below the chick's requirement. *Poult. Sci.*, Champaign, v. 72, p.1075-1083, 1993.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL OF ANALYSIS. Official methods of analysis. 13. ed. Arlington: 1980. 1015 p.
- BAKER, D.H. et al. Research note bioavailability of copper in cupric oxide, cuprous oxide, and in a copper-lysine complex. *Poult. Sci.*, Champaign, v.70, n.1, p. 177-179, 1991.
- BLACK, J.R et al. Tissue manganese uptake as a measure of manganese bioavailability. *Nutr.Rep.Int.*, Los Altos, v. 29, p.807-814, 1984a.



- BLACK, J.R. et al. Biological availability of manganese sources and effects of high dietary manganese of tissue mineral composition of broiler-type chicks. *Poult.Sci.*, Champaign, v. 63, n.1, p.1999-2006, 1984b.
- BOND, P. L. et al. Influence of age, sex and method of rearing on tibia length and mineral deposition in broilers. *Poult. Sci.*, Champaign, v.70, n. 9, p. 1936-1942, 1991.
- BOWLAND, J. P et al. The absorption, distribution and excretion of labelled copper in young pigs given different quantities, as sulphate or sulphite, orally or intravenously. *Br.J. Nutr.*, London, v.15, p.59-72, 1961.
- CHAPMAN, H.L.J.R. , BELL, M.C. Relative absorption and excretion by beef cattle of copper from various sources. *J. Anim. Sci.*, Champaign, v. 22, n.1, p.82, 1963.
- CROMWELL, G.L. et al. Effects of source and level of copper on performance and live copper stores in weanling pigs. *J. of Anim. Sci.*, Champaign, v.67, n.11, p.2996-3002, 1989.
- CZARNECKI, G.L. et al. Effect of 3-nitro-4-hydroxyphenylarsonic acid on copper utilization by the pig, rat and chick. *J. Anim. Sci.*, Champaign, v.59, n.4, p.977-1002, 1984.
- EUCLYDES, R. F. Manual de utilização do programa SAEG (Sistema para Análises Estatísticas e Genéticas). Viçosa: UFV, 1983. 59 p.
- FICK, K.R. et al. Methods of mineral analysis for plant and animal tissues. 2.ed. Gainsville:1979. 92 p.
- FINNEY, D.J. Statistical method in biological assay. 3.ed. London: Bucks Charles Griffin & Company, 1978.
- FUNK, M.A. , BAKER, D.H. Toxicity and tissue accumulation of copper in chicks fed casein and soy-based diets. *J. Anim. Sci.*, Champaign, v. 69, n.11, p.4505-4511, 1991.
- GEORGIEVSKII, V.I. et al. Mineral Nutrition of Animals. London: Butlerworths, 1982. 475 p.
- GOIHL, J.H. Copper from oxide, sulfate forms differs in availability. *Feedstuffs*, Mineapolis, v. 62, n.3, p.13-14, 1990.
- GOIHL, J.H. Estimation of copper bioavailability from inorganic sources examined. *Feedstuffs*, Mineapolis, v.63, n.10, p.10, 1991.
- HENRY, P.R. Bioavailability of manganese sulfate ad manganese monoxide in chicks as measured by tissue uptake of manganese from conventional dietary levels. *Poult. Sci.*, Champaign, v.65, n.5, p. 983-986, 1986.
- _____ et al. Bioavailability of manganese monoxide and manganese oxide for broiler chicks. *Nutr.Rep. Int.*, Los Altos, v.36, p.425-433, 1987.
- JENSEN, L.S. , MAURICE, D.V. Influence of sulfur amino acids on copper toxicity in chicks. *J. Nutr.*, Bethesda, v.109, n.1, p.91, 1979.
- LASSITER, J.W. , BELL, M.C. Availability of copper to sheep from Cu-64 labeled inorganic compounds. *J. Anim. Sci.*, Champaign, v.19, n.5, p.754-762, 1960.
- LEDOUX, D.R. et al. Effect of dietary copper and age on tissue mineral composition of broiler-type chicks as a bioassay of inorganic copper sources. *Nutr.Rep. Int.*, Los Altos, v.40, p.53, 1989a.
- _____ et al. Effect of dietary copper on tissue mineral composition as an estimate of copper bioavailability in broiler chicks. *Nutr.Rep. Int.*, Los Altos, v. 39, p.1117-1126, 1989b.
- _____ et al. Estimation of the relative bioavailability of inorganic copper sources for chicks using tissue uptake of copper. *J. Anim. Sci.*, Champaign, v.69, n.1, p. 215-222, 1991.
- MCNAUGHTON, J.L. et al Iron and copper availability from various sources. *Poult. Sci.*, Champaign, v.53, n.4, p.1325-1330, 1974.
- MILLER, E.R. Techniques for determining bioavailability of trace elements. In: ANNUAL INTERNATIONAL MINERALS CONFERENCE, 6., Mendelein, 1983. Proceedings... Mendelein: International Minerals & Chemical Corporation, 1983a. p.23-39.
- MILLER, R.V. , ENGEL, R.W. Interrelation of copper, molybdenum and sulfate sulfur in nutrition. Baltimore: Federation Federation Proceedings, v.19, p.666-671, 1960.



- MILLER, W.J. Biological availability of trace mineral elements. In: _____. Proceeding Nutrition Institute Minerals National Feed Ingredients Assoc. IOWA, 1983b. p.1-22.
- MILLS, C.F. , WILLIAMS, R.B. Problems in the deterioration of the trace element requirements of animals. Proc. of the Nutr.Soci., London, v. 30, p.83-91, 1971.
- MILNE, D.B. , ESWIG, P.H. Effect of supplementary copper on blood and liver copper-containing fractions in rats. J. Nutr., Bethesda, v. 95, n.3, p.429-433, 1968.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Mineral tolerance of domestic animals. Washington: National Academy Press, 1980. 577 p.
- _____. Nutrient requirements of poultry. 8.ed. Washington: National Academy of Science, 1984. 71 p. (Nutrient Requirements of Domestic Animals).
- _____. Nutrient requirements of poultry. 9. ed. Washington: National Academy of Press, 1994. 155 p. (Nutrient Requirements of Domestic Animals)
- NEDERBRAGT, H. The influence of molybdenum of the copper metabolism of the rat at different Cu levels of the diet. Brit. J. Nutr., London, v. 43, n.2, p.329-338, 1980.
- NORVELL, M.J. et al. Some effects of high dietary levels of various salts of copper in broiler chicks. In:_____.HEMPHILL, D.D.(ED). Trace substance in environmental health. Columbia : University of Missouri Press, v. 8, 1974. p.367-378.
- ROSTAGNO, H.S. et al. Composição de alimentos e exigências nutricionais de aves e suínos (tabelas brasileiras). Viçosa: UFV, 1983. 61 p.
- SMITH, O.B. , KABAISA, E. Effect of high dietary calcium and wide calcium phosphorus ratios in broiler diets. Poult. Sci., Champaign, v.64 , n.9, p.1713-1720, 1985.
- SOUTHERN, L.L. , BAKER, D.H. Eimeria acciculiua infection and the zinc-copper interrelationship in the chick. Poult. Sci., Champaign, v.62, n.2, p.401-404, 1983a.
- _____, _____. Excess manganese ingestion in the chick. Poult. Sci., Champaign, v. 62, n. 4, p.642-646, 1983b.
- SUTTLE, N.F. A technique for measuring the biological availability of copper to sheep, using hypocupraemic ewes. Brit. J. Nut., London, v.32, n. 2, p. 395-405, 1974.
- UNDERWOOD, E.J. Trace elements in human animal nutrition. 4. ed. New York: Academic Press, 1977. 545 p.
- WAIBEL, P.E. et al. Variation in tolerance of turkeys to dietary copper. Poult.Sci., Champaign, v.43, n.2, p. 504-506, 1964.
- WATSON, L.T. et al. Biological assay of inorganic manganese for chicks. Poult. Sci., Champaign, v.49, n.6, p.1548-1554, 1970.
- _____. et al. Biological availability to chicks of manganese from different inorganic sources. Poult. Sci., Champaign, v.50, n.6, p.1693-1700, 1971.
- ZANETTI, M.A. et al. Estimation of the bioavailability of copper sources in chicks fed on conventional dietary amounts. Brit. Poult. Sci., Champaign, v. 32, n.3 , p. 583-588, 1991.