Desenvolvimentos recentes na nutrição mineral de aves

Fernando Rutz
Universidade Federal de Pelotas

Melissa Hannas
Universidade Federal de Viçosa

Nutrição Animal

Alltech®

ELEMENTOS ESSENCIAS DO CORPO

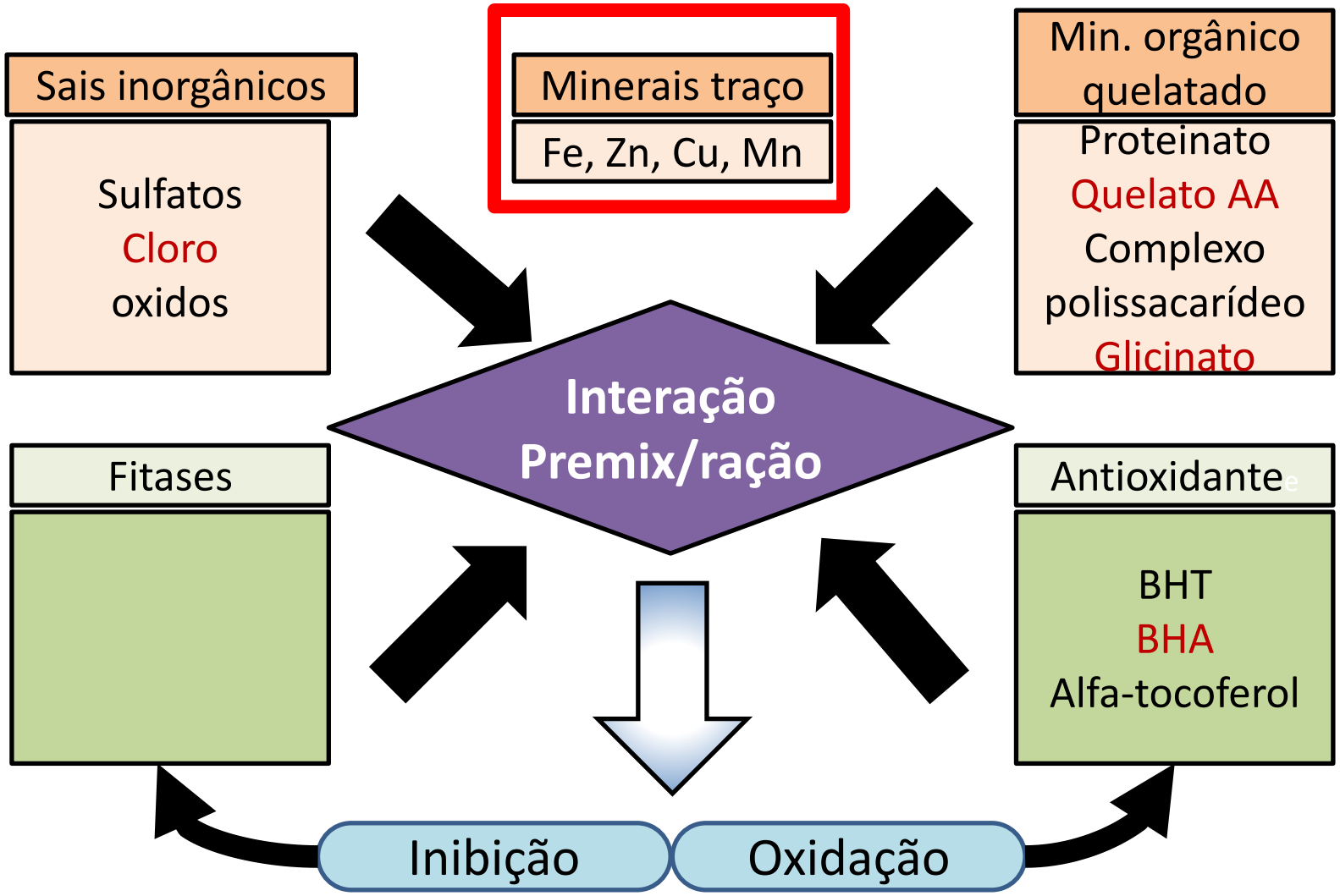
Macrominerais: 0,7 % do total

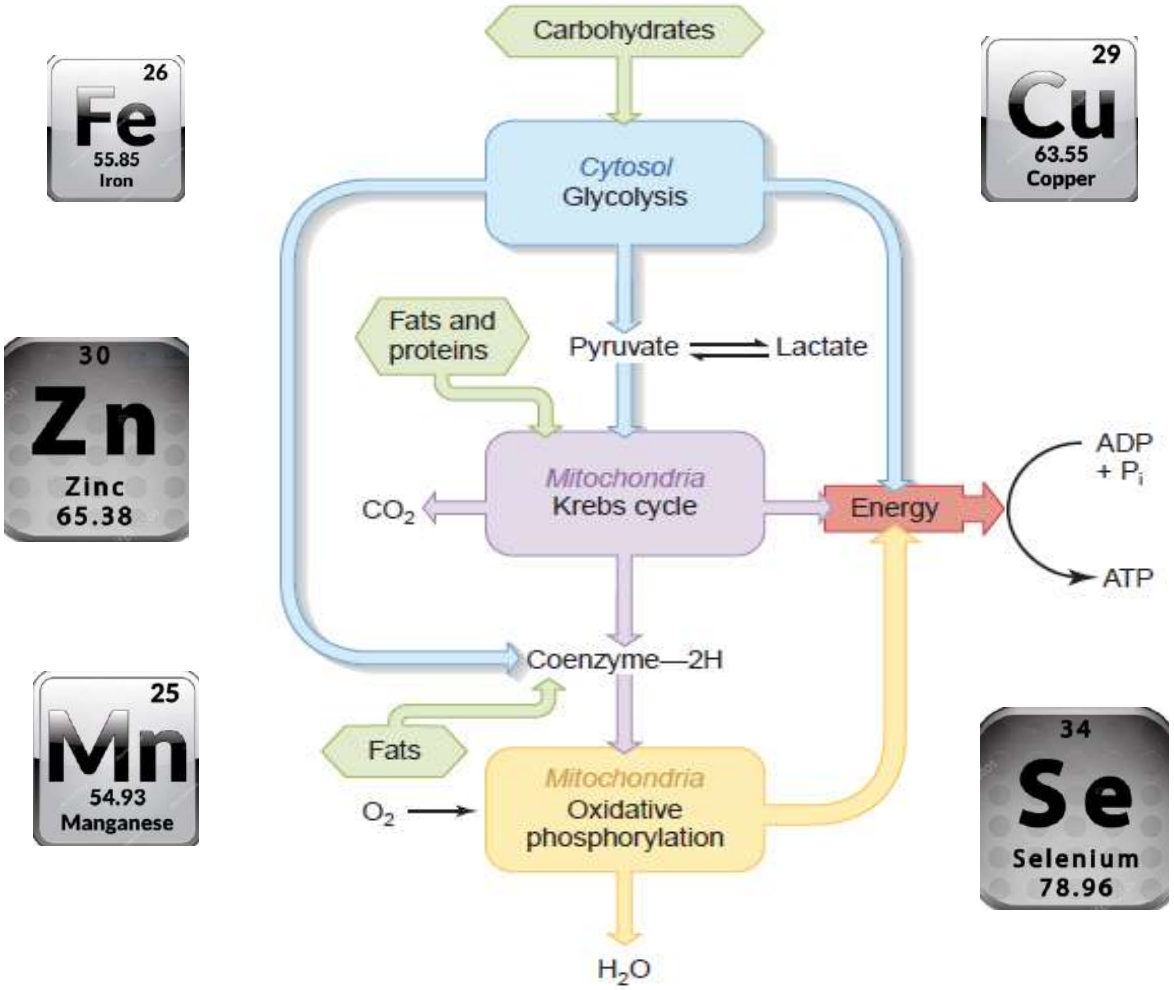
Elemento	Símbolo
Cálcio	Ca
Fósforo	P
Potássio	K
Enxofre	S
Sódio	Na
Cloro	Cl
Magnésio	Mg

Minerais traço: menos do que 0,01%

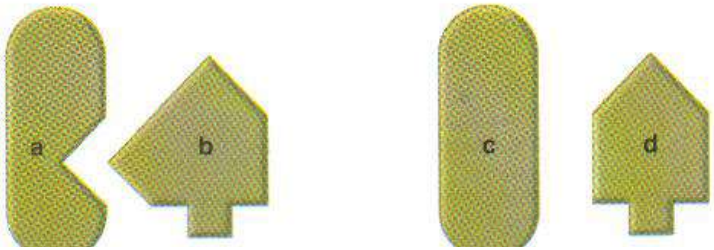
Elemento	Símbolo
Ferro	Fe
Iodo	I
Cobre	Cu
Zinco	Zn
Manganês	Mn
Cobalto	Co
Cromo	Cr
Selênio	Se
Molibdênio	Mo
Flúor	F
Estanho	Sn
Silício	Si
Vanádio	V

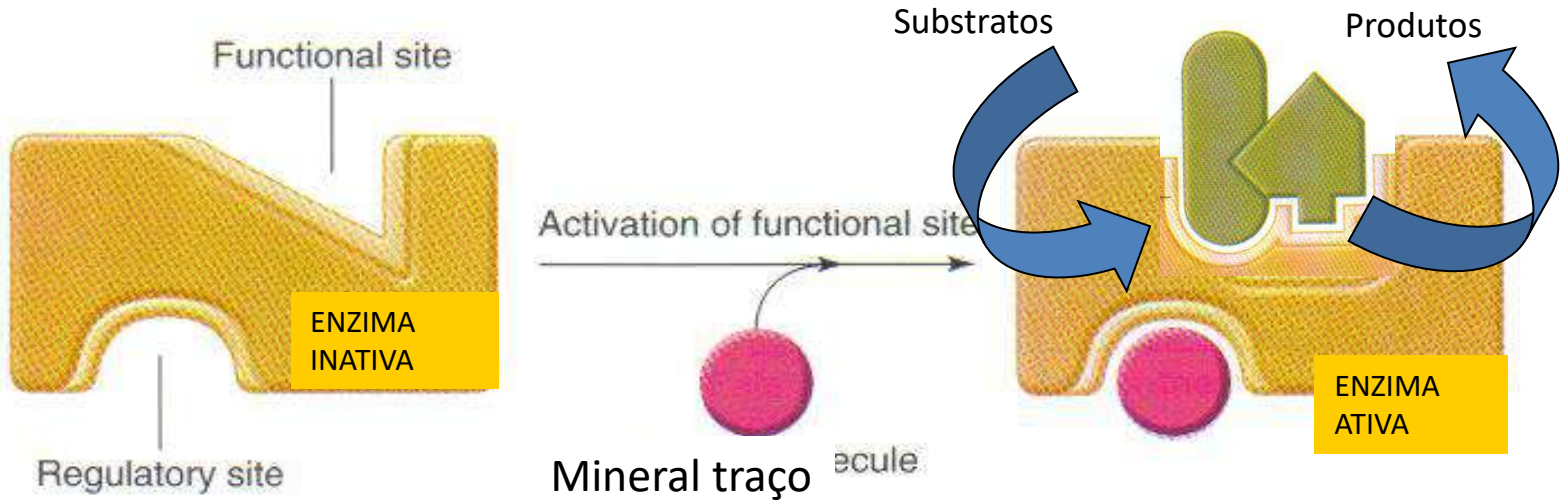
Interações entre minerais traço e suas funções




26
Fe
55.85
Iron
29
Cu
63.55
Copper
30
Zn
Zinc
65.38
25
Mn
54.93
Manganese
34
Se
Selenium
78.96
Carbohydrates
Cytosol
Glycolysis
Fats and proteins
Pyruvate
Lactate
Mitochondria
Krebs cycle
CO_2
Energy
ADP + P_i
ATP
Coenzyme—2H
Fats
O_2
Mitochondria
Oxidative phosphorylation
H_2O

Papel de minerais traço como co-fator





A maior parte dos minerais é necessária Como cofator, mas alguns são necessários como parte de molécula orgânica:

- **Cobalto: parte de vitamina B12**
- **Enxofre: parte de diversos compostos orgânicos**
- **Ferro: parte da hemoglobina**
- **Iodo: parte da tiroxina**
- **Selênio: parte da glutationa peroxidase**

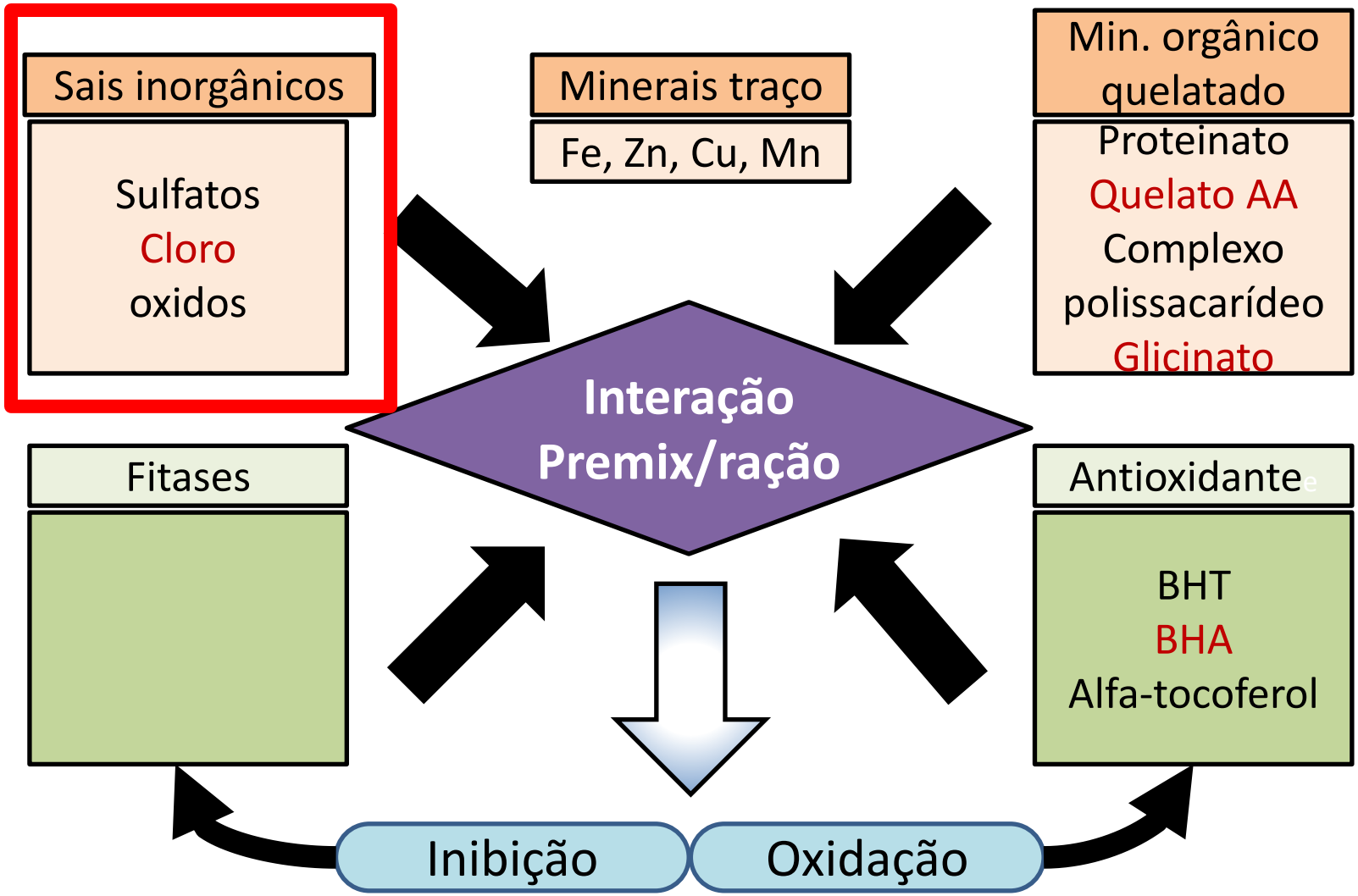
Como satisfazer as exigências dos animais em minerais?

1. Saber a exigência
2. Dieta:
   - Conteúdo mineral
   - Tipo
   - Disponibilidade
   - Vias de absorção e utilização
   - Interações

Exigências em minerais traço para aves

Os conceitos adotados para a genética atual foram os estabelecidos nas décadas de 60 e 70.

Interações entre minerais traço e suas funções



Disponibilidade de zinco (óxido de cinco) para frangos

		% Zn	Disponibilidade (%)	
			Ganho de peso	Tíbia
FG1	Hidrosulfeto (USA)	78.1	93-94	91
FG2	Waelz (México)	74.1	32-39	22
FG3	Chemise (China)	69.4	47	24
FG4	French (Mexico)	78.0	84	

Relative to $ZnSO_4$

Edwards and Baker, 1999)

Fontes de sulfato de zinco X disponibilidade de zinco tibia

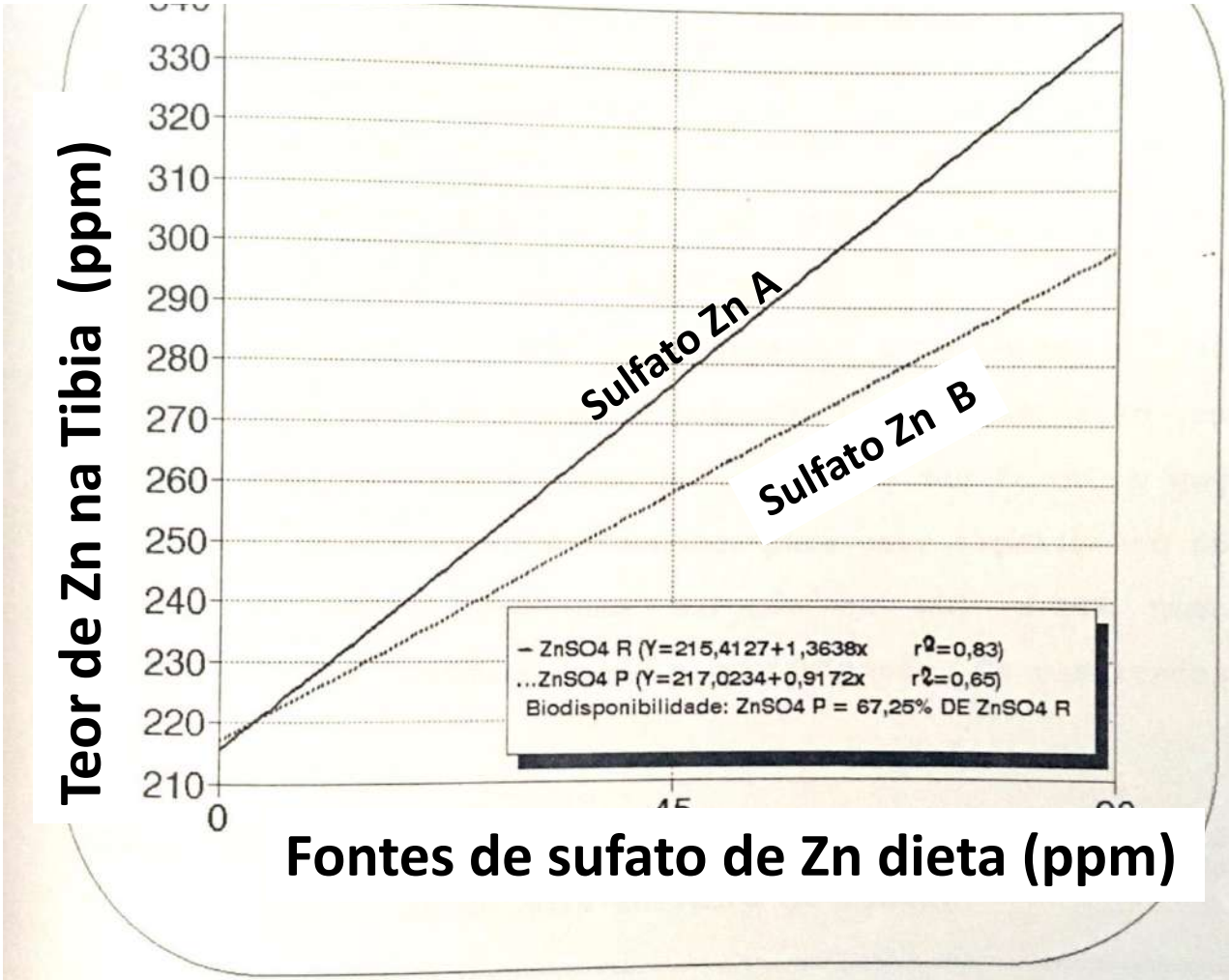


FIGURA 8. Efeito da biodisponibilidade de zinco de dois sulfatos de zinco sobre a deposição de zinco nas tíbias dos frangos.

Texeira (1994)

Fontes de sulfato de Zn X Disponibilidade de Zinco no dedo médio

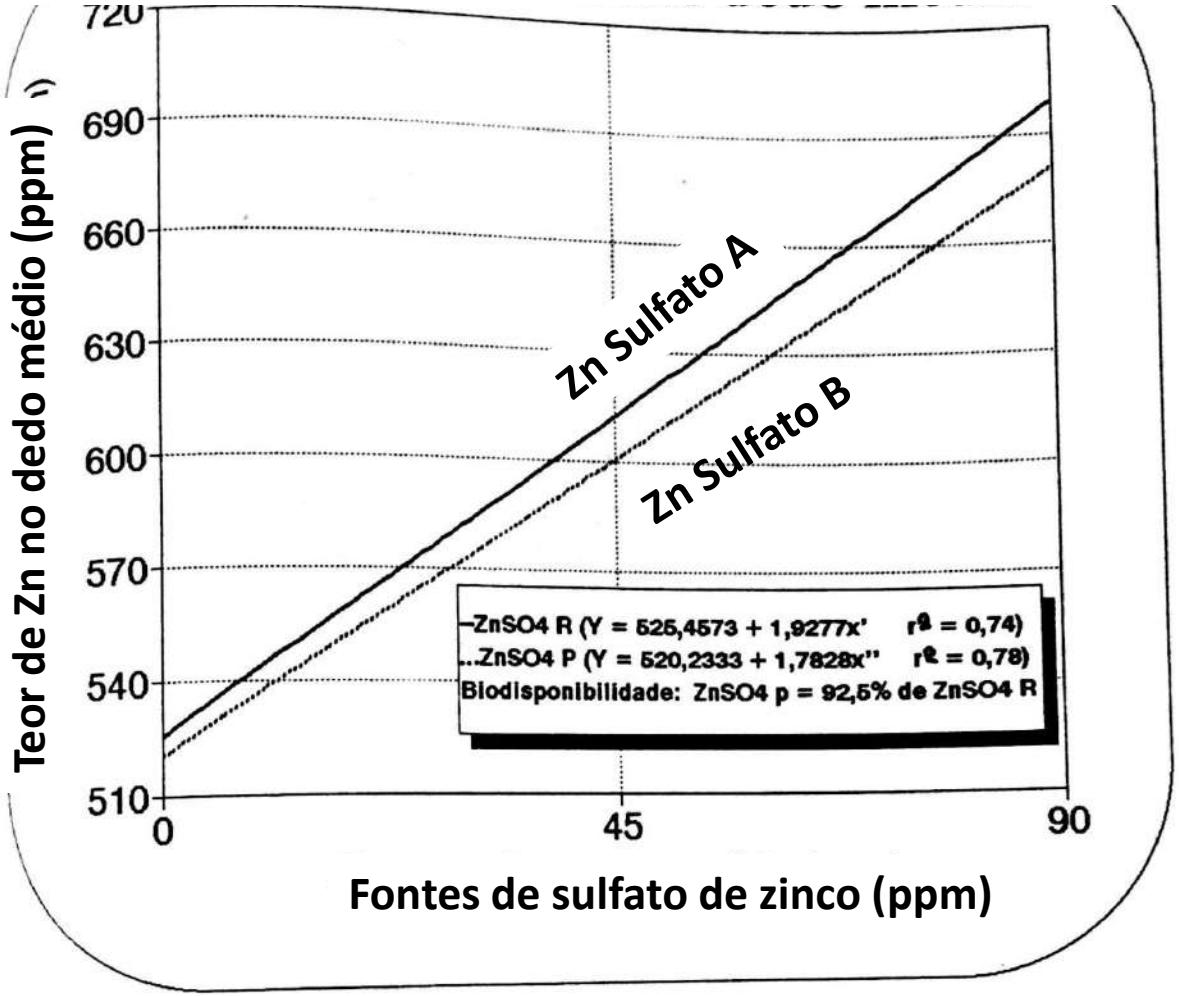
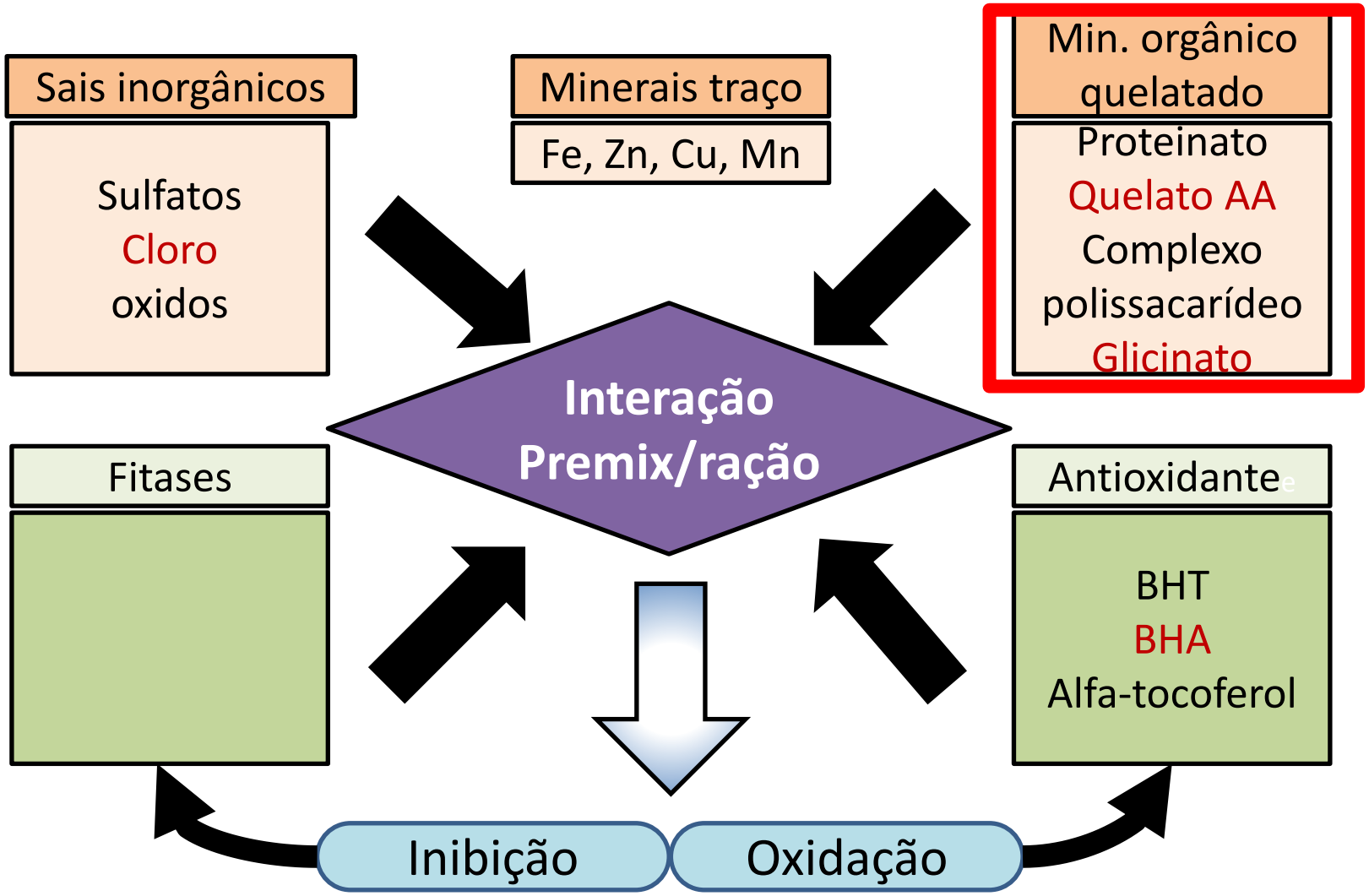


FIGURA 9. Efeito da biodisponibilidade de zinco de dois sulfatos de zinco sobre a deposição de zinco nos dedos dos frangos.

Texeira (1994)

Interações entre minerais traço e suas funções

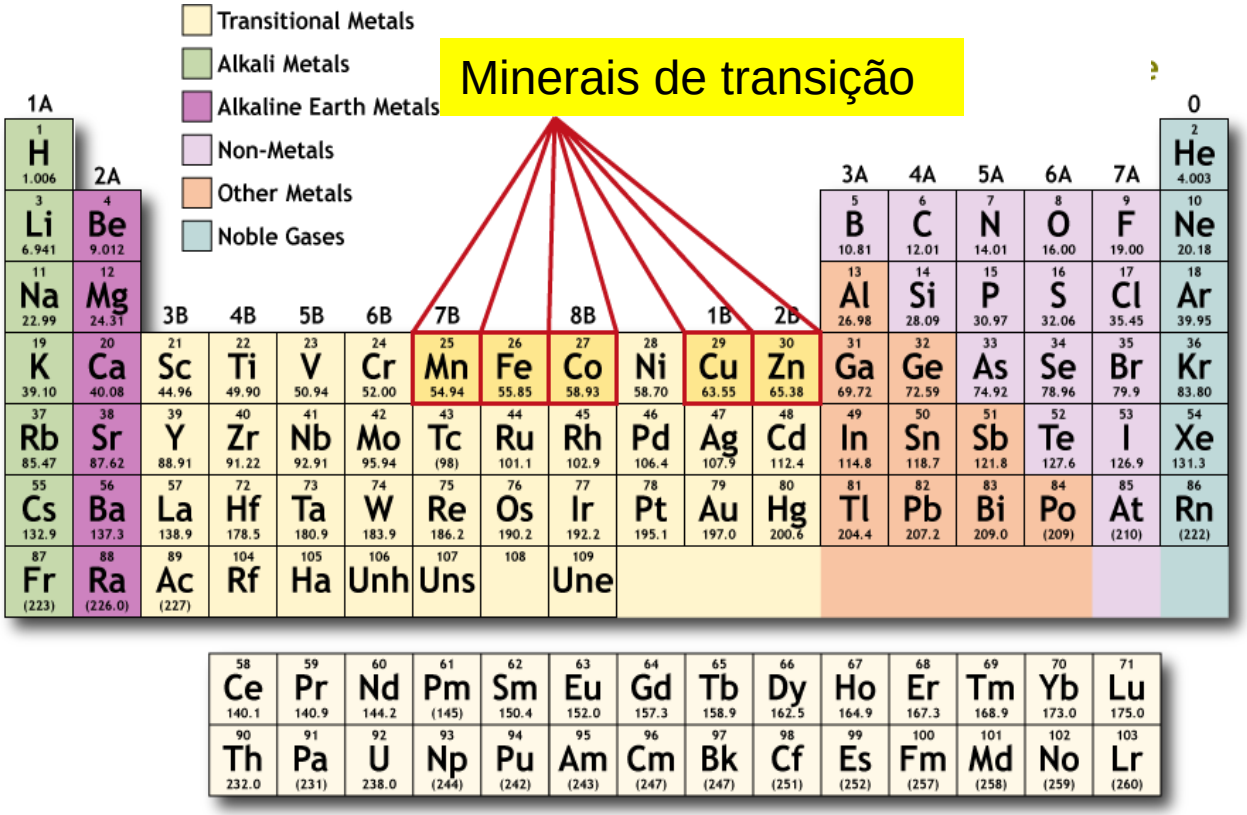


Minerais orgânicos

Íons metálicos ligados quimicamente a uma molécula orgânica, formando estruturas com características únicas com:

- Estabilidade
- Alta biodisponibilidade

Minerais de transição

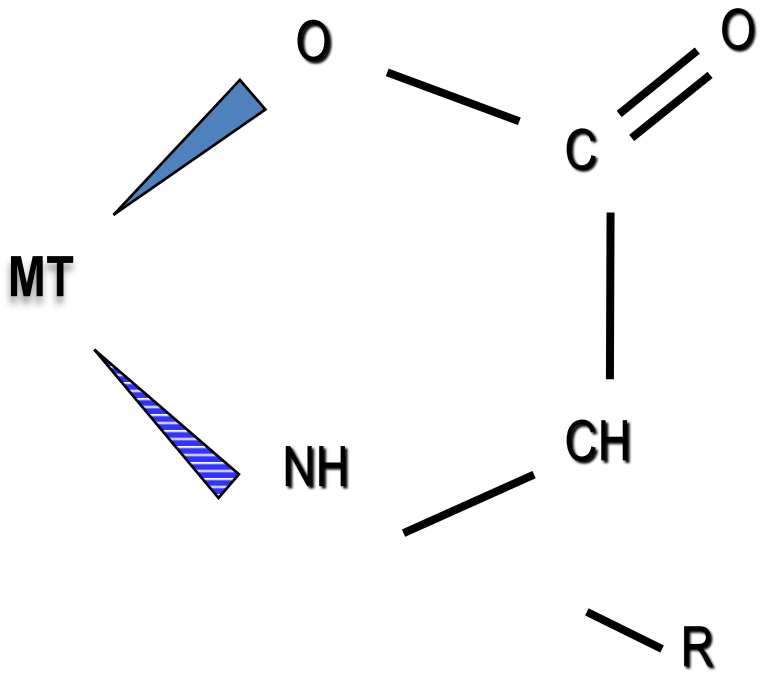


Minerais orgânicos

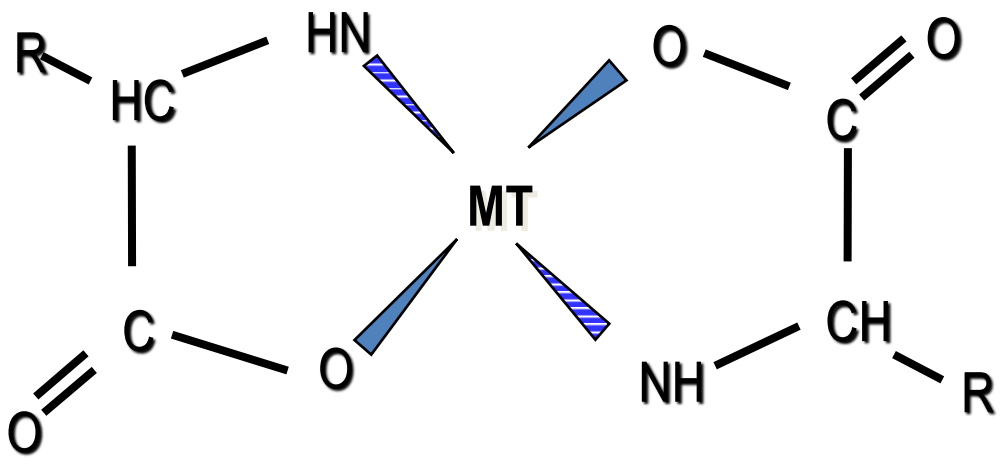
1) Complexos

2) Quelatos

Complexos metais



Metal quelatado



Minerais orgânicos

Complexo

- Metal aminoácido
- Metal aminoácido específico
- Metal polissacarídeo

Todos são complexos contudo a AFCO os define como “não quelatados”.

Quelato

Biosintetizado

Minerais orgânicos

Complexo

- **Metal aminoácido**
- Metal aminoácido específico
- Metal polissacarídeo

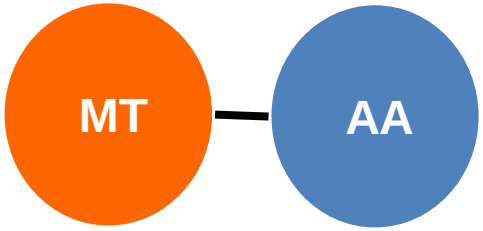
Quelato

Biosintetizado

Todos são complexos contudo a AFCO os define como “não quelatados”.

Complexo de um metal com aminoácido

Metal ligado a aminoácido não específico



Minerais orgânicos

Complexo

- Metal aminoácido
- **Metal aminoácido específico**
- Metal polissacarídeo

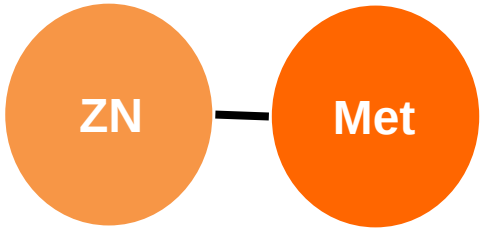
Todos são complexos contudo a AFCO os define como “não quelatados”.

Quelato

Biosintetizado

Complexo de um metal com aminoácido específico

Metal ligado a aminoácido específico



Zn - Met

Minerais orgânicos

Complexo

- Metal aminoácido
- Metal aminoácido específico
- **Metal polissacarídeo**

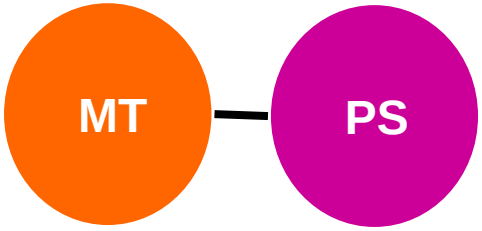
Todos são complexos contudo a AFCO os define como “não quelatados”.

Quelato

Biosintetizado

Complexo de um metal com polissacarídeo

O polissacarídeo ligado ao metal



MT = Mineral Traço
PS = Polissacarídio

Minerais orgânicos

Complexo

Quelato

- Metal aminoácido
- Metal proteinado

Metal Quelatado à um aminoácido ou proteína por ligações covalentes coordenadas.

Biosintetizado

Minerais orgânicos

Complexo

Quelato

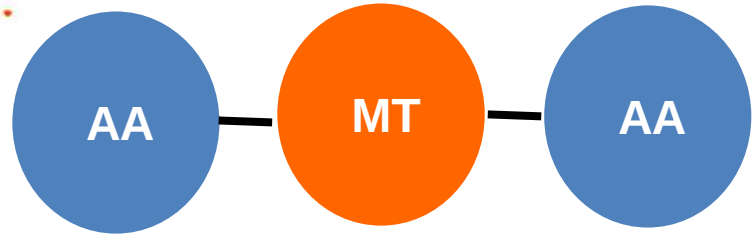
- **Metal aminoácido**
- Metal proteinado

Metal Quelatado à um aminoácido ou proteína por ligações covalentes coordenadas.

Biosintetizado

Quelato de um metal com aminoácidos

Metal quelatado a dois aminoácidos impedindo a ligação do metal com qualquer outra estrutura



MT = Mineral Traço
AA = Aminoácido

Minerais orgânicos

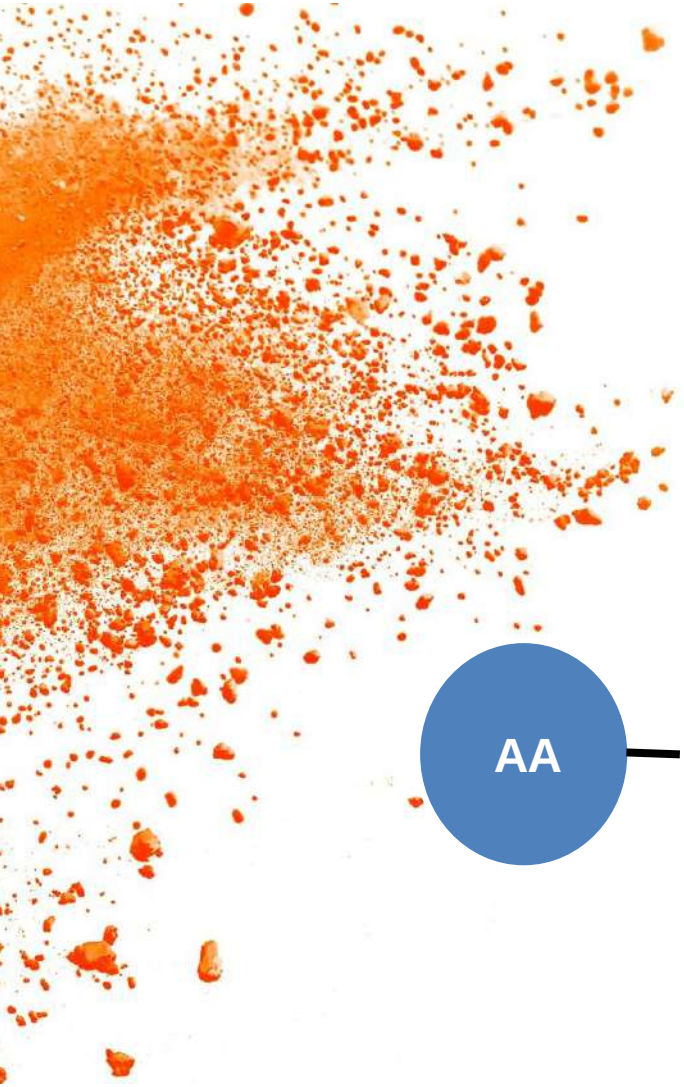
Complexo

Quelato

- Metal aminoácido
- **Metal proteinado**

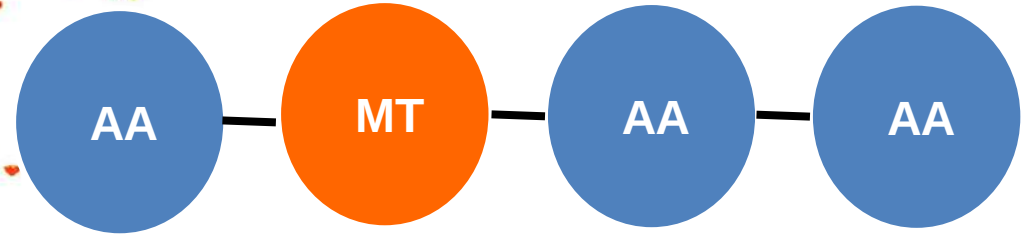
Metal Quelatado à um aminoácido ou proteína por ligações covalentes coordenadas.

Biosintetizado



Quelato de um metal com aminoácidos e peptídeos (proteinatos)

Metal quelatado a aminoácidos e pequenas cadeias de peptídeos



MT = Mineral Traço
AA = Aminoácido

Minerais orgânicos

Complexo

Quelato

Biosintetizado

Minerais orgânicos

Metionina $CH_3 - S - CH_2 - CH_2 - CH(NH_2) - COOH$

Selenometionina $CH_3 - Se - CH_2 - CH_2 - CH(NH_2) - COOH$

Suplementos de minerais orgânicos

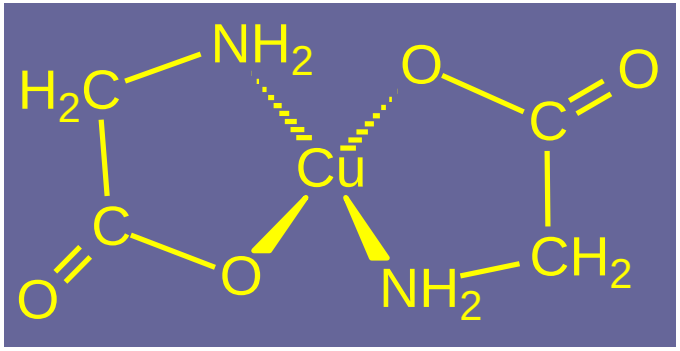
Oligoelementos

Minerais quelatados

Cu, Zn, Mn and Fe

Selênio orgânico

Aminoacidos contendo Selênio



CH_3-Se-CH_2-CH_2-CH(-NH_2)-COOH

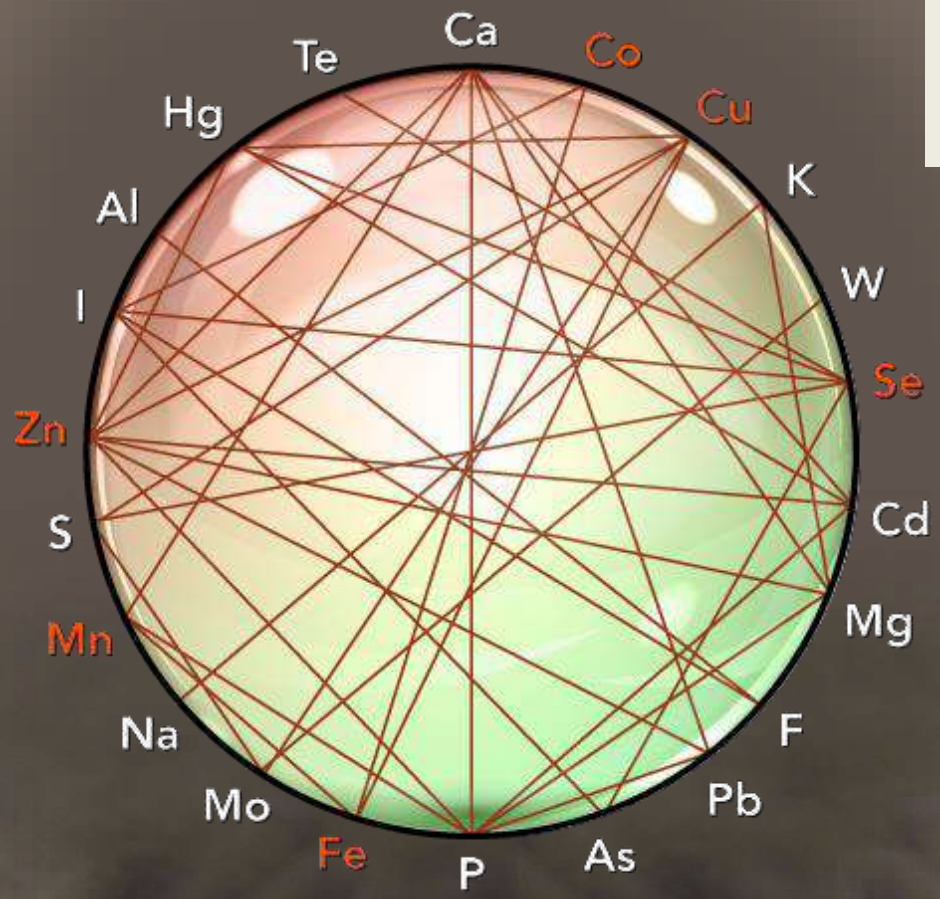
Selenoaminoácidos nas selenoleveduras

- Selenometionina
- Selenocistina/cisteina
- Selenocistationina
- Selenohomocisteina
- Selenometilselenocisteina
- Se-adenosilselenohomocisteina
- 20+ identificados até hoje

THE ALLTECH one IDEAS FORUM

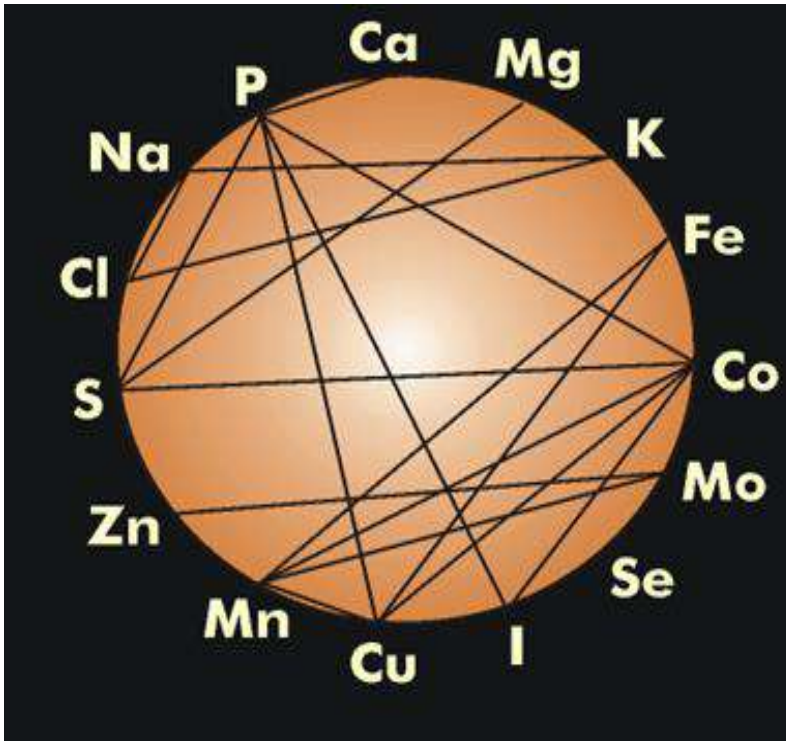
Algumas diferenças fundamentais entre os minerais na forma inorgânica e orgânica

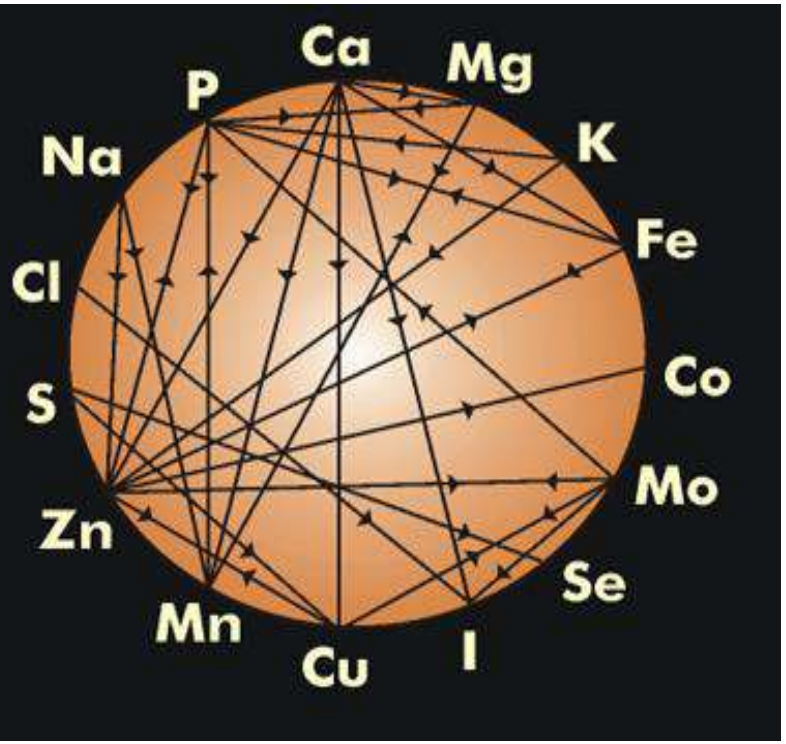
Minerais Inorgânicos



- **Interagem com outros minerais**
- Interagem com antagonistas
- Menor disponibilidade biológica
- Preocupações ambientais

Interações minerais



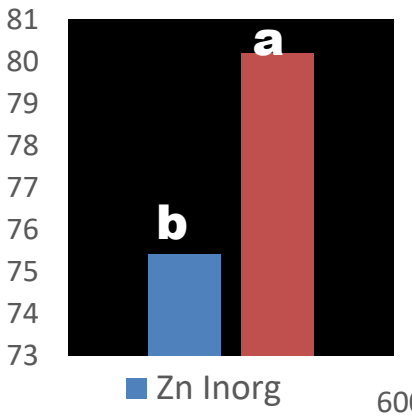


Sinergismo

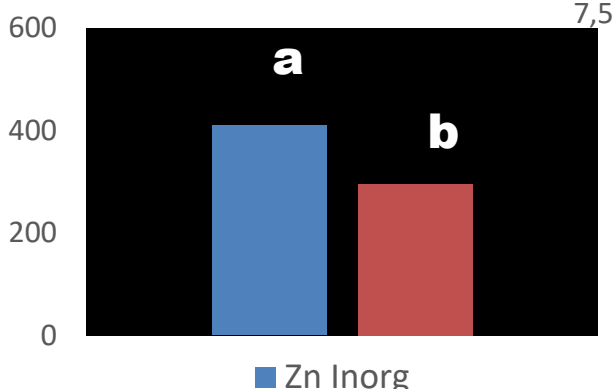
Antagonismo

David and Watts (1990)

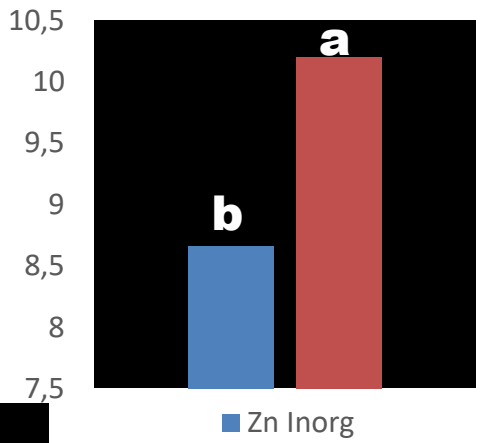
Exigências nutricional de Zn para frangos de corte: Zn, Mn e Fe (mg/kg) fígado



Zinco



Ferro



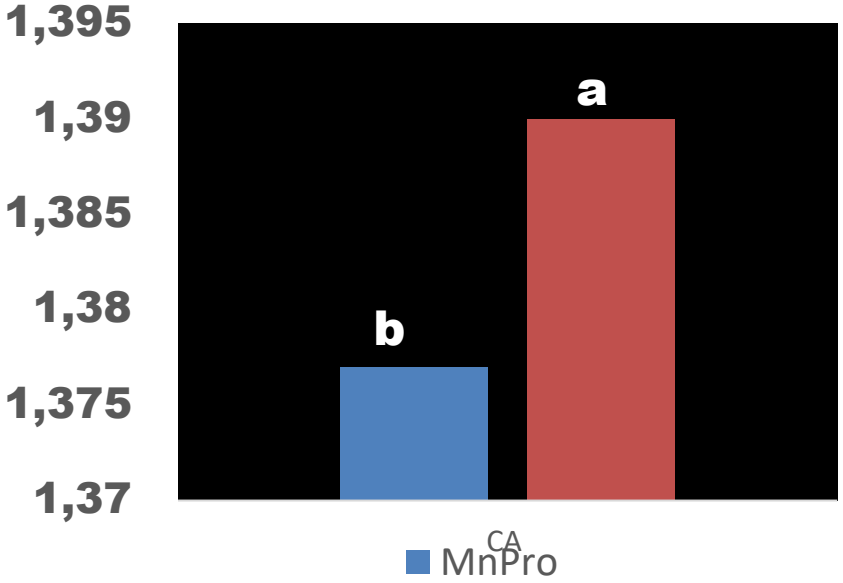
Manganês

PROZn X $ZnSO_4$

a,b - médias diferem P<0,05

Dietary Zn for broilers feed different minerals sources (dados não publicados).

Exigências nutricional de Mn para frangos de corte: CA



PROMn X $MnSO_4$

a,b - médias diferem P<0,05

Manganese requeriments for broilers fed diferente mineral sources (Carvalho et al. 2019 – IPPE 2019).

Exigências nutricional de Mn para frangos de corte: DESEMPENHO

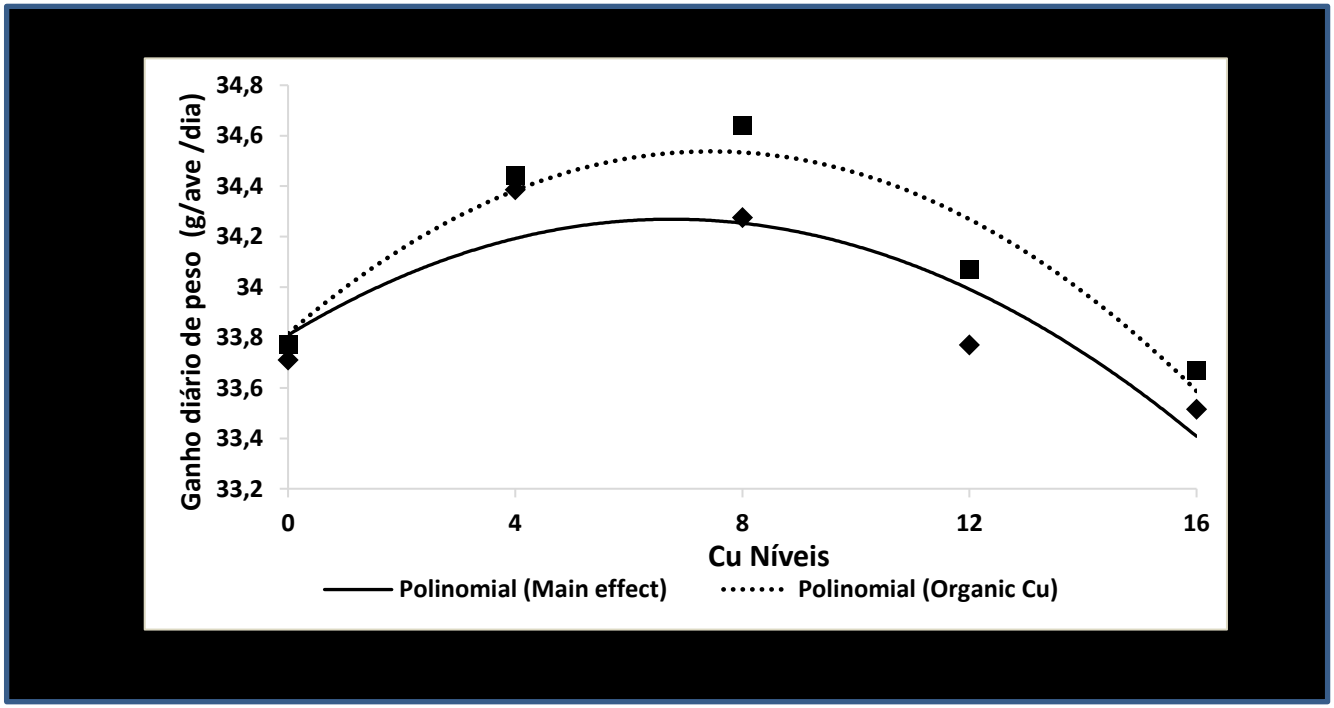
		Níveis de Manganês					p_Valor	
		0	25	50	75	100	Linear	Quadratic
PC	Inorgânico	526.1	542.1	547.2	554.5	552.0	0.0016	0.1378
	Orgânico	527.0	553.3	549.1	540.4	556.4	0.0222	0.2844
GDP	Inorgânico	35.12	36.73	37.24	37.96	37.71	0.0015	0.1335
	Orgânico	35.22	37.84	37.43	36.56	38.16	0.0211	0.2816
CDR	Inorgânico	49.89	51.04	51.63	51.88	52.01	0.0366	0.3988
	Orgânico	49.83	52.14	50.47	50.59	51.87	0.2939	0.9260
FC	Inorgânico	1.421	1.391	1.389	1.366	1.381	0.0096	0.1341
	Orgânico	1.417	1.377	1.349	1.384	1.360	0.0070	0.0475

6 mg/kg de Mn dieta basal

PROMn X $MnSO_4$

Manganese requeriments for broilers fed diferente mineral sources (Carvalho et al. 2019 – IPPE 2019).

Exigências nutricional de Cu para frangos de corte: GDP g/ave/dia

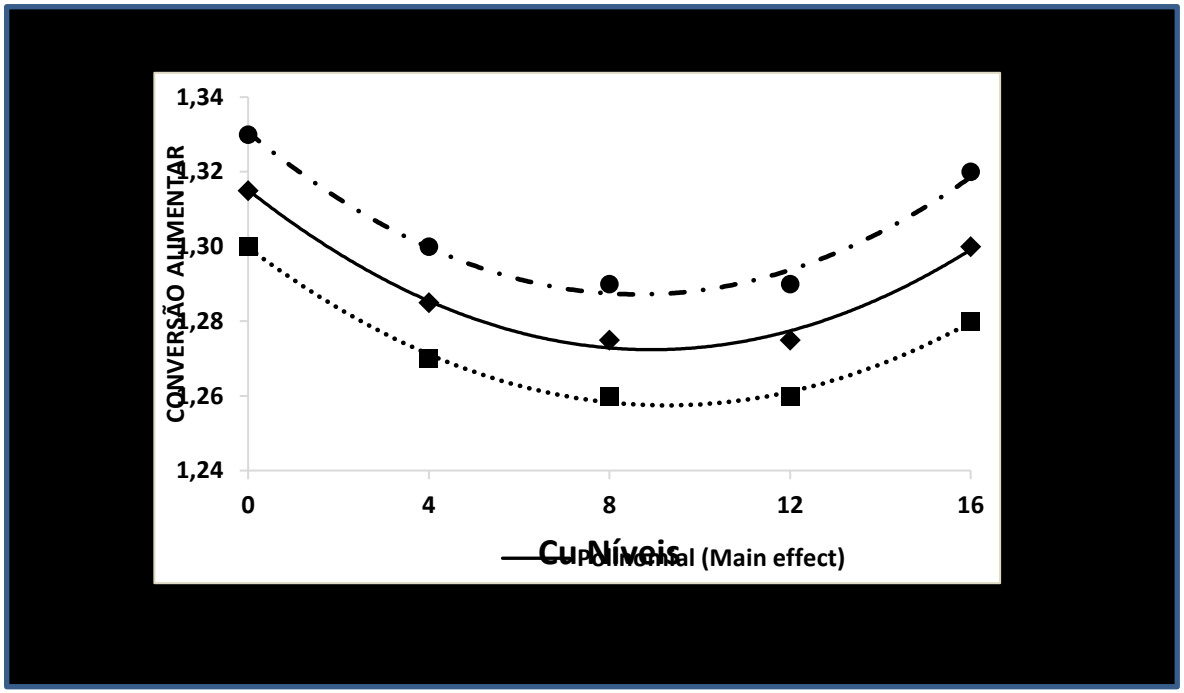


3 mg/kg de Cu dieta basal

Dietary copper requeriments ofr broilers fed different minerals sources (Ferreira Jr. et al. 2019 – IPPE - 2019).

CUPRO X $CUSO_4 5H_2O$

Exigências nutricional de Cu para frangos de corte: CA (g/g)

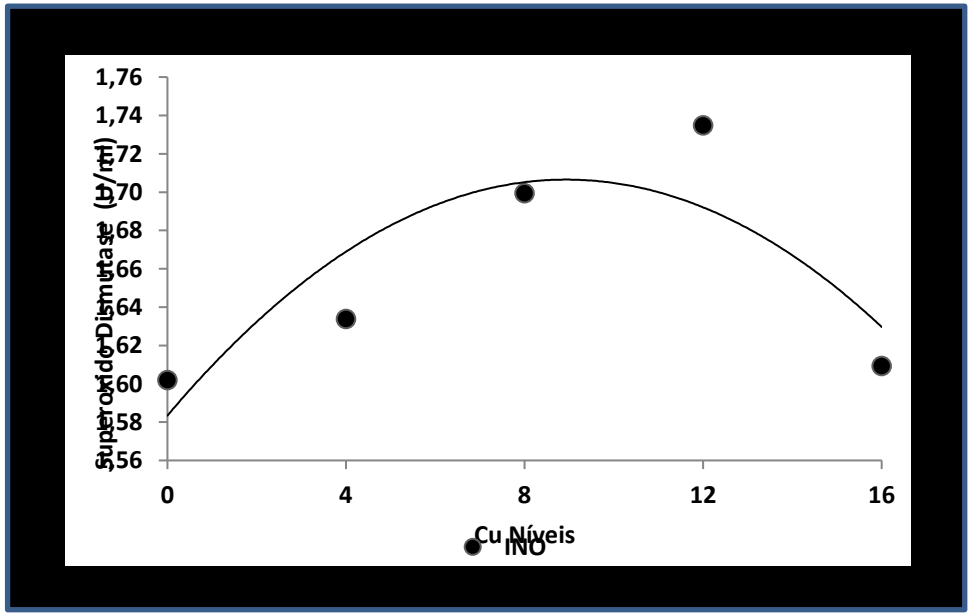


3 mg/kg de Cu dieta basal

Dietary copper requeriments ofr broilers fed different minerals sources (Ferreira Jr. et al. 2019 – IPPE - 2019).

CUPRO X $CUSO_4 5H_2O$

Exigências nutricional de Cu para frangos de corte: SOD (U/ml) Peito

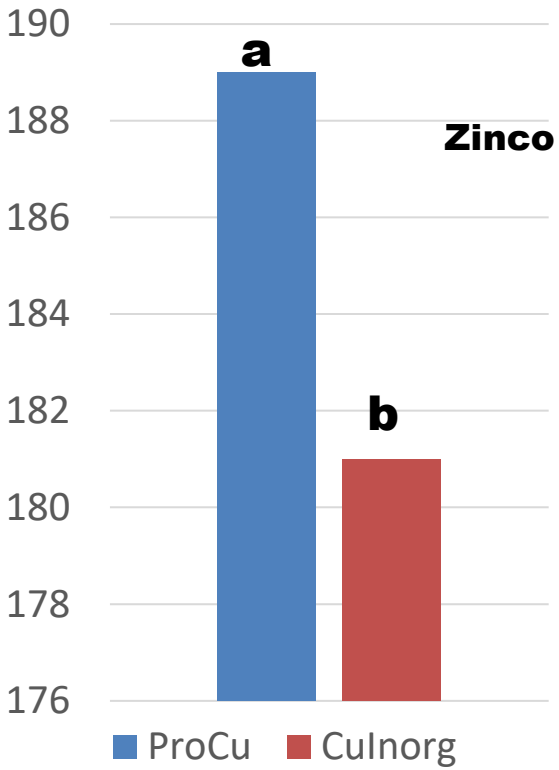


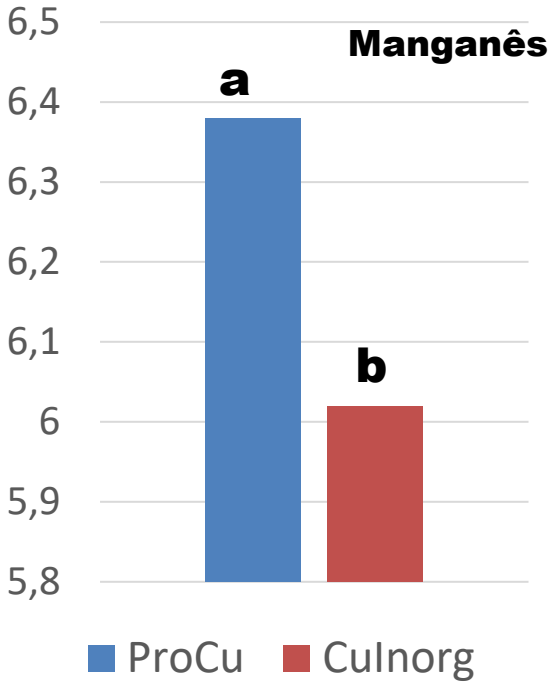
3 mg/kg de Cu dieta basal

Dietary copper requeriments ofr broilers fed different minerals sources (dados não publicados).

CUPRO X $CUSO_4 5H_2O$

Exigências nutricional de Cu frangos de corte: Zn e Mn (mg/kg) tíbia





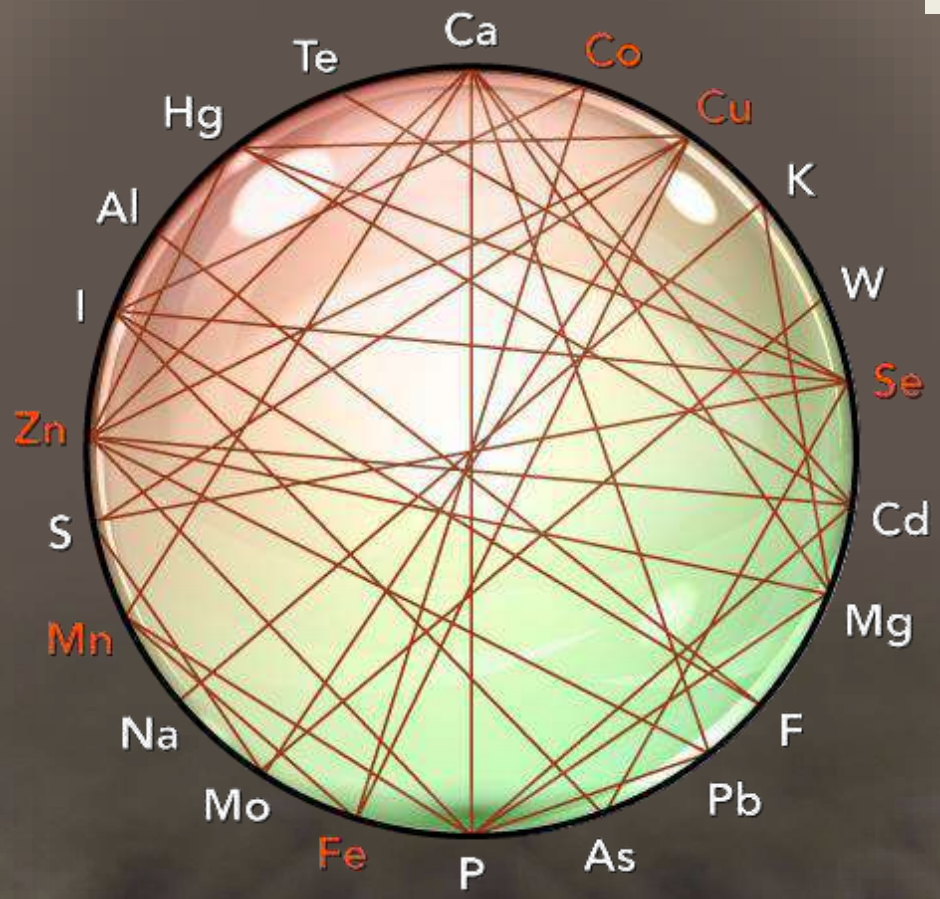
CUPRO X $CUSO_4 5H_2O$

a,b - médias diferem P<0,05

Dietary Cu for broilers feed different minerals sources (dados não publicados).

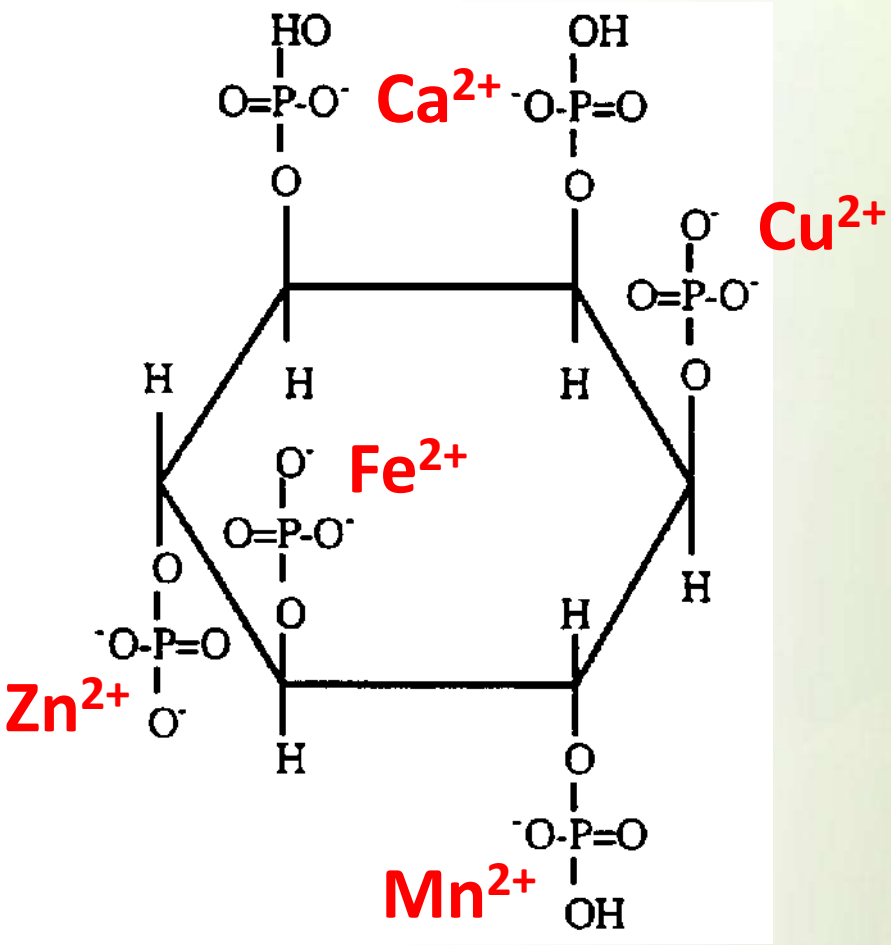
Inorgânicos?

Inorganics?



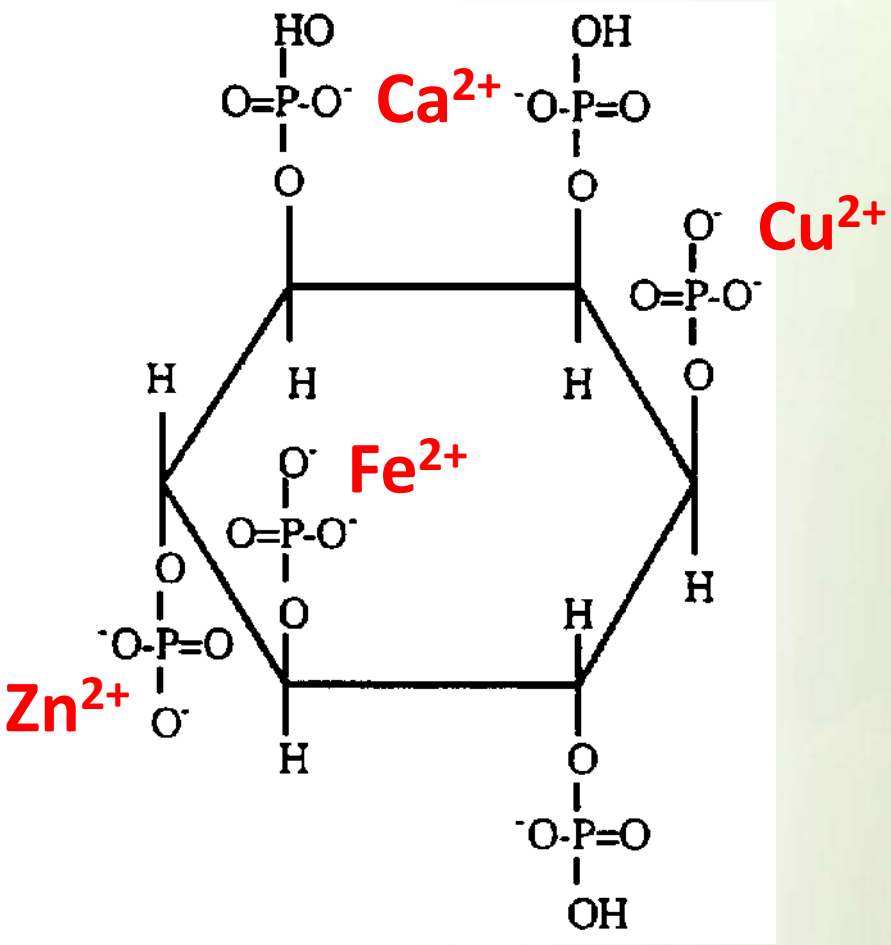
- Interagem com outros minerais
- **Interagem com antagonistas**
- Menor disponibilidade biológica
- Preocupações ambientais

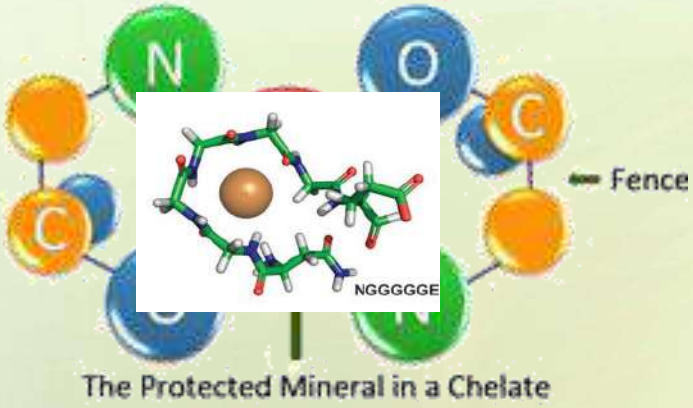
Minerais orgânicos não sofrem interação antagônica com o fitato



- Mais biodisponiveis que fontes inorgânicas.
- Necessitam menor nivel de inclusão para satisfazer as exigências nutricionais.
- Menos quimicamente reativos que os sais inorgânicos

Minerais orgânicos não sofrem interação antagônica do fitato

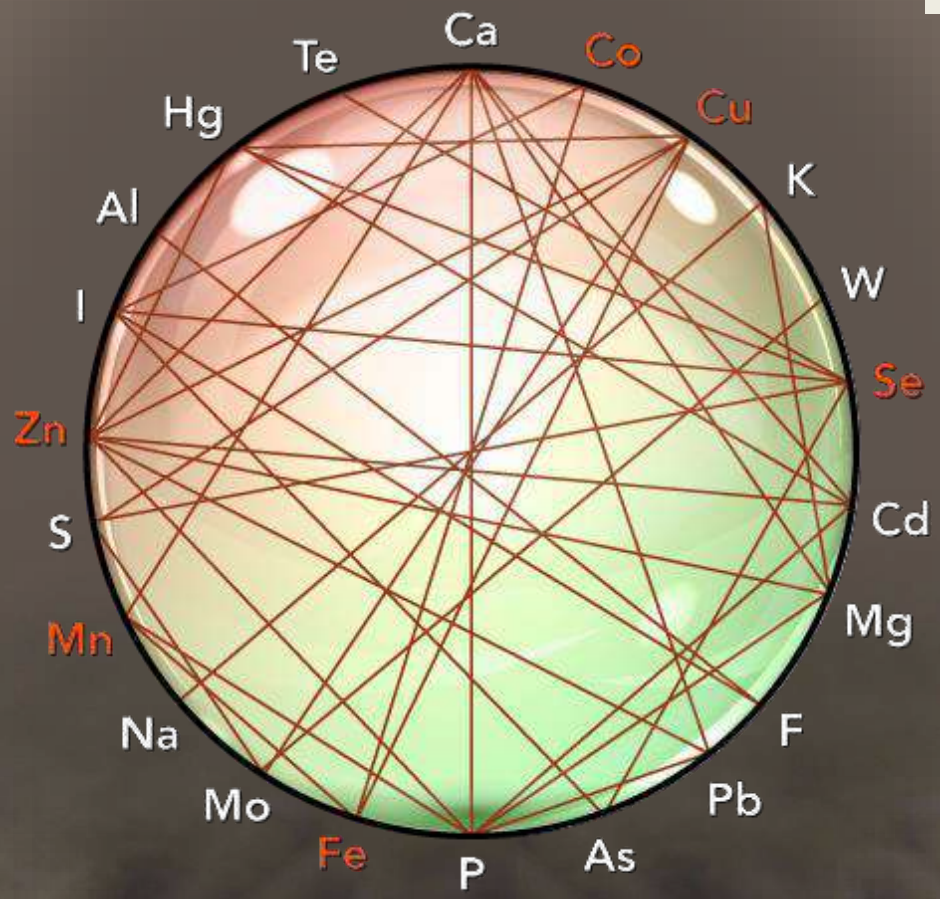




- Mais biodisponiveis que fontes inorgânicas.
- Necessitam menor nivel de inclusão para satisfazer as exigências nutricionais.
- Menos quimicamente reativos que os sais inorgânicos

Inorgânicos?

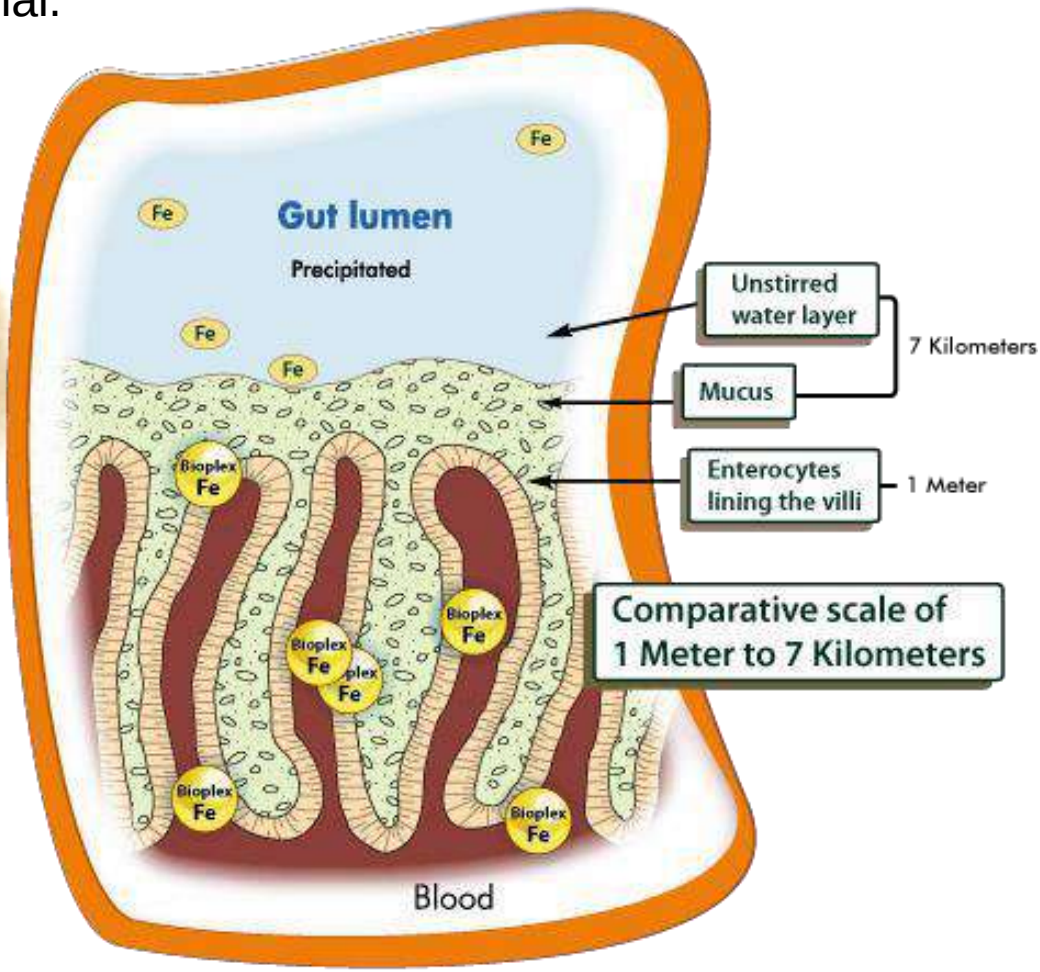
Inorganics?



- Interagem com outros minerais
- Interagem com antagonistas
- **Menor disponibilidade biológica**
- Preocupações ambientais

Por que quelatar minerais traço?

- Para proteger os minerais de interações negativas, conforme se deslocam pelo TGI.
- Proteger os minerais para chegarem no sitio correto de absorção intestinal.



Biodisponibilidade Relativa (%) de Zinco em Pintos

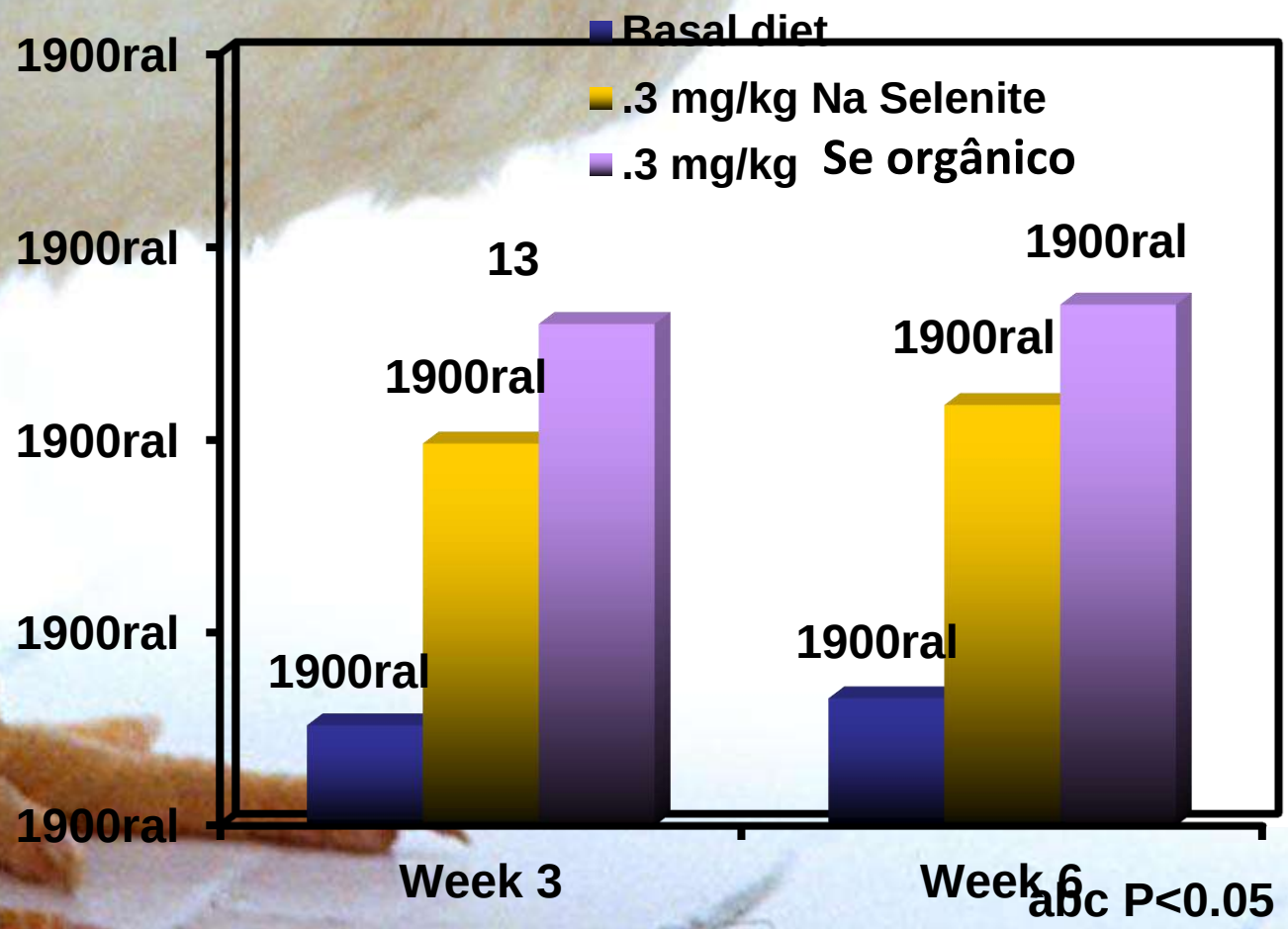
Fontes de Zinco	Plasma	Osso
Sulfato de zinco	100 b	100 b
Zinco-metionina	124 a	133 a
Zinco-aminoácidos	127 a	137 a

Wedekind et al. (1992)

Complexo Zn-aminoácido

Aumento do conteúdo de selênio no ovo

25-30% maior teor de Se no ovo



Cantor et al., 1996

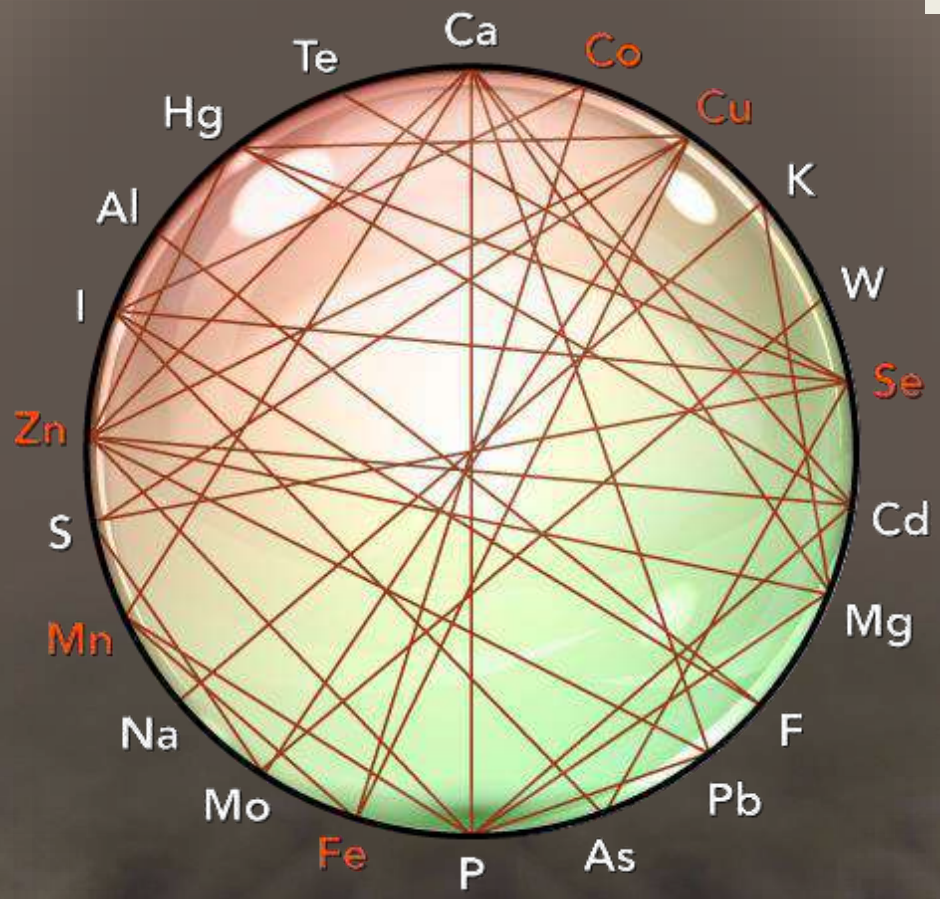
Baixos níveis de minerais traço são confiáveis se suplementados na forma orgânica

Leeson (2008) registrou que proteinatos de Zn, Cu, Mn e Fe podem ser oferecidos ao nivel de **14%** do total inorgânico, sem afetar o desempenho.

A substituição de minerais inorgânicos por orgânicos pode ser feita até 22%, sem afetar o desepenho e bem estar dos frangos (Vieira et al., 2013).

Inorgânicos?

Inorganics?



- Interagem com outros minerais
- Interagem com antagonistas
- Menor disponibilidade biológica
- **Preocupações ambientais**

A baixa biodisponibilidade de minerais traço, na forma inorgânica, juntamente com altas taxas de inclusão, aumentam a excreção de minerais.

EXCREÇÃO MINERAL ANUAL (KG/ANO)

(5 LOTES DE 100,000 FRANGOS MACHOS)

Minerais inorgânicos (%)	Minerais orgânicos (%)	Zinco	Manganes	Ferro	Cobre
100	0	470 a	273 a	535	19 a
0	100	318 b	217 b	523	17 ab
0	80	294 b	185 b	491	18 ab
0	60	309 b	172 cd	494	16 ab
0	40	299 b	156 d	487	16 ab
0	20	292 b	130 e	446	15 b
	+SD	37	13	50	1.7
		**	**	NS	*

Leeson (2003)

SCIENTIFIC OPINION

EFSA Journal

ADOPTED: 13 July 2016

doi: 10.2903/j.efsa.2016.4563

Revision of the currently authorised maximum copper content in complete feed

EFSA Panel on Additives and Products or Substances used in Animal Feed (FEEDAP)

Abstract

The Panel on Additives and Products or Substances used in Animal Feed (FEEDAP) reviewed (i) the copper requirements of food-producing and pet animals, (ii) the copper concentration in feed materials and complete feed, (iii) the copper bioavailability, and (iv) the calculated background copper concentration of complete feed. Also considered were (i) the influence of dietary copper on gut microbiota profile and on the bacterial antibiotic resistance in target animals and (ii) the environmental occurrence of bacterial heavy metal tolerance (copper resistance) and resistance to certain antibiotics. The data collected supported the possibility of a reduction in some of the currently authorised maximum contents (CAMC) for total copper in feed. The EFSA Panel developed an algorithm to derive newly proposed maximum contents (NPMC) from the requirement and the native dietary copper content. The NPMC (mg Cu/kg complete feed) comprised of maintained (m), decreased (d) and increased (i) values: 15 for bovine before the start of rumination (m), 30 for other bovine (d), 35 for caprine (i), 15 for ovine (m), 50 for crustacean (m) and 25 for other animal species ((d) for piglets up to 12 weeks, (m) for all other species). The NMPC support health, welfare and economic productivity of target animals, except piglets; performance of weaned piglets would be impacted. The NPMC values would not likely have any consequences on the consumers' intake of copper and are of no concern for the safety of the consumer. The reduction from 170 mg to 25 mg Cu/kg feed piglets would have the capacity to save 1,200 tonnes copper/year being spread in the field and thus, to reduce total copper emissions from farm animal production by about 20%. Thus, the reduction of the CAMC to the NPMC

- Reduziu de 170 ppm até 25ppm em leitões
- Reduziu de 35 ppm para 30 ppm em gado leiteiro e de corte
- Potencialmente reduziu a excreção para o ambiente em 20%
- Deverá reduzir mais
- Aumento de confiança na fitase
- Papel dos minerais na inibição da fitase?

efsa European Food Safety Authority

EFSA Journal 2014;12(5):3668

SCIENTIFIC OPINION

Scientific Opinion on the potential reduction of the currently authorised maximum zinc content in complete feed[1]

EFSA Panel on Additives and Products or Substances used in Animal Feed (FEEDAP)[2,3]

European Food Safety Authority (EFSA), Parma, Italy

This scientific output, published on 22 February 2017, replaces the earlier version published on 5 May 2014.[4]

ABSTRACT

A critical review of (i) the zinc requirements of food-producing and pet animals, (ii) the zinc concentration of feed materials and (iii) the calculated background zinc concentration of complete feed supports the possibility of a considerable reduction of the currently authorised maximum concentration for total zinc in feed. The FEEDAP Panel developed, based on an approximation using zinc requirements and background data, potential new maximum contents, which could replace the current ones. The newly proposed total maximum contents are: 150 mg Zn/kg complete feed for piglets, sows, rabbits, salmonids, cats and dogs; 120 mg Zn/kg complete feed for turkeys for fattening; 100 mg Zn/kg complete feed for all other species and categories. The use of phytase in feeding piglets, pigs for fattening and sows would allow a further reduction of the newly proposed total maximum contents by 30 % (from 150 to 110 mg Zn/kg feed for piglets and sows and from 100 to 70 mg Zn/kg feed for pigs for fattening). The newly proposed total maximum contents ensure health, welfare and productivity of the target species and do not affect consumer safety. The FEEDAP Panel expects that the introduction of the newly proposed total maximum contents, provided they are applied in feeding practices, would result in an overall reduction of zinc emissions from animal production of about 20 %.

© European Food Safety Authority, 2014

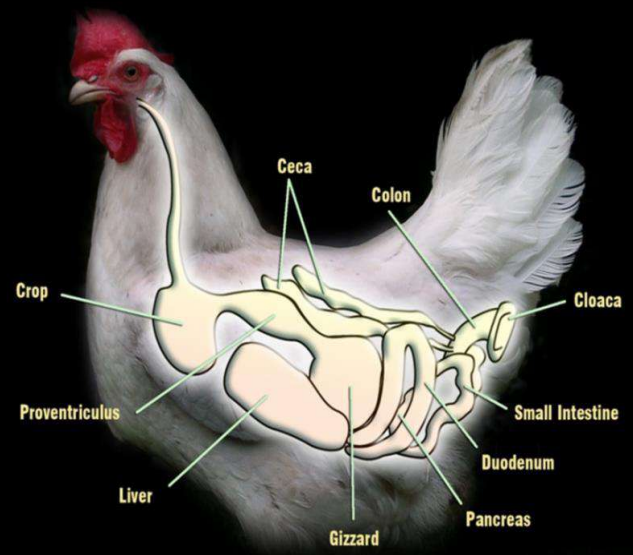
- Reduziu de 200ppm para 180ppm em salmão e suscedâneo lácteo
- Reduziu de 150ppm para 120ppm ipara outras espécies que não leitões, porcas e não salmonídeos
- Reduziu potencialmente a emissão de gases em 20%
- Deve reduzir ainda mais
- Aumentada a confiança na fitase
- Papel dos minerais na inibição da fitase?

Concepções não corretas associadas a minerais orgânicosMisconceptions associated with OTM's

- Menor peso molecular é melhor
- O Nitrogenio é a única ligação envolvida
- Aminoácidos quelatados são os mais estáveis
- Proteinatos podem ligar a menos minerais

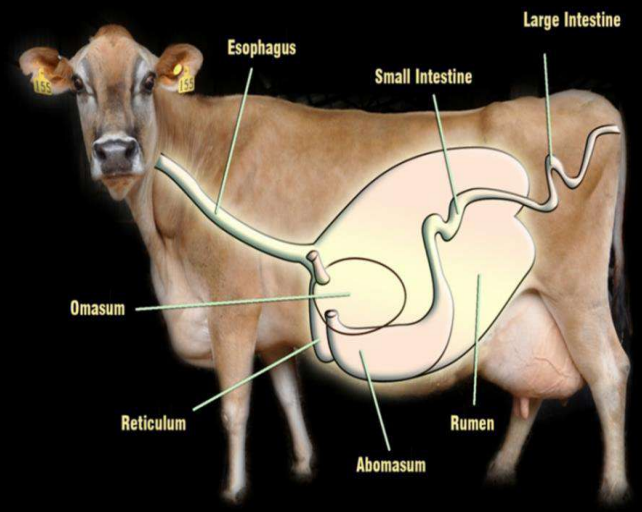
Tornando claro as concepções não corretas:

Fatos a serem considerados!



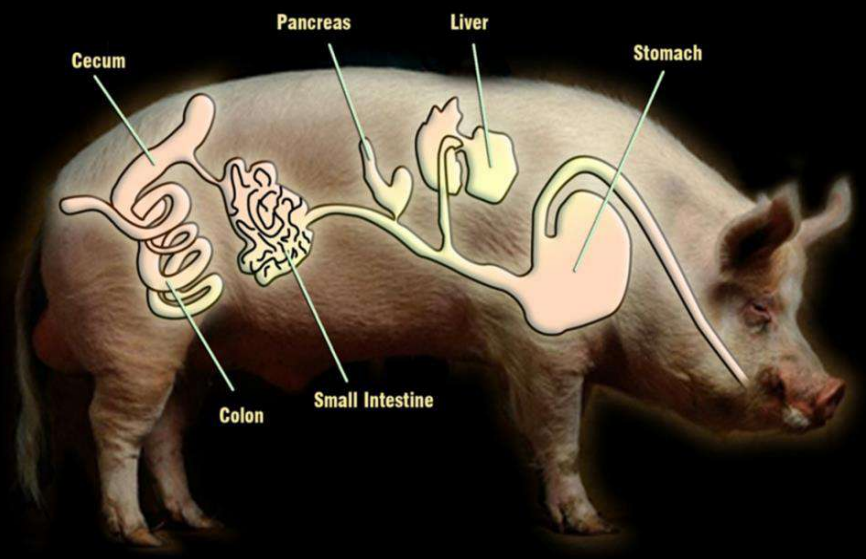
pH				Small Intestine			
Crop	Proventriculus	Gizzard	Duodenum	Upper	Lower	Cecum	Colon
4-6	2.5-5	2.5-5	5-6.5	6-7	7-7.5	5.5-7	7

Murphy *et al* 2011, European Biosciences Centre



Reticulorumen	Omasum pH	Abomasum pH	Duodenum pH	Jejunum pH	Ileum pH
5.5-7.5	2.5	2.0-2.5	2.7-4	4-7	7-8

Murphy *et al* 2011, European Biosciences Centre



Stomach pH	Proximal Duodenum pH	Distal Duodenum pH	Proximal Jejunum pH	Distal Jejunum pH	Ileum pH
1.5-2.5	6	6.8	7.4	7.4	7.5

Murphy *et al* 2011,
European Biosciences Centre

Efeitos negativos do pH

- Reage ácido fítico
- Precipitação do mineral
- Estresse oxidativo
- Inibição da atividade enzimática
- Destruição de vitaminas

BIOPLEX®

Como maximizar a capacidade de ligação do mineral

- Otimisar a hidrólise
- Minimizar a instabilidade a acidez
- Assegurar a chegada do mineral ao seu destino.

BIOPLEX®

Importância da força de ligação do mineral

traço orgânico

Maximizar a estabilidade em pH para otimizar a disponibilização do mineral no local certo do intestino

O papel da força de ligação sobre a estabilidde do mineral traço

Comparar minerais orgânicos: comparar a força de ligação entre o mineral e a sua denominada constante de estabilidade.

A maior parte dos aminoácidos e peptideos se ligam através do nitrogênio, oxigênio e enxofre.

Aminoácidos de forma individual exibem uma amplitude de estabilidades, quando complexados com diferentes minerais. Estas estabilidades podem ser obtidas a partir de uma base de dados.

Bonding group	Relative Stability
Gly-Gly (150Da)	0.003
Met (m.wt. 149Da)	0.5
Gly (m.wt. 75Da)	1
His-Ser (m.wt. 260Da)	2.5
His-Met (m.wt. 304Da)	2.5
Gly-Cys (m.wt. 196Da)	21
Gly-Lys (m.wt. 221 Da)	2818
Tyr-Trp (m.wt. 385Da)	3235
Ala-Lys (m.wt. 238Da)	9549
Tyr-Lys (m.wt. 327Da)	186208
EDTA	5.6 x 1010

Source:

1. Stability Constants, Determination and Uses, Peter Gans.
2. Critically selected stability constants of metal complexes, NIST Database 46.

O tamanho do mineral organico não é o fator crítico na estabilidade do quelato.

O tipo de aminoácido influencia não só a estabilidade do quelato, mas tambem a posição do aminoacido no peptideo pode influenciar a ligação com o mineral.

Table 2. Role of amino acid sequence on chelate bond strength and stability.

Bonding group	Relative Stability
Gly-Gly-Gly (m.wt 225Da)	1
Gly-Gly-His (m.wt. 305Da)	270
Gly-His-Gly (m.wt. 305Da)	8511

Os fatores mais criticos são a posição e a sequencia de aminoacidos, não o seu tamanho .

A estabilidade do quelato pode ser influenciada pelo tipo de aminoácido e pela sequencia de aminoacidos no peptideo

Gly↓-Gly-His-Gly-His-Gly (Aminopeptidase)

Gly↓-Gly-His-Gly-His-Gly (Aminopeptidase)

Gly-Gly↓-His-Gly-His-Gly (Dipeptidyl peptidase)

Gly-Gly↓-His-Gly-His-Gly (Dipeptidyl peptidase)

Gly-Gly-His↓-Gly-His-Gly (Tripeptidyl peptidase)

Gly-Gly-His↓-Gly-His-Gly (Tripeptidyl peptidase)

Gly-Gly-His-Gly-His↓-Gly (Carboxpeptidase)

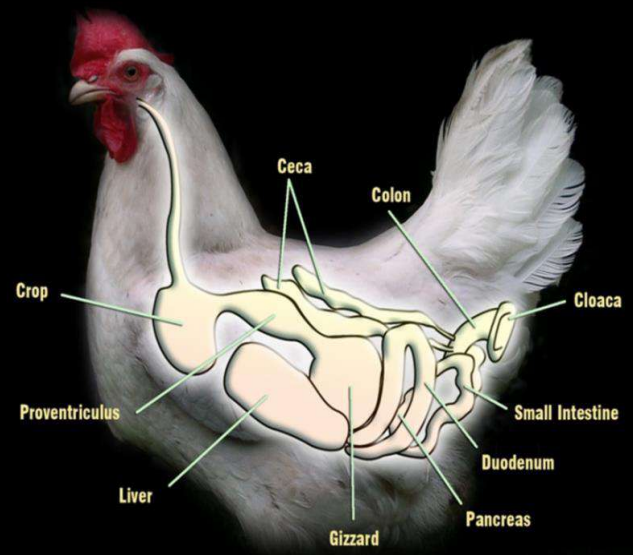
Gly-Gly-His-Gly-His↓-Gly (Carboxpeptidase)

A hidrólise em diferentes pontos do peptídeo resulta na geração de peptídeos com diferentes potenciais de ligação

A hidrolise da proteina forma peptideos forma varias sequencias de aminoácidos

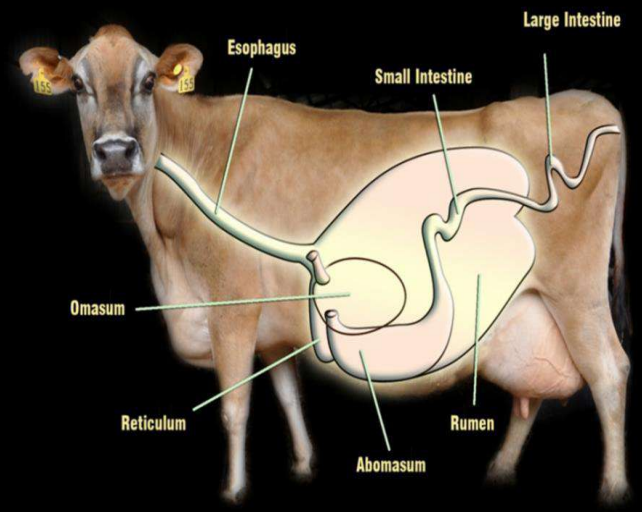
A produção de um hidrolizado proteico otimo para a quelatação mineral pode ser afetado pelas condições da hidrólise.

Isto garante um hidrolizado proteico com propriedades que assegurem constancia e estabilidade na ligação, em condições de alteração de pH.



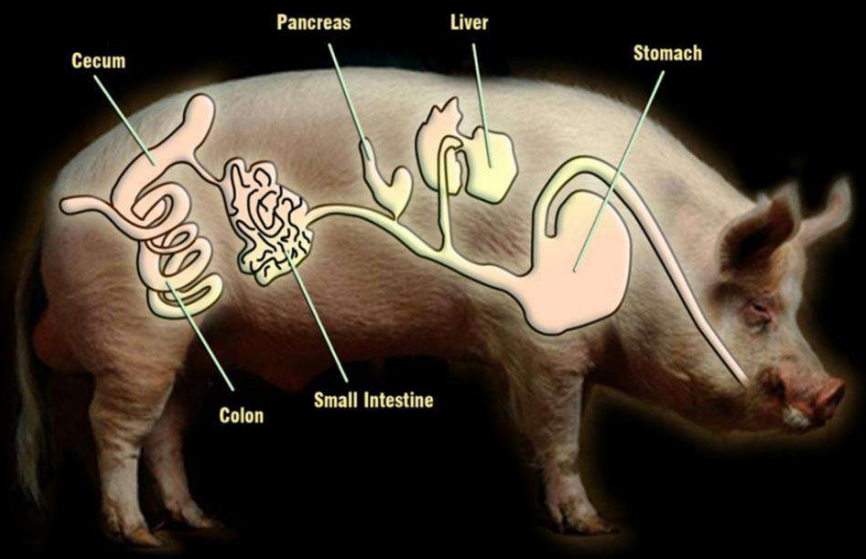
pH				Small Intestine			
Crop	Proventriculus	Gizzard	Duodenum	Upper	Lower	Cecum	Colon
4-6	2.5-5	2.5-5	5-6.5	6-7	7-7.5	5.5-7	7

Murphy *et al* 2011, European Biosciences Centre



Reticulorumen	Omasum pH	Abomasum pH	Duodenum pH	Jejunum pH	Ileum pH
5.5-7.5	2.5	2.0-2.5	2.7-4	4-7	7-8

Murphy *et al* 2011, European Biosciences Centre



Stomach pH	Proximal Duodenum pH	Distal Duodenum pH	Proximal Jejunum pH	Distal Jejunum pH	Ileum pH
1.5-2.5	6	6.8	7.4	7.4	7.5

Murphy *et al* 2011,
European Biosciences Centre

A força de ligação do mineral traço é de importancia primordial na sua biodisponibilidade.

Durante a passagem do mineral orgânico através do trato gastrointestinal, ele sofre ação do pH acido, que pode alterar a força de ligaçao do quelato, dissociando dos minerais, isto é, tornando os minerais livres.

Consequencias negativas do pH sobre a dissociação dos minerais orgânicos.

Os minerais na forma livre podem reagir com ácido fítico, que se encontra presente no trato gastrointestinal

Formam os chamados hidroxidos ao alcançar o ambiente alcalino do intestino.

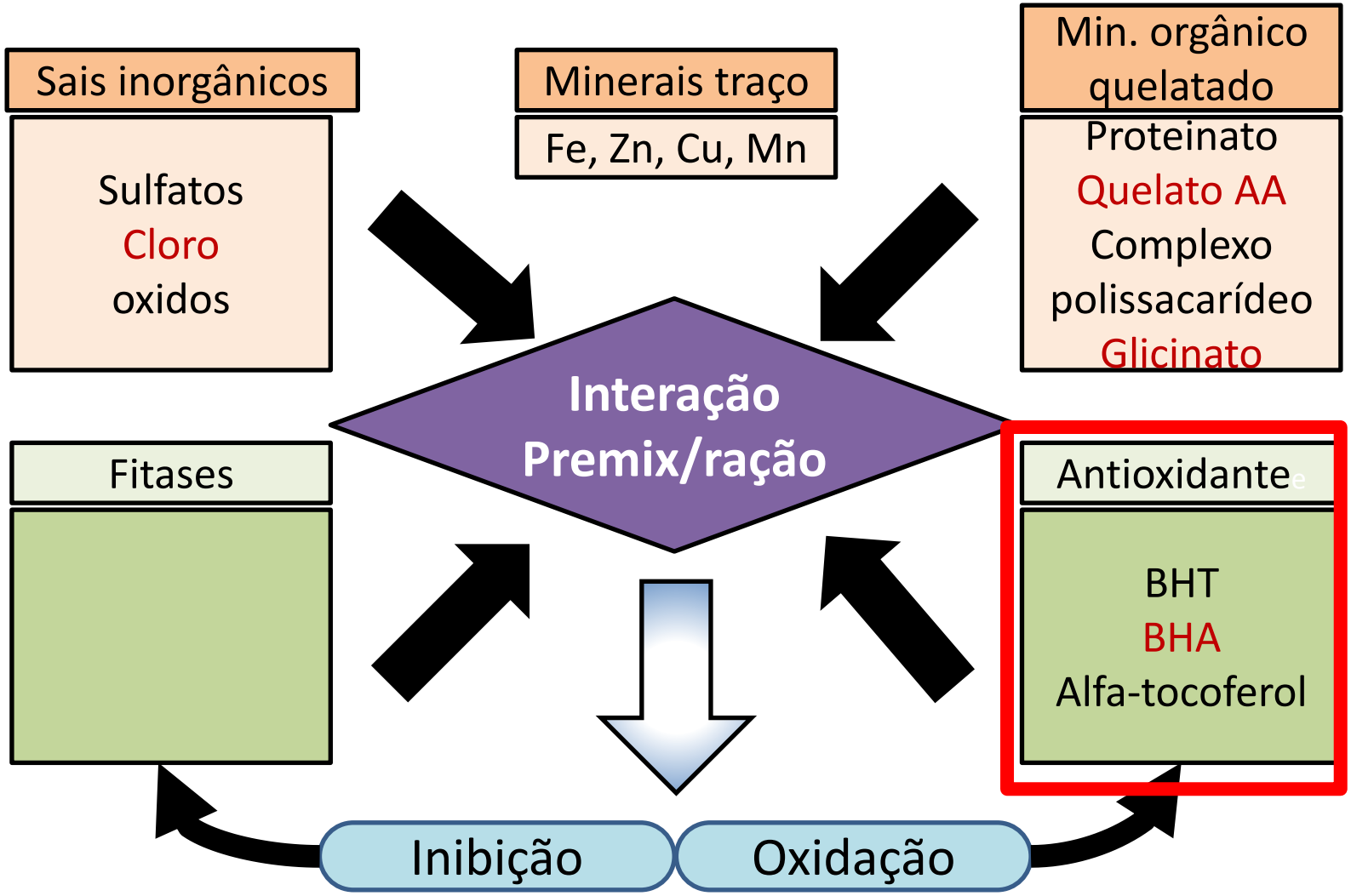
Isto pode levar hidoxipolimerização induzida pelo pH e resultar em precipitação do mineral e resultar em redução na biodisponibilidade.

Complexos ou quelatos com debil força de ligação não propiciará a chegada do mineral no sitio de absorção no intestine e reduzirá a eficiência do produto, comparativamente ao mineral inorgânico.

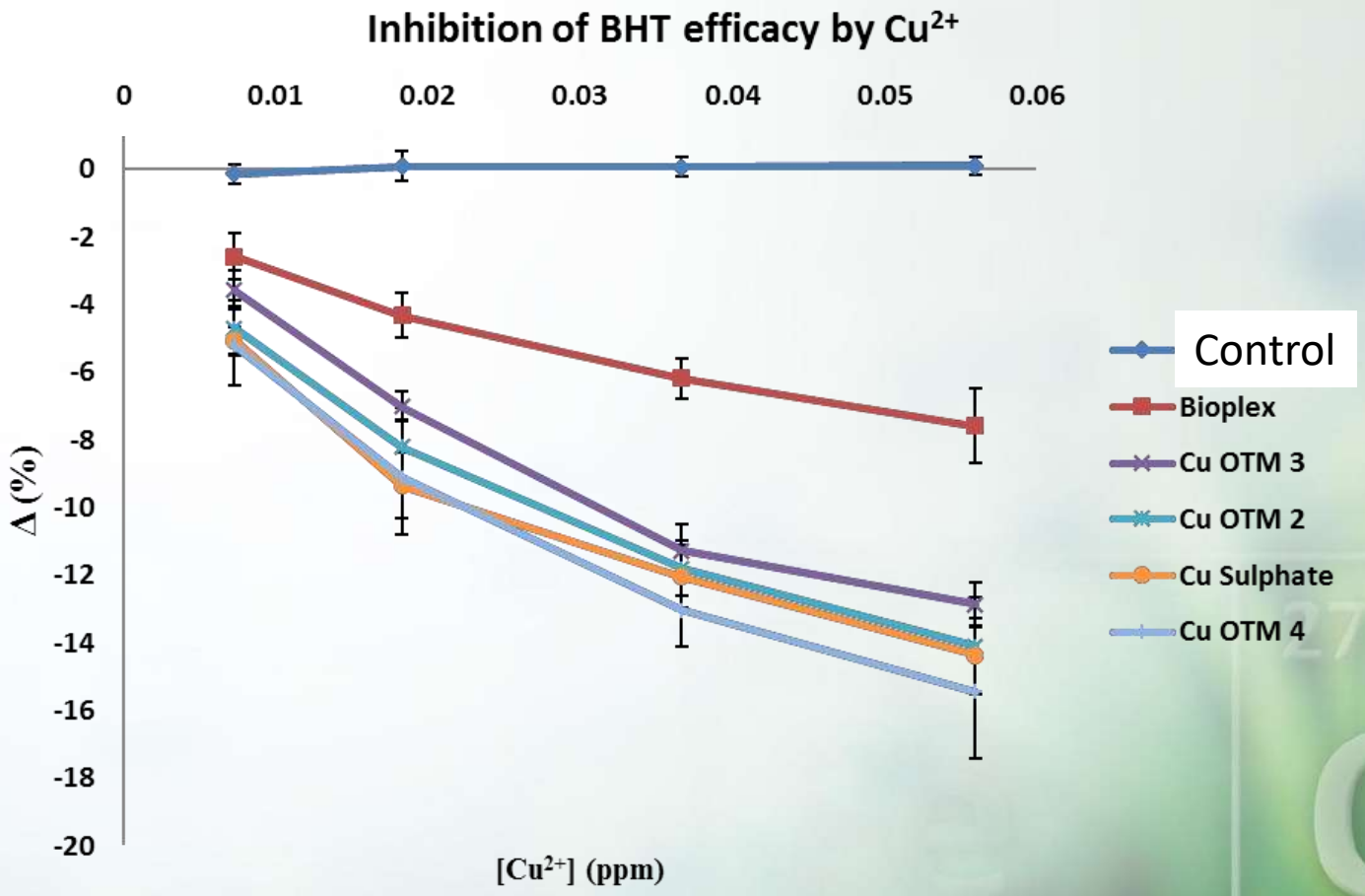
Maximizar a estabilidade dos minerais orgânicos a um determinado pH aumentará a absorção do mineral no intestine.

Em resumo, quanto maior a estabilidade do mineral orgânico, maior o seu potencial de biodisponibilidade.

Interações entre minerais traço e suas funções

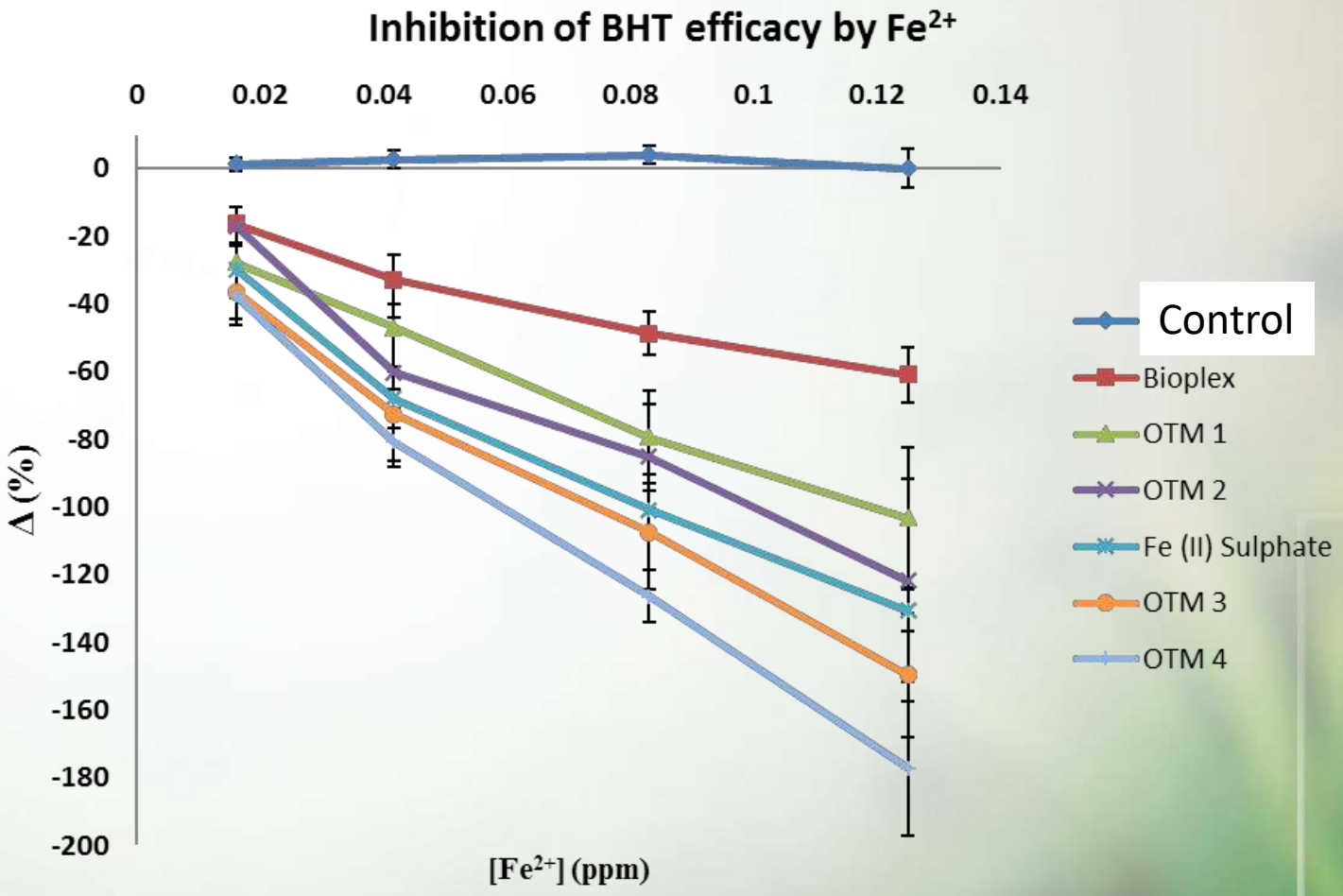


Efeito pró-oxidante do cobre



Concar *et al* 2016

Pro-oxidant effects of iron

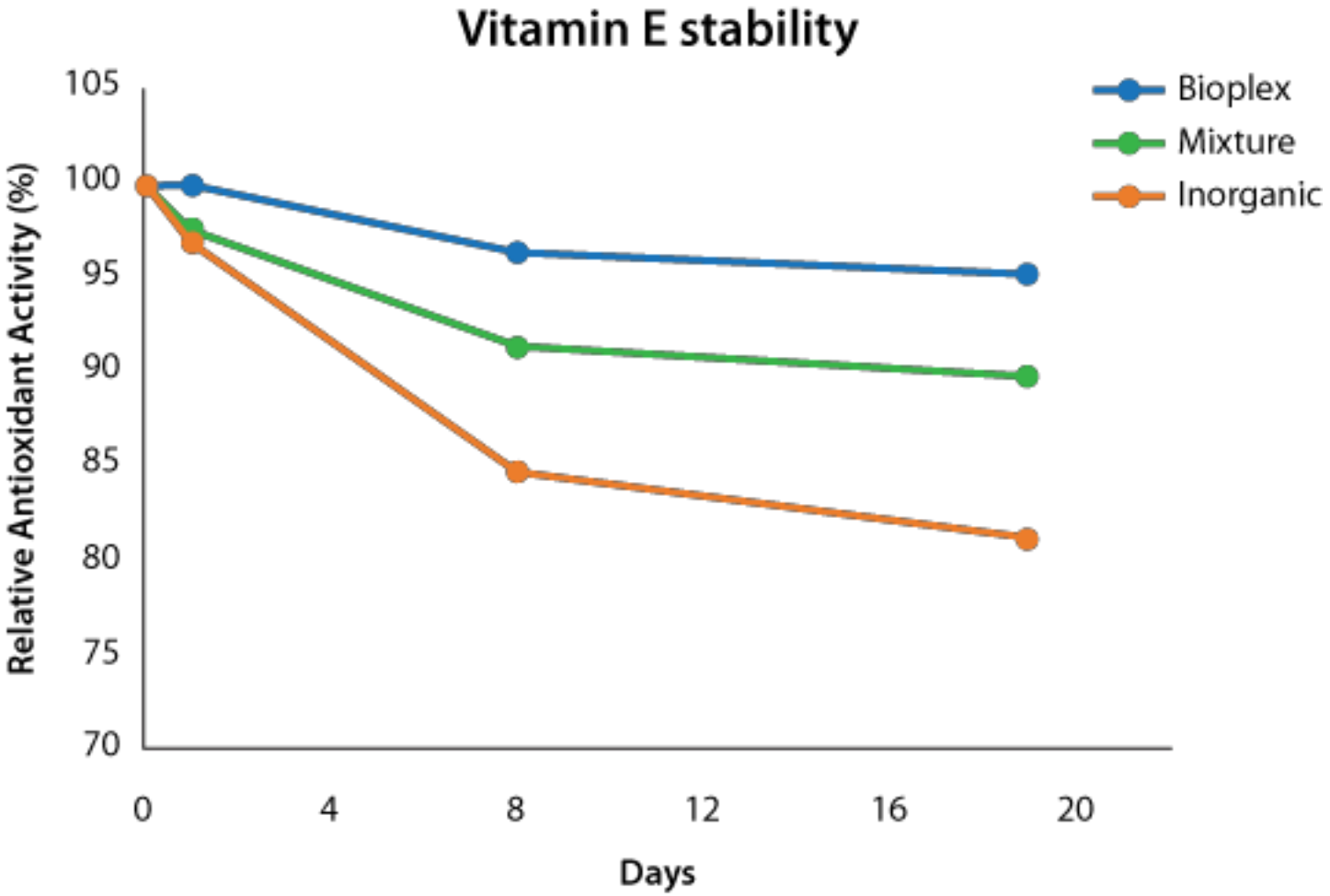


Concar *et al* 2016

EFEITO DE MINERAIS SOBRE A ESTABILIDADE DE VITAMINAS

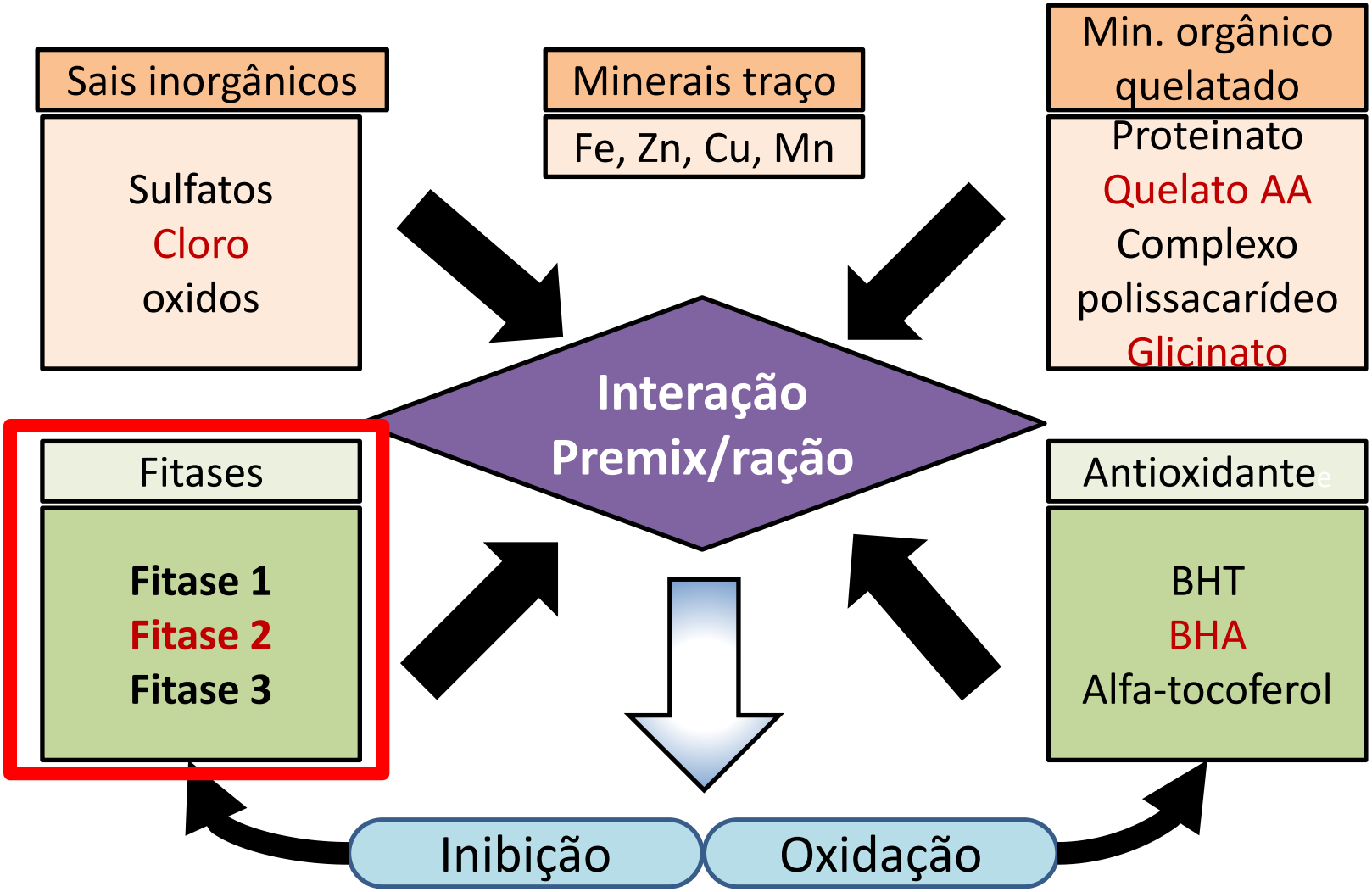
Minerais inorgânicos reduzem a estabilidade de vitaminas

Byrne *et al* 2016

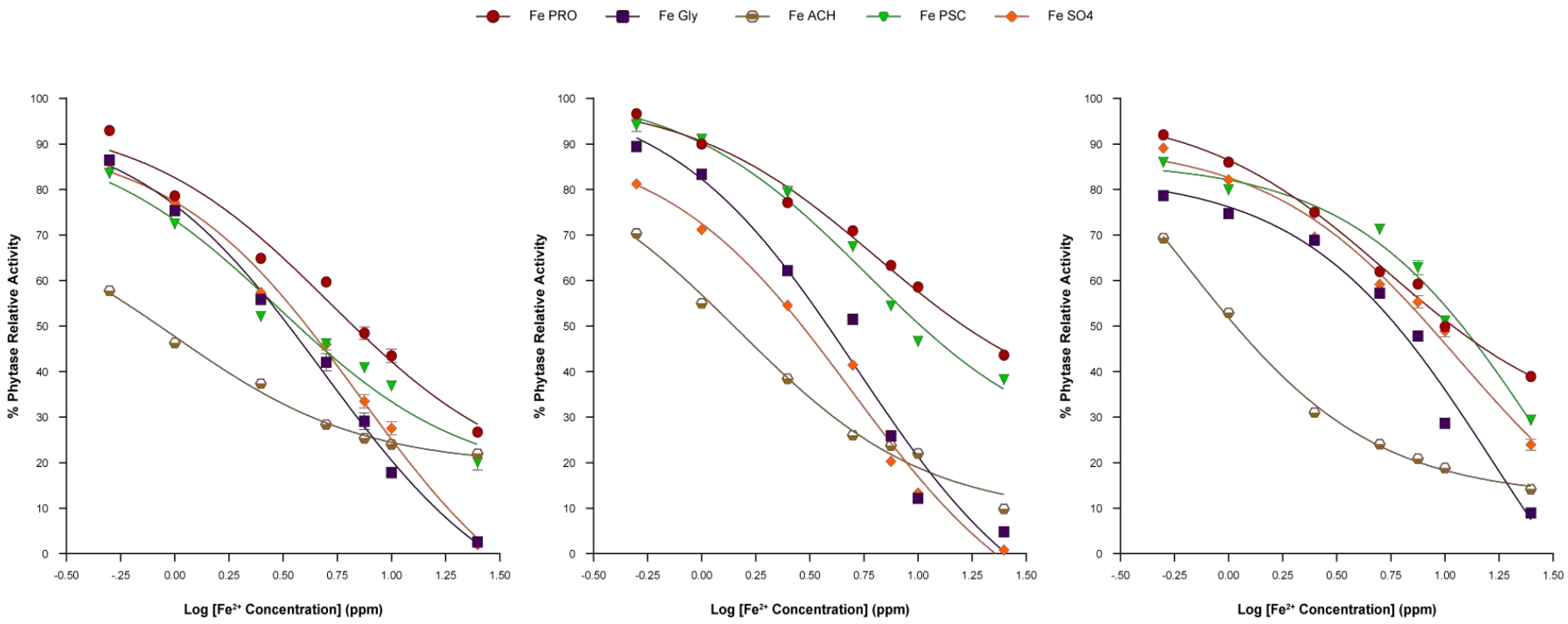


O uso de minerais orgânicos não causa uma redução significaiva estabilidade da vitamina E. A combinação 50:50 resultou em perda de vitamina E. Minerais inorgânicos causaram perdas significativas.

Interações entre minerais traço e suas funções



Bioplexes cause less phytase inhibition



Fitase 1 Fitase 2 Fitase 3

Santos *et al* 2015

Uma relação altamente significaiva entre a inibição da fitase, tipo de mineral traço, bem como fonte de mineral.

Pontos a considerar entre minerais inorgânicos e orgânicos

1- Estabilidade em pH acido gastrico

2- A interação negativa entre diferentes produtos minerais com o premix e componentes alimentares ocorre devido a sua instabilidade em pH ácido.

3- A quelatação pode reduzir o impacto negativo de minerais ao impedir os mesmos de interagirem adversamente no TGI

4- Diferentes quelatos apresentam diferentes estabilidade e diferem no seu impacto e biodisponibilidade

Pontos a considerar entre minerais inorgânicos e orgânicos

5- Minerais inorgânicos podem inibir a atividade de enzimas tais como fitases, devido a liberação de cations em pH ácido.

6- Minerais inorgânicos podem causar oxidação e reduzir a eficiência de antioxidantes.

7- O efeito adverso de minerais traço inorgânicos sobre a estabilidade da vitamin E e de outros cofatores essencias.

8- O tamanho do composto não representa tudo. Um ligante de menor tamanho não significa ser melhor.

9- Peptideos apresentam a capacidade de formar ligações fortes e estaveis com minerais como o Cu, Fe, Zn e Mn. Isto garante a chegada do mineral no sitio de absorção.

Obrigado!