

## USO DE BIXINA NA DIETA DE FRANGOS DE CORTE E SEUS EFEITOS NO DESEMPENHO ZOOTÉCNICO E QUALIDADE DA CARNE

(Effects of dietary bixin on broiler performance and meat quality)

Fabiana Golin Luiggi<sup>1</sup>, Peterson Dante Gavasso Pacheco<sup>1</sup>, Aline Mondini Calil Racanicci<sup>2</sup>, Elisângela de Souza Miranda Muynarsk<sup>3</sup>, Ricardo Fasanaro<sup>1</sup>, José Roberto Sartori<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Melhoramento e Nutrição Animal – UNESP/Botucatu, <sup>2</sup>Departamento de Zootecnia – UnB, <sup>3</sup>Departamento de Microbiologia e Imunologia – UNESP/Botucatu

Corresponding author: [luiggi.fabi@gmail.com](mailto:luiggi.fabi@gmail.com)

**RESUMO:** A bixina é o principal carotenóide presente na semente de urucum (*Bixa orellana*). O objetivo deste estudo foi avaliar a inclusão de níveis crescentes de bixina na dieta de frangos de corte e seus efeitos sobre o desempenho zootécnico e características da carne. Foram utilizados 750 pintos de um dia de idade, Cobb 500, distribuídos em delineamento inteiramente casualizado, com cinco tratamentos, cada um com seis repetições de vinte e cinco aves cada. Os tratamentos consistiram em diferentes níveis de inclusão de bixina na ração (0,0; 0,05; 0,10; 0,15%). Foram avaliados os parâmetros de desempenho (ganho de peso-GP, consumo de ração-CR, conversão alimentar-CA, fator de eficiência produtiva-FEP e viabilidade-VB), qualidade de carne (pH, cor, perda de água por exsudação-PPE, perda de água por cocção-PPC e força de cisalhamento-FC), níveis de colesterol e oxidação da carne. A inclusão de 0,25% de bixina resultou em efeito negativo no ganho de peso e no fator de eficiência produtiva. Os valores de b\* (intensidade de amarelo) aumentaram linearmente com a inclusão de bixina. A adição de 0,10% de bixina dieta reduziu a perda de peso por cocção e a adição de 0,15% reduziu a força de cisalhamento. A inclusão de 0,25% de bixina na dieta apresentou efeito antioxidante na carne de coxa das aves, 10 dias após o cozimento. A adição de bixina à dieta de frangos de corte não afetou o desempenho das aves, e apresentou efeitos positivos na qualidade da carne, em parâmetros que afetam diretamente na decisão de compra do consumidor.

**Palavras-chave:** Aditivo; antioxidante natural; colesterol; extrato de urucum.

**ABSTRACT:** Bixin is the main carotenoid present in annatto seed (*Bixa orellana*). The aim of this study was to evaluate the inclusion of increasing levels of bixin in the broiler diets and their effects on growth performance and meat characteristics. A total of 750 one-day-old Cobb 500 chicks were distributed in a completely randomized design with five treatments, with six replications of twenty-five birds each. Treatments consisted in different levels of bixin in diets (0.0, 0.05, 0.10, 0.15%). Were evaluated the parameters of growth performance (weight gain-WG, feed intake-FI, feed conversion ratio-FCR, productive efficiency index-PEI and viability), meat quality (pH, color, drip loss, cooking loss-CL and shear force-SF), cholesterol levels and meat oxidation. The inclusion of 0.25% of bixin resulted in negative effect on WG and PEI. The values of b\* (intensity of yellow) increased linearly with the inclusion of bixin. The addition of 0.10% bixin in diet reduced the cooking loss and the addition of 0.15% reduced the shear force. The inclusion of 0.25% of bixin in diet had an antioxidant effect on breast and thigh meat, 10 days after cooking. The addition of bixin in broilers diet did not affect performance and had positive effects on meat quality, in parameters that directly affect the consumer's

purchase decision.

**Keywords:** Additive; annatto extract; cholesterol; natural antioxidant.

## INTRODUÇÃO

Os compostos antioxidantes têm sido usados na indústria de alimentos e rações para proteger os nutrientes dos efeitos da oxidação e reduzir os danos causados à saúde humana e animal. São substâncias que atuam como inibidores de radicais livres, interferindo no mecanismo de auto-oxidação de lipídios (Decker e Xu, 1998). Os principais antioxidantes utilizados nas rações animais são os compostos antioxidantes sintéticos, como o hidroxianisol butilado (BHA) e o hidroxitolueno butilado (BHT) que, por motivo de risco potencial à saúde humana, vêm sendo substituídos por antioxidantes naturais provenientes de várias fontes vegetais, considerados mais seguros à saúde (Chowdhury *et al.*, 2018).

O extrato de urucum é um corante natural composto de pigmentos carotenóides, principalmente bixina e norbixina, que o tornam mundialmente usado em vários setores, como indústria de alimentos, cosméticos e fármacos (Taham *et al.*, 2015; Helal *et al.*, 2017). A bixina é um apocarotenóide linear com ligações duplas e compreende até 80% do teor total de carotenóides presentes nas sementes de urucum (Mercadante e Pfander, 1998; Rivera-Madrid *et al.*, 2016). Além disso, é um corante não tóxico (Raddatz-Mota *et al.*, 2017), solúvel em óleo (Giuliano *et al.*, 2003), coloração amarelo-avermelhada (Ul-Islam *et al.*, 2016) e age como antioxidante (Giuliano *et al.*, 2003; Cardarelli *et al.*, 2008; Chisté *et al.*, 2011) e hipolipemiante, como mostrado por Lima *et al.* (2003), que realizaram um experimento com coelhos hiperlipidêmicos.

A bixina se destaca como um dos mais eficazes supressores biológicos de moléculas reativas de oxigênio singlete, ajudando a proteger as células e tecidos contra os efeitos nocivos dos radicais livres, além de possuir efeito supressor

efetivo na peroxidação lipídica (Zhang *et al.*, 1991; Chisté *et al.*, 2011). Muitos estudos comprovaram o efeito antioxidante da bixina quando fornecida via dieta para animais de laboratório, ou quando adicionada diretamente à produtos cárneos (Zhang e Lindup, 1993; Lima *et al.*, 2003; Mercadante *et al.*, 2010; Castro *et al.*, 2011).

Diante dessas informações, o objetivo deste estudo foi avaliar a adição de níveis crescentes de bixina na dieta de frangos de corte e seus efeitos antioxidantes e hipolipidêmicos sobre o desempenho e a qualidade da carne.

## MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados 750 pintos de corte machos Cobb 500 de um dia de idade, vacinados no incubatório contra doença de Marek e Gumboro. As aves foram alojadas em 30 boxes (25 aves/boxe) com cama de maravalha, comedouros tubulares e bebedouros tipo *nipple*. A temperatura e ventilação foram controladas com o uso de cortinas e ventiladores. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com cinco tratamentos e seis repetições cada.

Os tratamentos consistiram em níveis de inclusão do extrato oleoso de urucum na ração (0%, 0,71%, 1,43%, 2,14% e 3,57%), visando garantir a inclusão de 0; 0,05%; 0,10%; 0,15% e 0,25% de bixina, respectivamente, uma vez que o extrato oleoso de urucum possui 7% de bixina.

As dietas experimentais (Tabela 1) foram formuladas de acordo com as recomendações nutricionais de Rostagno *et al.* (2011). Água e ração foram fornecidas à vontade durante os 42 dias de período de criação. As rações foram isoprotéicas e isocalóricas, formuladas sem adição de antioxidante sintético.

O extrato oleoso de urucum é um produto comercial fornecido pela

empresa KRATOS Indústria e Comércio de Aditivos (Tabela 2). Trata-se da extração da bixina, principal pigmento da semente, que resulta em 97 a 98% de resíduo, constituído pelas sementes contendo pigmentos e óleo de soja aderidos (Silva, 2003a; Silva, 2003b). O produto é extraído em óleo de soja, e foi incluído nas dietas em substituição ao óleo de soja, permitindo que a quantidade adicionada às dietas de óleo de soja fosse sempre a mesma, independente do tratamento, visando evitar qualquer influência do nível de inclusão de óleo nos resultados.

Foram determinados o consumo de ração, ganho de peso, conversão alimentar, viabilidade e fator de eficiência produtiva (FEP), utilizando-se a fórmula:

$$FEP = \left( \frac{GPM \times VB}{CA} \right) / 10$$

Em que: GPM = Ganho de peso médio diário (em gramas), VB (viabilidade) e CA (conversão alimentar).

Aos 43 dias de idade, cinco aves por parcela experimental (30 aves por tratamento) foram submetidas a um jejum alimentar de 24 horas, abatidas aleatoriamente por sangria após insensibilização elétrica (Geave, São Paulo, Brasil, regulado com voltagem de 100 mA e frequência de 600 Hz), depenadas e evisceradas para avaliações de qualidade da carne. Peito e coxas foram coletados, desossados e mantidos refrigerados a 4°C durante 24 horas. Em seguida foram avaliados o pH, a cor, a perda de água por exsudação (PPE), perda por cocção (PPC) e a força de cisalhamento (FC).

Os valores de pH foram mensurados utilizando-se pHmêtro (Homis, model 238, São Paulo, Brasil) acoplado a uma sonda (Digimed, model CF1, Campo Grande, Brasil) diretamente no músculo *Pectoralis*

*major*. A cor foi determinada, em triplicata, na superfície ventral do peito, utilizando-se o espectrofotômetro portátil (Minolta, CR 400, New Jersey, USA), no sistema CIELab, no qual foram avaliados os parâmetros L\* (luminosidade), a\* (teor de vermelho) e b\* (teor de amarelo) de acordo com metodologia proposta por Van Laack et al. (2000).

Para determinação da PPE foram utilizadas amostras de aproximadamente 80 gramas do músculo *Pectoralis major*, conforme metodologia descrita por Rasmussen e Anderson (1996). A determinação da porcentagem de perda por exsudação foi realizada pela diferença entre o peso final e peso inicial da amostra conforme a seguinte equação:

$$\%PE = (Pf - Pi) \times 100/Pi$$

Em que: PE = perda de exsudato; Pf = peso final da amostra; Pi = peso inicial da amostra.

A determinação da PPC foi realizada em amostras de filés de peito de acordo com o descrito por Honikel (1998). A diferença entre o peso inicial (*in natura*) e final (cozido) correspondeu à perda de peso por cozimento, apresentada em porcentagem.

A FC foi obtida utilizando o texturômetro TAXT plus (Stable Micro Systems, Surrey, UK), equipado com dispositivo *Razor Blade*. O equipamento foi calibrado com peso padrão de 5,0kg e padrão rastreável, a velocidade de descida do dispositivo foi de 10mm/s e a análise foi realizada como recomendado por Cavitt et al. (2004).

As amostras de carne de peito sem pele e coxas com pele das cinco aves abatidas por repetição foram trituradas em processador, formando um *pool* para cada repetição, totalizando seis amostras por tratamento. Optou-se por analisar amostras de carne de peito sem pele e carne de coxas com pele,

pois é desta forma que estes produtos são usualmente mais consumidos.

**Tabela 1.** Composição percentual e valores nutricionais calculados das rações basais.

Ingredientes	Pré-Inicial (1-7 dias)	Inicial (8-21 dias)	Crescimento (22-35 dias)	Final (36-42 dias)
Milho moído	51,10	56,11	59,51	63,74
Soja farelo	39,66	36,28	32,62	28,76
Fosfato bicálcico	1,92	1,56	1,35	1,13
Calcário calcítico	0,91	0,96	0,89	0,80
Sal comum	0,51	0,49	0,46	0,45
Soja, óleo bruto	3,57	3,57	4,35	4,28
L-Treonina	0,11	0,08	0,07	0,07
DL - Metionina	0,23	0,20	0,19	0,18
L - Lisina	0,27	0,23	0,23	0,26
Inerte (caulim)	1,39	0,19	0,00	0,00
Premix vitamínico mineral <sup>1</sup>	0,33	0,33	0,33	0,33
TOTAL	100,00	100,00	100,00	100,00
<b>Composição calculada</b>				
EMAn (kcal/kg)	2.960	3.050	3.150	3.200
Proteína Bruta (%)	22,41	21,20	19,80	18,41
Cálcio (%)	0,92	0,85	0,76	0,67
Fósforo disponível (%)	0,47	0,40	0,36	0,31
Sódio (%)	0,22	0,21	0,20	0,20
<b>Aminoácidos digestíveis</b>				
Lisina (%)	1,33	1,22	1,13	1,06
Metionina (%)	0,52	0,48	0,46	0,43
Metionina + Cistina (%)	0,82	0,77	0,73	0,68
Triptofano (%)	0,26	0,24	0,22	0,20
Treonina (%)	0,86	0,80	0,74	0,69
Arginina (%)	1,43	1,34	1,24	1,13

<sup>1</sup>Suplemento vitamínico e mineral Vaccinar (mín. por kg de ração): fase pré-inicial – ácido fólico 1,50 mg; ácido pantotênico 14,00 mg; biotina 0,08 mg; cobre 8,00 mg; colina 350 mg; etoxiquim 4,00 mg; ferro 0,05 g; fitase 0,75 ftu; iodo 0,90 mg; manganês 0,08 g; niacina 50 mg; nicarbazina 130 mg; selênio 0,33 mg; virginiamicina 16,50 mg; vitamina A 10.000 UI; vitamina B1 2,00 mg; vitamina B12 17,50 µg; vitamina B2 6,00 mg; vitamina B6 3,00 mg; vitamina D3 3.000 UI; vitamina E 35 UI; vitamina K3 3,00 mg; zinco 70 mg. / fase inicial – ácido fólico 1,25 mg; ácido pantotênico 13,00 mg; biotina 0,07 mg; cobre 8,00 mg; colina 300 mg; etoxiquim 4,00 mg; ferro 50 mg; fitase 0,75 ftu; iodo 0,90 mg; manganês 80 mg; niacina 130 mg; nicarbazina 40 mg; selênio 0,30 mg; virginiamicina 16,50 mg; vitamina A 10.000 UI; vitamina B1 1,50 mg; vitamina B12 15,00 µg; vitamina B2 5,00 mg; vitamina B6 3,00 mg; vitamina D3 3.000 UI; vitamina E 30 UI; vitamina K3 3,00 mg; zinco 70 mg. / fase de crescimento - ác. fólico 0,66 mg; ácido pantotênico 9,08 mg; biotina 0,04 mg; cobre 6,60 mg; colina 210 g; etoxiquim 3,30 mg; ferro 40 mg; fitase 0,62 ftu; iodo 0,74 mg; manganês 60 mg; niacina 0,02 mg; salinomicina 50 mg; selênio 0,25 mg; virginiamicina 13,61 mg; vitamina A 6.600 UI; vitamina B1 1,24 mg; vitamina B12 9,90 µg; vitamina B2 3,30 mg; vitamina B6 2,06 mg; vitamina D3 2.062,50 UI; vitamina E 16,50 UI; vitamina K3 1,65 mg; zinco 60 mg. / fase final - ácido fólico 0,50 mg; ácido pantotênico 9,90 mg; cobre 13,20 mg; colina 330 mg; etoxiquim 1,65 mg; ferro 70 mg; fitase 0,83 ftu; iodo 1,16 mg; manganês 100 mg; niacina 30 mg; salinomicina 110 mg; selênio 0,41 mg; virginiamicina 16,50 mg; vitamina A 8.250 UI; vitamina B1 0,83 mg; vitamina B12 8,25 µg; vitamina B2 4,13 mg; vitamina B6 1,16 mg; vitamina D3 1.650 UI; vitamina E 16,50 UI; vitamina K3 2,48 mg; zinco 100 mg.

A concentração de colesterol em gramas, por 100 gramas de amostra, foi determinada pelo método enzimático colorimétrico e utilização de *kit* comercial de acordo com metodologia adaptada de Saldanha *et al.* (2004). A curva de calibração (0,04 a 0,4mg/mL) foi construída utilizando solução padrão de colesterol (200mg/dL).

Para avaliar a oxidação lipídica na carne, imediatamente após a desossa, amostras de carne de peito e coxas com

pele foram armazenadas em sacos de polietileno e mantidas congeladas (-20°C) por 15 dias, até o momento da análise. O modelo utilizado para o ensaio acelerado da oxidação lipídica foi descrito por Racanicci *et al.* (2004) e o método utilizado para a quantificação de compostos de ranço foi o de Substâncias Reativas ao Ácido Tiobarbitúrico (TBARS), conforme descrito por Madsen *et al.* (1998).

**Tabela 2.** Laudo de Análise: Extrato oleoso de urucum.

Produto	Suspensão oleosa de urucum para fins alimentícios
<b>Atributos de Qualidade</b>	
Aspecto	Líquido escuro
Cor	Avermelhado
Odor	Característico do urucum
<b>Análise Físico-Química</b>	
Teor de bixina	7,00%
Densidade	0,96 g/mL
pH direto	2,10
<b>Microbiologia</b>	
Contagem total, máx. (UFC / g)	1000.000
Coliformes totais, máx. (NMP / g)	100
Coliformes fecais / <i>E.coli</i>	Ausência em 1g
Bolores / Leveduras, máx (UFC/g)	1.000
<i>Staphylococcus aureus</i>	Ausência em 0,01 g
<i>Salmonella sp.</i>	Ausência em 25 g

O produto atende a legislação vigente do Ministério da Saúde – Resolução 12/2001 – ANVISA.

A leitura da absorbância foi feita em comprimento de onda de 532 e 600 nm utilizando um espectrofotômetro (Gehaka, modelo UV-400, São Paulo, Brasil), e a diferença ( $A_{532\text{ nm}} - A_{600\text{ nm}}$ ) utilizada como valor de correção para a turbidez. Os resultados foram expressos em micromoles de malonaldeído (MDA) por quilo de carne, utilizando uma curva padrão (0,1 – 6,0nM) preparada com 1,1,3,3-tetraetoxipropano (Merck). Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) complementada pelo teste de Tukey ( $\alpha = 5\%$ ) e análises de regressão polinomial. Foi utilizado o programa estatístico Minitab 16 (Minitab Inc., State College, Estados Unidos).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de desempenho de frangos de corte Cobb 500 alimentados na com dietas suplementadas com níveis crescentes de bixina estão apresentados na Tabela 3. A inclusão de 0,25% de bixina resultou em efeito negativo nas variáveis de PMF ( $p=0,002$ ), GMP ( $p=0,002$ ) e FEP ( $p=0,005$ ).

Diversos estudos foram realizados investigando o efeito da suplementação dietética de antioxidantes naturais sobre o desempenho e estabilidade oxidativa da carne de aves (Oliveira *et al.*, 2006; Smet *et al.*, 2008; Zhang *et al.*, 2009; Botsoglou *et al.*, 2010). Porém, informações sobre o efeito da bixina como aditivo natural na ração de frangos de corte ainda são escassas. Silva *et al.* (2005) e Oliveira *et al.* (2006), avaliando a adição de bixina na dieta de frangos de corte e codornas japonesas, respectivamente, não observaram efeitos sobre o desempenho das aves. Da mesma forma, Smet *et al.* (2008), Zhang *et al.* (2009) e Botsoglou *et al.* (2010) não encontraram efeitos sobre o desempenho de frangos de corte suplementados com outros aditivos naturais como, por exemplo, alecrim, chá verde, gengibre, semente de uva, tomate, raiz de gengibre e óleo essencial de orégano.

Na Tabela 4 estão apresentados os parâmetros de qualidade de carne. Houve aumento linear nos valores de  $b^*$  (na intensidade do amarelo) ( $p<0,001$ ).

**Tabela 3.** Desempenho de frangos de corte Cobb 500 de 1 a 42 dias de idade suplementados com níveis crescentes de bixina.

	Bixina (%)					Valor de P
	0,00	0,05	0,10	0,15	0,25	
PMI (g) <sup>1</sup>	43,4	43,0	43,4	43,5	43,5	0,830
PMF (g) <sup>2</sup>	2852,4a	2827,5a	2734,6ab	2724,2ab	2646,5b	0,002
GMP (g) <sup>3</sup>	2809,0a	2784,5a	2691,2ab	2680,7ab	2603,0b	0,002
CMR (g) <sup>4</sup>	4298,2	4222,5	4407,1	4123,9	4184,7	0,395
CA <sup>5</sup>	1,543	1,532	1,651	1,571	1,627	0,068
FEP <sup>6</sup>	422,2a	413,0ab	372,8b	376,5ab	365,7b	0,005
VIAB (%) <sup>7</sup>	96,7	95,3	96,0	92,7	96,0	0,567

<sup>1</sup>PMI: peso médio inicial; <sup>2</sup>PMF: peso médio final ( $Y = 2856,0 - 1046,0X$ ;  $R^2 = 48,8\%$ ); <sup>3</sup>GMP: ganho médio de peso ( $Y = 2812,0 - 1047,0X$ ;  $R^2 = 48,9\%$ ); <sup>4</sup>CMR: consumo médio de ração; <sup>5</sup>CA: conversão alimentar; <sup>6</sup>FEP: fator de eficiência produtiva ( $Y = 415,3 - 214,1X$ ;  $R^2 = 31,6\%$ ); <sup>7</sup>VIAB: Viabilidade.

<sup>abc</sup>Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo Teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

Sabe-se que a capacidade de absorção dos carotenoides afeta a pigmentação dos tecidos (Ibarra, 1991). Allen et al. (1998), Barbut (2001) e Qiao et al. (2002) afirmaram que a coloração da carne de frango *in natura* é importante, uma vez que os consumidores associam a cor dos produtos com as características de frescor e de boa qualidade. Assim, essa característica interfere diretamente na

decisão de compra do consumidor. Contudo, não foram definidos valores desejáveis ou limitantes de amarelo para a carne de peito de frangos de corte.

O fato de a intensidade da cor amarela ter sido alterada progressivamente com o aumento da inclusão de bixina na dieta mostra que o aditivo foi transferido ao músculo e acumulado.

**Tabela 4.** Qualidade de carne de frangos de corte Cobb 500 de 1 a 42 dias de idade suplementados com níveis crescentes de bixina.

	Bixina (%)					Valor de P	
	0,00	0,05	0,10	0,15	0,25		
pH	5,9	5,8	5,8	5,8	5,8	0,449	
Cor	<sup>1</sup> L*	52,6	53,0	52,6	53,0	52,2	0,748
	<sup>2</sup> a*	3,4	3,5	3,7	3,7	3,5	0,686
	<sup>3</sup> b*	5,8e	8,7d	10,4c	11,5b	12,6a	<0,001
<sup>4</sup> PPE (%)	1,79	1,68	1,82	1,93	1,84	0,999	
<sup>5</sup> PPC (%)	26,9a	26,1ab	23,8b	24,3ab	24,3ab	0,008	
<sup>6</sup> FC (N/mm)	154,0a	148,3ab	138,9ab	133,3b	144,3ab	0,027	

<sup>1</sup>L\*: luminosidade; <sup>2</sup>a\*: teor de vermelho; <sup>3</sup>b\*: teor de amarelo ( $Y = 5,966 + 54,89X - 116,0X^2$ ;  $R^2 = 65,7\%$ ); <sup>4</sup>PPE: perda de água por exsudação; <sup>5</sup>PPC: perda de água por cocção ( $Y = 27,07 - 34,90X + 96,81X^2$ ;  $R^2 = 8,4\%$ ); <sup>6</sup>FC: força de cisalhamento.

<sup>abc</sup>Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo Teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

A adição de 0,10% de bixina na dieta reduziu a perda de peso por cocção ( $p=0,008$ ) e a adição de 0,15% reduziu a força de cisalhamento ( $p=0,027$ ). A capacidade de retenção de água da carne é determinada pela

quantidade de água perdida por meio de aplicação de força externa, como corte, aquecimento, trituração ou prensagem do tecido muscular. A menor capacidade de retenção de água implica em perdas do valor nutritivo pelo

exsudato liberado, além de resultar em carnes mais secas e com menor maciez. As perdas por cocção são as perdas que ocorrem durante o processo de preparo da carne para o consumo, calculadas pela diferença entre o peso inicial e final das amostras. De acordo com Bressan *et al.* (2001) o mercado consumidor, atualmente, apresenta elevada exigência quanto à qualidade das características físicas da carne. Dessa forma, um aditivo natural que seja eficiente na redução da perda de água por cocção se faz importante para a qualidade da carne (Pinheiro *et al.*, 2007).

A força de cisalhamento representa a maciez da carne, característica de qualidade importante, uma vez que irá influenciar na opinião do consumidor. Segundo Castillo (2001), a qualidade da carcaça e da carne de frangos é cada vez mais exigida, devido a uma série de mudanças no hábito de consumo, como o aumento na procura de cortes e

produtos desossados e o crescimento do consumo de produtos de preparo rápido. Assim, com a comercialização de cortes e de produtos desossados, muitos defeitos na carne se tornaram aparentes ocasionando a rejeição dos mesmos. Além disso, as características sensoriais de cada corte, como aparência e maciez, puderam ser melhor percebidas pelo consumidor (Beraquet, 1999).

O pH e a perda de água por exsudação não foram influenciados pela suplementação de bixina na dieta, o que representa um resultado positivo, uma vez que a bixina não influenciou negativamente características na qualidade da carne importantes e que influenciam diretamente na aceitação da carne pelo consumidor.

Não houve efeito de tratamento sobre o teor de colesterol nas carnes de peito e coxa de frangos de corte suplementados com diferentes níveis de bixina na dieta, conforme apresentado na Tabela 5.

**Tabela 5.** Teor de colesterol (mg/100 g) em amostras de carne de peito (sem pele) e carne de coxa (com pele) de frangos de corte suplementados com níveis crescentes de bixina.

	Bixina (%)					Valor de P
	0,00	0,05	0,10	0,15	0,25	
Peito	85,68	82,54	80,86	81,42	76,25	0,502
Coxa	109,06	116,34	113,00	110,97	107,64	0,089

Diversos trabalhos são encontrados na literatura com a utilização de urucum para redução de teores de colesterol em ovos e em sangue de animais de laboratório, porém são escassos os trabalhos visando reduzir o teor de colesterol da carne por meio da suplementação de urucum ou bixina na dieta. Em um estudo realizado com poedeiras, Harder (2008) observou redução nos teores de colesterol nas gemas dos ovos quando as aves receberam dietas suplementadas com 1,0; 1,5 e 2,0% de urucum.

Estudos realizados com coelhos com hipercolesterolemia induzida por

colesterol 1% + ácido cólico 0,1% mostraram que a bixina adicionada à ração apresentou redução no colesterol total de 44,03%, menor redução dos níveis séricos do HDL-colesterol e redução de triglicerídeos. De acordo com os autores, a bixina atua de maneira similar aos estrógenos, possivelmente ligando-se a receptores estrogênicos do tipo II. Esse mecanismo pode explicar o efeito no metabolismo lipídico uma vez que leva a diminuição da síntese de lipoproteína (a), prevenção da oxidação lipídica, aumento da concentração da lipoproteína-HDL e indiretamente a inibição da agregação plaquetária e



promovendo ainda vasodilatação (Lima *et al.*, 2001).

Os resultados das análises de oxidação lipídica nas carnes de peito e coxa estão apresentados nas Tabelas 6 e 7, respectivamente.

Para a carne de peito crua, o tratamento com adição de 0,10% de bixina na dieta dos frangos apresentou

menores teores de oxidação ( $p < 0,001$ ), porém esse resultado não foi observado após o tratamento térmico, independente do tempo de armazenamento. No 4º dia após o cozimento das amostras, o tratamento com inclusão de 0,15% de bixina apresentou os teores mais elevados de oxidação ( $p < 0,001$ ).

**Tabela 6.** Valores médios de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico ( $\mu\text{mol}$  de MDA/kg de amostra) na carne de peito de frangos de corte crua e após cozimento (dia 0) e armazenada sob refrigeração ( $4^\circ\text{C}$ ) por até 10 dias.

	Bixina (%)					Valor de P
	0,00	0,05	0,10	0,15	0,25	
Carne crua	2,39ab	2,48a	1,74c	2,52a	2,15b	<0,001
Dia 0 (AC) <sup>1</sup>	1,96c	3,04a	2,14c	2,94ab	2,61b	<0,001
Dia 4 (AC)	41,63b	36,11b	40,98b	49,12a	41,92b	<0,001
Dia 7 (AC)	55,37	49,40	61,10	55,59	51,44	0,129
Dia 10 (AC)	67,87ab	62,07b	72,43a	72,97a	65,77ab	0,002

<sup>1</sup>AC: após cozimento. Dia 0 cozida ( $Y = 2,035 + 23,18X - 221,9X^2 + 552,1X^3$ ;  $R^2 = 33,4\%$ ); Dia 4 cozida ( $Y = 40,92 - 147,2X + 2039,0X^2 - 5864,0X^3$ ;  $R^2 = 49,7\%$ ); Dia 10 cozida ( $Y = 66,56 - 102,2X + 1858,0X^2 - 5888,0X^3$ ;  $R^2 = 47,4\%$ ).

<sup>abc</sup>Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo Teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

**Tabela 7.** Valores médios de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico ( $\mu\text{mol}$  de MDA/kg de amostra) na carne de coxa de frangos de corte crua e após cozimento (dia 0) e armazenada sob refrigeração ( $4^\circ\text{C}$ ) por até 10 dias.

	Bixina (%)					Valor de P
	0,00	0,05	0,10	0,15	0,25	
Carne crua	3,13b	3,45b	3,11b	4,20a	4,31a	<0,001
Dia 0 (AC) <sup>1</sup>	2,78d	3,74c	4,21ab	4,54a	3,85bc	<0,001
Dia 4 (AC)	59,26b	59,78ab	66,07a	66,44a	62,44ab	0,014
Dia 7 (AC)	81,99	72,87	76,75	77,37	71,80	0,118
Dia 10 (AC)	107,19a	104,85ab	103,49ab	108,59a	99,32b	0,012

<sup>1</sup>AC: após cozimento. Dia 0 crua ( $Y = 3,341 - 28,57X + 418,3X^2 - 1140,0X^3$ ;  $R^2 = 75,1\%$ ); Dia 0 cozida ( $Y = 2,877 + 7,909X + 112,9X^2 - 507,9X^3$ ;  $R^2 = 82,7\%$ ); Dia 4 cozida ( $Y = 58,76 + 97,22X - 343,0X^2$ ;  $R^2 = 44,9\%$ ); Dia 10 cozida ( $Y = 107,6 - 27,48X$ ;  $R^2 = 37,0\%$ ).

<sup>abc</sup>Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo Teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

De maneira geral, o cozimento provocou um aumento na produção dos compostos de ranço na carne do peito de forma contínua durante o armazenamento em refrigeração  $4^\circ\text{C}$ . Os efeitos pró-oxidantes do tratamento térmico na carne de frango já foram descritos na literatura (Mariutti e Bragagnolo, 2009). Da mesma forma, Nieto *et al.* (2011) evidenciaram aumento dos níveis de aldeídos e

álcoois característicos da peroxidação lipídica na carne de cordeiros após o cozimento. Com o cozimento, o calor altera a permeabilidade das membranas, facilitando a interação entre agentes oxidantes, como os grupamentos heme de ferro e os ácidos graxos insaturados das membranas. Elevadas temperaturas incrementam a desnaturação das proteínas musculares e favorecem a liberação de íons de ferro que, por sua vez, massificam o

processo oxidativo (Lima Junior *et al.*, 2013).

No 4º dia após o cozimento das amostras, o tratamento com inclusão de 0,15% de bixina apresentou os teores mais elevados de oxidação ( $p < 0,001$ ), sugerindo efeitos pró-oxidantes. A ação pró-oxidante dos carotenóides está diretamente relacionada ao potencial redox das moléculas e ao ambiente celular em que atua. Também pode ser influenciada pela dose de carotenóides utilizada, que em doses elevadas pode acelerar os níveis de oxidação, e pela existência de outros antioxidantes (Palozza, 1998). No final do armazenamento de 10 dias, este padrão aumentou quando as dietas com 0,10 e 0,15% de adição de bixina apresentaram valores de MDA significativamente mais elevados quando comparados com o nível de 0,05% de bixina ( $p < 0,01$ ).

Quanto à carne crua da coxa, a adição de níveis iguais ou superiores a 0,15% de bixina na dieta produziu maior MDA. Observou-se que, após o cozimento, a concentração de MDA nas amostras aumentou, independentemente da quantidade de bixina utilizada na dieta. Este efeito também foi observado no quarto dia após o cozimento. No entanto, no décimo dia de armazenamento sob refrigeração, a inclusão de 0,25% de bixina na dieta apresentou efeito antioxidante quando comparado ao tratamento controle e com 0,15% de inclusão de bixina ( $p < 0,05$ ).

Observa-se que, no decorrer do armazenamento das amostras pré-cozidas, houve aumento natural e gradativo da produção de compostos de ranço na carne, como esperado. Os maiores valores de TBARS encontrados na carne da coxa em relação a carne do peito podem ser explicados pelas diferenças de metabolismo (musculatura escura) e composição. A carne da coxa, ou musculatura escura, é constituída

predominantemente por fibras oxidativas, e a carne do peito, musculatura branca, é formada predominantemente por fibras glicolíticas (Banks, 1992). Ramos *et al.* (2012) afirmaram que os músculos de maior atividade são os possuidores de maiores teores de ferro. Pode-se inferir que os músculos mais ricos em mioglobina (carne da coxa) têm maior suscetibilidade à oxidação lipídica (Kathirvel e Richards, 2012). Além de possuir um tipo diferente de musculatura, a carne da coxa também é mais rica em lipídios do que a carne do peito (Taco, 2011).

Os resultados encontrados após 10 dias de armazenamento sugerem que, para a carne de peito, níveis mais baixos de inclusão de bixina (0,05%) atuam melhor como antioxidantes, enquanto que para a carne da coxa são necessários maiores níveis de inclusão de bixina para obter resultados favoráveis, provavelmente em decorrência do maior desafio em proteger uma carne com teor maior de lipídios em sua composição.

A necessidade de se encontrar compostos naturais que possam ser utilizados em substituição aos antioxidantes sintéticos em produtos alimentícios torna promissora e crescente a realização de pesquisas com os carotenoides. Castro *et al.* (2011) avaliaram o efeito do colorífico (urucum) durante o processamento térmico e o armazenamento de hambúrgueres elaborados com peito de frango (*Pectoralis major*). A quantificação de MDA demonstrou que, embora a concentração de bixina seja reduzida durante o processamento térmico, seu uso minimizou a rancidez oxidativa em todas as determinações realizadas durante os 120 dias de armazenamento a  $-18^{\circ}\text{C}$ .

Outras substâncias naturais foram estudadas por Mercadante *et al.* (2010), que avaliaram o uso individual da

norbixina,  $\beta$ -caroteno, licopeno e da zeaxantina, utilizadas como substituintes do antioxidante sintético eritorbato de sódio em salsichas formuladas com mistura de carnes bovina, suína e de frango. Embora todos os pigmentos tenham sido capazes de manter a estabilidade oxidativa do produto, a norbixina e a zeaxantina apresentaram os maiores efeitos antioxidantes, promovendo uma redução de aproximadamente 20% nos níveis de MDA.

Di Mascio *et al.* (1990) testaram a habilidade de vários componentes biológicos em extinguir oxigênio *singleto*. Eles demonstraram que a habilidade antioxidante diminui na seguinte ordem: licopeno,  $\gamma$ -caroteno, astaxantina, cantaxantina,  $\alpha$ -caroteno,  $\beta$ -caroteno, bixina, zeaxantina, luteína, bilirubina, biliverdina, tocoferóis e tióis. Os autores afirmaram que a propriedade antioxidante dos carotenóides e dos tocoferóis é principalmente devida a uma extinção física dos radicais livres.

Os resultados encontrados no presente estudo nos permitem concluir que o extrato oleoso de urucum adicionado à dieta de frangos de corte não apresentou propriedades hipolipidêmicas no plasma e na carne das aves, porém, possui ação antioxidante na carne de coxa.

## CONCLUSÃO

A adição de extrato oleoso de urucum à dieta de frangos de corte apresentou efeitos positivos na qualidade da carne e atividade antioxidante na carne de coxa, sem afetar negativamente o desempenho das aves.

Diferentes fontes de bixina, diferentes métodos para expor os animais testados ao componente e as formas variáveis de análise são fatores que podem alterar os resultados finais da pesquisa, o que explica as diferenças

entre os resultados encontrados neste estudo e aqueles apresentados na literatura.

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP [números de subsídios 2011 / 23731-5 e 2012 / 05415-1]. Os autores também gostariam de agradecer à KRATOS Indústria e Comércio de Aditivos (CONDITEM Condimentos e Temperos) pela doação do extrato oleoso de urucum.

## NOTAS INFORMATIVAS

Todos os procedimentos utilizados foram aprovados pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia – UNESP, Botucatu sob o protocolo número 273/2011.

## REFERÊNCIAS

- ALLEN, C.D.; FLETCHER, D.L.; NORTH CUTT, J.K. et al. The relationship of broiler breast color to meat quality and shelf-life. **Poultry Science**, v.77, n.2, p. 361-366, 1998.
- BANKS, W.J. Tecido muscular, in: BANKS, W.J. **Histologia Veterinária Aplicada**. São Paulo: Manole, 1992. p.215-236.
- BARBUT, S. Effect of illumination source on the appearance of fresh meat cuts. **Meat Science**, v.59, p.187-191, 2001.
- BERAQUET, N. Influência de fatores *ante e post mortem* na qualidade da carne de aves. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v.1, p.155-166, 1999.
- BOTSOGLOU, N.A.; FLOROU-PANERI, P.; CHRISTAKI, E. et al. Effect of dietary oregano essential oil on performance of

chickens and on iron-induced lipid oxidation of breast, thigh and abdominal fat tissues. **British Poultry Science**, v.43, p.223-230, 2010.

BRESSAN, M.C.; PRADO, O.V.; PÉREZ, J.R.O. et al. Efeito do peso ao abate de cordeiros Santa Inês e Bergamácia sobre as características físico-químicas da carne. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.21, p.293-303, 2001.

CARDARELLI, C.R.; BENASSI, M.T.; MERCADANTE, A.Z. Characterization of different annatto extracts based on antioxidant and colour properties. **Food Science Technology**, n. 1, p. 689-1693, 2008.

CASTILLO, C.J.C. Qualidade de carcaça e carne de aves. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE CARNES, 1, 2001, São Pedro. **Anais...** São Pedro: Centro de Tecnologia de Carnes, 2001, p.79-99.

CASTRO, W.F.; MARIUTTI, L.R.B.; BRAGAGNOLO, N. The effects of colorifico on lipid oxidation, colour and vitamin E in raw and grilled chicken patties during frozen storage. **Food Chemistry**, v.124, p.126-131, 2011.

CAVITT, L.C.; YOUM, G.W.; MEULLENET, J.F. et al. Prediction of poultry meat tenderness using razor blade shear, allo-kramer shear, and sarcomere length. **Journal of Food Science**, v.69, SNQ11-SNQ15, 2004.

CHISTÉ, R.C.; YAMASHITA, F.; GOZZO, F.C. et al. Simultaneous extraction and analysis by high performance liquid chromatography coupled to diode array and mass spectrometric detectors of bixin and phenolic compounds from annatto seeds. **Journal of Chromatography A**, v.1218, n.1, p.57-63, 2011.

CHOWDHURY, S.; MANDAL, G.P.; PATRA, A.K. et al. Different essential

oils in diets of broiler chickens: 2. Gut microbes and morphology, immune response, and some blood profile and antioxidant enzymes. **Animal Feed Science and Technology**, v.236, p.39-47, 2018.

DECKER, E.A.; XU, Z. Minimizing rancidity in Muscle foods. **Food Technology**, v.52, n.10, p.340-348, 1998.

DI MASCO, P.; DEVASAGAYAM, T.P.A.; KAISER, S. et al. Carotenoids, tocopherols and thiols as biological singlet molecular oxygen quenchers. **Biochemical Society Transactions**, v.18, p.1054-1056, 1990.

GIULIANO, G.; ROSATI, C.; BRAMLEY, P.M. To dye or not to dye: biochemistry of unveiled. **Trends in Biotechnology**, v.21, p.513-516, 2003.

HARDER, M.N.C.; BRAZACA, S.G.C.; SAVINO, V.J.M. et al. Effect of *Bixa orellana* in the alteration of characteristics of poultry laying eggs. **Ciência e Agrotecnologia**, v.32, p.1232-1237, 2008.

HELAL, E.G.E.; EL-SAYED, R.A.A.; EL-GAMAL, M.S. Assessment of the physiological changes induced by sodium nitrite, annatto or mono sodium glutamate in male albino rats. **The Egyptian Journal of Hospital Medicine**, v.67, p.330-335, 2017.

HONIKEL, K.O. Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. **Meat Science**, v.49, p.447-457, 1998.

IBARRA, B.M.; NEUCERE, N.J.; SUMRELL, G. Evaluation of two pigmentation programs in broilers. **Poultry Science**, v.70, n.1, p.57, 2001.

KATHIRVEL, P.; RICHARDS, M.P. Effect of a membrane permeable metal chelator on iron and hemoglobin-mediated lipid oxidation in washed fish muscle. **Food Research International**, v.48, p.346-352, 2012.

- LIMA JUNIOR, D.M.; RANGEL, A.H.N.; URBANO, S.A. et al. Oxidação lipídica e qualidade da carne ovina. **Acta Veterinária Brasileira**, v.7, p.14-28, 2013.
- LIMA, L.R.P.; OLIVEIRA, T.T.; NAGEM, T.J. et al. Bixina, norbixina e quercetina e seus efeitos no metabolismo lipídico de coelhos. **Brazilian Journal of Veterinarian Research and Animal Sciences**, v.38, p. 196- 200, 2001.
- LIMA, L.R.P.; OLIVEIRA, T.T.; NAGEM, T.J. Effects of the flavonoid quercetin and the natural dyes bixin and norbixin on blood parameters of rabbits. **Revista de Nutrição**, v.16, p.305-314, 2003.
- MADSEN, H.L.; SORENSEN, B.; SKIBSTED, L.H. et al. The antioxidative activity of summer savory (*Satureja hortensis* L.) and rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) in dressing stored exposed to light or in darkness. **Food Chemistry**, v.63, p.173-180, 1998.
- MARIUTTI, L.R.B.; BRAGAGNOLO, N. Lipid oxidation of chicken meat and the impact of the addition of sage (*Salvia officinalis*, L.) and garlic (*Allium sativum*, L.) as natural antioxidants. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v.68, p.1-11, 2009.
- MERCADANTE, A.Z.; CAPITANI, C.D.; DECKER, E.A. et al. Effect of natural pigments on the oxidative stability of sausages stored under refrigeration. **Meat Science**, v.84, p.718-726, 2010.
- MERCADANTE, A.Z.; PFANDER, H. Carotenoids from annatto: a review. **Recent Research Developments in Agricultural & Food Chemistry**, v.2, p.79-91, 1998.
- MINITAB 16 STATISTICAL SOFTWARE. [Computer software]. PA: Minitab, Inc. 2010.
- NIETO, G.; ESTRADA, M.; JORDAN, M.J. et al. Effects in ewe diet of rosemary by-product on lipid oxidation and the eating quality of cooked lamb under retail display conditions. **Food Chemistry**, v.124, p.1423-1429, 2011.
- OLIVEIRA, N.T.E.; FONSECA, J.B.; SOARES, R.T.R.N. et al. Triglicerídeos sanguíneos e composição química da carne de codornas alimentadas com bixina e niacina suplementar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.1227-1233, 2006.
- PALOZZA, P. Prooxidant actions of carotenoids in biologic systems. **Nutrition Reviews**, v.56, p.257-265, 1998.
- PINHEIRO, R.S.B.; SILVA SOBRINHO, A.G.S.; SOUZA, H.B.A. et al. Capacidade de retenção de água e das perdas de água por cocção da carne de ovinos de diferentes categorias. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOTECNIA, 2007. Londrina. Anais... Londrina: Associação Brasileira de Zootecnistas, 2007.
- QIAO, M.; FLETCHER, D.L.; NORTH CUTT, J.K. et al. The relationship between raw broiler breast meat color and composition. **Poultry Science**, v.81, p.422-427, 2002.
- RACANICCI, A.M.C.; MENTEN, J.F.M.; REGIATNO-D'ARCE, M.A.B. et al. Oxidação lipídica do óleo de vísceras de aves para redução de seu conteúdo de energia metabolizável para frangos de corte na fase de crescimento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, n.4, p.919-923, 2004.
- RADDATZ-MOTA, D.; PÉREZ-FLORES L.J.; CARRARI, F. et al. Achiote (*Bixa Orellana* L.): a natural source of pigment and vitamin E. **Journal of Food Science and Technology**, v.54, n.6, p.1729-1741, 2017.
- RAMOS, A.; CABRERA, M.C.; SAADOUN, A. Bioaccessibility of Se, Cu, Zn, Mn and Fe, and heme iron content in unaged and aged meat of Hereford and Braford steers fed pasture.

**Meat Science**, v.91, n.2, p.116-124, 2012.

RASMUSSEN, A.J.; ANDERSSON, M. New method for determination of drip loss in pork muscles. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON MEAT SCIENCE AND TECHNOLOGY, 42, Lillehammer. **Proceedings...** Lillehammer: Meat for the Consumer, 1996, p. 286-287.

RIVERA-MADRID, R.; AGUILAR-ESPINOSA, M.; CÁRDENAS-CONEJO, Y. et al. Carotenoid derivatives in achiote (*Bixa orellana*) seeds: Synthesis and health promoting properties. **Frontiers in Plant Science**, v.7, p.1406, 2016.

ROSTAGNO, H.S.; ALBINO, L.F. T.; DONZELE, J. L.; et al. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais de aves e suínos**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2011. 252 p.

SALDANHA, T.; MAZALLI, M.R.; BRAGAGNOLO, N. Avaliação comparativa entre dois métodos para determinação do colesterol em carnes e leite. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.24, p.109-113, 2004.

SILVA, J.H.V. **Produção científica em nutrição de aves**. Contribuição da UFPB nos últimos cinco anos. Bananeiras: DAP/ Universidade Federal da Paraíba - UFPB, 2003b. 31p.

SILVA, J.H.V. **Relatório técnico do uso de subprodutos do urucum na ração de aves**. Bananeiras: DAP/ Universidade Federal da Paraíba - UFPB, 2003a. 5p.

SILVA, J.H.V.; SILVA, E.L.; JORDÃO FILHO, J. et al. Effects of increasing dietary annatto (*Bixa Orellana* L.) seed by-product levels on carcass yield and performance for broiler chicks. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, p.1606-1613, 2005.

SMET, K.; RAES, K.; HUYGHEBAERT, G. et al. Lipid and protein oxidation of

broiler meat as influenced by dietary natural antioxidant supplementation. **Poultry Science**, v.87, p.1682-1688, 2008.

TACO, 2011. **Tabela brasileira de composição de alimentos**. 4.ed. Campinas: NEPA/UNICAMP, 2011. 161p. Disponível em: <<http://www.nepa.unicamp.br/taco/tabela.php?ativo=tabela>>. Acesso em: 13/05/2018.

TAHAM, T.; CABRAL, F.A.; BARROZO, M.A.S. Extraction of bixin from annatto seeds using combined technologies. **The Journal of Supercritical Fluids**, v.100, p.175-183, 2015.

UL-ISLAM, S.; RATHER, L.J.; MOHAMMAD, F. Phytochemistry, biological activities and potential of annatto in natural colorant production for industrial applications – A review. **Journal of Advanced Research**, v.7, p.499-514, 2016.

VAN LAACK, R.L.; LIU, C.H.; SMITH, M.O. et al. Characteristics of pale, soft, exudative broiler breast meat. **Poultry Science**, v.79, n.7, p.1057-1061, 2000.

ZHANG, G.F.; YANG, Z.B.; WANG, Y. et al. Effects of ginger root (*Zingiber officinale*) processed to different particle sizes on growth performance, antioxidant status, and serum metabolites of broiler chickens. **Poultry Science**, v.88, p.2159-2166, 2009.

ZHANG, J.G.; LINDUP, W.E. Role of mitochondria in cisplatin-induced oxidative damage exhibited by rat renal cortical slices. **Biochemical Pharmacology**, v.45, p.2215-2222, 1993.

ZHANG, L.X.; COONEY, R.V.; BERTRAM, J.S. Carotenoids enhance gap junctional communication and inhibit lipid peroxidation in C3H/10T1/2 cells: relationship to their cancer chemopreventive action. **Carcinogenesis**, v.12, p.2019-2114, 1991.