

UNIVERSIDADE BRASIL
Programa de Pós-Graduação em Produção Animal, Campus Descalvado

HILDENE ANDREY ZAGO BIAVATTI

EFEITO DA INCLUSÃO DE PIGMENTANTES NATURAIS À
DIETA DE FRANGOS DE CORTE SOBRE O DESEMPENHO E
COLORAÇÃO DA PELE DO PEITO

EFFECT OF NATURAL PIGMENTS INCLUSION IN BROILER DIET ON
PERFORMANCE AND COLORING BREAST SKIN

Descalvado – SP

2019

Hildene Andrey Zago Biavatti

EFEITO DA INCLUSÃO DE PIGMENTANTES NATURAIS À DIETA DE
FRANGOS DE CORTE SOBRE O DESEMPENHO E COLORAÇÃO DA PELE
DO PEITO

Orientadora: Profa. Dra. Sarah Sgavioli

Coorientadora: Dra. Juliana Lolli Malagoli de Mello

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Animal da UNIVERSIDADE BRASIL, como complementação dos créditos necessários para obtenção do título de Mestre em Produção Animal.

Descalvado, SP

2019

FICHA CATALOGRÁFICA

Biavatti, Hildene Andrey Zago

B476e Efeito da inclusão de pigmentantes naturais à dieta de frangos de corte sobre o desempenho e coloração da pele do peito / Hildene Andrey Zago Biavatti. – Descalvado, 2019.

36f. : il. ; 29,5cm.

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Animal da Universidade Brasil, como complementação dos créditos necessários para obtenção do título de Mestre em Produção Animal.

Orientadora: Prof^a Dra. Sarah Sgavioli

Coorientadora: Dra. Juliana Lolli Malagoli de Mello

1. Cantaxantina. 2. Caroteno. 3. Norbixina. 4. Xantofila.
I. Título.

CDD 636.5

Termo de Autorização**Para Publicação de Dissertações e Teses no Formato Eletrônico na Página WWW do Respeetivo Programa da Universidade Brasil e no Banco de Teses da CAPES**

Na qualidade de titular(es) dos direitos de autor da publicação, e de acordo com a Portaria CAPES no. 13, de 15 de fevereiro de 2006, autorizo(amos) a Universidade Brasil a disponibilizar através do site <http://universidadebrasil.edu.br/portal/cursos/ppgpa/>, na página do respectivo Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu*, bem como no Banco de Dissertações e Teses da CAPES, através do site <http://bancodeteses.capes.gov.br>, a versão digital do texto integral da Dissertação/Tese abaixo citada, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira.

A utilização do conteúdo deste texto, exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, fica condicionada à citação da fonte.

Título do Trabalho: **“Efeito da inclusão de pigmentantes naturais à dieta de frangos de corte sobre o desempenho e coloração da pele do peito”.**

Autor(es):

Discente: Hildene Andrey Zago Biavatti

Assinatura: _____

Orientador: Profa. Dra. Sarah Sgavioli

Assinatura: _____

Data: 22 de novembro de 2019.

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO****Hildene Andrey Zago Biavatti****“Efeito da inclusão de pigmentantes naturais à dieta de frangos de corte sobre o desempenho e coloração da pele do peito”**

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Produção Animal da Universidade Brasil, pela seguinte banca examinadora:

Profa. Dra. Sarah Sgavioli
(Orientador)

Programa de Pós-Graduação em Produção Animal

Profa. Dra. Cynthia Pieri Zeferino

Programa de Pós-Graduação em Produção Animal

Dr. Danilo Teixeira Cavalcante

Docente Programa de Pós-graduação em Ciência Animal e Pastagens
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Unidade Acadêmica de Garanhuns

Descalvado, 22 de novembro de 2019

Profa. Dra. Sarah Sgavioli

Presidente da Banca

DEDICATÓRIA

À minha esposa e à minha família!

AGRADECIMENTOS

A Deus, no qual sem ele jamais seria possível enfrentar todas as dificuldades.

À minha esposa Juliana Fornazieri Biavatti que me apoia e me conforta em todas as decisões.

À minha família, base de tudo.

À orientadora, Profa. Dra. Sarah Sgavioli, que acima de todo o conhecimento repassado durante este período, soube conduzir todas as etapas deste processo com muito respeito e ética, sem medir esforços.

Aos colegas de profissão Vinicius Gonsales Schramm, Anelcir Scher, e Ivanio Jose Martins Bueno, que foram fundamentais para esta conquista.

À Universidade Brasil, por ter me dado a oportunidade de alavancar meus conhecimentos.

*“E ainda se vier noites traiçoeiras
se a cruz pesada for, Cristo estará contigo
o mundo pode até fazer você chorar
mas Deus te quer sorrindo...”*

P. Marcelo Rossi

EFEITO DA INCLUSÃO DE PIGMENTANTES NATURAIS À DIETA DE FRANGOS DE CORTE SOBRE O DESEMPENHO E COLORAÇÃO DA PELE DO PEITO

RESUMO

Com o objetivo de avaliar os efeitos da adição de pigmentantes naturais à dieta de frangos de corte como alternativa aos sintéticos avaliou-se o desempenho e a coloração da pele do peito das aves. Foram utilizados 3200 pintos machos da linhagem Ross® distribuídos a partir de um delineamento inteiramente casualizado com oito tratamentos: sem inclusão de pigmentantes; apo-éster e cantaxantina de acordo com as fases de criação; 15 g/t de xantofila 1 (extrato de calêndula); 30 g/t de xantofila 1; 15 g/t de xantofila 1 + 2 g/t de norbixina (sementes de urucum); 30 g/t de xantofila 1 + 2 g/t de norbixina; 15 g/t de xantofila 2 (óleo de calêndula), com oito repetições de 50 aves cada. Foram avaliadas características de desempenho das aves e aos 40 dias de idade foi avaliada a luminosidade (L^*), e a intensidade de vermelho (a^*) e de amarelo (b^*) da pele do peito das aves antes do pré resfriamento. Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo procedimento General Linear Models (GLM) do programa SAS® e, em caso de efeito significativo, as médias foram comparadas pelo teste SNK com significância definida em $P < 0,05$. Menor ($P = 0,0001$) viabilidade criatória ocorreu quando não se incluiu pigmentantes às dietas. Aves que receberam apo-éster + cantaxantina e 30 g/t de xantofila 1 tiveram maiores valores ($P = 0,0010$) para a intensidade de vermelho. Para a intensidade de vermelho houveram maiores valores ($P < 0,0001$) com a inclusão de 30 g/t de xantofila 1. Deve-se incluir na dieta de frangos de corte 30 g/t de xantofila 1, como alternativa ao uso de apo-éster e cantaxantina, com o intuito de aumentar a intensidade de vermelho e de amarelo na pele do peito das aves, melhorando ainda a viabilidade criatória do lote.

Palavras-chaves: cantaxantina, caroteno, norbixina, xantofila

EFFECT OF NATURAL PIGMENTS INCLUSION IN BROILER DIET ON PERFORMANCE AND COLORING BREAST SKIN

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the inclusion of natural pigments in broiler diets as an alternative to synthetic pigments under the aspects of performance and coloration of the skin of the breast of broiler was evaluated. Three thousand two hundred male Ross® male chicks were evaluated, distributed from a completely randomized design with eight treatments: no pigment included; apo-ester and canthaxanthin according to the rearing phases; 15 g / t xanthophyll 1 (marigold extract); 30 g / t xanthophyll 1; 15 g / t xanthophyll 1 + 2 g / t norbixin (annatto seeds); 30 g / t xanthophyll 1 + 2 g / t norbixin; 15 g / t xanthophyll 2 (calendula oil), with eight repetitions of 50 birds each. Performance of broilers was measured and at 40 days of age the luminosity (L *), the intensity of red (a *) and yellow (b *) of the breast skin before pre-cooling were evaluated. The results were analyzed by variance by the General Linear Models (GLM) procedure of the SAS® program and, in case of significant effect, the average were compared by the SNK test with significance at $P < 0.05$. Lower ($P = 0.0001$) breeding viability occurred when pigmentants were not included in diets. Broiler that received apo-éster + canthaxanthin and 30 g/t xanthophyll 1 had higher values ($P = 0.0010$) for red intensity. For the intensity of red there were higher values ($P < 0.0001$) with the inclusion of 30 g/t of xanthophyll 1. In conclusion, the inclusion of 30 g / t xanthophyll 1 in broiler diets may replace the use of apo-ester and canthaxanthin in order to increase the intensity of red and yellow in the skin of poultry breasts, further improving the creative viability of the batch.

Keywords: canthaxanthin, carotene, norbixin, xanthophyll

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Comprimento de ondas de vários carotenoides	4
Figura 2: Estrutura química da zeaxantina	7
Figura 3: Estrutura química da luteína	7
Figura 4: Estrutura química da bixina	8
Figura 5: Estrutura química da norbixina	8
Figura 6: Estrutura química apo-éster	9
Figura 7: Estrutura química β -caroteno	9
Figura 8: Estrutura química da cantaxantina	10

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composição das rações basais das fases inicial (1 a 21 dias de idade), crescimento (22 a 35 dias de idade) e final (36 a 40 dias de idade)	15
Tabela 2: Efeito dos tratamentos sobre o desempenho de frangos de corte de 1 a 40 dias de idade	20
Tabela 3: Efeito dos tratamentos sobre o desempenho de frangos de corte de 1 a 21 dias de idade	21
Tabela 4: Efeito dos tratamentos sobre o desempenho de frangos de corte de 22 a 34 dias de idade	22
Tabela 5: Efeito dos tratamentos sobre o desempenho de frangos de corte de 35 a 40 dias de idade	23
Tabela 6: Efeito dos tratamentos sobre a coloração (L* - luminosidade; a* - intensidade de vermelho; b* - intensidade de amarelo) da pele de frangos de corte	24

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

g/t – gramas por tonelada

L* - luminosidade

a* - vermelho

b* - amarelo

GLM - General Linear Models

β – beta

α – alfa

VLDL - lipoproteína de muito baixa densidade

HDL - lipoproteína de alta densidade

LDL - lipoproteína de baixa densidade

nm – nanômetro

m² – metro quadrado

m – metro

°C – graus celsius

% - percentual

Mg- miligramas

UI – unidades internacionais

FTU – Unidade de fitase

Kg – quilograma

V – Volts

Hz- Hertz

PG – pigmentantes

Nmol – quantidade de matéria

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO	01
1.1 Relevância do tema e estado atual da arte.....	01
1.2 Fundamentação	03
1.2.1 Demanda dos consumidores	03
1.2.2 Carotenoides.....	04
1.2.3 Metabolismo dos carotenoides	05
1.2.4 Tipos de carotenoides.....	06
1.2.5 Uso de pigmentantes na avicultura	10
1.3 OBJETIVOS	13
1.3.1 Objetivo geral.....	13
1.3.2 Objetivo específico	13
2. MATERIAL E MÉTODOS	14
2.1 Instalação, aves e manejo	14
2.2 Delineamento experimental	16
2.3 Características avaliadas	16
2.3.1 Desempenho.....	16
2.3.2 Coloração.....	17
2.4 Análise estatística	18
3. RESULTADOS	19
4. DISCUSSÃO.....	25
5. CONCLUSÃO	27
6. REFERÊNCIAS.....	28

1. INTRODUÇÃO

1.1 Relevância do tema e estado atual da arte

Os carotenoides são pigmentos encontrados em espécies vegetais e em alguns microrganismos e podem ser classificados como carotenos e xantofilas. Dentre os carotenos temos o β -caroteno, classificado como um carotenoide hidrocarboneto, formado por átomos de carbono e hidrogênio, e as xantofilas, que podem conter grupos funcionais de hidroxila, carbonila, metoxila, carboxila e epóxi e são os derivados oxigenados dos carotenos, dentre elas temos a cantaxantina, a luteína, a norbixina e a zeaxantina (Rivera et al., 2012).

Os termos xantofilas e carotenoides são usados alternadamente na literatura para se referir a todos os pigmentos de gordura solúvel encontrados em carcaças de frangos de corte, ovos e produtos de ovos (Marusich et al., 1981).

A pigmentação da pele das aves é afetada principalmente pela genética, pela concentração e fonte de pigmentos oriundos da alimentação, pela saúde das aves e pelas condições de abate (Fletcher, 2002; Petracci et al., 2002; Sirri et al., 2010). Os varejistas solicitam lotes de carcaças de frangos que tenham pigmentação uniforme da pele, pois a despigmentação de produtos pode resultar em rejeição por parte do consumidor no momento da compra (Lemos et al., 2011), que prefere alimentos mais pigmentados por, associar esta característica à saúde das aves (Rajput et al., 2012).

A cor da pele das aves é pigmentada por carotenoides que são adicionados às dietas de frangos de corte (Perez-Vendrell et al., 2001), uma vez que eles não são capazes de sintetizar carotenoides (Namitha et al., 2010). Os carotenoides utilizados para pigmentação de alimentos podem ser obtidos por via química ou extração de plantas e/ou algas. Devido à preocupação com o uso de aditivos químicos em alimentos, há interesse no uso de carotenoides obtidos naturalmente por processos biotecnológicos (Nunes et al., 2018). Entre os pigmentos sintéticos, temos a cantaxantina e o apo-éster (Garcia et al., 2002; Castañeda et al., 2005; Moura et al., 2011), que possuem riscos de toxicidade, quando comparados aos pigmentantes naturais (Li et al., 2003; Zhou et al., 2003; Lu et al., 2005). Os aditivos para a nutrição de aves estão em constante evolução e pigmentantes extraídos de

plantas e/ou algas foram desenvolvidos e devem ser considerados devido à demanda dos consumidores (Castañeda et al., 2005; Lu et al., 2005; Liu et al., 2008; Moura et al., 2011). No entanto, a eficácia de uma fonte natural sobre a pigmentação dos alimentos depende da concentração utilizada e da disponibilidade dos pigmentantes no produto (Delgado Vargas, 1997).

Segundo Klassing (1998), a deposição de pigmento em tecidos específicos é dependente da quantidade apropriada na dieta, da taxa de deposição no tecido em crescimento e da capacidade da ave em digerir, absorver e metabolizá-lo.

A maior parte das pesquisas com o uso de pigmentantes é realizada com a adição de produtos sintéticos (Marounek et al., 2018) devido a melhores resultados. Para o uso de corantes artificiais a legislação brasileira se apoia nas recomendações do Comitê FAO/OMS (World Health, 2004), essa legislação proíbe grande parte dos pigmentantes artificiais nas dietas animais devido aos seus possíveis efeitos tóxicos.

Desta forma, objetivou-se verificar o efeito da adição de pigmentantes naturais à dieta de frangos de corte sobre o seu desempenho e coloração da pele do peito como alternativa ao uso de pigmentantes sintéticos, com a finalidade de estabelecer um manejo nutricional que favoreça tais características.

1.2 Fundamentação

1.2.1 Demanda dos consumidores

As atuais demandas dos consumidores por alimentos saudáveis e naturais têm estimulado pesquisas na área de nutrição animal, com o objetivo de encontrar alternativas para substituir ingredientes sintéticos utilizados na alimentação animal, capazes de manter ou aumentar a produtividade e reduzir os custos de produção (Lemos et al., 2016).

Os consumidores tendem a avaliar de forma positiva produtos uniformes e de forma negativa, ou como um defeito, produtos não homogêneos e por esta razão, os varejistas solicitam lotes de aves com uma pigmentação uniforme da pele (Sirri et al., 2010). No entanto, devido aos diferentes fatores que afetam a cor da pele, as carcaças de frangos de corte são caracterizadas por grandes variações de cor, portanto, a indústria de rações comumente adiciona pigmentos às dietas de frangos de corte para atender à demanda do consumidor (Barbosa et al., 2008).

A Federação das Indústrias do Estado de São Paulo - FIESP (2010), realizou um estudo e concluiu que a cor, sem dúvida, é o fator que mais influência na tomada de decisão do consumidor em adquirir ou não um produto alimentício. No momento da compra os consumidores analisam e dão preferência por produtos que possuam cores intensas e brilhantes, associando-os a produtos de qualidade e de alto teor de vitaminas.

Portanto, a aparência da superfície da carne favorece a tomada de decisão do consumidor durante a compra dos produtos, uma vez que é o único fator inerente à carne que pode ser percebido visualmente no momento da compra (Valous et al., 2009) e pode determinar sua aceitação ou rejeição (Zeni, 2007).

Geralmente, o consumidor de alimentos de origem animal tem preferência por produtos de coloração mais intensa, pois associa essa característica a qualidade e frescor dos produtos (Ponsano et al., 2004). Além disso, existe por parte dos consumidores uma tendência em relacionar intensidade de pigmentação da pele do frango ao seu estado de sanidade, e a cor da gema a sua quantidade de vitaminas (Garcia et al., 2002).

1.2.2 Carotenoides

Entende-se por pigmentos todos os compostos orgânicos que têm a capacidade de absorver, seletivamente, a luz, adquirindo intensa coloração, que confere aos corpos aos quais se adere (Freitas et al., 2015). Devido à larga distribuição, diversidade estrutural e suas inúmeras funções, os carotenoides constituem um dos mais importantes grupos de pigmentos. São compostos lipossolúveis responsáveis pelas cores amarelo, laranja e vermelho de alimentos como frutas, vegetais, gema de ovo, alguns peixes como salmão e truta e algas e crustáceos (Maldonade et al., 2008).

Do ponto de vista químico, carotenoides são compostos polisoprenóides e podem ser divididos em dois grandes grupos: (a) carotenos ou carotenoides hidrocarbonos, que são compostos apenas de carbono e hidrogênio (ex. α e β -caroteno e licopeno) e (b) xantofilas, que são derivados oxigenados dos carotenos e contém pelo menos uma função hidroxil, ceto, epóxi, metoxi ou ácido carboxílico (ex. luteína, zeaxantina e astaxantina) (Quirós, 2006; Granado-Lorencio et al., 2009).

A tonalidade e a eficiência de coloração dependem de suas estruturas químicas individuais. Os comprimentos de onda das cores dos carotenoides usados para gema de ovo e pigmentação de frangos ficam entre 400nm e 600nm, portanto, dentro da faixa visível do espectro de cores. Para o olho humano, esses compostos são de cor amarela a vermelha (Figura 1) (Wang et al., 2016).

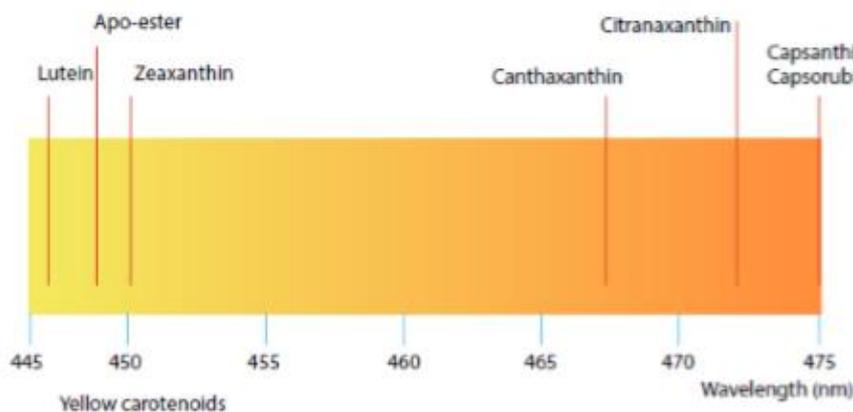


Figura 1: Comprimento de ondas de vários carotenoides

Fonte: Wang et al., 2016

Os carotenoides são substâncias bastante instáveis em função da presença de insaturações em sua composição, podendo oxidar facilmente na presença de fatores adversos como temperatura, luz e pH (Meléndez-Martínez et al., 2004).

Os carotenoides podem ser utilizados na alimentação animal para melhorar a aceitação dos alimentos pelo consumidor, que costuma associar a coloração ao seu valor nutritivo (Lima Júnior et al., 2011; Rajput et al., 2012; Raddatz-Mota et al., 2017). A pigmentação da carne de frango é fortemente influenciada pela presença de xantofilas (Pérez-Vendrell, 2001).

Os carotenoides utilizados comercialmente são obtidos por rota sintética ou por extração a partir de plantas, de algumas bactérias e de fungos (Botellapavía et al., 2006; Goodwin, 1980). Para alcançar a cor desejada, as dietas geralmente combinam um carotenoide amarelo (apo-éster, luteína, zeaxantina) e um vermelho (cantaxantina, citranaxantina, capsantina ou capsorubina) (Perez-Vandrell et al., 2001).

Os pigmentantes sintéticos amarelos são produtos com alta concentração de pigmento amarelo e ocorrem na natureza como produto metabólico do apo-éster. Sua forma comercial é o etil-éster-beta-apo-8-caroteno. Já, o pigmento vermelho sintético é a cantaxantina, comercializado como 4,4'-diceto- α -caroteno (Moura et al., 2009).

Nos últimos anos, o uso de pigmentantes naturais tem sido explorado, por meio da inclusão de xantofilas e carotenoides de origem vegetal, os quais são as principais fontes de pigmentantes alimentares naturais, devido a segurança, não toxicidade, atividade biológica e biodisponibilidade (Liu et al., 2008). São descritas funções pigmentantes, antioxidantes, pró-vitaminas e imunomoduladoras, todas associadas aos carotenoides (Williams et al. 1998).

Os pigmentantes naturais mais utilizados nas rações são extrato de urucum (*Bixa orellana*), açafrão (*Curcuma longa*), calêndula (*Tagetes erecta*) e páprica (*Capsicum annum*) (Garcia et al., 2010; Moura et al., 2011).

1.2.3 Metabolismo dos carotenoides

Os animais adquirem os pigmentos carotenoides por meio da dieta, onde cada carotenoide possui um padrão individual de absorção, transporte no plasma e

metabolismo. Os lipídeos dos alimentos que possuem carotenoides, quando ingeridos, são liberados pelo estômago devido à ação mecânica do trato digestivo, em forma de gotículas de gordura, que são emulsificados em gotas menores por meio de sais biliares. Nesse caso os carotenoides são incorporados em micelas, compostos de sais biliares, ácidos graxos livres, monoglicerídeos e fosfolipídeos, que são absorvidos pelas células da mucosa duodenal por um mecanismo envolvendo a difusão passiva, similar ao colesterol (Parker, 1996).

Todos os carotenoides, pró-vitamínicos ou não, são incorporados aos quilomícrons e transportados da mucosa intestinal para corrente sanguínea através do sistema linfático. Os mesmos também podem ser transportados por outras lipoproteínas, como a lipoproteína de muito baixa densidade (VLDL), lipoproteína de alta densidade (HDL) e lipoproteína de baixa densidade (LDL) (Parker, 1996), também chamadas de pré- β lipoproteínas.

A biodisponibilidade é definida como a fração de um alimento ingerido e a quantidade que se torna disponível ao organismo para utilização em funções fisiológicas ou para armazenamento (Jackson, 1997). A biodisponibilidade dos carotenoides é influenciada por fatores fisiológicos que incluem; espécies de carotenoides, ligação molecular, quantidade consumida, bioconversão e estado nutricional (Castenmiller et al., 1998). Estudos recentes provaram que a absorção de carotenoides aumenta quando ingeridos com lipídios na dieta (Brown et al., 2004; Unlu et al., 2007).

1.2.4 Tipos de carotenoides

Xantofila

As principais xantofilas são a zeaxantina, que dá cor ao milho e à manga e a luteína, que está no suco de laranja e na gema do ovo (Pinheiro, 2008). A luteína e a zeaxantina apresentam estrutura química muito similar, tornando difícil distingui-las analiticamente. Ambas possuem o mesmo número de ligações duplas na cadeia, porém há uma diferença na posição de uma dessas duplas ligações no anel (Figuras 2 e 3). Essa diferença faz da zeaxantina um melhor antioxidante por apresentar uma dupla ligação conjugada a mais do que a luteína (Licopeno, 2003).

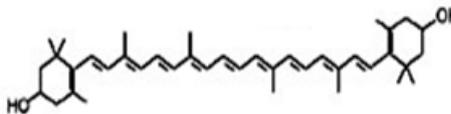


Figura 2: Estrutura química da zeaxantina

Fonte: Stringheta et al. (2006)

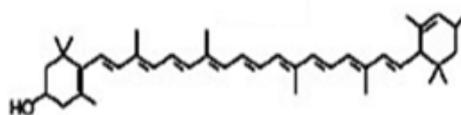


Figura 3: Estrutura química da luteína

Fonte: Stringheta et al. (2006)

A zeaxantina do grupo das xantofilas, é um pigmentante obtido do milho, juntamente com o gérmen, é conhecido como uma fonte de carotenóides, por essa razão há grande influência na cor da carne (Oliveira, 2018).

O extrato de calêndula é uma mistura de pigmento do grupo da xantofila e tem como ingrediente ativo a luteína e algumas zeaxantinas, na qual são considerados seguros, visto que estão naturalmente presentes em plantas comestíveis (Wang et al., 2017).

Norbixina

A norbixina (lipossolúvel) e o sal de norbixina (hidrossolúvel) são obtidos a partir da bixina, que é um pigmento amarelo-avermelhado encontrado em maior concentração na semente da planta do urucum (*Bixaorellana L.*), compreendendo mais de 80% dos carotenoides totais (Ribeiro et al., 2004; Barbosa-Filho, 1998).

A bixina foi o primeiro carotenoide natural identificado com configuração cis (ou Z) (Barber et al., 1961; Karrer et al., 1929; Kuhn et al., 1932). Esta estrutura (Figura 4), com 25 carbonos e grupos carboxílico e éster metílico é muito diferente dos carotenóides usualmente presentes em alimentos (cadeia com 40 carbonos) e foi até o presente momento encontrada somente no urucum.

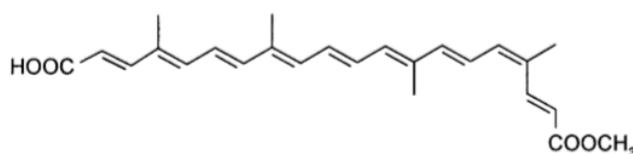


Figura 4: Estrutura química da bixina

Fonte: Mercadante et al. (2001)

A norbixina (Figura 5), forma desmetilada da bixina, de cor vermelha intensa, comercializado na forma de pó ou pasta após separação e secagem, obtida por meio da remoção hidrolítica do grupamento metil-éster da bixina por saponificação (Carvalho et al., 1989; Giuliano et al., 2003).

A norbixina é encontrada diretamente nas sementes de urucum, em pequenas quantidades (Lima, 2001) e tem se destacado pela sua propriedade hidrofílica, visto que muitos produtos onde são utilizados aditivos colorantes necessitam que os mesmos sejam miscíveis e apresentem melhor solubilidade em água (Hagiwara et al., 2003).

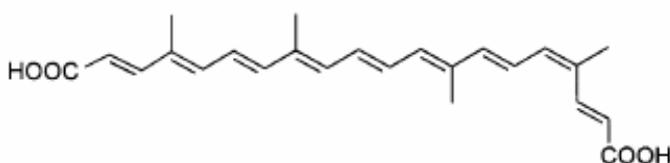


Figura 5: Estrutura química da norbixina

Fonte: Mercadante et al. (2001)

Apo-éster

O apo-éster (Figura 6) é também conhecido como apo-caroteno, éster etílico do ácido β -apo-8'-carotenoico, etil-8'-apo- β -caroten-8'-oate ou etil-éster- β -8'-apo-caroteno. É um carotenoide isolado de várias plantas como a alfafa, capim e legumes verdes, formado por cristais violeta-vermelho ou pó cristalino, sensíveis ao oxigênio (Garcia et al., 2002).

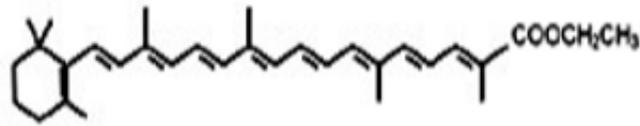


Figura 6: Estrutura química do apo-éster.

Fonte: Cerqueira et al. (2007)

Os pigmentantes sintéticos amarelos são produtos com alta concentração de pigmento amarelo que ocorrem na natureza como produto metabólico do apo-éster (Moura et al., 2009).

β-caroteno

O β-caroteno possui 11 duplas ligações conjugadas (Figura 7) que formam o sistema cromóforo, com maior absorção na região do espectro visível, com comprimento de onda máximo entre 420 a 510 nm, sendo verde-amarelo na aparência (Skoog et al., 2002).

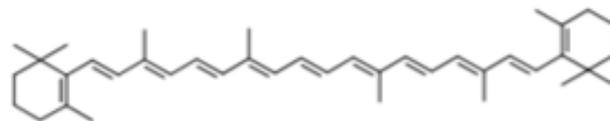


Figura 7: Estrutura química β-caroteno

Fonte: Krinsky et al. (2005)

O β-caroteno pode ser convertido em vitamina A (retinol) ou agir como um antioxidante para ajudar a proteger as células dos efeitos nocivos dos radicais livres. Estudos comprovaram que 50% da vitamina A advém da ingestão de β-caroteno (Mazaracki, 2018).

Cantaxantina

A cantaxantina (Figura 8) é um pigmento carotenoide vermelho encontrado na natureza em tecidos de diversas espécies de aves, como os flamingos, além de peixes, crustáceos, algas e fungos.

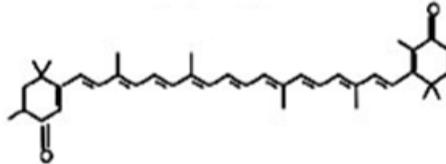


Figura 8: Estrutura química da cantaxantina

Fonte: Cerqueira et al. (2007)

A cantaxantina é um dos mais poderosos anti-lipossolúveis oxidantes na natureza e foi identificado como um eliminador de radicais livres (Palozza et al., 1992; Rengel et al., 2000).

A cantaxantina, pertencente ao grupo dos carotenoides que desempenham um importante papel antioxidante, pois removem os radicais livres, absorvem e dissipam o excesso de energia e reciclam a vitamina E (Rocha et al., 2013).

De acordo com European Commission (2002), a cantaxantina é absorvida no intestino delgado e transportada pelo sangue ao fígado, onde parte é transformada em substâncias intermediárias precursoras de vitamina A, como 4-oxoretinol, e o restante permanece íntegro transportado pelas lipoproteínas aos depósitos alvos.

1.2.5 Uso de pigmentantes na avicultura

As aves não são capazes de sintetizar carotenoides, portanto, estes devem ser incluídos nas dietas. O nível de inclusão está relacionado a sua concentração nos tecidos com capacidade de associar-se principalmente aos lipídios teciduais e células de origem animal, incluindo membranas (Bendich et al., 1989). A disponibilidade e a quantidade de carotenoides nos ingredientes das rações de aves oscilam consideravelmente, visto que cada fonte de carotenoide é composta por um percentual deste. Desta forma, tornou-se prática comum na indústria avícola

adicionar carotenoides à ração para assegurar a quantidade necessária para a pigmentação (Hencken, 1992).

Segundo Venturini et al. (2007), a coloração da carne das aves pode ser variável, entre as espécies, e também está relacionada com a atividade física do animal. Outros fatores que interferem na coloração da carne são a idade, sexo, habitat, e principalmente a alimentação fornecida.

Segundo Castañeda (2005), a dieta típica de milho e soja que é a base da dieta das aves, não fornece a quantidade necessária de xantofilas para produzir a pele amarela profunda que é preferida pelos consumidores.

Garcia et al. (2005), relatam que devido a substituição do milho por sorgo pode ocorrer uma diminuição na coloração da carne do peito e de pernas de frango de corte, pois o sorgo é deficiente em caroteno e xantofilas. Com isso, Souza et al. (2015), utilizaram resíduo da semente de urucum nas proporções de 3, 6, 9 e 15% na ração de frangos de corte contendo sorgo, em substituição ao milho e verificaram que a partir da utilização de 3% do resíduo já é possível melhorar a pigmentação da carne.

Em estudo realizado por Botelho et al. (2017), os autores concluíram que a inclusão de até 2% de açafrão (*Curcuma longa L.*) em rações de frango de corte contendo sorgo, promoveu maior coloração de corte de coxa sem interferir no desempenho e característica de carcaça.

Surai et al. (2003) avaliaram a inclusão de cantaxantina em dietas para matrizes de corte e observaram uma redução na peroxidação lipídica dos tecidos de pintos de corte após a eclosão, com importância devido ao controle do efeito negativo associado à formação de radicais livres, devido a condições de estresse, crescimento rápido, altas taxas reprodutivas e metabolismo intenso.

Estudo realizado por Moura et al. (2009), relata que a associação de pigmentantes sintéticos (apo-éster 10% e cantaxantina 10%) e selênio-metionina em rações a base de sorgo, alteram com grande intensidade a cor da gema de ovos de codornas japonesas. Em conjunto com pigmento amarelo, a cantaxantina tem por objetivo intensificar a cor da gema atendendo a demanda do mercado por gemas laranja-dourada (Shang, 2014).

Utilizando apo-éster (pigmentante sintético amarelo) em associação com a cantaxantina, Garcia et al. (2002) observaram redução no tom avermelhado que a

cantaxantina confere à gema (Garcia et al. 2002), pois juntos conferiram a gema uma coloração amarelo-alaranjada.

O urucum apresenta bons resultados bromatológicos para ser utilizado na alimentação de aves, pois é um alimento que possui forte coloração vermelha, sendo um alimento alternativo com grande potencial de pigmentação (Faustino et al., 2018). Harder et al. (2010) relataram que o uso de urucum resultou em um aumento na pigmentação de cortes de peito de frango. A importância do urucum se deve principalmente às limitações do uso de corantes artificiais em alimentos, levando a indústria alimentícia a optar pela exploração de corantes naturais (Harder et al., 2007).

Wang et al., (2017) relataram que aves suplementadas com 0,30% de extrato de calêndula atingiram o mesmo potencial de pigmentação das patas e bicos quando alimentadas com 0,60%, indicando que os tecidos possuem diferenças quanto ao depósito de pigmentos. A adição de antioxidantes na dieta pode reduzir os efeitos adversos do estresse oxidativo na produção de frangos de corte e melhorar a qualidade da carne (Gao et al., 2010).

Nesse contexto, experimentos têm demonstrado a possibilidade do uso de pigmentantes naturais, proporcionando uma alternativa capaz de substituir ou minimizar uso de pigmentantes sintéticos em derivados cárneos (Garcia et al., 2012; Castañeda et al., 2005).

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

Verificar o efeito da adição de pigmentantes naturais à dieta de frangos de corte com alternativa à cantaxantina e ao apo-éster sobre o seu desempenho e a coloração da pele do peito.

1.3.2 Objetivo específico

Avaliar o efeito da inclusão de pigmentantes naturais: xantofila e norbixina como alternativa ao apo-éster e à catanxantina sobre as características de ganho de peso, peso médio, conversão alimentar, consumo de ração e viabilidade criatória de frangos de corte.

Avaliar o efeito da inclusão de pigmentantes naturais: xantofila e norbixina como alternativa ao apo-éster e à catanxantina sobre a luminosidade, intensidade de vermelho e de amarelo da pele do peito de frangos de corte.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi aprovado pela Comissão de Ética em Pesquisa na utilização de Animais da Universidade Brasil, sob protocolo número 190005/2019.

2.1. Instalações, aves e manejo

Um total de 3.200 pintos de corte machos da linhagem Ross®, foram criados de 1 a 40 dias de idade em um galpão experimental, alojados em 64 boxes de 4 m² (2 m x 2 m), equipados com comedouro tubular e bebedouro tipo *nipple* e piso coberto com cama de casca de arroz (espessura média de 10 cm). O galpão possuía cortinas de cor amarela e lâmpadas do tipo fluorescente (20 lux). O programa de luz foi de 24 horas de 1 a 7 dias de idade e do 8º ao 40º dia de idade utilizou-se 18 horas de luz. Durante todo o período de criação, as aves receberam água e ração à vontade.

O manejo inicial da temperatura foi realizado por meio de fôrnelha automática e, posteriormente, foi utilizado o sistema de climatização composto por cortinas e ventiladores com controle manual e automático, respectivamente. Foram registradas temperatura e umidade relativa do ar durante todo o período experimental utilizando-se termohigrômetros digitais distribuídos de modo equidistante na instalação. As temperaturas médias da primeira a sexta semana foram de 32,4; 32,0; 32,2; 32,3; 31,1 e 31,0°C, respectivamente e as umidades relativas médias da primeira a sexta semana foram de 54,7; 56,0; 54,6; 55,7; 58,3 e 55,5%, respectivamente.

Os pintos foram vacinados contra as doenças Marek, Gumboro e bôuba aviária ainda no incubatório. As dietas foram formuladas respeitando as exigências nutricionais das diferentes fases de criação inicial (1 a 21 dias de idade), crescimento (22 a 35 dias de idade) e final (36 a 40 dias de idade) (Tabela 1), de acordo com as recomendações de Rostagno et al. (2011). Os pigmentantes foram incluídos “on top” nas dietas.

Tabela 1: Composição das rações basais das fases inicial (1 a 21 dias de idade), crescimento (22 a 35 dias de idade) e final (36 a 40 dias de idade).

Ingredientes (%)	Inicial	Crescimento	Final
Milho grão	56,912	63,425	68,679
Farelo de soja (46%)	34,058	30,683	25,311
Calcário fino	1,075	1,025	0,900
Fosfato monobicálcico (20%)	0,875	0,775	0,600
Ácido graxo	1,300	-	-
Óleo bruto de milho	1,088	2,570	3,308
Metionina hidroxí-análoga (88%)	0,375	0,345	0,283
Cloreto de colina líquida (75%)	0,088	0,075	0,063
Lisina líquida (64%)	0,288	0,333	0,288
Sal granulado iodado	0,333	0,285	0,273
Sulfato de sódio	0,145	0,110	0,098
Sulfato de cobre (25%)	0,080	0,080	-
^a Premix inicial	0,200	-	-
^b Premix crescimento	-	0,030	-
^c Premix final	-	-	0,020
^d Premix mineral	-	0,080	0,070
^e Óleos essenciais	-	0,030	0,030
Narasina + nicarbasina (600 g/t)	0,063	-	-
Treonina (98,5%)	0,083	0,083	0,060
Monensina (40%)	-	0,030	-
L-valina	0,020	0,023	-
Adsorvente de micotoxina	0,050	-	-
Fitase	0,015	0,015	0,015
Xilanase	0,005	0,005	0,005
Total	100,00	100,00	100,00
Composição calculada			
Energia metabolizável (kcal/kg)	2.999	3.100	3.210
Extrato etéreo (%)	4,93	5,20	5,92
Proteína Bruta (%)	21,50	19,61	17,50
Fibra bruta (%)	2,22	2,15	2,08
Cálcio (%)	0,70	0,65	0,55
Fósforo (%)	0,50	0,46	0,41
Potássio (%)	0,84	0,76	0,67
Sódio (%)	0,21	0,18	0,17
Cloro (%)	0,25	0,22	0,21
Umidade (%)	11,81	11,65	11,46
Matéria mineral (%)	5,31	4,77	4,13
Metionina dig. (%)	0,63	0,62	0,54
Metionina + cistina dig. (%)			
Lisina dig. (%)	1,18	1,23	1,06
Valina dig. (%)	0,91	0,95	0,82
Leucina dig. (%)	1,64	1,73	1,60
Treonina dig. (%)	0,77	0,80	0,69

Premix (composição por kg de ração): ^aInicial – Vitamina A 10800,00 UI; Vitamina B1 2,70 mg; Vitamina B2 7,20 mg; Niacina 54,00 mg; Vitamina E 63,00 mg; Vitamina D3 4050,00 UI; Biotina 0,18 mg; Vitamina K3 4,50 mg; Vitamina B6 4,50 mg; Ácido Fólico 1,80 mg; Vitamina B12 0,02 mg; Fitase

500 FTU; Xilanase 2.000 UI. ^b**Crescimento** – Vitamina A 9000,00 UI ; Vitamina B1 2,25 mg; Vitamina B2 6,00 mg; Niacina 45,00 mg; Vitamina E 52,50 mg; Vitamina D3 3375,00 UI; Biotina 0,15 mg; Vitamina K3 3,75 mg; Vitamina B6 3,75 mg; Ácido Fólico 1,50 mg; Vitamina B12 0,02 mg; Fitase 500 FTU; Xilanase 2.000 UI. ^c**Final** – Vitamina A 6000,00 UI ; Vitamina B1 1,50 mg; Vitamina B2 4,00 mg; Niacina 30,00 mg; Vitamina E 35,00 mg; Vitamina D3 2250,00 UI; Biotina 0,10 mg; Vitamina K3 2,50 mg; Vitamina B6 2,50 mg; Ácido Fólico 1,00 mg; Vitamina B12 0,01 mg; Fitase 500 FTU; Xilanase 2.000 UI.

^dPremix mineral (composição por kg de ração): ^a**Inicial** – Cobre 10,80 mg; Zinco 90,00 mg; Manganês 90,00 mg; Ferro 45,00 mg; Selênio 0,27 mg; Iodo 1,08 mg. ^b**Crescimento** – Ferro 40,00 mg; Cobre 9,60 mg; Zinco 80,00 mg; Manganês 80,00 mg; Selênio 0,24 mg; Iodo 0,96 mg. ^c**Final** – Ferro 35,00 mg; Cobre 8,40 mg; Zinco 70,00 mg; Manganês 70,00 mg; Selênio 0,21 mg; Iodo 0,84 mg.

^eÓleos essenciais: Composto de óleos purificados em conjunto com ácido benzoico.

2.2 Delineamento e tratamentos experimentais

Foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado com oito tratamentos, sem inclusão de pigmentantes; apo-éster e cantaxantina de acordo com as fases de criação (fase inicial: 12 g/t de apo-éster e 0,6 g/t de cantaxantina; fase de crescimento: 30 g/t de apo-éster e 1,8 g/t de cantaxantina; fase final: 36 g/t de apo-éster e 2,2 g/t de cantaxantina); 15 g/t de xantofila 1 (extrato de calêndula); 30 g/t de xantofila 1; 15 g/t de xantofila 1 + 2 g/t de norbixina (semente de urucum); 30 g/t de xantofila 1 + 2 g/t de norbixina; 15 g/t de xantofila 2 (óleo de calêndula), com oito repetições e 50 aves/repetição.

Dentre os produtos utilizados, o apo-éster contém 100 g de etil-éster- β -apo-8'-caroteno/kg de produto, a cantaxantina contém 100 g de cantaxantina/kg do produto, a xantofila 1 é oriunda de extrato de calêndula com um limite mínimo de 20 g de xantofila/kg do produto, a xantofila 2 é oriunda de óleo de calêndula com um limite mínimo de 40 g de xantofila/kg do produto e a norbixina é oriunda da semente de urucum com um limite mínimo de 10 g de norbixina/kg do produto.

2.3. Características avaliadas

2.3.1 Desempenho

Foram avaliados o consumo de ração (g/ave), o peso médio (g/ave), o ganho de peso (g/ave), a viabilidade criatória (%) e a conversão alimentar (kg ração/kg peso) corrigida pela mortalidade das aves. O consumo de ração, o ganho de peso, a viabilidade criatória e a conversão alimentar foram avaliados durante as fases inicial

(1 a 21 dias de idade), crescimento (22 a 35 dias de idade) e final (36 a 40 dias de idade), bem como a avaliação da fase total (1 a 40 dias de idade).

2.3.2 Coloração

Aos 40 dias de idade foram selecionadas 192 aves, de acordo com o peso médio da parcela, sendo três aves por parcela, em um total de 24 aves por tratamento para avaliação da coloração da pele. As aves foram submetidas a um jejum alimentar pré-abate de seis horas, então foram insensibilizadas por eletronarcose (120 V, 200 Hz), sacrificadas por meio de sangria, escaldadas em tanques com água a uma temperatura de 61°C por 220 segundos, depenadas em depenadeira automática contendo dedos de borracha e evisceradas de acordo com a rotina da planta frigorífica inspecionada sob regime de inspeção federal.

A análise de coloração foi realizada na porção crânio ventral direita da pele do peito antes da carcaça entrar no pré-chiller. Foram avaliadas as variáveis L^* (luminosidade), a^* (intensidade de vermelho) e b^* (intensidade de amarelo), em três pontos da superfície dorsal da pele do peito utilizando um colorímetro Minolta CR-400 (Konica Minolta Sensing Inc., Osaka, Japan). Os índices de cores foram estabelecidos com o iluminante A, o componente especular foi excluído e o sistema de cores CIELAB foi usado (International Commission On Illumination – CIE, 1978). As áreas selecionadas para a mensuração estavam livres de defeitos (hematomas, descolorações, hemorragias ou qualquer outra condição que pudesse afetar a avaliação). Para a análise dos dados utilizou-se a média dos três pontos, sendo considerada cada unidade experimental a média das três aves dentro de cada parcela.

2.4 Análise Estatística

Os efeitos da inclusão dos pigmentantes (PG) foram analisados de acordo com o modelo experimental (Equação 1):

$$Y_{ik} = \mu + (PG)_i + e_{ik} \text{ (Equação 1)}$$

em que, Y é a variável resposta; μ é a média da variável; PG pigmentantes e e_{ik} é o erro residual.

Os dados foram verificados quanto à presença de *outliers* (*Box-and-Whisker Plot*), homogeneidade das variâncias (Teste de *Bartlett*) e normalidade dos resíduos (*Cramér-von Mises*). Posteriormente, foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste SNK à 5% de probabilidade, usando-se o Procedimento do Modelo Linear Geral (GLM) do *software* SAS® (Statistical Analysis System, versão 9.2, SAS Institute Inc., Cary, Carolina do Norte, Estados Unidos, 2002).

Para as características de desempenho das aves, a análise estatística foi realizada considerando cada boxe de 50 aves como uma unidade experimental (oito repetições/tratamento). Enquanto que, para as características de coloração da pele do peito, a análise foi realizada considerando o resultado médio de três aves/box como unidade experimental (oito repetições/tratamento).

3. RESULTADOS

Houve efeito ($P = 0,0001$) para a viabilidade criatória de 1 a 40 dias de idade, com menor viabilidade quando não se incluiu pigmentantes às dietas (Tabela 3). Não houve efeito ($P > 0,05$) da inclusão dos pigmentantes para os demais parâmetros de desempenho avaliados, para as fases de criação inicial, crescimento e final (Tabelas 4, 5 e 6).

Tabela 2: Efeito dos tratamentos sobre o desempenho de frangos de corte de 1 a 40 dias de idade.

	Ganho de peso (g)	Consumo de ração (g)	Conversão alimentar	Viabilidade criatória (%)
	1 a 40 dias de idade			
Sem pigmentantes	2.995,66±8,72	4.435,33±13,42	1,481±0,001	85,50±2,13 ^B
Apo-éster + cantaxantina	2.998,12±8,91	4.444,59±8,16	1,483±0,002	93,33±2,23 ^A
15 xantofila 1 ¹	2.998,37±10,47	4.439,24±19,00	1,480±0,001	95,20±2,33 ^A
30 xantofila 1	2.996,77±7,33	4.437,06±13,97	1,481±0,001	99,32±0,68 ^A
15 xantofila 1 + norbixina	2.994,76±6,71	4.434,89±11,33	1,481±0,002	96,80±1,50 ^A
30 xantofila 1 + norbixina	2.997,34±3,17	4.440,72±7,08	1,481±0,001	96,00±1,79 ^A
15 xantofila 2 ²	2.995,38±3,55	4.435,14±10,05	1,481±0,001	97,60±1,60 ^A
30 xantofila 2	2.996,17±13,12	4.438,55±20,34	1,481±0,001	96,80±1,96 ^A
Probabilidade	1,0000	0,9995	0,9768	0,0001

±erro padrão. A-B: médias seguidas de letras diferentes nas colunas são distintas pelo teste SNK a 5% de probabilidade. ¹Xantofila 1 -produto com extrato de calêndula.

²Xantofila 2 – produto com óleo de calêndula.

Tabela 3: Efeito dos tratamentos sobre o desempenho de frangos de corte de 1 a 21 dias de idade.

Tratamentos	Peso médio (g)	Ganho de peso (g)	Consumo de ração (g)	Conversão alimentar
Sem pigmentantes	940,25±2,65	898,62±2,65	1142,83±2,77	1,272±0,001
Apo-éster + cantaxantina	940,62±4,09	898,98±4,06	1144,99±5,30	1,273±0,002
15 xantofila 1 ¹	939,71±5,81	898,07±5,85	1141,99±7,37	1,272±0,002
30 xantofila 1	938,98±3,32	897,35±3,33	1140,40±4,37	1,271±0,002
15 xantofila 1 + norbixina	939,20±2,35	897,56±2,42	1143,04±4,82	1,273±0,003
30 xantofila 1 + norbixina	938,72±2,71	897,09±2,69	1141,70±2,98	1,273±0,002
15 xantofila 2 ²	939,30±2,46	897,67±2,43	1142,12±2,52	1,272±0,002
30 xantofila 2	938,41±3,62	896,77±3,65	1140,85±5,30	1,272±0,001
Probabilidade	0,9998	0,9998	0,998	0,9859

±erro padrão. ¹Xantofila 1 -produto com extrato de calêndula. ²Xantofila 2 – produto com óleo de calêndula.

Tabela 4: Efeito dos tratamentos sobre o desempenho de frangos de corte de 22 a 34 dias de idade.

Tratamentos	Peso médio (g)	Ganho de peso (g)	Consumo de ração (g)	Conversão alimentar
Sem pigmentantes	2317,34±7,96	1377,10±7,55	2058,21±10,02	1,485±0,003
Apo-éster + cantaxantina	2318,98±7,44	1378,36±5,80	2065,10±7,40	1,488±0,003
15 xantofila 1 ¹	2317,92±12,33	1378,22±14,13	2060,93±21,59	1,485±0,001
30 xantofila 1	2315,99±10,30	1377,01±10,09	2060,76±16,95	1,486±0,002
15 xantofila 1 + norbixina	2316,60±5,16	1377,40±3,88	2059,45±4,55	1,485±0,003
30 xantofila 1 + norbixina	2316,80±5,47	1378,08±6,65	2061,22±11,08	1,486±0,002
15 xantofila 2 ²	2317,20±3,06	1377,90±1,96	2060,72±6,15	1,485±0,003
30 xantofila 2	2315,60±15,02	1377,20±12,40	2058,70±18,96	1,485±0,002
Probabilidade	1,0000	1,0000	1,0000	0,978

±erro padrão. ¹Xantofila 1 -produto com extrato de calêndula. ²Xantofila 2 – produto com óleo de calêndula.

Tabela 5: Efeito dos tratamentos sobre o desempenho de frangos de corte de 35 a 40 dias de idade.

Tratamentos	Peso médio (g)	Ganho de peso (g)	Consumo de ração (g)	Conversão alimentar
Sem pigmentantes	3037,28±8,70	719,94±3,89	1234,29±6,39	1,715±0,005
Apo-éster + cantaxantina	3039,76±8,94	720,79±4,15	1234,50±5,19	1,713±0,005
15 xantofila 1 ¹	3040,00±10,55	722,08±5,05	1236,32±4,59	1,713±0,006
30 xantofila 1	3038,40±7,37	722,41±3,55	1235,90±4,28	1,711±0,003
15 xantofila 1 + norbixina	3036,40±6,68	719,80±6,81	1232,40±10,12	1,712±0,004
30 xantofila 1 + norbixina	3038,97±3,11	722,17±3,67	1237,80±4,68	1,714±0,003
15 xantofila 2 ²	3037,00±3,51	719,80±3,14	1232,30±5,80	1,712±0,004
30 xantofila 2	3037,80±13,05	722,20±3,29	1239,00±4,91	1,716±0,004
Probabilidade	1,0000	0,9993	0,9941	0,9967

±erro padrão. ¹Xantofila 1 -produto com extrato de calêndula. ²Xantofila 2 – produto com óleo de calêndula.

Maiores valores de intensidade de vermelho ($P = 0,0010$) ocorreram quanto se fez a inclusão de apo-éster + cantaxantina e de 30 g/t de xantofila 1, não diferindo dos demais tratamentos, exceto sem pigmentantes e com inclusão de 15 g/t de xantofila 1 + 2 g/t de norbixina, os quais apresentaram menores valores de vermelho (Tabela 7).

Tabela 6: Efeito dos tratamentos sobre a coloração (L^* - luminosidade; a^* - intensidade de vermelho; b^* - intensidade de amarelo) da pele de frangos de corte.

Tratamentos	L^*	a^*	b^*
Sem pigmentantes	65,76±0,59	-0,55±0,29 ^B	9,79 ^C ±0,57 ^C
Apo-éster + cantaxantina	65,38±0,59	0,74±0,26 ^A	13,74±0,44 ^{AB}
15 xantofila 1 ¹	65,39±0,65	-0,03±0,26 ^{AB}	11,80±0,60 ^{CB}
30 xantofila 1	64,42±0,71	0,73±0,22 ^A	15,13±0,66 ^A
15 xantofila 1 + norbixina	64,28±0,53	-0,48±0,30 ^B	11,75±0,79 ^{BC}
30 xantofila 1 + norbixina	65,80±0,69	0,39±0,29 ^{AB}	13,52±0,61 ^{AB}
15 xantofila 2 ²	65,13±0,65	-0,15±0,21 ^{AB}	12,35±0,66 ^B
30 xantofila 2	64,71±0,45	0,15±0,24 ^{AB}	13,07±0,53 ^{AB}
Probabilidade	0,5607	0,0010	<0,0001

±erro padrão. A-C: médias seguidas de letras diferentes são distintas pelo teste SNK a 5% de probabilidade.

¹Xantofila 1 - produto com extrato de calêndula. ²Xantofila 2 – produto com óleo de calêndula.

Maiores valores de intensidade de amarelo ($P < 0,0001$) ocorreram quando se fez a inclusão de 30 g/t de xantofila 1, não diferindo de apo-éster + cantaxantina, 30 g/t de xantofila 1 + 2 g/t de norbixina e 30 g/t de xantofila 2 (Tabela 7).

4. DISCUSSÃO

Este estudo avaliou o efeito da adição de pigmentantes naturais à dieta de frangos de corte, como alternativa à cantaxantina e ao apo-éster, sobre o desempenho e a coloração da pele do peito. Pigmentantes naturais e sintéticos adicionados à dieta de frangos de corte favoreceram a viabilidade criatória das aves de 1 a 40 dias de idade, além disso, a inclusão de 30 g/t do produto com extrato de calêndula resultou em maior intensidade de amarelo e de vermelho na pele das aves.

Maior viabilidade criatória das aves suplementadas com pigmentantes pode estar relacionada às propriedades dos carotenoides com relação à proteção dos tecidos contra o estresse oxidativo (Blount et al., 2000). Pesquisadores têm cada vez mais focado nas características antioxidantes dos pigmentantes e seus estudos mostram o potencial com relação à redução das reações de oxidação nos tecidos das aves (Krinsky, 2001; Surai et al., 2001; Sies e Stahl, 2003; El-Agamey et al., 2004). Assim, supõe-se que, durante momentos de estresse, a deposição de carotenoides nos tecidos corporais das aves por meio da inclusão destes aditivos na dieta pode resultar em melhores condições de saúde e, portanto, maior viabilidade criatória (Namitha e Negi, 2010; Zhang et al., 2011).

Altan et al. (2003) testaram a influência do estresse térmico sobre o nível de oxidação das células vermelhas em sangue de frangos de corte submetidos a 38°C, por três horas. Verificaram que a taxa de peroxidação para os frangos do grupo controle foi 2,01nmol ml⁻¹, enquanto que para os frangos submetidos ao estresse foi de 2,59nmol ml⁻¹, ou seja, como consequência do estresse térmico, os frangos apresentaram um aumento da geração de radicais livres no sangue. Da mesma forma, Lin et al. (2006) investigaram frangos expostos a um estresse térmico agudo (32°C por seis horas). Os resultados desse estudo sugeriram que a elevada temperatura corporal pode induzir alterações metabólicas que envolvem o estresse oxidativo.

A ingestão de substâncias com propriedades antioxidantes, tais como: vitamina E, C e carotenóides, auxiliam o mecanismo de defesa enzimático no controle dos danos causados nas células pelos radicais livres (Rocha, 1981). Os carotenóides são eficientes na interação com oxigênio e são igualmente eficazes para neutralizar os radicais livres, protegendo as células de danos oxidativo e por espécies reativas de oxigênio (EROS) (Santos, 2011).

A ausência de efeito para as demais características de desempenho avaliadas (ganho de peso, peso médio, consumo de ração e conversão alimentar) foi relatada anteriormente por Perez-Vendrell et al. (2001) e Castañeda et al. (2005).

O extrato de calêndula é uma mistura de pigmentos de xantofila, considerado seguro, por estar presente em plantas comestíveis (Wang et al., 2017), o que o torna um dos produtos mais aceitos na alimentação de aves entre os pigmentos naturais (Castañeda et al., 2005). Estudos anteriores sugeriram que a xantofila pode não apenas melhorar a cor da pele das carcaças, mas também possui propriedades antioxidantes em várias espécies animais (Alves-Rodrigues et al., 2004; Liu et al., 2008; Lokaewmanee et al., 2011), o que está diretamente relacionado à qualidade da carne.

Dentre os pigmentantes naturais, para a intensidade de amarelo, a inclusão de 30 g/t da xantofila 1 resultou nos maiores valores. Aves tem a tendência de depositar xantofilas no músculo e na pele (Hencken et al., 1992), portanto, existe um vasto interesse em desenvolver produtos comerciais que tenham a xantofila como pigmentante, pois tanto a intensidade, como a cor (amarelo-vermelho) da carcaça e da pele da ave podem ser controladas pela concentração e tipo de xantofila adicionada à dieta (Chen et al., 1992; Lai et al., 1996).

Semelhante aos nossos resultados, Ponsano et al. (2004), Castañeda et al. (2005), Sirri et al. (2010), Rapjut et al. (2013) e Wang et al. (2017) observaram maior intensidade de amarelo quando adicionaram xantofila oriunda de extrato de calêndula à dieta de frangos de corte.

O aumento dos produtos da peroxidação lipídica acelera a oxidação da mioglobina e, em seguida, a cor da carne fica marrom escura (Sato et al., 1981). A xantofila possui capacidade antioxidante (Reddy et al., 1992) e portanto, para a intensidade de vermelho, os maiores valores foram observados para os tratamentos com 30 g/t de xantofila 1 e com apo-éster + cantaxantina. Como faz parte do objetivo do estudo encontrar uma fonte alternativa aos pigmentantes sintéticos, estes dados sugerem que é possível realizar a substituição do apo-éster e da cantaxantina por pigmentantes naturais, como a xantofila, sem comprometer a intensidade de vermelho.

5. CONCLUSÃO

Deve-se incluir na dieta de frangos de corte 30 g/t de xantofila do produto com extrato de calêndula, como alternativa ao uso de apo-éster e cantaxantina, com o objetivo de aumentar a intensidade de vermelho e de amarelo na pele do peito das aves, melhorando ainda a viabilidade criatória do lote. Em estudo futuro deve-se incluir um teste de aceitação com a finalidade de avaliar tais resultados sobre a preferência do consumidor.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Altan O, Pabuccuoglu A, Altan A, Konyalioglu S, Bayraktar H. Effect of heat stress on oxidative stress, lipid peroxidation and some stress parameters in broilers. *British Poultry Science*, London. 2003; v.44, n.4, p.545-550.

Barber MS, Hardisson A, Jackman LM, Weedon BCL. Studies in nuclear magnetic resonance. Part IV: Stereochemistry of the bixin. *J. Chem Soc.* 1961; p. 1625-1630.

Barbosa-Filho JM. et al. Teor de bixina em quatro variedades de Bixa orellana L. cultivadas na Paraíba. *Revista Brasileira Farmacogn*, São Paulo. 1998; v. 7-8, n. 1, p. 41-47.

Barbosa FJV, Lopes JB, Figueirêdo AV, Abreu MLT, Dourado LRB, Farias LA, Pires JEP. Níveis de energia metabolizável em rações para frangos de corte mantidos em ambiente de alta temperatura. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 2008; 37(5), 849-855.

Barbut S. *Poultry Products Processing: An Industry Guide*. CRC Press LLC, Boca Raton, Florida. 2002.

Bendich A, Olson JA. Biological actions of carotenoids. *Journal of the Federation of American Societies for Experimental Biology – FASEB*. 1989; v. 3.

Botella-Pavia P, Rodríguez-Concepcion M. Carotenoid biotechnology in plants for nutritionally improved foods. *Physiologia Plantarum*. 2006; v.126, p.369– 381.

Botelho LFR, Maciel MP, Silva MLF, Reis ST, Alves E, Aiura FS, & Silva DB. Levels of Saffron (*Curcuma longa*) in diets rations for broiler chickens containing sorghum replacing corn. *Archivos de zootecnia*. 2017; 66(253), 35-43.

Blount JD, Houston DC, Ller APM. Why egg yolk is yellow. *Trends Ecol. Evol. (Amst.)* 2000; 15:47–49.

Castañeda MP, Hirschler EM. Skin Pigmentation Evaluation in Broilers Fed Natural and Synthetic Pigments. *Poultry Science*. 2005; 84:143–147; Sams.

Carvalho PR, Pita MCG, Reber-Neto E, Mirandola RMS, Mendonça Júnior CX. Influência da adição de fontes marinhas de carotenóides à dieta de galinhas poedeiras na pigmentação da gema do ovo. *Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science*. 2006; v.43, n.5, p.654-663.

Carvalho PRN, Hein M. Urucum – uma fonte de corante natural. *Coletânea ITAL*, Campinas. 1989; v.19, n.1, p.25-33.

Cerqueira FM, Medeiros MHG, Augusto O. Antioxidantes dietéticos: controvérsias e perspectivas. *Química Nova*. 2007; v.30, n.2, p.441-449.

Chen BH, Yang SH. An improved analytical method for the determination of carotenes and xanthophylls in dried plant materials and mixed feeds. *Food Chem.* 1992; 44:61–66.

Delgado-Vargas F. Pigments of the flower cempxuchitl (*Tagetes erecta*). Physiochemical characterization, processing, and pigmentation efficiency. Ph.D.Dissertation. National Polytechnic Institute, Mexico City, Mexico, 1997.

European Commission. Opinion of the Scientific Committee on Animal Nutrition on the use of canthaxanthin in feedingstuffs for salmon and trout, laying hens, and other poultry, abril, 2002. Disponibilidade em: http://ec.europa.eu/food/fs/sc/scan/out81_en.pdf. Acesso em 02 nov 2019.

El-Agamey A, Lowe GM, McGarvey DJ, Mortensen A, Phillip DM, Truscott TG, Young AJ. Carotenoid radical chemistry and antioxidant/pro-oxidant properties. *Arch. Biochem. Biophys.* 2004; 430:37–48.

Faustino SLS, Rocha JC, Júnior O, Silva C, de Souza AL, do Rosário RS, Oliveira MA. Coloração de frangos de crescimento lento alimentados com dietas contendo urucum. 28º Congresso Brasileiro de Zootecnia. 2018; p.1-5.

Fernandez-Garcia E, Carvajal-Lérida I, Jarén-Galán M, Garrido-Fernández J, Pérez-Gálvez A, Hornero-Méndez D. Carotenoids bioavailability from foods: From plant pigments to efficient biological activities. *Food Research International*, Sevilha. 2011; v. 46, p. 438-450.

FIESP. Consumidor brasileiro busca alimentos práticos e rápidos, aponta a pesquisa da FIESP e Ibope. 2010. Disponível em: <<https://www.fiesp.com.br/noticias/consumidor-brasileiro-busca-alimentos-praticos-e-rapidos-aponta-pesquisa-da-fiesp-e-ibope/>>. Acesso em: 28 de outubro de 2019.

Fontana JD. et al. Carotenoides: Cores atraentes e ação biológica. *Biotechnolog. Cienc. Desenvolv.* 2000; v.2, n.13, p. 40-45.

Fletcher DL. Poultry meat quality. *World's Poult. Sci.* 2002; J.58:131–145.

Freitas ER, Souza DH, Dantas FDT. Potencial do urucum e seus resíduos para pigmentação dos produtos avícolas. Disponível em: <<http://pecnordestefaec.org.br/2015/wp-content/uploads/2015/05/potencial-do-urucum-e-seus-residuos-para-pigmentacao-dos-produtos-avicolas.pdf>>. 2015. Acesso em 05 agosto 2019.

Gao J, Lin H, Wang X, Song Z, Jiao H. Vitamin E supplementation alleviates the oxidative stress induced by dexamethasone treatment and improves meat quality in broiler chickens. *Poult Sci.* 2010; 89: 318-27.

Garcia RG, Mendes AA., Costa C, Paz ICLA, Takahashi SE, Pelícia KP, Quinteiro RR. Desempenho e qualidade da carne de frangos de corte alimentados com

diferentes níveis de sorgo em substituição ao milho. Arq. Bras. de Med. Vet. e Zootec. 2005; 634-643.

Garcia EA. et al., Ground Annatto Seeds (*Bixa orellana* L.) in SorghumBased Commercial Layer Diets and Their Effects on Performance, Egg Quality, and Yolk Pigmentation. Brazilian Journal of Poultry Science. 2010; v.12, n.4.

Garcia EA, Mendes AA, Pizzolante CC. et al. Efeito dos níveis de cantaxantina na dieta sobre o desempenho e qualidade dos ovos de poedeiras comerciais. Revista Brasileira de Ciência Avícola. 2002; v.4, n.1, p.1-7.

Giuliano G, Rosati CE, Bramley PM. To dye or not to dye: biochemistry of annatto unveiled. Trends in Biotechnology, Amsterdam. 2003; v.21, n.12, p.513-516.

Goodwin TW. Nature and distribution of carotenoids. Foods Chemistry. 1980; v.5, n.1, p.3-13.

Granado-Lorencio F, Herrero-Barbudo C, Ación-Fernández G, Molina-Grima E, Fernández-Sevilla JM, Pérez-Sacristián B, Blanco-Navarro I. In vitro bioaccessibility of lutein and zeaxanthin from the microalgae *Scenedesmus almeriensis*. Food Chemistry. 2009; n. 114, p. 747–752.

Harder MNC, Canniat-Brazaca SG, Coelho AAD, Savino VJM, Franco CFO. Cholesterol and iron availability in yolk of laying hens feed with annatto (*Bixa orellana*). Animal Science. 2007; v.1, n.1, p.477-482.

Harder MNC, Spada FP, Savino VJM, Coelho AAD, Correr E, Martins E. Coloração de cortes cozidos de frangos alimentados com urucum. Ciência e Tecnologia de Alimentos. 2010; v.30, p.507-509.

Hannibal L, Lorquin J, D'ortoli NA, García N, Chaintreuil C, Masson-Boivin C, Dreyfus B, Giraud E. Isolation and characterization of canthaxanthin biosynthesis genes from the photosynthetic bacterium *Bradyrhizobium* sp. Strain ORS 278. Journal Bacteriology, Washington. 2000; v. 182; p. 3850-3853.

Hencken H. Chemical and physiological behavior of feed carotenoids and their effects on pigmentation. Poult. Sci. 1992; 71:711–717.

International Commission On Illumination – CIE. Recommendations on uniform color spaces, color difference equations, psychometric color terms. Bureau Central de la CIE, Paris. 1978; n.2.

Jackson MJ. The assessment of bioavailability of micronutrients: Introduction. Eur. J. Clin. Nutr. 1997; v. 51, suppl. 1, p. S1-S2.

Janick-Bunckner D, Hammock DJ, Johnson JM, Osborn JM, Buckner B. Biochemical and ultrastructural analysis of the y10 mutant of maize. Journal of Heredity. 1999; v.90, p.507-513.

Meléndez-Martínez AJ, Vicario IM, Heredia FJ. estabilidad de los pigmentos carotenoides em los alimentos. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*. 2004; v. 54, p. 209-215.

Namitha KK, Negi PS. Chemistry and Biotechnology of Carotenoids, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2010; 50:8, 728-760.

Karrer P, Helfenstein A, Widmer R, Van Itallie TB. Uber bixin (XIII Mittheilung uber Pflanzenfarbstoffe). *Helv. Chim. Acta*. 1929; v. 12, p. 741-755.

Klassing KC. *Comparative avian nutrition*. New York: CAB International. 1998; 350p.

Kuhn P, Winterstein A. Uber konjugierte doppelbindungen. XXIII. Die dihydroverbindung des isomeren bixine und die elektronenkonfiguration der polyene. *Ber. Dtsch. Chem. Ges.* 1932; v. 65, p. 646-651.

Krinsky NI. Carotenoids as antioxidants. *Nutrition*. 2001; 17:815–817.

Krinsky NI, Johnson EJ. Carotenoid actions and their relation to health and disease. *Molecular Aspects of Medicine*. 2005; v. 26, n. 6, p. 459-516.

Lai SM, Gray JI, Flegal CJ. Deposition of carotenoids in eggs from hens fed diets containing saponified and unsaponified oleoresin paprika. *J. Sci. Food Agric.* 1996; 72:166–170.

Lemos AR, Rego NO, São Jose AR, Pereira MLA, Sila MV. Atividade antioxidante e correlação com fenólicos totais em genótipos de urucum (*Bixa Orellana L.*). *Revista Instituto Adolfo Lutz*. 2011; v. 70, n. 1, p. 62-68.

Lemos MJ, Calixto LFL, Torres-Cordido KAA, Reis TL. Uso de aditivo alimentar equilibrador da flora intestinal em aves de corte e de postura. *Arquivos do Instituto Biológico*. 2016; 83, e0862014.

Leeson E, Summers JD. *Scott's nutrition of the chicken*. 4 th ed. Guelph: University Books. 2001; p. 199.

Li DF. *The Feed Cyclopeda in China*. China Agriculture Press, Beijing, China, 2003.

Licopeno. Luteína e zeaxantina: mais do que potentes antioxidantes. *Aditivos e Ingredientes*. 2003; v. 24, p.48-61.

Lima Júnior DM, Rangel AHN, Urbano SA, Maciel MV, Amaro LPA. Alguns aspectos qualitativos da carne bovina: uma revisão. *Acta Vet Bras*. 2011; 5:351-358.

Lin H, Decuyper E, Buyse, J. Acute heat stress induces oxidative stress in broiler chickens. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*. 2006; v.144, n.1, p. 11-17.

Liu GD, Hou GY, Wang DJ, Lv SJ, Zhang XY, Sun WP, Yang Y. Skin Pigmentation Evaluation in Broilers Fed Different Levels of Natural Okra and Synthetic Pigments. *J. Appl. Poult. Res.* 2008; 17:498–504.

Lokaewmanee K, Yamauchi K, Komori T, Saito K. Enhancement of yolk color in raw and boiled egg yolk with lutein from marigold flower meal and marigold flower extract. *J Poult Sci.* 2011; 48:25-32.

Lu YP, Zhang HF, Fu J, Liu FZ. Effect of paprika extract supplement on egg yolk color of layer fed wheat-based diets. *J. Anim. Nutr.* 2005; 17:28–32.

Maldonade IR, Scamparini ARP, Rodriguez-Amaya DB. Carotenoids of yeasts isolated from the Brazilian ecosystem, Brazilian. *Journal of Microbiology.* 2008; v. 107, n. 1, p. 145-150.

Marcolino VA. Inclusão de bixina, curcumina e betanina em ciclodextrina para aplicação na indústria de alimentos. Tese (doutorado). Campinas, Sao Paulo: Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos. 2008. Disponível em: <http://www.fea.unicamp.br/alimentarium/ver_documento.php?did=592>. Acesso em: 10 de novembro de 2011.

Marounek M, Pebriansyah A. Use of carotenoids in feed mixtures for poultry: a review. *Agricultura Tropical et Subtropical.* 2018; v. 51, p. 107-111.

Marusich WL, Bauernfeind JC. Oxycarotenoids in poultry feeds. In *Carotenoids as Colorants and Vitamin A Precursors*. J. C. Bauernfeind, ed. Academic Press, New York. 1981; p. 320-441.

Mercadante AZ, Pfander H. Caracterização de um novo carotenóide minoritário de urucum. *Food Science and Technology.* 2001; 21(2), 193-196.

Moura AMA, Takata FN, Nascimento GR, Silva AF, Melo TV, Cecon PR. Pigmentantes naturais em rações à base de sorgo para codornas japonesas em postura R. *Bras. Zootec.* 2011; v.40, n.11, p.2443-2449.

Moura AMA, Fonseca JB, Melo EA. et al. Características sensoriais de ovos de codornas japonesas (*Coturnix japonica*, Temminck e Schlegel, 1849) suplementadas com pigmentantes sintéticos e selenometionina. *Ciência e Agrotecnologia.* 2009; v.33, n.6, p.1594-1600.

Moreira RSR, Zapata JFF, Fuentes MFF, Sampaio EM, Maia GA. Efeito da restrição de vitaminas e minerais na alimentação de frangos de corte sobre o rendimento e a composição da carne. *Ciência e Tecnologia de Alimentos.* 1998; v.18 n.1.

Moreira AJC. Alimentação alternativa de frangos tipo colonial com resíduo agroindustrial de fruta. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual Paulista Júlio De Mesquita Filho, Araçatuba-SP, 2014.

Nunes DAJRL, De Souza HJDA, Matos DLAZ, Da Silva NE, Martins AC, Valentim JK, Bittencourt TM. Pigmentantes em dietas a base de milho e sorgo para aves comerciais. *Revista Brasileira de Nutrição Animal*. 2018; v. 12, p. 3140.

Oliveira DP. Qualidade da carne de frangos de corte alimentados com gérmen integral de milho. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Zootecnia). Recife – PE: Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Zootecnia, 2018.

Ornelas A. Influence of the processing in the bruised and depigmented broiler carcass. In *Proceedings of 2nd Symposium on Mexican Processing and Poultry Product Quality*, Mexico City, Mexico. 1997; p. 57–62.

Palozza P, Krinsky NI. Antioxidant effects of carotenoids in vivo and in vitro – an overview: *Methods Enzymol*. 1992; p. 403-421.

Passinato EB, Marin JFV, Nascimento MQ, Petrucci FB, Barboza RP, Barboza, WA, Vargas Junior JG. Corantes e pigmentantes na produção de aves e peixes. In: ALMEIDA JR. GA. *O profissional da zootecnia no século XXI*. Alegre, ES: CAUFES. 2012; cap. 12, p. 155-175.

Penã MM, Cuevas AC, Gonzalez EA. Evaluation of three pigment levels of marigold petals (*Tagetes erecta*) on skin pigmentation of broiler chicken. *Tec. Pecu. Mex*. 2004; 42:105–111.

Perez-Vendrell J, Hernandez M, Llauro L, Schierle J, Brufau J. Influence of source and ratio of xanthophylls pigments on broiler chicken pigmentation and performance. *Poult. Sci*. 2001; 80:320–326.

Petracci M, Fletcher DL. Broiler skin and meat color changes during storage. *Poult. Sci*. 2002; 81:1589–1597.

Pinheiro AN. A química dos pigmentos. São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.gpquae.iqm.unicamp.br/textos/T10.pdf>>. Acesso em: 02 de novembro de 2019.

Pivotto LGC. Carotenóides: inovações e tendências em alimentos. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Medianeira, Paraná: Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2011; 66 f.

Ponsano EHG, Pinto MF, Garcia-Neto M. et al. Performance and color of broilers fed diets containing *Rhodocyclus gelatinosus* biomass. *Braz. J. Poultry Sci*. 2004; v.6, p.237-242.

Queiroz EA. Níveis de farelo de urucum (*Bixa orellana* L.) em rações à base de sorgo para poedeiras comerciais. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal). Seropédica, Rio de Janeiro: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 2006; p. 27.

Quirós AR, Costa HS. Analysis of carotenoids in vegetable and plasma samples: A review. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2006; v. 19, p. 97-111.

Rajput N, Naeem M, Ali S. Effect of Dietary Supplementation of Marigold Pigment on Immunity, Skin and Meat Color, and Growth Performance of Broiler Chickens. *Brazilian Journal of Poultry Science*. 2012; v.14, n.4, p.233-304.

Reddy ACP, Lokesh B. Studies on spice principles as antioxidants in the inhibition of lipid peroxidation of rat liver microsomes. *Mol. Cell. Biochem*. 1992; 111:117-24.

Rengel DA, D'ez-Navajas A, Serna-Rico P, Veiga A, Muga JCG. Exogenously incorporated ketocarotenoids in large unilamellar vesicles. Protective activity against peroxidation. *Biochimica et Biophysica Acta* 1463. 2000; 179-187.

Ribeiro EP, Seravalli EAG. Química de Alimentos. Instituto Mauá de Tecnologia. Edgard Blücher Ltda, São Paulo. 2004; p. 155-157.

Rivera SM, Canela-Garayoa R. Analytical tools for the analysis of carotenoids in diverse materials. *Journal of Chromatography A*. 2012; v. 1224, p. 1-10.

Rocha JSR, Barbosa VM, Lara LJC, Baião NC, Caçado SV, Lana AMQ, Pompeu MA, Vasconcelos RJC, Machado ALC, Miranda DJA. The effect of storage and dietary canthaxanthin on fertile egg quality and embryonic development. *Arquivo Brasileiro Medicina Veterinária Zootecnia*. 2013; v.65, n.3, p.792-800.

Rocha JSR. Efeito da cantaxantina dietética para matrizes pesadas com idade avançada e do período de armazenamento dos ovos sobre a fertilidade, rendimento de incubação, nutrientes da gema e desenvolvimento embrionário. Tese (doutorado). Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Veterinária. 2011. 80 p.

Rostagno HS, Albino LFT, Donzele JL, Gomes PC, Oliveira RF, Lopes DC, Ferreira AS, Barreto SLT, Euclides RF. In: Rostagno HS. *Brazilian tables for poultry and swine*. 3rd ed. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil, 2011.

Rodrigues-Alves A, Shao A. The science behind lutein. *Toxicol Lett*. 2004; 150:57-83.

Sams AR. First processing: slaughter through chilling. In *Poultry Meat Processing*. Sams AR, ed. CRC Press, Boca Raton, FL. 2001; p.19-34.

Satoh Y, Shikama K. Autoxidation of oxymyoglobin. A nucleophilic displacement mechanism. *J Biol Chem*. 1981; 256:10272-5.

Sies H, Stahl W. Non-nutritive bioactive constituents of plants: lycopene, lutein and zeaxanthin. *Int. J. Vit. Nutr. Res.* 2003; 73: 95–100.

Silva JHV, Albino LFT, Godói MJS. Efeito do extrato de urucum na pigmentação da gema dos ovos. *R. Bras. Zootec.* 2000; v. 29, p. 1435-143.

Sirri F, Petracci M, Bianchi M, Meluzzi A. Survey of skin pigmentation of yellow-skinned broiler chickens. *Poultry Science.* 2010; 89 :1556–1561.

Souza DH, Freitas ER, Santos EOD, Cipriano RM, Figueiredo CWS, Dantas FDT. Inclusion of annatto seed by-product in diets containing sorghum for slow-growth broilers. *Ciência e Agrotecnologia.* 2015; 39(3), 248-259.

Surai PF, Speake BK, Wood N, Blount JD, Bortolotti GR, Sparks N. Carotenoid discrimination by the avian embryo: A lesson from wild birds. *Comp. Biochem. Physiol. B Biochem. Mol. Biol.* 2001; 128:743–750.

Surai AP, Surai PF, Steinberg W, Wakeman WG, Speake BK, Sparks NHC. Effect of canthaxanthin content of the maternal diet on the antioxidant system of the developing chick. *British of Poultry Science.* 2003; v. 44, p. 612–619. <https://doi.org/10.1080/00071660310001616200>.

Surai PF, Ionov IA, Kuklenko TV, Kostjuk IA, Macpherson A, Speake BK, Noble RC, Sparks NHC. Effect of supplementing the hen's diet with vitamin A on the accumulation of vitamins A and E, ascorbic acid and carotenoids in the egg yolk and in the embryonic liver. *British Poultry Science.* 1998; v. 39, p, 257-263.

Shang HM, Song H, Jiang YY, Ding GD, Xing YL, Niu SL, Wang LN. Influence of fermentation concentrate of *Heridium caput-medusae*, 2014.

Skoog DA, Holler FJ, Nieman TA. *Principios de análise instrumental.* 5. Ed. Porto Alegre: Artmed. 2002; p. 836.

Stringheta PC, Nachtigall AM, Oliveira TT, Ramos AM, Sant'ana HMP, Gonçalves MPJC. Lutein: antioxidant properties and health benefits. *Alim. Nutr., Araraquara.* 2006; v.17, n.2, p.229-238.

Utiyama CE. Utilização do resíduo de sementes processadas de urucum (*Bixa orellana L.*) na alimentação de suínos em crescimento. Dissertação (Mestrado). Piracicaba, São Paulo: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. 2001; f. 43.

Valous NA, Mendonza F, Sun DW, Allen P. Colour calibration of a laboratory computer vision system for quality evaluation of pre-sliced hams. *Meat Science.* 2009; vol. 81, no. 1, p. 132-14.

Venturini KS, Sarcinelli MF, Silva LC. Características da carne de frango. *Boletim Técnico - PIE- UFES: 01307 - 2007.*

Wang J, Wu N, Yang Y. Determination of Carotenoids in Egg Yolk by High Performance Liquid Chromatography with Vortex-Assisted Hollow Fiber LiquidPhase Microextraction using Mixed Extraction Solvent. *Journal of Chromatographic Science*. 2016; p. 1–7.

Wang S, Zhang L, Li J, Cong J, Gao F, Zhou G. Effects of dietary marigold extract supplementation on growth performance, pigmentation, antioxidant capacity and meat quality in broiler chickens. *Asian-Australas J Anim Sci*. 2017; Vol. 30, N^o. 1:71-77.

Williams AW, Boileau TWM, Erdman JW Jr. Factors influencing the uptake and absorption of carotenoids. *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine*. 1998; p. 106 -108. <<https://doi.org/10.3181/00379727-218-44275>>.

World Health Organization. Evaluation of Certain Food Additives and Contaminants: Sixty-first Report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. Geneva: Joint Fao/Who Expert Committee On Food Additives, 2004.

Zeni JSL. Salames: qualidade no processo de fabricação garante excelência no produto final. A cor da carne. *Revista Nacional da Carne: bovinos, aves e suínos* São Paulo, SP: Dipermar. 2007; v.31, n.362, p. 92-95.

Zhang W, Zhang KY, Ding M, Bai SP, Hernandez JM, Yao B, Zhu Q. Influence of canthaxanthin on broiler breeder reproduction, chick quality, and performance. *Poultry Science*. 2011; 90 :1516-1522.

Zhou LJ, Chen J, Li YX, Li GZ. Skin pigmentation evaluation in broilers with natural xanthophyl. *Feed Ind*. 2003; 24:36-40.