



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License.

DOI: [10.1590/1809-6891v20e-35197](https://doi.org/10.1590/1809-6891v20e-35197)

ZOOTECNIA

# INFLUÊNCIA DOS NÍVEIS DE CO<sub>2</sub> E DO TIPO DE INCUBADORA SOBRE O DESEMPENHO ZOOTÉCNICO E MORFOMETRIA CARDÍACA DE FRANGOS DE CORTE

## *INFLUENCE OF CO<sub>2</sub> LEVELS AND TYPE OF INCUBATOR ON THE PERFORMANCE OF BROILERS*

Jovanir Ines Muller Fernandes<sup>1\*</sup> ORCID - <http://orcid.org/0000-0001-8722-7424>Anete Rorig<sup>1</sup> ORCID - <http://orcid.org/0000-0002-2753-4956>Camila de Souza Oro<sup>1</sup> ORCID - <http://orcid.org/0000-0003-4355-9288>Daiane Horn<sup>1</sup> ORCID - <http://orcid.org/0000-0002-7012-2893>Heloísa Laís Fialkowski Bordignon<sup>1</sup> ORCID - <http://orcid.org/0000-0001-7700-7073>Janaína Furlanetto de Mello<sup>2</sup> ORCID - <http://orcid.org/0000-0001-8234-6483><sup>1</sup>Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil.<sup>2</sup>Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR, Brasil.

\*Autor para correspondência - jimfernandes@ufpr.br

### Resumo

O objetivo do trabalho foi avaliar incubadoras de estágio múltiplo e único e diferentes níveis de CO<sub>2</sub> sobre o desempenho, número e diâmetro das fibras musculares, morfometria cardíaca e rendimento de carcaça de frangos de corte. Foram incubados 2.520 ovos férteis em um delineamento inteiramente ao acaso, distribuídos em quatro níveis de CO<sub>2</sub> (4.000, 6.000, 8.000 e 10.000ppm) em incubadoras de estágio único durante os primeiros dez dias de incubação e um tratamento controle utilizando uma incubadora de estágio múltiplo, totalizando cinco tratamentos com 504 ovos em cada um. Após a eclosão, 1.050 pintos machos foram alojados de acordo com o delineamento utilizado no incubatório. A hipercapnia aplicada nos primeiros 10 dias de incubação afetou o ganho de peso e a conversão alimentar dos pintos na primeira semana de vida, no entanto, esses efeitos não foram mantidos até o final do período de criação. Não houve efeito de incubadoras ou da hipercapnia sobre a morfometria muscular e cardíaca. Houve maior rendimento de coxas das aves na idade de abate oriundas de incubadoras em estágio único com até 6.000 ppm de CO<sub>2</sub>, quando comparadas à incubação em máquinas de estágio múltiplo. Esse efeito pode ser atribuído à maior vascularização induzida pela hipercapnia precoce.

**Palavras-chave:** desempenho produtivo, embrião, hipercapnia, hipóxia.

### Abstract

The aim of this work was to assess single and multiple-stage incubators and different CO<sub>2</sub> levels over performance, number and diameter of muscle fibers, cardiac morphometry and carcass yield of broilers. Two thousand five hundred and twenty fertile eggs were randomly allocated and distributed into four different CO<sub>2</sub> levels (4,000, 6,000, 8,000 and 10,000ppm) during the first ten days of incubation. After hatching, 1,050 male chicks were placed into an experimental barn following the

design used in the hatchery. Induced hypercapnia during the first ten days affected weight gain and feed conversion ratio of one-week-old chicks. However, these aspects did not last until the end of the rearing period. There was no effect of either hatcher or hypercapnia on number and diameter of muscle fibers and cardiac morphometry. Higher thigh yield was noted in the birds from single-stage incubators up to 6,000ppm of CO<sub>2</sub>. This fact is explained through higher vascularization caused by premature hypercapnia.

**Keywords:** embryo, hypercapnia, hypoxia, performance.

Recebido em: 26 de abril de 2015.

Aceito em: 07 junho de 2018

## Introdução

Devido aos avanços tecnológicos em toda a cadeia avícola e ao progresso genético dos últimos anos, índices de melhor conversão alimentar, conformação e rendimento de carcaça são atingidos, ano a ano, em menor tempo. O período de criação das aves foi reduzido para cerca de seis semanas, assim, o processo de incubação que tem duração de três semanas passa a representar grande parte da vida dos frangos de corte, o que enfatiza a sua importância sobre o desenvolvimento embrionário e o desempenho pós-eclosão<sup>(1)</sup>.

O uso de máquinas de incubação de estágio múltiplo trouxe vantagens em termos de funcionamento e economia de energia, além de ser capaz de melhorar os resultados zootécnicos do incubatório, o que justifica o aumento na instalação dessas máquinas nas últimas décadas. Por outro lado, na incubação em estágio único, a máquina é carregada completamente a cada ciclo, sendo que o sistema tem um programa que permite alterações na temperatura, ventilação e umidade, o que não é possível nas incubadoras de estágio múltiplo<sup>(2)</sup>.

As incubadoras de estágio único são uma evolução do estágio múltiplo e permitem manter constante a perda de umidade, ajustar as trocas gasosas em relação à qualidade da casca do ovo, conservando a temperatura ótima do embrião para a adequada atividade metabólica e ainda melhorar a condição sanitária da incubação, fatores que condicionam e maximizam a qualidade do desenvolvimento embrionário<sup>(2)</sup>.

Essas incubadoras permitem ainda um controle sobre o nível de CO<sub>2</sub>, que é de grande importância no processo de incubação e vem sendo estudado devido a sua relação com o processo de vascularização no embrião. Estudos sobre máquinas de estágio único mostraram que altas concentrações de CO<sub>2</sub> durante os primeiros dez dias de incubação podem melhorar o desempenho do embrião e resultar em efeitos benéficos sobre o crescimento das aves<sup>(3,5)</sup>.

Everaert et al.<sup>(4)</sup> estudaram os maiores níveis de CO<sub>2</sub> na segunda metade do período de incubação e não encontraram diferenças significativas em relação ao peso vivo de pintos de sete dias de idade. No entanto, outros estudos demonstraram que altas concentrações de CO<sub>2</sub> na incubadora, durante os primeiros dez dias de incubação, resultaram em aumento do peso dos embriões e em redução do intervalo entre eclosões<sup>(5)</sup>.

A indução da hipercapnia, pela elevação das concentrações de CO<sub>2</sub>, deve ocorrer durante a formação

da membrana corioalantoide (5° a 11° dias de incubação), fase em que ocorre intensa angiogênese, o que pode influenciar o aumento da rede vascular da membrana corioalantoide e permitir maior difusão de oxigênio ao embrião nas fases posteriores do desenvolvimento<sup>(4, 5)</sup>. O aumento da rede vascular dos ovos incubados sob condições de hipercapnia<sup>(6, 7)</sup> pode ser atribuído a um pH mais baixo no albúmen. Baixos níveis de pH têm efeito estimulatório sobre a expressão dos fatores do crescimento vascular VEGF e bFGF, os principais reguladores da angiogênese na membrana corioalantoide<sup>(3, 7)</sup>.

Devido à maior representatividade do crescimento do tecido muscular em relação ao coração e pulmões, ocorre um déficit de oxigênio para atender às exigências metabólicas, resultando em quadros de ascite ou culminando em altas de mortalidade no período que antecede o abate dos frangos<sup>(5, 8, 9)</sup>. Embriões expostos a altos níveis de CO<sub>2</sub> durante a incubação apresentaram menor incidência de ascite na fase de crescimento<sup>(9, 10)</sup>. Portanto, a manipulação dos parâmetros de incubação pode influenciar as respostas fisiológicas e metabólicas do embrião e contribuir com o melhor desempenho zootécnico pós-eclosão.

O objetivo do trabalho foi comparar a eficiência de máquinas de estágio múltiplo e único e diferentes níveis de CO<sub>2</sub> sobre o desempenho, morfometria cardíaca e das fibras musculares e rendimento de carcaça de frangos de corte.

## Material e métodos

A primeira fase do experimento foi realizada em uma cooperativa da região oeste do Paraná, e a segunda fase foi conduzida no Aviário Experimental da Universidade Federal do Paraná – Setor Palotina. Todos os procedimentos de criação dos animais e de coleta de material biológico foram aprovados pelo Comitê de Conduta Ética no Uso de Animais em Experimentação (número do protocolo de aprovação do Comitê de Ética: 05/2012).

Foram incubados 2.520 ovos férteis em um delineamento inteiramente ao acaso, distribuídos em quatro níveis de CO<sub>2</sub> (4.000, 6.000, 8.000 e 10.000 ppm) em quatro incubadoras de estágio único (EU) e um tratamento controle utilizando uma incubadora de estágio múltiplo (EM), totalizando cinco tratamentos com 504 ovos em cada um. As incubadoras de estágio único permaneceram com taxa de ventilação reduzida pelo fechamento do *dampers* até o momento em que fossem alcançados os níveis pretendidos de CO<sub>2</sub> para cada incubadora, de forma gradativa e crescente. A partir de então, os níveis de CO<sub>2</sub> foram mantidos até o 10º dia do período de incubação e, após esse período, todos os ovos foram submetidos ao mesmo nível de CO<sub>2</sub> (4000 ppm). Na incubadora de estágio múltiplo, as concentrações de CO<sub>2</sub> se mantiveram entre 3000 e 5000 ppm, de acordo com os parâmetros utilizadas pelo incubatório comercial onde o experimento foi realizado.

Após a eclosão, a seleção e a sexagem, 1.050 pintos Cobb machos foram alojados no aviário experimental da Universidade Federal do Paraná – Setor Palotina. Os tratamentos foram os mesmos utilizados na fase de incubação, distribuídos em 7 repetições, totalizando 35 unidades experimentais em um total de 30 aves por repetição. Água e ração foram fornecidas *ad libitum* durante todo o período de criação. O programa nutricional e a formulação das dietas, à base de milho e farelo de soja, seguiram as recomendações nutricionais adotadas pelas integrações avícolas da região.

Aos 7 e 42 dias de idade, todas as aves de cada unidade experimental e as sobras de ração foram pesadas para a determinação do ganho de peso corporal, consumo de alimento e conversão alimentar.

Aos 42 dias de idade, duas aves de cada repetição (14 amostras/tratamento) foram abatidas. Para o cálculo de rendimento de carcaça, foi considerado o peso da carcaça eviscerada quente, sem os pés, cabeça e gordura abdominal, em relação ao peso vivo que foi obtido individualmente antes do abate das aves. Para o rendimento dos cortes nobres, foi considerado o rendimento do peito inteiro com pele e ossos e das pernas (coxa e sobrecoxa com ossos e pele), que foi calculado em relação ao peso da carcaça eviscerada. A gordura abdominal presente ao redor da cloaca, da bolsa cloacal, da moela, do proventrículo e dos músculos abdominais adjacentes foi retirada. Em seguida, foi pesada e também calculada em relação ao peso da carcaça eviscerada.

Das mesmas aves, foram obtidas amostras do músculo *Pectoralis major* direito, as quais foram imediatamente congeladas em nitrogênio líquido e mantidas em freezer (80°C) até o processamento. Para o processamento do material colhido, os segmentos musculares foram transferidos para a câmara do criostato, orientados para a obtenção de cortes transversais das fibras, com oito micras de espessura e submetidos à coloração de Hematoxilina–Eosina. A captura de imagens para análise morfométrica foi realizada por meio de câmera digital de alta resolução PRO SERIES da Mídia Cibertecnicos, acoplada ao microscópio Olympus Bx 40. Para a leitura das imagens, foi utilizado um analisador de imagem computadorizado IMAGE PROPLUS 5.2, da Mídia Cibertecnicos. Foram analisados 10 campos por lâmina para o cálculo do número de fibras do músculo e os diâmetros das fibras.

O coração de cada carcaça foi removido, pesado e cortado transversalmente logo abaixo das valvas atrio-ventriculares direita e esquerda. Foi utilizada uma lupa acoplada a um estereomicroscópio para a captura das imagens da seção transversal de cada coração. Para a leitura das imagens, utilizou-se o mesmo sistema descrito para as medidas das fibras musculares. Foram mensuradas a espessura da parede da câmara cardíaca direita (EPCCD), a espessura da parede da câmara cardíaca esquerda (EPCCE), o septo ventricular (SV) e a circunferência cardíaca (CC).

Os resultados obtidos foram tabulados e analisados utilizando-se a análise de variância (ANOVA) do procedimento General Linear Model (GLM), com auxílio do programa estatístico SAS (2002, SAS Institute Inc., Cary, NC). Os contrastes das médias dos tratamentos foram obtidos pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de significância, utilizando a incubação em estágio múltiplo como testemunha. O efeito dos níveis de CO<sub>2</sub> das incubadoras de estágio único foi testado por análise de regressão polinomial.

## Resultados

No final da primeira semana de idade, houve melhor ( $P < 0.05$ ) conversão alimentar e ganho de peso dos pintainhos incubados em EM quando comparados com a incubação em EU e 8.000 ppm de CO<sub>2</sub>. Por outro lado, na avaliação do efeito dos níveis de CO<sub>2</sub> em incubadoras EU, verificou-se efeito quadrático sobre a conversão alimentar e consumo de ração. A pior taxa de conversão alimentar foi obtida com o nível de 7.226 ppm de CO<sub>2</sub>, enquanto o maior consumo de ração, com o nível de 7.292 ppm (Tabela 1).

Aos 42 dias, tanto na análise de contraste (incubadora EM vs incubadora EU) quanto na análise de

regressão dos níveis de CO<sub>2</sub>, não foram observadas diferenças significativas (Tabela 2).

Não foram observadas diferenças (P>0,05) para o número ou diâmetro das fibras musculares em função dos sistemas de incubação ou níveis de CO<sub>2</sub> aos 7 e 42 dias (Tabela 3). Da mesma forma, os tratamentos não influenciaram (P>0,05) as medidas de morfometria cardíaca descritas na Tabela 4.

**Tabela 1.** Desempenho de frangos de corte de 7 dias de acordo com o modelo de incubadora e níveis de CO<sub>2</sub>

Tratamentos	Conversão alimentar	Consumo de ração, g	Ganho de peso, g
EM	1,142±0,061*	174,56±6,2	153,00±4,6*
EU – 4.000	1,131±0,050	166,52±7,9	147,22±3
EU– 6.000	1,156±0,074	173,38±5,2	150,27±7,1
EU– 8.000	1,242±0,066*	176,94±6,7	142,72±6,4*
EU– 10.000	1,129±0,075	168,95±5,8	150,00±7,9
Média	1,160	172,07	148,64
Contraste	*	NS	*
Regressão	Quadrático <sup>1</sup>	Quadrático <sup>2</sup>	NS
CV(%)	6,466	4,17	4,51

Valores médios e erro padrão da média. EM: Estágio Múltiplo. EU: Estágio Único \* Diferença Significativa P<0,05%(teste de Dunnett)

<sup>1</sup>Ŷ = 0,75734+0,00012472x-0,00000000863x<sup>2</sup>; R<sup>2</sup>: 0,60; 2Ŷ = 126,81357+0,0135x-0,000000927679x<sup>2</sup>; R<sup>2</sup>: 0,93

**Tabela 2.** Desempenho de frangos de corte de 42 dias de acordo com o modelo de incubadora e níveis de CO<sub>2</sub>

Tratamentos	Conversão alimentar	Consumo de ração, g	Ganho de peso, g
EM	1,597±0,051	4747,78±157,57	2973,24±95,21
EU – 4.000	1,593±0,031	4697,85±152,72	2949,03±94,14
EU– 6.000	1,571±0,046	4782,74±126,96	3045,30±81,71
EU– 8.000	1,586±0,040	4693,60±68,25	2959,79±74,60
EU– 10.000	1,568±0,050	4746,23±244,46	3026,59±74,72
Média	1,583	4733,64	2990,79
Contraste	NS	NS	NS
Regressão	NS	NS	NS
CV(%)	2,719	3,26	2,95

Valores médios e erro padrão da média. EM: Estágio Múltiplo. EU: Estágio Único

**Tabela 3.** Número e diâmetro de fibras musculares de frangos de corte provenientes de ovos incubados de acordo com o modelo de incubadora e níveis de CO<sub>2</sub>

	7 dias		42 dias	
	Número de fibras musculares	Diâmetro de fibras musculares, $\mu\text{m}$	Número de fibras musculares	Diâmetro de fibras musculares, $\mu\text{m}$
EM	150,77 $\pm$ 4,98	7,76 $\pm$ 0,26	241,67 $\pm$ 9,43	26,00 $\pm$ 0,83
EU – 4.000	161,45 $\pm$ 7,56	7,59 $\pm$ 0,44	240,00 $\pm$ 15,92	25,76 $\pm$ 0,73
EU – 6.000	144,76 $\pm$ 4,95	7,81 $\pm$ 0,36	235,44 $\pm$ 9,57	27,27 $\pm$ 0,94
EU – 8.000	155,23 $\pm$ 11,43	7,86 $\pm$ 0,23	230,50 $\pm$ 8,61	26,82 $\pm$ 0,73
EU – 10.000	159,53 $\pm$ 10,23	7,69 $\pm$ 0,36	239,52 $\pm$ 8,27	26,81 $\pm$ 0,90
Média	7,75	154,05	26,64	238,65
Contraste	NS	NS	NS	NS
Regressão	NS	NS	NS	NS
CV (%)	15,78	16,13	8,76	12,80

Valores médios e erro padrão da média. EM: Estágio Múltiplo. EU: Estágio Único

**Tabela 4.** Espessura da parede da câmara cardíaca direita (EPCCD), espessura da parede da câmara cardíaca esquerda (EPCCE), septo ventricular (SV) e circunferência cardíaca (CC) de frangos de corte provenientes de ovos incubados de acordo com o modelo de incubadora e níveis de CO<sub>2</sub>

Tratamentos	EPCCD, $\mu\text{m}$	SV, $\mu\text{m}$	EPCCE, $\mu\text{m}$	CC, $\mu\text{m}$	
					7 dias
EM	1,29 $\pm$ 0,08	3,05 $\pm$ 0,14	3,46 $\pm$ 0,07	34,32 $\pm$ 0,37	
EU – 4.000	1,32 $\pm$ 0,07	3,22 $\pm$ 0,08	3,42 $\pm$ 0,06	33,31 $\pm$ 0,50	
EU – 6.000	1,32 $\pm$ 0,12	3,04 $\pm$ 0,10	3,50 $\pm$ 0,10	32,97 $\pm$ 0,78	
EU – 8.000	1,36 $\pm$ 0,06	3,08 $\pm$ 0,07	3,63 $\pm$ 0,11	34,08 $\pm$ 0,63	
EU – 10.000	1,30 $\pm$ 0,05	3,03 $\pm$ 0,07	3,29 $\pm$ 0,11	33,20 $\pm$ 0,47	
Média	1,32	3,09	3,46	33,58	
Contraste	NS	NS	NS	NS	
Regressão	NS	NS	NS	NS	
CV %	21,67	11,48	10,29	6,24	
	7 dias				
EM	2,23 $\pm$ 0,12	6,70 $\pm$ 0,24	7,15 $\pm$ 0,21	70,23 $\pm$ 1,61	
EU – 4.000	1,95 $\pm$ 0,10	6,31 $\pm$ 0,21	7,00 $\pm$ 0,16	67,07 $\pm$ 1,40	
EU – 6.000	2,11 $\pm$ 0,08	6,20 $\pm$ 0,08	7,22 $\pm$ 0,15	69,38 $\pm$ 1,41	
EU – 8.000	2,07 $\pm$ 0,15	6,07 $\pm$ 0,21	7,36 $\pm$ 0,20	67,84 $\pm$ 1,51	
EU – 10.000	2,10 $\pm$ 0,14	6,26 $\pm$ 0,22	7,05 $\pm$ 0,25	69,50 $\pm$ 1,79	
Média	2,09	6,31	7,16	68,78	
Contraste	NS	NS	NS	NS	
Regressão	NS	NS	NS	NS	
CV %	14,53	8,46	6,92	5,74	

Valores médios e erro padrão da média. EM: Estágio Múltiplo. EU: Estágio Único

Para o rendimento absoluto de carcaça e cortes comerciais, não foram observadas diferenças ( $P>0,05$ ) (Tabela 5). Entretanto, observou-se diferença apenas no peso e no rendimento de coxa, que foi maior ( $P<0,05$ ) nas aves provenientes dos ovos incubados com níveis de  $\text{CO}_2$  de 4.000 e 6.000 ppm, em comparação com a aves incubadas em máquinas EM (Tabela 6).

**Tabela 5.** Pesos absolutos da carcaça, peito, pernas e gordura abdominal de frangos de corte provenientes de ovos incubados de acordo com o modelo de incubadora e níveis de  $\text{CO}_2$

Tratamentos	Carcaça, g	Peito, g	Pernas, g	Gordura abdominal, g
EM	2560,86±164,10	907,14±46,36	670,86±55,39*	67,87±19,43
EU – 4.000	2549,14±177,26	854,86±66,89	723,71±67,76*	56,15±12,42
EU– 6.000	2505,43±157,58	853,43±73,55	731,43±60,59*	60,61±15,38
EU– 8.000	2413,14±142,73	841,71±65,50	639,71±53,46	51,32±10,92
EU- 10.000	2547,14±127,76	854,00±82,15	685,43±41,71	57,80±14,85
Média	2515,15	862,23	690,23	58,66
Contraste	NS	NS	*	NS
Regressão	NS	NS	NS	NS
CV(%)	6,18	7,88	9,16	25,46

Valores médios e erro padrão da média. EM: Estágio Múltiplo. EU: Estágio Único \* Diferença Significativa  $P<0,05\%$  (teste de Dunnett).

**Tabela 6.** Rendimento de carcaça, peito, pernas e gordura abdominal de frangos de corte provenientes de ovos incubados de acordo com o modelo de incubadora e níveis de  $\text{CO}_2$ .

Tratamentos	Carcaça, %	Peito, %	Pernas, %	Gordura abdominal, %
EM	77,21±3,97	35,48±1,66	26,18±0,80*	2,63±0,66
EU – 4.000	78,95±0,89	33,53±1,00	28,36±1,20*	2,24±0,48
EU– 6.000	77,71±2,04	34,06±1,79	29,19±1,40*	2,41±0,54
EU– 8.000	79,29±1,26	34,87±1,48	26,49±1,07	2,13±0,48
EU- 10.000	79,27±0,85	33,49±2,19	26,92±1,09	2,25±0,63
Média	78,52	34,28	27,43	2,33
Contraste	NS	NS	*	NS
Regressão	NS	NS	NS	NS
CV(%)	2,68	5,12	5,76	23,61

Valores médios e erro padrão da média. EM: Estágio Múltiplo. EU: Estágio Único.\* Diferença Significativa  $P<0,05\%$  (teste de Dunnett).

## Discussão

Após a postura, o dióxido de carbono é dissipado gradativamente do ovo e, se o período entre postura e incubação for estendido, esse processo é intensificado, podendo levar ao aumento excessivo do pH, prejudicando o desenvolvimento embrionário. Desse modo, alguns estudos vêm demonstrando que a utilização de maiores níveis de  $\text{CO}_2$  durante a incubação pode contribuir positivamente com a formação vascular do ovo embrionado<sup>(5, 6, 7)</sup>, resultando em neonatos de melhor qualidade<sup>(6)</sup>, e ainda

influenciar os mecanismos adaptativos no embrião, tornando-os mais resistentes aos fatores estressores do período pós-eclosão<sup>(4,11,12)</sup>.

No ambiente de desenvolvimento embrionário, a interação embrião-ambiente é explicada muitas vezes pelo termo “adaptação epigenética”<sup>(13)</sup>, que nada mais é do que um mecanismo de ajuste do embrião a pequenas variações de tempo no ambiente do desenvolvimento embrionário, que induzem a variações na expressão gênica, apresentando fenótipos diferentes com maior tolerância diante das diferentes condições ambientais e de manejo durante a fase pós-eclosão. A exposição do embrião a curtos períodos de baixa ou alta temperatura e níveis moderados de O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub><sup>(14, 15)</sup> estão entre os fatores desencadeadores dessa condição.

Os resultados deste estudo mostram que frangos incubados em máquinas de estágio múltiplo apresentaram melhor conversão alimentar e maior ganho de peso, quando comparados com frangos provenientes de ovos incubados com 8.000 ppm de CO<sub>2</sub> durante os primeiros 10 dias de incubação. Além disso, observou-se que os níveis de CO<sub>2</sub>, entre 6.000 ppm e 8.000 ppm, resultaram em pior conversão alimentar. Esses resultados contrastam com os encontrados por Everaert et al.<sup>(4)</sup>, que não encontraram diferença no desempenho aos 7 dias de pintainhos provenientes de ovos submetidos à hipercapnia na segunda metade da incubação. Por outro lado, Buys et al.<sup>(10)</sup> constataram peso mais elevado aos 21 dias em frangos incubados em elevadas concentrações de CO<sub>2</sub>. Esse resultado foi confirmado por Everaert et al.<sup>(12)</sup>, apesar de aos 28, 35 e 42 dias os frangos oriundos de incubação em condições padrão apresentarem peso superior.

A hipercapnia precoce pode ser responsável pela ativação de genes envolvidos na secreção de enzimas ou hormônios, que atuam diretamente sobre a curva de crescimento dos frangos de corte<sup>(16)</sup>. Estudos prévios descreveram correlação positiva entre nível de CO<sub>2</sub> durante a incubação e nível de corticosterona e T4 aos 7 dias de idade<sup>(4)</sup>, hormônios estes que têm ação direta sobre a taxa metabólica dos animais. Buys et al.<sup>(10)</sup> obtiveram menor nível plasmático de T3 em frangos incubados com alta concentração de CO<sub>2</sub> e maior de T4 durante as 4 primeiras semanas de vida. Porém, resultados diferentes foram encontrados por Everaert et al.<sup>(12)</sup>, que relataram maior nível de T3 e T4, em todas as idades avaliadas, apenas no grupo controle.

Ainda são escassos os estudos que relacionam os maiores níveis de CO<sub>2</sub> na incubação com o desempenho até a idade ao abate e principalmente com o rendimento de carcaça e cortes das aves. No presente estudo, verificou-se maior rendimento de coxa nos frangos provenientes de ovos incubados com 4.000 e 6.000 ppm de CO<sub>2</sub> em EU, quando comparados com a incubação em EM. Este resultado pode ser atribuído ao fato de a maior vascularização ser ocasionada pela hipercapnia precoce.

Níveis de CO<sub>2</sub> são capazes de aumentar a fração vascular da membrana corioalantoide do ovo<sup>(6, 17)</sup>, o que pode refletir em maior vascularização ou no tipo e no tamanho das fibras musculares. O músculo do peito (*Pectoralis major*) é composto por fibras de contração rápida e glicolíticas, já o músculo das pernas (*Sartorius*) é do tipo misto, ou seja, de contração lenta e oxidativa e contração rápida e glicolíticas<sup>(18, 19)</sup>. O número de fibras musculares é determinado por fatores genéticos e ambientais, os quais são capazes de influenciar a miogênese durante a embriogênese<sup>(20)</sup>. Essa diferenciação muscular origina a maior massa de tecido do organismo, correspondendo a aproximadamente 50% do peso corporal na maioria das espécies animais. Considerando que o maior componente do músculo são as fibras, deduz-se que a taxa de crescimento pós-eclosão de determinado músculo é determinada pelo número de fibras musculares e pela taxa de crescimento individual das fibras.

De fato, a análise da literatura sobre efeitos da hipercapnia sugere um padrão geral em que a maior vulnerabilidade à modificação fenotípica aparece no meio do desenvolvimento embrionário das aves no aviário. A formação da musculatura esquelética no período embrionário é controlada por uma rede complexa de fatores, os quais atuam no controle da atividade de genes que codificam proteínas musculares, bem como daqueles que regulam negativamente o processo de formação do tecido muscular esquelético<sup>(21)</sup>. A influência dos níveis de CO<sub>2</sub> no processo de miogênese em frangos de corte ainda não foi esclarecida. Mais estudos nessa área podem torna real a possibilidade de manipulação na fase embrionária, visando a benefícios como o aumento do número de fibras musculares e/ou a melhora da qualidade da carne.

A avaliação morfométrica do coração das aves no presente estudo não mostrou nenhuma diferença em relação ao processo de incubação ou níveis de CO<sub>2</sub>. De acordo com estudos realizados por Zhang e Burggren<sup>(22)</sup>, quando comparado com o mesmo peso do embrião, o peso do coração apresentou-se maior em pintainhos provenientes de ovos incubados sob condições de hipóxia, quando comparados aos que foram incubados em condições normais (21% de O<sub>2</sub>).

Embriões incubados em altitudes elevadas têm uma maior produção de CO<sub>2</sub>, indicando ao organismo a necessidade de um aumento no consumo de oxigênio, estimulando uma melhoria na eficácia da liberação do oxigênio da hemoglobina. Nessas condições, Hassanzadeh et al.<sup>(23)</sup> observaram menor hipertrofia ventricular direita nas aves e menor índice de ascite em relação às submetidas ao processo de incubação em baixa altitude.

A literatura contém informações conflitantes sobre o efeito da hipóxia no peso relativo do coração, como o aumento<sup>(24, 25)</sup>, sem alteração<sup>(26)</sup> ou ainda a redução do peso relativo<sup>(23, 27)</sup>. Nesse cenário, é importante considerar que tanto a hipercapnia quanto a hipóxia, precoce e tardia, são fenômenos diferentes, relacionados a processos fisiológicos e de desenvolvimento que podem resultar em alterações pós-eclosão distintas. Cabem à pesquisa científica o estudo e a compreensão de como podem ser aplicados para o máximo ganho em produtividade e rentabilidade da cadeia produtiva de frangos de corte.

## Conclusão

O modelo de incubadora e os níveis de hipercapnia aplicados nos primeiros 10 dias de incubação afetaram o ganho de peso e a conversão alimentar dos pintos na primeira semana de vida. No entanto, esses efeitos não foram mantidos até o final do período de criação.

A morfometria cardíaca não foi alterada pela hipercapnia ou pelo modelo de incubadora.

Houve maior rendimento de coxas das aves na idade de abate oriundas de incubadoras em estágio único com até 6.000 ppm de CO<sub>2</sub>, quando comparadas à incubação em máquinas de estágio múltiplo.

## Referências

1 Druyan S. The effects of genetic line (broilers vs. layers) on embryo development. Poultry Science. 2010;89(7):1457–1467.

- 2 Molenaar R, Reijrink IAM, Meijerhof R, Van Der Brand H. Meeting embryonic requirements of broilers throughout incubation: A review. *Brazilian Journal of Poultry Science*.2010;12(3):137-148.
- 3 Mueller CA, Tazawa H, Burggren WW. Dynamics of acid-base metabolic compensation and hematological regulation interactions in response to CO<sub>2</sub> challenges in embryos of the chicken (*Gallus gallus*). *Journal of Comparative Physiology B*. 2014;184:641-649.
- 4 Everaert N, Kamers B, Witters A, De Smit L, Debonne M, Decuypere E, Bruggeman V. Effect of Four Percent Carbon Dioxide During the Second Half of Incubation on Embryonic Development, Hatching Parameters, and Posthatch Growth. *Poultry Science*. 2007;86: 372–1379.
- 5 De Smit L, Bruggeman V, Debonne M, Tona JK, Kamers B, Everaert N, Witters A, Onagbesan O, Arckens L, De Baerdemaeker J and Decuypere E. The effect of non-ventilation during early incubation on the embryonic development of chicks of two commercial broiler strains differing in ascites susceptibility. *Poultry Science*. 2008;87:551-560.
- 6 Fernandes JI, Bortoluzzi C, Schmidt JM, Scapini LB, Santos TC, Murakami AE. Single stage incubators and Hypercapnia during incubation affect the vascularization of the chorioallantoic membrane in broiler embryos. *Poultry Science*. 2017; 96:220-225.
- 7 Druyan S, Levi E, Shinder D and Stern T. Reduced O<sub>2</sub> concentration during CAM development–Its effect on physiological parameters of broiler embryos. *Poultry Science*. 2012;91:987–997.
- 8 Havenstein GG, Ferket PR and Qureshi MA. Carcass composition and yield of 1957 versus 2001 broilers when fed representative 1957 and 2001 broiler diets. *Poultry Science*.2003;82:1509–1518.
- 9 Decuypere E, Buyse J, Buys N. Ascites in broiler chickens: Exogenous and endogenous structural and functional causal factors. *World's Poultry Science Journal*. 2000; 56: 367–377.
- 10 Buys N, Dewil E, Gonzales E & Decuypere E. Different CO<sub>2</sub> levels during incubation interact with hatching time and ascites susceptibility in two broiler lines selected for different growth rate. *Avian Pathology*. 1998;27: 605-612.
- 11 Van de Ven LJF, Van Wagenberg AV, Decuypere E, Kemp B, Van den Brand H. Perinatal broiler physiology between hatching and chick collection in 2 hatching systems. *Poultry Science*. 2013; 92:1050–1061.
- 12 Everaert N, Willemsen H, Debonne M, Witters A, Kamers B, Darras VM, De Baerdermaeker J, Decuypere E and Bruggeman V. Interaction between ascites susceptibility and CO<sub>2</sub> during the second half of incubation of two broiler lines: the effect on post-hatch development and ascites mortality. *British Poultry Science*.2012; 53: 262-269.
- 13 Gilbert S F & Epel D. *Ecological Developmental Biology: integrating epigenetics, medicine and evolution*. Sinauer Associates Inc. Sunderland.MA. USA. 2009; ISBN 978-0-87893-299-3. p.462.
- 14 Boleli, IC, Morita, VS, Matos Jr, JB, Thimotheo, M, & Almeida, VR. *Poultry Egg Incubation: Integrating and Optimizing Production Efficiency*. *Revista Brasileira de Ciência Avícola*. 2016;18:1-16.
- 15 Nichelmann M. Activation of thermoregulatory control elements in precocial birds during the prenatal period. *Journal of Thermal Biology*. 2004;29:621–627.
- 16 De Smit L, Bruggeman V, Tona JK, Debonne M, Onagbesan O, Arckens L, De Baerdemaeker J and Decuypere E. Embryonic developmental plasticity of the chick: Increased CO<sub>2</sub> during early stages of incubation changes the developmental trajectories during prenatal and postnatal growth. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*. 2006;145:166–175.
- 17 Verhoelst E, Ketelaere B, Bruggeman V, Villamor E, Decuypere E, Baerdemaeker J. Development of a

fast, objective, quantitative methodology to monitor angiogenesis in the chicken chorioallantoic membrane during development. *The International journal of developmental biology*. 2011;55: 85-92.

18 Peter JB, Barnard RJ, Edgerton VR. Metabolic profiles of three fiber types of skeletal muscle in Guinea pig and rabbits. *Biochemistry*. 1972;11(10): p.2672-2633.

19 Banks, W. J. Tecido muscular. In: *Histologia veterinária aplicada*. 2. ed. São Paulo: Manole, 1992. cap. 13, p. 215-236.

20 Rehfeldt C, Fiedler I, Dietl G, and Ender K. Myogenesis and postnatal skeletal muscle cell growth as influenced by selection. *Livestock Production Science*. 2000;66:177-188.

21 Griffin, J., N. St-Pierre, M. S. Lilburn, and M. Wick. 2016. Temporal embryonic transcription of chicken fast skeletal myosin heavy chain isoforms in the single comb white leghorn. *Poultry Science*. 95:1151–1155.

22 Zhang H and Burggren WW. Hypoxic level and duration differentially affect embryonic organ system development of the chicken (*Gallus gallus*). *Poultry Science*. 2012; 91:3191–3201.

23 Hassanzadeh M, Bozorgmehri F, Buyse J, Bruggeman V, Decuypere, E. Effect of chronic hypoxia during embryonic development on physiological functioning and on hatching and post-hatching parameters related to ascites syndrome in broiler chickens. *Avian Pathology*. 2004;33(6):558-564.

24 Rouwet EV, Tintu AN, Schellings MWM, van Bilsen M, Lutgens E, Hofstra L, Slaaf DW, Ramsey G, Noble FAC. Hypoxia induces aortic hypertrophic growth, left ventricular dysfunction, and sympathetic hyperinnervation of peripheral arteries in the chicken embryo. *Circulation*. 2002; 105:2791–2796.

25 Andrewartha S, Tazawa H, Burggren, WW. Acute regulation of hematocrit and acid-base balance in chicken embryos in response to severe intrinsic hypercapnic hypoxia. *Respiratory Physiology & Neurobiology*. 2014;195:1-10.

26 Altimiras J, Phu L. Lack of physiological plasticity in the early chicken embryo exposed to acute hypoxia. *Journal of Experimental Zoology*. 2000;286:450–456.

27 Ruijtenbeek K, Noble FAC, Janssen GMJ, Kessels CGA, Fazzi GE, Blanco CE, De Mey JGR. Chronic Hypoxia Stimulates Periarterial Sympathetic Nerve Development in Chicken Embryo. *Circulation*. 2000;102:2892-2897.