

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

ALINE BOSAK DOS SANTOS

**EFEITOS DO BALANÇO ELETROLÍTICO (Na+K-Cl ou Na+K+Mg+Ca-Cl-P-S), DO
CARBONATO E DO BICARBONATO DA DIETA SOBRE O DESEMPENHO E
METABOLISMO ÁCIDO-BASE DE FRANGOS DE CORTE**

Porto Alegre 2021

ALINE BOSAK DOS SANTOS

**EFEITOS DO BALANÇO ELETROLÍTICO (Na+K-Cl ou Na+K+Mg+Ca-Cl-P-S), DO
CARBONATO E DO BICARBONATO DA DIETA SOBRE O DESEMPENHO E
METABOLISMO ÁCIDO-BASE DE FRANGOS DE CORTE**

Tese apresentada como requisito para obtenção do grau de Doutora em Zootecnia, na Faculdade de Agronomia, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Orientador: Dr. Alexandre de Mello Kessler

Porto Alegre 2021

CIP - Catalogação na Publicação

Santos, Aline Bosak dos
EFEITOS DO BALANÇO ELETROLÍTICO (Na+K-Cl ou
Na+K+Mg+Ca-Cl-P-S), DO CARBONATO E DO BICARBONATO DA
DIETA SOBRE O DESEMPENHO E METABOLISMO ÁCIDO-BASE DE
FRANGOS DE CORTE / Aline Bosak dos Santos. -- 2021.
148 f.
Orientador: Alexandre de Mello Kessler.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa de
Pós-Graduação em Zootecnia, Porto Alegre, BR-RS, 2021.

1. balanço ácido-base. 2. balanço eletrolítico
dietético alternativo. 3. bicarbonato. 4. carbonato .
5. gasometria. I. Kessler, Alexandre de Mello, orient.
II. Título.

Aline Bosak dos Santos
Zootecnista

TESE

Submetida como parte dos requisitos
para obtenção do Grau de

DOCTORA EM ZOOTECCNIA

Programa de Pós-Graduação em Zootecnia
Faculdade de Agronomia
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre (RS), Brasil

Aprovada em: 20.04.21
Pela Banca Examinadora



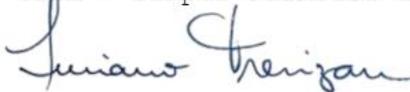
ALEXANDRE DE MELLO KESSLER
PPG Zootecnia/UFRGS
Orientador



Alex Maiorka
UFPR

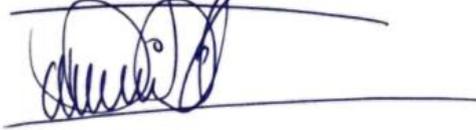


Rodrigo Borille
UFMS - Campus Palmeira das Missões

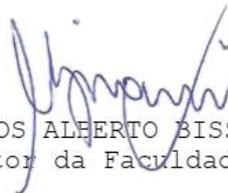


Luciano Trevizan
UFRGS

Homologado em: 01/06/2021
Por



DANILO PEDRO STREIT JR.
Coordenador do Programa de
Pós-Graduação em Zootecnia



CARLOS ALBERTO BISSANI
Diretor da Faculdade de Agronomia

AGRADECIMENTOS

Agradeço a toda educação pública que me possibilitou chegar onde hoje me encontro...

Agradeço a meus pais, José Raimundo dos Santos e Suzana Bosak dos Santos que sempre me incentivaram e me permitiram estudar...

Agradeço ao meu marido Alexandre da Silva que me apoiou durante essa caminhada...

Agradeço a Deus que tem me sustentado e a toda espiritualidade superior que sempre me amparou...

Agradeço a cada pessoa que passou em minha vida e me deixou preciosos ensinamentos...

Agradeço a todos os professores que tive ao longo da minha vida...

Agradeço ao meu orientador professor Alexandre Kessler por todos os ensinamentos, atenção, compreensão e auxílio...

Agradeço aos meus colegas da pós-graduação e aos funcionários do LEZO que foram indispensáveis para a realização desse trabalho...

Agradeço às aves experimentais por terem contribuído com minha pesquisa.

“O vento não sopra a favor de quem não sabe para onde vai...”

EFEITOS DO BALANÇO ELETROLÍTICO (Na+K-Cl ou Na+K+Mg+Ca-Cl-P-S), DO CARBONATO E DO BICARBONATO DA DIETA SOBRE O DESEMPENHO E METABOLISMO ÁCIDO-BASE DE FRANGOS DE CORTE¹

Autor: M.^a Aline Bosak dos Santos

Orientador: Prof. Alexandre de Mello Kessler

RESUMO: A manutenção do metabolismo ácido-base apresenta inúmeros desafios para a produção animal no setor avícola. A fim de analisar a aplicabilidade da equação de balanço eletrolítico (BE) dietético tradicionalmente utilizada (Na+K-Cl), foram realizadas duas pesquisas: uma revisão sistemática e um estudo de validação experimental com animais. Na revisão sistemática, foram utilizados trabalhos de 1985 a 2015 sobre BE e metabolismo ácido-base em frangos de corte. Objetivou-se analisar a validade da equação de Mongin em condições de termoneutralidade, assim como a influência de elementos e de parâmetros adicionais. Os resultados obtidos nesta pesquisa indicam que o balanço (Na+K-Cl) pode ter baixo poder preditivo, enquanto outros cátions (Ca e Mg), ânions (P e S) e os metabolizáveis (CO₃ e HCO₃) contribuem para uma interpretação mais ampla dos efeitos da dieta sobre o balanço ácido-base e o equilíbrio eletrolítico de frangos de corte. Quanto à parte experimental, 900 frangos machos Cobb 500[®] foram criados do primeiro ao 35^o dia de vida em dois experimentos. Os frangos receberam dez e cinco dietas experimentais nos experimentos um e dois, inverno e verão, respectivamente, com variados equilíbrios eletrolíticos. Ainda, os animais foram avaliados do 14^o ao 35^o dia quanto a variáveis de desempenho, a características físicas da cama aviária e das excretas e à gasometria. As dietas foram compostas por três propostas de cálculo do BE dietético: a equação de Mongin (Na+K-Cl: BE1), a equação completa (Na⁺+K⁺+Mg²⁺+Ca²⁺-Cl⁻-P⁻-S⁻: BE2) e a equação alternativa “ad hoc” (Na⁺+K⁺+Mg²⁺+CO₃⁻-Cl⁻-P⁻-S⁻: BECO3), visando validar a revisão sistemática e analisar a aplicabilidade da equação de Mongin e a viabilidade em se utilizar as demais equações propostas, as quais consideram mais íons como influenciadores do BE. O BE2 mostrou um melhor ajuste que o BE1. O BECO3, pela equação “ad hoc”, explicou e segregou melhor os efeitos dos diferentes elementos que afetam o balanço eletrolítico e ácido-base em frangos. Os suplementos minerais CaCO₃ e NaHSO₄ representaram efeito significativo atribuído ao balanço eletrolítico pelos efeitos alcalinizante do carbonato e acidogênico do sulfato. O uso de carbonato e a soma HCO₃+CO₃ da dieta influenciaram positivamente o excesso de bases, de CO₂ total e de HCO₃ sanguíneo. O desempenho das aves sofreu forte impacto negativo devido às somas de cátions e de ânions, semelhantemente à matéria seca fecal e da cama de aviário.

Palavras-chave: balanço ácido-base, balanço eletrolítico dietético alternativo, bicarbonato, carbonato, gasometria

¹ Tese de Doutorado em Zootecnia – Produção Animal, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. (148 p.) Abril 2021.

EFFECTS OF DIETARY ELECTROLYTE BALANCE (Na+K-Cl or Na+K+Mg+Ca-Cl-P-S), CARBONATE AND BICARBONATE ON PERFORMANCE AND ACID-BASE METABOLISM OF BROILER CHICKENS²

Author: M.^a Aline Bosak dos Santos

Adviser: Prof. Alexandre de Mello Kessler

ABSTRACT: Maintaining acid-base metabolism presents numerous challenges for animal production in the poultry sector. In order to analyze the applicability of the traditionally used dietary electrolyte balance (EB) equation (Na+K-Cl), two studies were carried out: a systematic review and an experimental validation study using animals. In the systematic review, studies from 1985 to 2015 on BE and acid-base metabolism in broiler chickens were used. The objective was to analyze the validity of Mongin's equation in thermoneutrality conditions and the influence of additional elements and parameters. The results obtained in this research indicate that the balance (Na + K-Cl) may have low predictive power while other cations (Ca and Mg), anions (P and S) and metabolizable (CO₃ and HCO₃) contribute to a better understanding of the effects of diet on the acid-base balance and electrolyte balance of broilers. In the experimental part, 900 male Cobb 500® broiler chickens were raised from the 1st to the 35th day of life in two experiments. The broilers received ten and five experimental diets in experiments 1 and 2, winter and summer, respectively, with varied electrolyte balances. Also, the animals were evaluated from the 14th to the 35th day for performance variables, physical characteristics of poultry litter and excreta, and blood gases. The diets consisted of three proposals for calculating dietary BE, Mongin's equation (Na + K-Cl: EB1), complete equation (Na⁺+ K⁺+ Mg²⁺+ Ca²⁺ -Cl - P - S-: EB2) and "ad hoc" alternative equation (Na⁺+ K⁺+ Mg²⁺+ CO₃ - Cl⁻ -P⁻ -S-: EBCO3). Their use aimed to validate the systematic review and analyze the applicability of Mongin's equation and the viability using the equations proposed by this study which considered more ions as influencers of EB. The EB2 showed a better adjustment than EB1. The EBCO3 by the "ad hoc" equation explained and better segregated the effects of the different elements that affect the electrolyte and acid-base balance in broiler chickens. The mineral supplements CaCO₃ and NaHSO₄ represented a significant effect attributed to the electrolyte balance due to the alkalinizing of carbonate and acidogenic of sulfate effects. The use of carbonate and the HCO₃ + CO₃ sum in the diet positively influenced the excess of bases, total CO₂ and blood HCO₃. The performance of the broilers suffered a strong negative impact from the sum of cations and anions, similarly to dry fecal matter and poultry litter.

Key-words: acid-base balance, alternative dietary electrolyte balance, bicarbonate, carbonate, blood gas analysis

² Doctoral thesis in Animal Science, Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil. (148 p.) April, 2021.

SUMÁRIO

CAPÍTULO I	14
1. INTRODUÇÃO.....	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 Balanço ácido-base.....	17
2.1.1. Distúrbios do balanço ácido-base	20
2.2 Gasometria e balanço ácido-base	23
2.3 Principais minerais envolvidos (Na, K e Cl) no equilíbrio eletrolítico e suas características	24
2.4 Equilíbrio eletrolítico dietético usual e a inclusão de mais íons na equação	30
2.5 Dinâmica dos agentes que atuam no balanço ácido-base.....	39
3 HIPÓTESES E OBJETIVOS.....	47
CAPÍTULO II	49
Comparative analysis of electrolyte balance models applied to blood variables and growth performance of broilers.....	50
CAPÍTULO III	80
Efeitos do tipo de equilíbrio eletrolítico (Na+K-Cl, Na+K+Mg+Ca-Cl-P-S ou Na+K+Mg-CO ₃ -Cl-P-S) da dieta sobre o desempenho e metabolismo ácido-base de frangos de corte de 14 a 35 dias de vida	81
CAPÍTULO IV	136
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	137
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	139
6 VITA.....	148

Relação de tabelas

Capítulo II

Table 1 - Descriptive statistics of studied variables electrolyte balance Mongin (EBMongin), electrolyte balance complete (EBComplete), electrolyte balance with carbonate (EBCO3), ions sum, anions sum, cations sum, $\text{CO}_3 + \text{HCO}_3$, K, Mg, Na, Ca, P, S, Cl, blood pH, pCO_2 , HCO_3 , weight gain, feed intake and feed conversion of the broiler chicken and used in analysis.....72

Table 2 - Effects of different electrolyte balances, Mongin (EBMongin (Na +K-Cl)), complete (EBComplete (Na+K+Mg+Ca-Cl-P-S)) and alternative (EBCO3 (Na+K+Mg+CO3-Cl-P-S)), ions sum, anions sum, cations sum, carbonate and bicarbonate sum, and K, Mg, Na, P, S, Ca and Cl minerals dietary levels in the blood pH, CO_2 partial pressure and blood bicarbonate ion of broiler chickens.....73

Table 3 - Weight gain, feed intake and feed conversion of broiler chickens comparing different electrolyte balances models, Mongin (EBMongin (Na+K-Cl)), complete (EBComplete Na+K+Mg+Ca-Cl-P-S) and alternative (EBCO3 (Na+K+Mg+CO3-Cl-P-S)), ions sum, anions sum, cations sum and carbonate and bicarbonate sum.....76

Capítulo III

Tabela 1 - Temperaturas (T) mínimas e máximas diárias locais e temperatura média diária no interior do local de alojamento das aves experimentais, nos dois experimentos..... 116

Tabela 2 - Composição da dieta inicial das aves experimentais dos dois experimentos 116

Tabela 3 - Composição da dieta basal utilizada nos dois experimentos 117

Tabela 4 - Composição nutricional da formulação da dieta basal de ambos os experimentos..... 117

Tabela 5 - Composição das dietas experimentais do primeiro experimento. Cada dieta baseada em diferentes balanços eletrolíticos (Mongin e Completo) é identificada pela letra "T" seguida de um número sequencial	118
Tabela 6 - Desempenho de frangos de corte sob diferentes balanços eletrolíticos (Mongin (Na +K-Cl) e completo (Na+K+Mg+Ca-Cl-P-S)) de 14 a 35 dias de idade	119
Tabela 7 - Regressões dos efeitos de diferentes balanços eletrolíticos (Mongin (Na +K-Cl), completo (Na+K+Mg+Ca-Cl-P-S) e alternativo (Na+K+Mg-CO ₃ -Cl-P-S)), soma de ânions, soma de cátions e soma total de íons sobre o desempenho de frangos de corte machos de 14 a 35 dias de idade	120
Tabela 8 - Matéria seca da cama aviária e matéria seca e pH das excretas de frangos de corte sob diferentes balanços eletrolíticos (Mongin (Na +K-Cl) e completo (Na+K+Mg+Ca-Cl-P-S)) de 14 a 35 dias de idade	121
Tabela 9 - Regressões das características físicas e químicas de cama e excretas de frangos de corte machos de 14 a 35 dias de idade e diferentes balanços eletrolíticos (Mongin (Na +K-Cl), completo (Na+K+Mg+Ca-Cl-P-S) e alternativo (Na+K+Mg+CO ₃ -Cl-P-S)), soma de ânions, soma de cátions e soma total de íons.	122
Tabela 10 - Coeficientes de correlação entre as variáveis de desempenho, características físicas da cama e físicas e química das excretas de frangos dos 14 aos 35 dias de vida, e as características das dietas experimentais. Experimento 1	124
Tabela 11 - Coeficientes de correlação entre as variáveis de desempenho, características físicas da cama e físicas e química das excretas de frangos dos 14 aos 35 dias de vida, e as características das dietas experimentais. Experimento 2	125
Tabela 12 - Variáveis sanguíneas de frangos de corte sob diferentes balanços eletrolíticos (Mongin (Na +K-Cl) e completo (Na+K+Mg+Ca-Cl-P-S)) de 14 a 35 dias de idade	126
Tabela 13 - Valores de potássio, sódio, cloro, pressão parcial de dióxido de carbono e oxigênio e saturação de oxigênio no sangue de frangos de corte sob diferentes balanços eletrolíticos (Mongin (Na +K-Cl) e completo (Na+K+Mg+Ca-Cl-P-S)) de 14 a 35 dias de idade	127

Tabela 14 - Efeitos de diferentes balanços eletrolíticos (Mongin (Na +K-Cl), completo (Na+K+Mg+Ca-Cl-P-S) e alternativo (Na+K+Mg+CO3-Cl-P-S)) sob variáveis hemogasométricas de frangos de corte machos de 14 a 35 dias de idade.....	128
Tabela 15 - Coeficientes de correlação entre as variáveis sanguíneas de frangos dos 14 aos 35 dias de vida, e as características das dietas experimentais. Experimento 1	131
Tabela 16 - Coeficientes de correlação entre as variáveis sanguíneas de frangos dos 14 aos 35 dias de vida, e as características das dietas experimentais. Experimento 2	132
Tabela 17 - Efeitos de diferentes minerais (em mEg/kg da dieta), por regressão múltipla, sobre o desempenho, características da cama e excretas e variáveis sanguíneas de frangos de corte machos de 14 a 35 dias de idade. Experimento 1.	133
Tabela 18 - Efeitos de diferentes minerais (em mEg/kg da dieta), por regressão múltipla, sobre o desempenho, características da cama e excretas e variáveis sanguíneas de frangos de corte machos de 14 a 35 dias de idade. Experimento 2.	134

Relação de figuras

Capítulo I

Figura 1 - Algoritmo para avaliação das desordens acidobásicas. Fonte: Johnson (2008).....20

Capítulo II

Figure 1 - A and B. Model prediction of blood pH relationship with dietary levels of chlorine and phosphorus. Multiple regression equation Blood pH = 7.58777 – 0.000826377*Cl – 0.000445747*P; P<0.001; R²=54.76%..... 75

Figure 2 - A: Model prediction of blood CO₂ (mm Hg) pressure relationship and; B: dietary levels of magnesium and phosphorus. Multiple regression equation Blood pCO₂ = 13.5859 + 0.144167*Mg + 0.0346424*P; P<0.001; R² = 74.85%..... 75

Figure 3 - Model prediction of blood HCO₃ (mEq/kg) concentration relationship and the dietary levels of calcium, chlorine and phosphorus. Multiple regression equation Blood HCO₃ = 28.7803 + 0.0103333*Ca – 0.0351816*Cl -0.0148209*P; P<0.001; R² = 26.5%..... 76

Figure 4 - Model prediction of weight gain (g) relationship and the dietary levels of sodium, phosphorus and sulfur. Multiple regression equation WG=2987.38 + (exp*) + 0.957391*Na – 2.76672*P – 5.79189*S. *exp = effect of each one of the experiments, adjusted adjusted model only with significant effects P<0.001; R² = 61.8%. 78

Figure 5 - Model prediction of feed intake (g) relationship and the dietary levels of calcium, sodium, phosphorus and sulfur. Multiple regression equation FI=5447.26 + (exp*) + 1.97876*Ca + 2.11191*Na – 6.48826*P – 12.601*S. *exp = effect of each one of the experiments, adjusted model only with significant effects P<0.001; R² = 63.4%. 78

Figure 6 - Model prediction of feed conversion (g/g) relationship and the dietary levels of chlorine, phosphorus and sulfur. Multiple regression equation FC = 3.17123 + (exp) – 0.00128415*Cl – 0.00152436*P – 0.00293083*S. *exp = effect of each one of the experiments, adjusted model only with significant effects; P<0.001; R² = 63.9%. .. 79

Relação de abreviaturas

AG – ânion gap

Beecf – excesso de bases no fluido extracelular

BED – balanço eletrolítico dietético

CA – conversão alimentar

CEUA – Comissão de ética no uso de animais

CO₃ – íon carbonato

CR – consumo de ração

GP – ganho de peso

HCO₃ – íon bicarbonato

H₂CO₃ – ácido carbônico

pCO₂ – pressão parcial de dióxido de carbono

pH – potencial hidrogeniônico

pO₂ – pressão parcial de oxigênio

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO

A nutrição de frangos de corte exige um relacionamento dinâmico entre cátions e ânions a fim de manter a homeostase nos fluidos corporais, o que é fundamental para que permaneça o balanço ácido-base e eletrolítico do organismo como um todo. Os elementos sódio e potássio atuam como os principais cátions, enquanto que o cloro e o bicarbonato representam os ânions desses fluidos (Mushtaq et al., 2013). A resposta de aves a vários níveis e combinações de minerais na dieta pode ser causada, em parte, pelos seus efeitos sobre o balanço ácido-base no corpo (Nelson et al., 1981). Nesse sentido, Mongin (1981) enfatizou a importância de ajustar o conteúdo mineral da dieta de acordo com as exigências do animal para manter um balanço essencial para o desempenho ótimo, pois quando o equilíbrio ácido-base direciona-se para alcalose ou acidose, rotas metabólicas podem não funcionar apropriadamente. Igualmente, Forbes (1909) indicou que níveis inapropriados de relações dos minerais prejudicam o balanço ácido-base do corpo.

Em condições normais, os alimentos produzem metabólitos que podem ser classificados como ácidos ou bases, que devem ser metabolizados e/ou excretados para manter o pH constante, visto que alterações na concentração de íons H^+ podem interferir na velocidade dos processos orgânicos vitais. A concentração desses íons livres no organismo depende da ação de substâncias que podem ceder H^+ em uma solução, os ácidos, e de substâncias capazes de captar o H^+ nas soluções, as bases. Dessa maneira, a concentração de H^+ livre nos líquidos corporais é resultado do equilíbrio entre ácidos e bases (Dall’Stella, 2008).

Entretanto, a manutenção do equilíbrio eletrolítico envolve não somente a concentração de íons H^+ no sangue como também a atuação de substâncias químicas encontradas nos fluidos orgânicos, denominadas tampões, que podem se combinar com ácidos ou bases para prevenir mudanças bruscas no pH. Além disso, esse equilíbrio é controlado também pelos sistemas respiratório, por meio do controle da concentração de CO_2 , e renal, por meio de alterações na conservação ou eliminação de HCO_3 pelo organismo. Os íons HCO_3 e CO_2 , juntamente com as proteínas e aminoácidos, compõem um importante sistema tampão nos animais (González; Silva, 2017). Parte dessa regulação está associada com a ingestão e a excreção de eletrólitos pelos animais. Sendo assim, o balanço eletrolítico consiste na diferença entre os principais cátions e ânions e representa a acidogenicidade ou alcalinidade metabólica dietética (Butcher; Miles, 1994).

Desde a publicação da equação de Mongin em 1981, questionamentos vêm sendo levantados a respeito de sua validade, uma vez que a mesma leva em consideração apenas três íons, Na^+ , K^+ e Cl^- , como sendo os determinantes para o balanço eletrolítico de aves. Nesse sentido, diversos trabalhos têm evidenciado que outros elementos como cálcio, magnésio, fosfatos e sulfato, além de CO_3 e HCO_3 (Nesheim et al. (1964), Nelson et al. (1981), Johnson; Karunajeewa (1985), Hulan et al. (1987), Patience et al. (1987) e Patience (1990)), devem ser levados em consideração devido a seus efeitos sobre o balanço ácido-base e, conseqüentemente, sobre o desempenho produtivo das aves. Adicionalmente, sais de CO_3 são frequentemente utilizados para a suplementação de Na^+ e K^+ , porém seus efeitos são atribuídos aos cátions e não ao carbonato. O mesmo ocorre com sais de bicarbonato com cátions associados, sendo que o próprio bicarbonato age como tampão no sangue, influenciando o equilíbrio ácido-base.

Portanto, considerar os papéis dos íons Ca, Mg, sulfatos e fosfato, e o uso de CO_3 e HCO_3 , se torna indispensável frente aos achados já presentes na literatura, os quais demonstram que os excluir do equilíbrio eletrolítico dietético pode acarretar em sub e/ou superestimativas de outros íons. Nesse contexto, o objetivo central desse trabalho foi avaliar o papel dos íons originalmente desconsiderados da equação de Mongin, oriundos de diferentes fontes, sobre o equilíbrio eletrolítico dietético e metabolismo ácido-base de frangos de corte na fase de crescimento.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Balanço ácido-base

A classificação das substâncias em ácidos (pH de 0 a 6,0), bases (pH de 8,0 a 14) ou substâncias neutras (pH 7,0) é dada pelo pH (potencial hidrogeniônico), que corresponde a uma medida da concentração de íons H^+ em uma solução. A variação de pH compatível com a vida é majoritariamente de 6,8 a 8,0, embora existam organismos capazes de sobreviver em condições extremas de pH (Vieira et al., 1979). O balanço ácido-base é crucial para o organismo como um todo e consiste numa precisa regulação de íons H^+ livres nos fluidos corporais. Ácidos são substâncias capazes de se dissociarem em solução e liberarem íons H^+ e ânions. O ácido carbônico (H_2CO_3), por exemplo, consiste em um ácido fraco que ao se dissociar libera íons H^+ e íons OH^- . Bases são substâncias que podem se combinar com os íons H^+ livres e removê-los de uma solução (Sherwood et al., 2013).

O sistema sanguíneo é particularmente sensível a trocas no balanço ácido-base e outras variações fisiológicas, portanto, pode ser usado como indicador para respostas de homeostase ou distúrbios em frangos de corte (Mushtaq; Pasha, 2013). Há divergências na literatura acerca do pH médio aproximado do sangue em galinhas, o qual apresenta variações entre venoso e arterial (Vieira et al., 1979). Valores de pH acima de 7,45 caracterizam-se, de modo geral, em uma situação de alcalose, enquanto valores abaixo de 7,35, de acidose. O pH sanguíneo das aves pode ser considerado levemente alcalino, porém pode variar entre 7,20 e 7,57 (Calder; Schimidt-Nielsen, 1968; Borges, 2001) dependendo do estado metabólico em que as mesmas estejam, como sofrendo de distúrbios ou em condições favoráveis.

Raup; Bottje (1990) observaram aumento do pH do sangue de frangos devido a altas temperaturas ambientais, variando de 7,45 a 7,53, o que caracteriza a ocorrência de alcalose respiratória. Segundo Hurwitz et al. (1973), o crescimento de frangos foi maior quando o pH sanguíneo foi de 7,28, pois teria valor compatível à normalidade em que todas as rotas metabólicas funcionariam sem distúrbios. Ao mesmo tempo, o decréscimo no crescimento foi observado quando os valores de pH foram maiores que 7,30 e menores que 7,20, condições de alcalose e acidose, respectivamente.

Borges et al. (2003c) relataram que altos níveis de HCO_3 na dieta com alto balanço eletrolítico dietético (360mEq/kg) elevaram o pH do sangue e, por consequência, ocorreu um quadro de alcalose metabólica devido aos efeitos alcalogênicos de HCO_3 , Na e K sobre os fluidos corporais (Ruiz-Lopez; Austic, 1993). Teeter et al. (1985) encontraram valores de pH do sangue em ambiente termoneutro (24°C) de 7,28, e sob estresse por calor (32°C) mas sem polipneia de 7,30. Já com elevação da taxa respiratória, caracterizando ofegação nas aves, o pH variou de 7,39 a 7,41, enquanto que sob estresse agudo (32 a 41°C por 20 min) o mesmo atingiu o valor de 7,52, resultando em severa alcalose, segundo os autores. Teeter et al. (1985) observaram que, com o uso de 0,3 ou 1% de NH_4Cl na dieta, o pH do sangue reduziu para 7,19. Entretanto, para aves em situação termoneutra ou sob alta temperatura, mas sem ofegação, o uso de 3% de NH_4Cl causou acidose (7,09).

O controle do pH corporal é de extrema importância devido aos danos causados por flutuações na concentração de H^+ no organismo, como alterações nas atividades enzimáticas, distúrbios nos níveis de K^+ e alterações na excitabilidade de células nervosas e musculares (González; Silva, 2017). O desafio maior está no fato de que íons H^+ são continuamente adicionados aos fluidos corporais a partir de atividades metabólicas. A fim de manter constante a concentração desses íons nos fluidos, a entrada e a saída de H^+ devem ser balanceadas. São três as fontes internas de produção de H^+ (Sherwood et al., 2013):

- 1- Ácido carbônico produzido no metabolismo – o H_2CO_3 é formado constantemente no organismo a partir do CO_2 produzido, uma vez que o metabolismo celular libera constantemente CO_2 e H_2O como produtos finais. O CO_2 e o H_2O reagem formando H_2CO_3 , sendo essa equação reversível e realizada por ação da enzima anidrase carbônica. Após a dissociação, o H_2CO_3 libera H^+ e HCO_3^- , conforme equação abaixo.



- 2- Ácidos inorgânicos produzidos no metabolismo – alguns alimentos podem gerar grandes quantidades de fósforo (P) e enxofre (S), que originarão ácido fosfórico e ácido sulfúrico como subprodutos do metabolismo. Ambos os ácidos ao se dissociarem liberam íons H^+ livres.
- 3- Ácidos orgânicos resultantes do metabolismo – os principais ácidos orgânicos produzidos no corpo durante o metabolismo são os ácidos graxos e o lactato, sendo que ambos também liberarão H^+ livres.

O organismo, visando manter-se equilibrado, possui três linhas de defesa contra alterações significativas na concentração de íons H^+ , cuja chave é a manutenção da alcalinidade normal nos fluidos extracelulares. Nesse sentido, mecanismos devem também existir para compensar rapidamente situações nas quais o fluido extracelular se torne muito alcalino. De acordo com Sherwood et al. (2013), as três linhas de defesa do corpo contra essas alterações que ameaçam a manutenção dos níveis constantes de concentração de íons H^+ nos fluidos corporais são: 1) sistema tampão químico; 2) mecanismos respiratórios de controle de pH; e 3) mecanismos excretórios de controle de pH. O sistema tampão químico consiste em substâncias capazes de doar ou de receber íons H^+ , minimizando alterações do pH e objetivando deslocar a reação para maior produção de CO_2 e de água, que podem ser eliminados pela respiração. Esse sistema é o de atuação mais rápida, porém não é duradouro, conseqüentemente necessitando dos mecanismos respiratórios caso as perturbações no balanço ácido-base permaneçam. Os mecanismos respiratórios atuam regulando a concentração do CO_2 sanguíneo através de sua eliminação ou retenção, na acidose e na alcalose, respectivamente. O controle respiratório é exercido por variações na concentração de íons H^+ . Quanto aos mecanismos excretórios de controle de pH, os rins controlam o equilíbrio ácido-básico ao excretarem urina ácida ou básica. Tal controle se dá através dos mecanismos de reabsorção de bicarbonato filtrado, regeneração do bicarbonato através da excreção de H^+ ligada a tampões e na forma de amônio (NH_4) (Furoni et al., 2010).

Um dos fatores ambientais que mais impacta o balanço ácido-base de frangos de corte é a temperatura ambiental. Aves sob estresse térmico e com o balanço ácido-base do organismo afetado buscarão retornar ao equilíbrio utilizando principalmente os sistemas químicos e excretórios. Gonzáles; Silva (2017) descrevem que o sistema tampão químico consiste em uma mistura de dois compostos químicos que reduzem

variações no pH dos fluidos, sendo que o mais comum é o tampão $\text{CO}_2\text{HCO}_3^-$, que age nas duas situações, aumento e queda do pH. Quando há aumento na concentração de íons H^+ (queda do pH) durante o estresse por frio, por exemplo, o HCO_3^- do tampão age se ligando aos H^+ livres formando H_2CO_3 , que se dissociará e liberará água e CO_2 . Já quando a concentração de H^+ é reduzida e a de íons OH^- é aumentada (elevação do pH), o que ocorre no estresse por calor, o H_2CO_3 age doando H^+ , o qual se ligará aos íons OH^- formando novamente água e CO_2 . Juntamente com as condições ambientais, nutrição e metabolismo desempenham importante papel no balanço ácido-base de frangos de corte (Borges et al., 2004; Olanrewaju et al., 2006) e em seu desempenho (Saki et al., 2016).

2.1.1. Distúrbios do balanço ácido-base

Os distúrbios ácido-básicos podem estar relacionados a variáveis respiratórias (CO_2) ou metabólicas (HCO_3^-). Os quadros de acidose e de alcalose estão relacionados a essas duas variáveis, originando os quatro distúrbios do balanço ácido-base: alcalose metabólica, alcalose respiratória, acidose metabólica e acidose respiratória. Os principais fatores que influenciam a ocorrência desses distúrbios são o pH, a concentração de bicarbonato e a pressão de dióxido de carbono, conforme demonstra a figura abaixo.

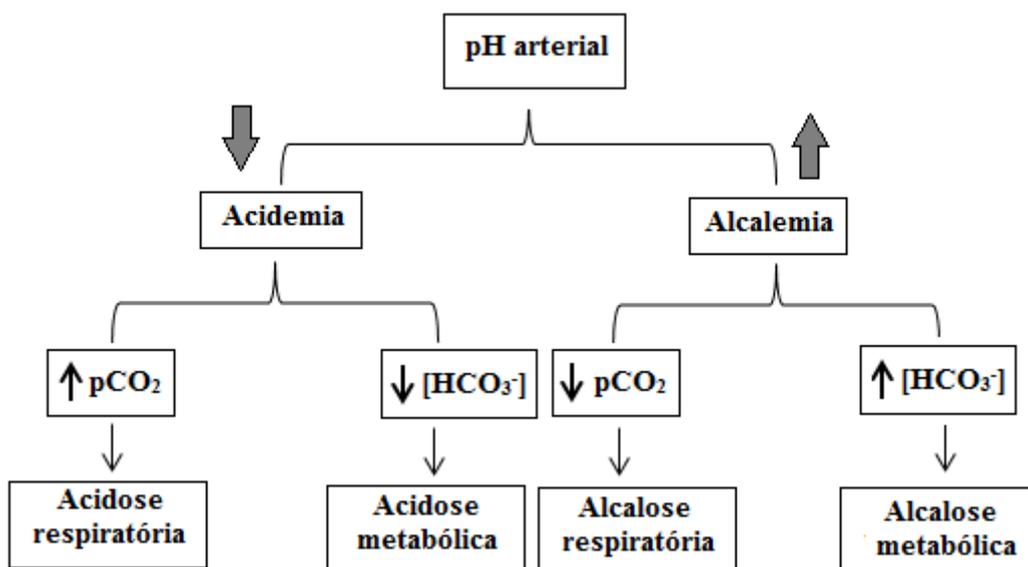


Figura 1 - Algoritmo para avaliação das desordens acidobásicas. Fonte: Johnson (2008)

2.1.1.1 *Alcalose metabólica*

A alcalose metabólica é caracterizada pela elevação do pH sanguíneo e da concentração de HCO_3^- , podendo ser ocasionada pelo excesso de retenção de HCO_3^- ou pela maior perda de íons H^+ pelo organismo (Sherwood et al., 2013). A administração excessiva de bicarbonato pode causar alcalose metabólica quando há déficit no volume efetivo circulante ou déficit de K^+ ou de Cl^- , situações nas quais o bicarbonato não poderá ser excretado normalmente pelos rins (Sherwood et al., 2013). Para diminuir o pH sanguíneo, o organismo reduz a ventilação fazendo com que haja um acúmulo de CO_2 no sangue.

Durante a alcalose, a taxa de secreção de H^+ diminui, enquanto que a taxa de filtração de HCO_3^- aumenta quando comparada ao padrão normal. Quando a concentração de íons H^+ no plasma está abaixo do normal, uma proporção menor do pool de HCO_3^- é ligado ao tamponamento do H^+ , então a concentração de HCO_3^- é elevada acima do normal. Como resultado, a taxa de filtração de HCO_3^- aumenta. Nem todo HCO_3^- filtrado é reabsorvido, porque íons HCO_3^- estão em maior quantidade do que íons H^+ secretados no fluido tubular, e o HCO_3^- não pode ser reabsorvido sem primeiro reagir com o H^+ . O excesso de HCO_3^- é deixado no fluido tubular para ser excretado na urina, reduzindo então a concentração de HCO_3^- no plasma, enquanto torna a urina alcalina (Sherwood et al., 2013).

2.1.1.2 *Alcalose respiratória*

A excessiva perda de CO_2 , causada pelo aumento na frequência respiratória, é refletida na redução da pressão de CO_2 e no aumento do pH sanguíneo. Logo, a hiperventilação altera o balanço ácido-base através do desenvolvimento da alcalose respiratória (Calder; Schmidt-Neilsen, 1968). Esse distúrbio também pode ser relacionado a um balanço mineral negativo de K^+ e de Na^+ (Belay; Teeter, 1993; Ahmad et al., 2008). Aves em alcalose respiratória eliminam mais prótons (Na^+ , Mg^{++} e K^+) por via renal na tentativa de manter o equilíbrio ácido-básico do organismo (Vieites et al., 2004; Vieites et al., 2009), causando, com isso, desequilíbrio eletrolítico na ave (Vieites et al., 2015). Isso decorre de quadros que levem as aves à hiperventilação por um longo período. A compensação é realizada pela diminuição na reabsorção de bicarbonato renal, levando o organismo a reter também cloreto e, conseqüentemente, H^+ para aumentar a eletroneutralidade.

2.1.1.3 Acidose metabólica

A acidose metabólica é causada primariamente pelo aumento na produção de íons H^+ e pela perda de bicarbonato do organismo. A produção excessiva de íons H^+ é muito freqüente e pode ser causada pelas seguintes situações: geração de ácido láctico e de outros ácidos não carbônicos, menor excreção de íons H^+ do organismo e através de perdas de fluidos ricos em bicarbonato. O organismo acometido por acidose metabólica age de duas formas para diminuir os efeitos de um baixo pH do sangue. Os rins aumentam a excreção de íons H^+ pela urina, tornando esta mais ácida, e reabsorvem mais bicarbonato pelos túbulos renais (Sherwood et al., 2013). Por outro lado, pode existir ou não um aumento na freqüência respiratória para maior eliminação de CO_2 pelo ar expirado.

2.1.1.4 Acidose respiratória

Quadros de acidose respiratória são constatados pelo acúmulo de CO_2 na corrente sanguínea devido a uma diminuição na ventilação alveolar, resultando, inicialmente, em uma queda nos teores de O_2 seguida por um aumento na pressão de CO_2 . Qualquer disfunção que interfira com a ventilação pode causar acidose respiratória. A compensação nesse distúrbio não é tão eficiente quanto na acidose metabólica. Mesmo assim, o organismo aumenta a retenção renal do HCO_3^- filtrado, os rins adicionam novo HCO_3^- ao plasma enquanto secretam e excretam íons H^+ (Sherwood et al., 2013). Porém, esse processo demora alguns dias e é verificado mais em quadros crônicos de acidose respiratória.

Sob tais condições, além do fato desses distúrbios ocorrerem apenas em fluidos extracelulares, os mesmos são dependentes do sistema respiratório e dos rins, sendo a porção respiratória responsável por regular o CO_2 , o qual gera o H_2CO_3 , enquanto os rins regulam o H^+ e o HCO_3^- . Sendo assim, o equilíbrio do sistema CO_2 - HCO_3^- não depende apenas da concentração de HCO_3^- , mas também da concentração de H_2CO_3 (Gonzáles; Silva, 2017). Vale frisar que os sistemas de tamponamento são apenas temporários, ou seja, é possível melhorar o balanço ácido-base de aves sob distúrbios. Contudo, essa melhoria é passageira, uma vez que nenhum desses sistemas pode eliminar os H^+ em excesso do corpo sozinhos.

De forma geral, alterações no equilíbrio ácido-base causam inapetência com redução no ganho de peso, prejudicando a conversão alimentar. Quando esses desequilíbrios não são compensados, os mesmos determinam aumento na mortalidade (Borges, Maiorka, Silva, 2003). Entretanto, eles podem ser detectados fielmente através da prova laboratorial que fornece essas informações com exatidão, o exame gasométrico, ou também denominado hemogasométrico, realizado no sangue total heparinizado.

2.2 Hemogasometria

O sangue é particularmente sensível às mudanças de algumas condições ambientais e se constitui em um importante indicador das respostas fisiológicas da ave a agentes estressores (Borges, Maiorka, Silva, 2003). Portanto, é utilizado como parâmetro para a avaliação do status ácido-base dos animais, e por meio da avaliação do pH sanguíneo extrapolam-se esses dados para os tecidos. Logo, se o pH do sangue é fisiológico, cada tecido também deverá estar em seu pH ideal, assim como as alterações do pH sanguíneo durante distúrbios fisiológicos podem ser refletidos no pH dos tecidos. Isso se deve ao fato de que trocas no pH celular são muitas vezes acompanhadas por trocas no pH do sangue e da urina (McDonald et al., 2010). Sendo assim, o distúrbio ácido-base primário é normalmente indicado pela determinação do pH do sangue e dos componentes respiratório ($p\text{CO}_2$) e metabólico (HCO_3^-), conforme Meyer et al. (1995). O CO_2 , excesso de bases e a pressão parcial de O_2 também têm sido determinados com o objetivo de ajudar na identificação da condição ácido-base do sangue (Vieira et al., 1979). Mushtaq; Pasha (2013) afirmam adicionalmente que o resultado líquido de ambas, alcalose e acidose, poderia ser examinado por medição dos íons Na^+ , K^+ e Cl^- na dieta e nas excretas, determinando assim o balanço desses minerais. Nesse sentido, a hemogasometria surge como uma técnica de significativa importância na avaliação do balanço ácido-base em aves a fim de detectar sua homeostase ou distúrbios.

O hemogasômetro, de forma geral, avalia o pH sanguíneo e as pressões de CO_2 e O_2 e, com estes dados, o próprio equipamento calcula os teores de bicarbonato, a concentração total de CO_2 e o excesso de bases. Em quadros de acidose e de alcalose ocorrerão alterações nos teores de bicarbonato e de pressão de CO_2 , conforme explicado anteriormente.

O excesso de base indica indiretamente a quantidade de tampões existentes dentro do sangue em uma dada temperatura e pressão de CO₂. Por isso, os valores normais não são zero, mas em torno dele. Quanto mais negativos forem os valores de excesso de bases, maior é a perda de reserva de tampões no sangue, em outras palavras, maior o grau de acidose. Inversamente, quanto mais positivos forem os valores de excesso de bases, mais tampões estão se acumulando no sistema, indicando um quadro de alcalose.

Portanto, sabendo-se que a nutrição e o metabolismo possuem papéis fundamentais no balanço ácido-base, conhecer seu papel, suas exigências e sua participação no equilíbrio eletrolítico dos elementos minerais é fundamental para que se atinjam e/ou mantenham-se esses parâmetros a fim de beneficiar a saúde dos animais e seu desempenho.

2.3 Principais minerais envolvidos (Na, K e Cl) no equilíbrio eletrolítico e suas características.

O balanço ácido-base em aves é afetado por fatores como condições ambientais, dieta e metabolismo (Olanrewaju et al., 2006). O equilíbrio eletrolítico desempenha importantes funções na síntese de tecidos, na manutenção da homeostase intra e extracelular, na manutenção do potencial elétrico das membranas celulares e na criação de pressão osmótica (Borges et al., 2007), além de minimizar os efeitos deletérios do estresse por calor e atuar sobre o funcionamento de enzimas e nervos (Ahmad et al., 2008; Nikoofard et al., 2015). Portanto, ter uma definição clara de eletrólito é fundamental para a avaliação dietética. Eletrólito é uma substância química que se dissocia nos seus constituintes iônicos, tendo como função fisiológica principal a manutenção do equilíbrio ácido-base corporal.

Os minerais Na⁺, K⁺ e Cl⁻ são íons fundamentais na manutenção da pressão osmótica e no balanço ácido-base de líquidos corporais (Borges, Maiorka, Silva, 2003), porém outros minerais também deveriam ser considerados. De forma geral, as exigências suplementares das aves por Na⁺, K⁺ e Cl⁻ são mínimas, porque esses eletrólitos monovalentes são fornecidos pelos ingredientes e pelos sais da dieta (Leeson; Summers, 2001).

Entretanto, Na^+ , K^+ e Cl^- são chamados de íons fortes devido a seus efeitos sobre a homeostase ácido-base das aves, a princípio mais intensos dos que os íons divalentes (tais como Ca, Mg, fosfato ou sulfato). Dessa forma, a equação $\text{Na}+\text{K}-\text{Cl}$ (mEq/kg) (Mongin, 1981) é usualmente utilizada para avaliar o equilíbrio eletrolítico dietético em aves (Abbas et al., 2012; Ghasemi et al., 2014). Vale ressaltar que os níveis de alguns minerais como Na, K e Cl do plasma são afetados por condições ambientais como o estresse térmico. A concentração de K e de Na diminui com o aumento da temperatura (Borges, 1997), enquanto que o Cl aumenta (Belay; Teeter, 1993). O aumento do Cl reduz a excreção de H^+ e a reabsorção de HCO_3^- pelos rins.

As concentrações relativas dos eletrólitos na alimentação afetam diretamente o balanço ácido-base dos animais (Patience, 1993). A importância dos eletrólitos no balanço ácido-base é que estes em solução comportam-se como íons. Os íons são quantificados em miliequivalentes, que correspondem à milésima parte de um equivalente-grama. O equivalente de uma substância é a menor porção da mesma capaz de reagir quimicamente, e corresponde ao peso atômico ou ao peso molecular dividido pela sua valência (Brêtas, 2009). Diversos processos metabólicos, como o protéico, o energético e o mineral, somados à regulação acidobásica são processos interrelacionados, pois influenciam no desempenho animal (Patience, 1990). As dietas animais não possuem cargas neutras, contudo, as cargas negativas devem ser balanceadas com as positivas e a soma total dos eletrólitos fornecidos na ração influencia diretamente na regulação do equilíbrio eletrolítico animal (Brêtas, 2009).

A incorporação de eletrólitos na ração exerce influência no balanço ácido-base e, conseqüentemente, afeta os processos metabólicos relacionados ao crescimento, ao desempenho dos animais e à sobrevivência ao estresse em determinadas condições ambientais, principalmente sob altas temperaturas (Vieites et al., 2005). O equilíbrio ácido-base e eletrolítico no organismo animal é um mecanismo complexo, mediado por uma série de elementos químicos, que quando em excesso ou deficiência, desencadeiam reações orgânicas no sentido de compensar as alterações ocorridas.

A suplementação ótima de níveis de Na, K e Cl em dietas de frangos é importante pois, em condições adversas, como durante o estresse térmico, por exemplo, a competição entre H^+ e K^+ nos túbulos renais é reduzida. Durante a alcalose, o mineral K extracelular adentra a célula, o que conseqüentemente aumenta a secreção desse íon no lúmen do túbulo renal. Sob estas condições, H^+ é trocado por K^+ nos túbulos renais. O aumento da secreção de K^+ reduz sua concentração no sangue, causando desordens na circulação em frangos e levando à morte (Gamba et al., 2015). A dieta é importante na manutenção do correto equilíbrio eletrolítico intracelular e se deve aos ânions e aos cátions metabolizáveis contidos na mesma e que consomem os ácidos gerados durante o metabolismo (McDonald et al., 2010).

Relações desbalanceadas entre K, Cl e, particularmente, Na podem limitar a absorção de aminoácidos e de outros nutrientes (Gamba et al., 2015). Falhas na manutenção do correto balanço eletrolítico dentro da célula significam que rotas metabólicas são inaptas a funcionar eficientemente e recursos são desviados para alcançar a homeostase em detrimento do crescimento (McDonald et al., 2010). Trocas no balanço ácido-base têm grande influência sobre o funcionamento celular, e o animal deve regular a entrada e a saída de íons para manter a homeostase ácido-base. McDonald et al. (2010) afirmam que o balanço de ácidos e de bases influencia muitas funções, tais como taxa de crescimento, apetite, metabolismo de aminoácidos e de energia, utilização de Ca, metabolismo de vitaminas, absorção intestinal e funcionamento dos rins. Desbalanços entre os minerais Na, K e Cl têm efeito significativo e prejudicial nesse balanço, o qual afeta muitas funções metabólicas, e com isso, o desempenho dos frangos (Gamba et al., 2015), demonstrando, portanto, a importância em se conhecer os minerais envolvidos no balanço eletrolítico e suas principais características.

Sódio – O Na é o principal cátion no fluido extracelular e elemento essencial para o ciclo normal da vida e para o metabolismo de plantas e de animais (Balos et al., 2016). Esse mineral corresponde a 93% do conteúdo total de cátions no plasma sanguíneo, e, devido a isso, dificilmente será encontrado nas células sanguíneas. Esta é a razão pela qual ele é considerado o mais importante cátion responsável pela manutenção do pH no plasma.

O Na tem como funções a participação na manutenção do balanço ácido-base e das relações osmóticas ótimas, a participação na regulação do volume do fluido corporal, a atuação junto às contrações da célula muscular, dentre outras (McDonald et al., 2010). Com altos níveis de sódio na dieta, as aves aumentam seu consumo de água e removem o excesso de Na do corpo via excreta corporal. Juntamente ao K e aos ânions, o mineral forma o tampão, que é crucial para manter o valor de pH ótimo do citoplasma. Deficiências de Na resultam em queda da pressão osmótica e consequente distúrbio do balanço ácido-base. A relação entre níveis de Na:Cl, por exemplo, em aves deveria ser 1:1 (Balos et al., 2016), uma vez que esses minerais são intimamente relacionados e a absorção de Cl é dependente do metabolismo do Na. Os principais resultados observados quanto à inclusão excessiva de Na em dietas de frangos de corte são a limitação do consumo, a maior ingestão de água, o aumento na umidade das excretas e, conseqüentemente, no substrato da cama.

Potássio - Contrário ao Na, o K é encontrado preponderantemente no interior das células e é o terceiro elemento mineral mais abundante no organismo animal. De acordo com El-Deek et al. (2010), o K tem por funções a participação na manutenção do balanço ácido-base e nas relações osmóticas ótimas, a ativação de grande variedade de enzimas intracelulares, a participação no metabolismo de proteínas e de carboidratos e o aumento na permeabilidade da membrana celular. A deficiência de K pode ocorrer em consequência de estresse severo (McDonald et al., 2010). A termotolerância de frangos expostos ao estresse por calor agudo poderia ser melhorada através da suplementação, de sais de K na dieta (Ahmad et al., 2005), ou pela injeção de água com KCl (Smith; Teeter, 1987). É necessário o conhecimento das características de cada elemento a fim de resultar em um equilíbrio eletrolítico adequado, uma vez que a suplementação de K pode aumentar o pH e gerar um quadro de alcalose, devido ao efeito alcalinizante que o mineral possui (Costa et al., 2011).

Cloro - A maior parte do Cl é encontrada em fluidos extracelulares, mas também nas células vermelhas do sangue e em outros tecidos. As principais funções do Cl são: ânion principal do suco gástrico, formação do ácido gástrico junto com íon H^+ , participação no transporte de CO_2 no sangue, portanto, aumentando o conteúdo de HCO_3^- no plasma. Baixos níveis de Cl são aceitáveis, entretanto, sinais de sua deficiência ocorrem apenas quando os níveis caem para menos de 0,10%. O balanço de eletrólitos no alimento pelo ajuste na concentração de cátions é muito difícil caso o alimento contenha altos níveis de Cl (Balos et al., 2016). Altos níveis de Cl dietético são conhecidos por reduzir o pH e o HCO_3^- sanguíneos (Ruíz-Lopez; Austic, 1993) e são os maiores agentes causadores ligados à intensificação da ocorrência de discondroplasia tibial e de anormalidades de cartilagem por acidose metabólica induzida pela dieta. Outro fator de acidose induzida é a baixa relação entre Na:Cl (Mushtaq; Pasha, 2013).

Em determinadas condições, as aves excretam HCO_3^- através dos rins para corrigir o pH. O HCO_3^- é um íon negativamente carregado que precisa se ligar a um íon positivamente carregado, tal como Na^+ ou K^+ , para ser excretado na urina. Esses íons podem ser deficientes quando existe estresse por calor, por exemplo. Arantes et al. (2013), estudando os efeitos de diferentes balanços eletrolíticos em dietas de frangos, enfatizam que essas aves perdem 80% do calor produzido em seu corpo via sistema respiratório e aumentam significativamente seu consumo de água durante o estresse térmico. Qualquer troca no conteúdo dietético de Na e de K também altera o consumo de água e, conseqüentemente, a umidade da cama.

O desequilíbrio eletrolítico pode ser evitado por balanceamento dos conteúdos de ânions e de cátions em formulações alimentares para frangos. Os principais sais usados com tal propósito na alimentação de aves são os cloretos, sendo eles: cloreto de potássio (KCl) (Mushtaq et al., 2005; Arantes et al., 2013; Adedokun; Applegate., 2014), cloreto de cálcio (CaCl_2) (Nesheim et al., 1964; Kim et al., 1989; Mushtaq et al., 2005), cloreto de amônia (NH_4Cl) (Gorman; Balnave, 1994; Borges et al., 2003; Borges et al., 2004; Mushtaq et al., 2005; Vieites et al., 2011) e cloreto de sódio (NaCl) (Borges et al., 2004; Mushtaq et al., 2005; Olanrewaju et al., 2007; Vieites et al., 2011; Arantes et al., 2013; Gamba et al., 2015). Nesse sentido, são também utilizados sais de bicarbonato e de carbonato, como bicarbonato de potássio (KHCO_3) (Borges et al., 2003; Borges et al., 2004; Ahmad et al., 2005; Moghaddam et al., 2005), bicarbonato de sódio (NaHCO_3) (Borges et al., 2004; Ahmad et al., 2005; Moghaddam et al., 2005; Mushtaq et al., 2005; Arantes et al., 2013; Gamba et al., 2015), carbonato de sódio (Na_2CO_3) (Gorman; Balnave, 1994; Ahmad et al., 2005), carbonato de cálcio (CaCO_3) e carbonato de potássio (K_2CO_3) (Gorman; Balnave, 1994; Ahmad et al., 2005; Adedokun; Applegate, 2014), assim como sulfatos, tais como sulfato de potássio (K_2SO_4) (Mushtaq et al., 2005; Gamba et al., 2015) e sulfato de sódio (Na_2SO_4) (Gorman; Balnave, 1994).

Balos et al. (2016) em sua revisão sobre eletrólitos na nutrição de aves ainda afirmam que, ao se detectar formulações alimentares com baixo balanço eletrolítico, essas irão requerer suplementação de eletrólitos. É possível observar também o desequilíbrio eletrolítico em condições de excesso de S ou de Cl nos alimentos. Adicionalmente, é necessária a avaliação sobre o tipo de suplementação usada, uma vez que a suplementação mineral à base de CaCl_2 na dieta pode induzir acidose em aves, principalmente em condições termoneutras, contrariamente a outras fontes de Cl, tais como NaCl e KCl, as quais são associadas com acidose em menor extensão. Tais autores afirmam que isso ocorre porque a absorção de Ca a partir de CaCl_2 é menor do que a de Na a partir de NaCl.

Mesmo após as considerações discutidas, muitos autores afirmam que outros ânions e cátions também atuam no balanço ácido-base e, portanto, deveriam ser incluídos nessas considerações. Além disso, esses mesmos autores ressaltam que, em sua maioria, as contradições existentes na literatura sobre esse tema se devem, inclusive, graças a nem todos os elementos envolvidos no equilíbrio ácido-base serem considerados. Sendo assim, será discutida a importância desses outros elementos no balanço ácido-base e no equilíbrio eletrolítico dietético em frangos de corte.

2.4 Equilíbrio eletrolítico dietético usual e a inclusão de mais íons na equação

Devido às interações fisiológicas de Na e de Cl com K, o relacionamento entre esses íons vem sendo avaliado em dietas de frangos há muito tempo (Dewar; Whitehead, 1973; Hurwitz et al., 1973; Ross, 1979; Johnson; Karunajeewa, 1985; Halley et al., 1987; Hooge, 1995, Hooge, 1998).

As relações de Na, de Cl e de K na dieta são importantes para determinar o equilíbrio eletrolítico dietético (Mongin, 1980; Teeter, 1997). Esse equilíbrio é o principal fator na regulação do balanço ácido-base, o qual afeta o pH do sangue para melhor eficiência enzimática e influencia no crescimento e no desempenho das aves (Patience, 1990; Butcher; Miles, 1994; Hooge, 1998; Murakami et al., 2001). O equilíbrio eletrolítico dietético é medido em miliequivalentes (mEq), e calculado pela multiplicação da porcentagem do eletrólito na ração por 10.000 e pela valência e dividido pelo peso atômico do eletrólito (Brêtas, 2009).

$$\text{Equilíbrio eletrolítico dietético} = \frac{\% \text{ eletrólito na ração} \times 10000 \times \text{valência}}{\text{peso atômico do eletrólito}}$$

Resumidamente, o equilíbrio eletrolítico da dieta pode ser definido pela diferença entre seus cátions e seus ânions, e representa a acidogenicidade ou a alcalinidade metabólica da dieta. Mongin (1981) enfatizou a importância de ajustar o equilíbrio eletrolítico dietético para obter ótimo desempenho, pois, quando o balanço é alterado devido à acidose ou à alcalose, rotas metabólicas não podem funcionar com a eficiência desejada. Ambos Na^+ e K^+ têm efeitos alcalogênicos indiretos sobre os fluidos corporais, enquanto o bicarbonato possui efeito tampão. O íon Cl^- tem um efeito acidogênico, e deveria ser mantido nos níveis exigidos ou próximos dos mesmos, uma vez que o excesso de Cl^- pode causar problemas nos membros e nas articulações em frangos de corte (Leach; Nesheim, 1972; Adesina; Robbins, 1987; Ruíz-López et al., 1993; Hooge, 1998; Murakami et al., 2001).

É inquestionável a contribuição de Mongin (1981) para o estudo do equilíbrio eletrolítico de frangos de corte, entretanto, ao longo das últimas décadas vêm surgindo questionamentos, conforme citados anteriormente, sobre a validade dessa equação e sua aplicação a diferentes situações. Inúmeros trabalhos vem sendo realizados (Nesheim et al. (1964), Nelson et al. (1981), Johnson; Karunajeewa (1985), Hulan et al. (1987), Patience et al. (1987) e Patience (1990)), buscando investigar/testar essa equação com o uso de uma diversidade de sais minerais, de condições ambientais e de faixas etárias das aves.

Durante esse período, propostas surgiram e o balanço dietético de minerais vem sendo expresso de várias formas, como balanço cátion-ânion $[(\text{Na} + \text{K} + \text{Ca} + \text{Mg}) - (\text{Cl} + \text{P} + \text{S})]$, balanço eletrolítico $(\text{Na} + \text{K} - \text{Cl})$, relação cátion:ânion $[(\text{Na} + \text{K})/\text{Cl}]$, relação $\text{Na}:\text{Cl}$, entre outros (Mongin, 1981; Johnson; Karunajeewa, 1985), o que reforça a continuidade de pesquisas nesse campo.

Na equação de equilíbrio eletrolítico dietético de Mongin assume-se que apenas os minerais Na, K e Cl possuem impacto sobre o balanço ácido-base, sem se considerar a fonte de eletrólitos. A suplementação de Na e de K aumenta o pH e o HCO_3^- do sangue, enquanto a adição de Cl diminui essas duas variáveis (Hurwitz et al., 1973). Smith; Teeter (1987), após recalculas e comparar dados de diversas fontes, concluíram que houve um pequeno efeito significativo das mudanças no equilíbrio eletrolítico dietético sobre as variações que ocorreriam usualmente em dietas práticas. Patience et al. (1987) indicaram que ânions metabolizáveis como bicarbonato, carbonato e acetato têm uma influência sobre o balanço ácido-base por neutralizar ácidos e aumentar o pH sanguíneo. Gorman; Balnave (1994) provaram esse fato em um estudo no qual o ganho de peso vivo de frangos de corte sob estresse térmico associado a Na_2CO_3 e a NaHCO_3 foi significativamente diferente em dietas com equilíbrio eletrolítico idêntico. Os autores concluíram que o estresse por calor poderia levar a uma demanda metabólica pelo íon HCO_3^- . Johnson; Karunajeewa (1985) e Gorman; Balnave (1994) indicaram que a equação do equilíbrio eletrolítico dietético não pode ser usada para prever os benefícios relativos a diferentes suplementos ou combinação de minerais. É sabido que os íons monovalentes (Na, K e Cl) têm um maior potencial eletrolítico do que os divalentes (Mg, S, P e Ca), e com potencial eletrolítico dos últimos sendo maior do que o dos elementos Fe, Mn, Zn, Cu, Se, Mo, Co e I (Borges et al., 2007).

Embora sabendo do papel fundamental dos íons monovalentes citados acima no equilíbrio ácido-base das aves, outros elementos fazem uma contribuição ao equilíbrio eletrolítico e deveriam ser considerados nesse tema após investigação meticulosa de seu papel e da dimensão de sua atuação. Diversos autores consideram um número maior de elementos envolvidos nesse equilíbrio, como os cátions Ca e Mg, e os ânions sulfato e fosfato, além de alguns aminoácidos, conforme destacam Araújo et al. (2011).

Mongin (1981) omitiu esses íons divalentes da equação de equilíbrio eletrolítico dietético, pois, segundo o autor, cátions divalentes não são rapidamente absorvidos como cátions monovalentes. O Mg é comumente suprido em alimentos, o fosfato é difícil de ser quantificado porque é encontrado em diversas fontes alimentares, a taxa de absorção de Ca é controlada pelo sistema endócrino e é mais comumente adicionado como CaCO₃ para desenvolvimento do esqueleto e o sulfato é incluído em pequenas quantidades como ânion para elementos-traço essenciais ou para prevenir quebra de metionina. No entanto, diversos estudos, entre eles Nesheim et al. (1964), Nelson et al. (1981), Johnson; Karunajeewa (1985), Hulan et al. (1987), Patience et al. (1987) e Patience (1990), já indicaram que os íons divalentes excluídos dessa equação exercem significativos efeitos sobre o desempenho de frangos.

Uma das justificativas para a exclusão de íons divalentes da consideração do balanço eletrolítico por Mongin é que embora elementos-traço também têm funcionado como eletrólitos, devido a sua presença em pequenas quantidades no alimento e em sua baixa concentração nos tecidos das aves, naturalmente o seu impacto é menor no balanço ácido-base e no balanço eletrolítico em aves. Entretanto, Patience (1990), entre outros autores que serão discutidos na sequência, também aponta o efeito de outros cátions (Ca, Mg) e ânions (HPO₄, H₂PO₄, SO₄) no balanço eletrolítico e ácido-base em frangos, sendo que esses íons foram anteriormente excluídos por Mongin. A equação do balanço cátion-ânion foi desenhada para relatar o desempenho animal para a concentração de minerais selecionados na dieta, logo, uma avaliação mais sofisticada poderia ser alcançada pelo cálculo:

$$(\text{cátion-ânion}) = \text{mEq} (\text{Na} + \text{K} + \text{Ca} + \text{Mg}) - \text{mEq} (\text{Cl} + \text{SO}_4 + \text{H}_2\text{PO}_4 + \text{HPO}_4)$$

Dessa forma, essa equação pode representar todos os eletrólitos que têm capacidade de influenciar a homeostase ácido-base. Patience et al. (1987), já citado acima, indicaram que ânions metabolizáveis influenciam no balanço ácido-base. Gorman; Balnave (1994) mencionaram ainda que seus achados também levantaram dúvidas quanto à validade da exclusão de outros ânions e cátions e quanto à concentração apenas no Na, no K e no Cl da equação, segundo Mongin (1981).

Balnave; Oliva (1991), trabalhando com frangos de corte sob temperaturas altas e moderadas e avaliando a influência do NaHCO_3 e de aminoácidos sulfurados sobre o desempenho das aves, observaram que o estresse por calor induziu a uma exigência metabólica do íon bicarbonato a fim de compensar a depressão do mesmo no sangue.

Enxofre - A maioria do enxofre no organismo animal ocorre em proteínas contendo os aminoácidos cistina, cisteína e metionina. Compostos contendo S também são importantes em elementos do processo respiratório da hemoglobina e dos citocromos. Apenas pequenas quantidades desse elemento estão presentes no corpo em forma inorgânica, embora sulfatos sejam encontrados no sangue em pequenas quantidades (McDonald et al., 2010).

Essa pequena atenção dada ao enxofre na nutrição animal ocorre devido ao consumo desse mineral ser principalmente na forma de proteína, sendo que a deficiência de S indicaria déficit proteico, e o S inorgânico parece apresentar pouca importância para animais monogástricos (McDonald et al., 2010). Quando se avalia o equilíbrio eletrolítico dietético, o enxofre é comumente ignorado, mas pode ser necessária sua consideração quando ingredientes alimentares alternativos são usados para substituir milho e farelo de soja. Nesheim et al. (1964), avaliando as interrelações entre níveis dietéticos de Na, de K, de Cl e de sulfato em frangos, mostraram que há efeitos claros sobre o crescimento das aves quando conteúdos de cátions e de ânions são alterados por variação dietética de conteúdo de sulfato. Dessa forma, esse elemento também influencia no balanço ácido-base das aves, e por isso representa um erro o fato de o sulfato não ser incluído na equação.

É sabido que o pH sanguíneo e o urinário são usados frequentemente para avaliar o pH do organismo como um todo. Em suínos, o pH da urina pode ser acidificado pela inclusão de CaSO_4 em diferentes doses na dieta, sendo as maiores quantidades responsáveis pelas acidificações mais severas (Canh et al., 1998). Halfen et al. (2018a), avaliando fontes de S na dieta de gatos adultos, observaram que, quando o efeito da fonte de S foi verificado, o CaSO_4 mostrou-se pouco eficiente em acidificar a urina quando comparado a outras fontes. Efeito semelhante já foi observado quando usado CaCl_2 , nesse sentido os autores explicam que os ânions Cl^- e SO_4^- possuem mais alta taxa de absorção no intestino do que o Ca^{2+} .

No entanto, o Ca é mantido no corpo, principalmente na matriz óssea (Kemmer-Kroonsberg, 1993), e apresenta baixa excreção urinária e circulação no sangue (Guyton; Hall, 2011). Mesmo o Ca apresentando efeito alcalinizante, o S pode ser mais potente em acidificar do que o Ca em controlar essa acidificação. Logo, o S pode influenciar no balanço ácido-base do organismo (Halfen et al., 2018a).

Cálcio - Diversos processos celulares (intracelular, extracelular, fisiológico e patológico) dependem do Ca como um íon regulador. O Ca é necessário para a coagulação sanguínea, a excitabilidade neuromuscular, a contração muscular, a ativação enzimática, a secreção hormonal, a divisão celular e a estabilidade da membrana celular. É também fundamental no processo de morte celular por participar na produção de radicais livres, na liberação de citocinas, na ativação de proteases e na apoptose (Toríbio, 2011). Devido as suas funções fisiológicas e patológicas, manter as concentrações de Ca extracelular dentro de uma faixa estreita é importante. O Ca é encontrado em três principais compartimentos: esqueleto, tecidos moles e fluido extracelular, onde tem funções estruturais e não estruturais (Toríbio, 2011). Sais de Ca possuem diferentes solubilidades e dependem do ânion ao qual o Ca está associado, podendo ser mais ou menos absorvido e modificar o pH da urina (Halfen et al., 2018b). Dessa forma, a escolha do sal de Ca a ser utilizado deve levar em consideração seu ânion associado a fim de permitir um adequado balanço eletrolítico e efetivo equilíbrio ácido-base. Dietas ácidas podem induzir liberação de cátions (incluindo Ca) a partir dos ossos para o sangue para corrigir o pH.

A maior parte do Ca no corpo está vinculada à matriz mineral óssea, o que sugere que o osso é a fonte para aumentar a excreção desse mineral pelos rins (Arantes et al., 2013). Logo, segundo esses autores, a perda de Ca deveria resultar em menor mineralização óssea e poderia afetar a densidade dos ossos.

Nesse sentido, Hulan et al. (1987) visaram estudar os efeitos do balanço cátion-ânion dietético e o conteúdo de Ca sobre o desempenho geral e sobre a incidência de anormalidades de membros em frangos. Os autores encontraram alteração dos efeitos dos níveis dietéticos de Ca sobre o padrão e a resposta de crescimento e de utilização do alimento por aves, indicando efeito do Ca sobre os parâmetros avaliados e, portanto, com ação catiônica do mineral sobre o balanço ácido-base das aves.

Shafey et al. (2011), avaliando os efeitos do balanço eletrolítico da dieta sobre o desempenho de frangos alimentados com alto Ca, concluíram que, ao se alterar os níveis dietéticos de Ca, houve alterações no desempenho das aves e no balanço eletrolítico de acordo com as variações no Ca. Portanto, esses resultados também sugerem que a equação de Mongin (1981) restrita ao Na, K e Cl é uma medida inadequada de balanço cátion-ânion dietético.

Íons carbonato e bicarbonato – Conforme citado acima, os íons CO_3 e HCO_3 são ânions metabolizáveis capazes de influenciar o balanço ácido-base através da neutralização de ácidos e da alteração do pH do sangue, pois ambos apresentam efeitos alcalinizantes. Mesmo com algumas características semelhantes, esses íons possuem particularidades a serem estudadas. Em 1994, os autores Gorman e Balnave realizaram um estudo com frangos de corte sob estresse térmico utilizando Na_2CO_3 e NaHCO_3 e, mesmo com igual equilíbrio eletrolítico, as aves apresentaram resultados diferentes de acordo com os suplementos utilizados.

Magnésio – Esse mineral está envolvido em muitos processos bioquímicos, incluindo a ativação de fosfatos e a participação no metabolismo de carboidratos. Sua ação é intimamente associada com Ca e P. Em relação ao equilíbrio eletrolítico, já em 1981, Nelson e colaboradores detectaram influência do Mg no desempenho animal quando houve variação nos níveis dietéticos de Mg devido a variações nos conteúdos de cátions e de ânions. Gal et al. (2004) observaram aumento no ganho de peso de frangos de corte quando uma suplementação de Mg foi utilizada.

Fósforo – O fósforo representa aproximadamente 1,0% do peso corporal, com mais de 85% localizado na matriz óssea como hidroxapatita, 15% no sangue e tecidos moles e menos de 1,0% no fluido extracelular. Similar ao Ca citosólico livre, a concentração de fosfato citosólico livre é baixa. No sangue, o fósforo existe na forma de fosfatos orgânicos e inorgânicos. Quatro formas de fosfato existem nos fluidos biológicos: H_3PO_4 , H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , PO_3^{2-} . Todavia, no pH fisiológico, somente as formas divalente (HPO_4^{2-}) e monovalente (H_2PO_4^-) estão presentes em quantidades significativas (Toríbio, 2011). O fosfato desempenha importantes papéis na contração muscular, nas funções neurológicas, na atividade enzimática, no transporte eletrolítico, no transporte de oxigênio, na transcrição de genes e no metabolismo de proteínas, de carboidratos e de gorduras (Toríbio, 2011).

Suplementação dietética - Segundo Ahmad; Sarwar (2006), geralmente o P é adicionado a dietas de aves, principalmente como fosfato bicálcico, com o único objetivo de atender às exigências em vez de visar o balanço ácido-base. De maneira semelhante, o Ca é adicionado como CaCO_3 , como citado anteriormente, para atender as exigências de crescimento e de desenvolvimento. Johnson; Karunajeewa (1985), estudando os efeitos de Ca e de P disponíveis e Na, K e Cl na dieta sobre o crescimento e fisiologia de aves jovens, observaram que o balanço de cátions e ânions não pode ser usado no lugar do balanço eletrolítico da dieta para descrever o crescimento de frangos de corte, uma vez que esses cátions e esses ânions também desempenham papel sobre a homeostase ácido-base de frangos.

Já no que diz respeito ao Mg e ao sulfato (SO_4), esses não são normalmente suplementados nas dietas. O SO_4 está presente na forma de fontes de sulfato de suplementos minerais (como FeSO_4 , ZnSO_4) ou na forma de aminoácidos sulfurados. Em relação ao Mg, pode-se citar o trabalho de Nelson et al. (1981), o qual avaliou os efeitos do conteúdo de cátion e de ânion dietéticos com Mg e P sobre o desempenho de frangos, obtendo efeitos significativos no desempenho das aves quando os conteúdos de cátions e de ânions foram alterados por variação da concentração de Mg dietético.

O bissulfato de sódio (NaHSO_4) é um aditivo alimentar acidificante que pode melhorar o desempenho e a saúde animal. Ele potencialmente oferece efeitos benéficos em animais não ruminantes e é usado principalmente em leitões. Existem ainda muitos acidificantes sob investigação. De forma geral, acidificantes são agrupados em três categorias: ácidos orgânicos, ácidos inorgânicos e sais de ácidos. Os sais de ácidos podem ser orgânicos ou inorgânicos e ter afinidade com algum tipo de sal, como o bissulfato de sódio, cuja a principal utilização atualmente é no tratamento de cama de aviário visando manter o pH abaixo de 7,0 e, conseqüentemente, reduzir a emissão de amônia (Blake; Hess, 2001). Dessa forma, o NaHSO_4 caracteriza-se como um mineral sal ácido, que em solução liberará íons H^+ após dissociação, além de Na^+ e de sulfato (Ullman et al., 2004), promovendo queda no pH (Sun et al., 2008). Nuffer; Geraert (2004), em pesquisa analisando a possibilidade de substituição do NaHCO_3 por NaHSO_4 , obtiveram resultados que mostram claramente que a substituição de bicarbonato pelo bissulfato não afetou o crescimento das aves durante o período de 1 a 42 dias de vida. Nenhum efeito adverso do NaHSO_4 versus NaHCO_3 foi observado nesse experimento.

Os resultados obtidos aos 41 dias mostram redução significativa na liberação de amônia com o uso de bissulfato de sódio quando comparado ao bicarbonato de sódio. Uma hipótese do trabalho foi que o sulfato liberado com a excreta teve efeito redutor do pH da cama, ou seja, parte do sulfato excretado poderia quimicamente interferir na amônia da cama e transformá-la em sulfato de amônio.

Com base no que foi discutido até aqui, conclui-se que os eletrólitos da ração consumida pelos animais exercem influência no balanço ácido-base e, conseqüentemente, afetam processos metabólicos relacionados ao crescimento, à resistência a doenças, à sobrevivência, ao estresse e aos parâmetros de desempenho (Borges, 2006). Sendo assim, analisando os resultados encontrados em inúmeros trabalhos, reforçou-se a necessidade em se rever a inclusão de cátions e de ânions adicionais na equação do equilíbrio eletrolítico dietético, justificando, portanto, a realização de mais estudos nesse campo a fim de determinar algumas incógnitas quanto ao metabolismo eletrolítico de frangos.

Adicionalmente, embora os primeiros relatos indicassem que o desempenho animal máximo é geralmente observado em frangos alimentados com balanço eletrolítico dietético de 250mEq/kg de dieta (Mongin; Sauveur, 1977), evidências mostram que administrar dietas com menor balanço eletrolítico pode ter efeitos benéficos no desempenho das aves devido a suas características ácidas (Borges, Maiorka, Silva, 2003; Nikoofard et al., 2015). Já Johnson; Karunajeewa (1985) determinaram que o melhor equilíbrio eletrolítico dietético está entre 200 e 350mEq/kg de dieta, o qual é influenciado pelos minerais fósforo, K^+ , Na^+ , e Cl^- (Murakami et al., 2001). Conforme citado anteriormente, na equação do equilíbrio eletrolítico dietético assume-se que apenas os minerais Na, K e Cl têm impacto sobre o balanço ácido-base, sem se considerar a fonte de eletrólitos. Ruiz-Lopez; Austic (1993) compararam as acidogenicidades relativas de diversos ânions usando o Cl como padrão. Em aves jovens, o Cl significativamente elevou a concentração de íons H^+ no sangue a altos níveis (160 - 240mEq/kg). Esses autores relataram ainda que o Na_2SO_4 foi relativamente mais ácido do que o sulfato de cálcio e o sulfato de potássio, indicando que as propriedades acidogênicas do sulfato dependem da fonte (Ahmad et al., 2005), característica que deve ser observada sempre ao se considerar o S no equilíbrio eletrolítico.

Nesse sentido, muitas incógnitas permanecem latentes nessa área de pesquisa, demonstrando necessidade de maior aprofundamento nas questões ainda não totalmente delimitadas e esclarecidas.

2.5 Dinâmica dos agentes que atuam no balanço ácido-base

Manter a homeostase ácido-base é crucial para o organismo como um todo, porém compreender como se dá a dinâmica dos agentes envolvidos em tais processos auxilia no entendimento de seus efeitos em todas as esferas. Logo, entender o papel de cada órgão no que diz respeito aos eletrólitos permite tal compreensão.

Guyton; Hall (2007) afirmam que se a quantidade dos minerais K^+ e Na^+ no corpo estão em equilíbrio, a pressão osmótica dos fluidos corporais se manteria normalmente. Ambos Na^+ e K^+ possuem quase o mesmo padrão de absorção de eletrólitos no corpo. Esses íons são igualmente aumentados quando a suplementação de KCl é acima de 0,5%, e decrescem quando a suplementação baixa de 0,75% na água de beber, segundo esses autores. Isso ocorre porque esses minerais são dois tipos de eletrólitos cujas quantidades deveriam sempre ser balanceadas no corpo para que a pressão osmótica dos fluidos permaneça estável (El-Deek et al., 2010; Yosi, 2016).

No entanto, ambos os padrões de absorção desses minerais são ligeiramente diferentes da absorção do Cl^- , pois o mesmo foi absorvido de forma crescente com a adição de 1% de KCl, enquanto a absorção de K^+ e Na^+ começou a declinar quando adicionado KCl acima de 0,75% (Guyton; Hall, 2007). Assim, quanto mais K^+ e Na^+ absorvidos pelo corpo, mais Cl^- será consumido, de modo que as condições ácido-básicas de fluidos corporais permanecem equilibradas (El-Deek et al., 2010). De acordo com Riond (2001), assume-se que Na^+ , K^+ e Cl^- são absorvidos com 100% de eficiência.

Íons minerais carregados negativamente (como o Cl^-) tentam sair do lúmen do intestino para a célula através da membrana apical contra o gradiente elétrico. Já íons positivamente carregados, como Ca^{2+} e Na^+ , atravessam a membrana apical para dentro do citosol de células carregadas negativamente de forma mais fácil à medida que estão reduzindo seu gradiente elétrico. Contudo, em outro lado da célula, minerais carregados positivamente saem da célula através da membrana basolateral para o fluido extracelular que envolverá o movimento desses íons para um ambiente mais positivo, contrário ao gradiente elétrico (Goff, 2015; Goff, 2018). Em espécies não ruminantes, estudos sugerem que mais de 50% do Ca absorvido a partir de dietas típicas são através de rotas paracelulares (Nellans, 1988). O Na^+ é geralmente absorvido pelas células intestinais através de canais altamente específicos localizados na membrana apical assim como por trocador Na^+/H^+ . Esse íon é então expelido a partir da célula pela bomba Na^+/K^+ ATPase localizada na membrana basolateral (Weber et al., 2004).

Em relação ao Mg, sua homeostase é principalmente determinada por: 1) absorção a partir do trato gastrointestinal, 2) exigência do corpo, e 3) excreção via rins. A absorção de Mg^{2+} aumenta quase linearmente juntamente a seu consumo (Hardwick et al., 1990), enquanto a fração de Mg^{2+} absorvido permanece constante (King; Stanbury, 1970). A proporção constante de absorção de Mg^{++} está em contraste ao Ca^{++} (Hardwick et al., 1990) e sugere que a regulação intestinal de absorção de Mg^{2+} é ausente ou de pouca importância. A adaptação de absorção de Mg^{++} no intestino delgado para deficiência de Mg^{++} é mínima e principalmente consiste de secreção reduzida, a qual provavelmente reflete o transporte paracelular desse mineral que depende de sua concentração no sangue (Schweigel; Martens, 2000).

Kayne; Lee (1993) revisaram a literatura sobre o local de absorção de Mg^{++} e concluíram que, a partir de estudos *in vitro* em ratos, a porção distal do intestino delgado, em particular o íleo e o cólon, são os locais onde o maior volume de Mg^{++} é absorvido. De fato, os dados disponíveis são confusos ainda porque, em ratos, a ocorrência da absorção de Mg^{++} tem sido demonstrada no intestino delgado (Behar, 1974; Petit; Schedl, 1978), no ceco (Rayssiguier; Remesy, 1977; Shiga; Morino, 1986) e no cólon (Scharrer; Lutz, 1990). O aumento paralelo da absorção líquida de Mg^{++} com seu consumo, como discutido acima, sugere que a absorção de Mg^{++} ocorre predominantemente por difusão passiva.

Estes dados suportam a suposição de que o fluxo e a direção do transporte desse mineral através de rota paracelular são somente determinados pelos gradientes eletroquímicos ou pelo fluxo de água. Os autores sugerem dois sistemas separados de transporte para absorção de Mg^{++} no intestino delgado: um mediado por carreador, o qual é saturado em baixo Mg^{++} intraluminal, e um processo de difusão simples (Schweigel; Martens, 2000).

O transporte coordenado dos íons Na^+ , Cl^- , K^+ e HCO_3^- e o transporte íon-soluto acoplado são os principais contribuintes para o movimento fluido-massa. O intestino delgado também é o local principal para a absorção de cátions multivalentes, tais como Ca e ferro, e ânions, como os fosfatos. A bomba Na^+/K^+ ATPase na membrana basolateral do enterócito fornece força condutora para o movimento transcelular líquido de Na^+ , Cl^- , K^+ e HCO_3^- ao longo do comprimento do intestino delgado.

A absorção de Na e de Cl é alcançada pela regulação coordenada de trocadores Na^+/H^+ da membrana apical e trocadores de ânions. A secreção de Cl^- requer ação coordenada de cotransportadores $Na^+/K^+/Cl^-$, principalmente dos canais de K^+ basolaterais e dos canais de Cl^- apicais (Venkatasubramanian; Rao, 2010). O intestino delgado está em um estado dinâmico de secreção e de absorção, cuja soma resulta na absorção líquida. A secreção é principalmente resultado da extrusão de Cl^- e de HCO_3^- através dos canais apicais de Cl^- após a ativação dos segundos mensageiros cAMP, cGMP e Ca.

A secreção resulta do transporte ativo de dois principais íons, Cl^- e HCO_3^- , os quais estão sob controle de diversos mediadores intracelulares: cAMP, cGMP, Ca, calmodulina e metabólitos de fosfatidilinositol. O sódio e a água seguem o Cl^- através de um processo de arraste de solvente. A secreção de Cl^- envolve as ações sincronizadas de diversos componentes (Banks; Farthing, 2002). Ao longo do trato gastrointestinal, o transporte de fluidos é dependente de processos de transporte ativo para eletrólitos e para solutos. Embora a secreção de HCO_3^- e K^+ ocorram ao longo do comprimento do intestino, o eletrólito predominante que conduz a secreção do fluido é o Cl^- .

A secreção de Cl^- é acompanhada pelo movimento paracelular de Na^+ , resultando no acúmulo luminal de NaCl, o qual fornece base osmótica para o movimento da água. Uma porção da secreção de bicarbonato é também secundária para a secreção ativa do Cl^- , que se recicla dentro da célula através dos trocadores apicais de ânions na troca por bicarbonato (Reenstra, 1993).

As exigências energéticas para secreção ativa de Cl^- são fornecidas pela atividade de uma bomba Na^+/K^+ ATPase ou bomba de Na^+ . Esta transporta três íons Na^+ para fora da célula através da membrana basolateral em troca de dois íons K^+ , e no custo de hidrólise de uma molécula de ATP (Kirk et al., 1980; Kaplan, 1983). A atividade desta bomba, portanto, mantém uma baixa concentração de Na e uma alta concentração de K no fluido intracelular. A diferença na concentração de K^+ (difusão potencial) e a estequiometria da bomba tornam o interior da célula eletronegativa em relação ao fluido extracelular. A voltagem negativa da membrana da célula é importante para fornecer uma força motriz para a saída do Cl^- (Barrett; Keely, 2000).

Uma vez que os eletrólitos tenham sido absorvidos no sistema digestivo, no que diz respeito à participação do sistema renal na homeostase de eletrólitos no organismo, considerações serão feitas na sequência. A unidade funcional dos rins, o néfron, pode ser dividida nas seguintes partes: corpúsculo renal, o qual se divide em glomérulo e cápsula de Bowman, e túbulos renais, sendo eles divididos em proximal, distal e dutos coletores. Os rins controlam o pH dos fluidos corporais pelo ajuste de três fatores interrelacionados: 1) excreção de H^+ ; 2) excreção de HCO_3^- ; e 3) secreção de amônia. As células epiteliais dos túbulos proximais, túbulos distais e dutos coletores renais secretam íons H^+ , porém cerca de 85% dos íons H^+ são secretados pelas células do túbulo proximal (Reece, 2017).

O sistemas respiratórios também desempenham um importante papel no balanço ácido-base através de sua habilidade em alterar a ventilação para controlar o CO_2 gerador de H^+ nos pulmões. Diariamente, os pulmões removem a partir dos fluidos corporais mais H^+ a partir do CO_2 do que os rins podem eliminar a partir de fontes ácidas não-carbônicas (Sherwood et al., 2013). Como as reações químicas para secreção de H^+ começam com o CO_2 , a taxa pelas quais elas procedem é também influenciada pela concentração de CO_2 .

- Quando aumenta a concentração de CO_2 no fluido extracelular, a taxa de secreção de H^+ acelera;
- Inversamente, a taxa de secreção de H^+ se torna mais lenta quando a concentração de CO_2 do plasma cai abaixo do normal;
- Quase todo o H^+ excretado entra na urina por meio de secreção.

A maioria do H^+ excretado entra no fluido tubular sendo secretado pelos túbulos proximal e distal e pelos dutos coletores. Como os rins normalmente excretam H^+ , a urina é geralmente ácida, tendo um pH médio de 6,0. O processo secretório de H^+ começa nas células tubulares com CO_2 surgindo a partir de três fontes: 1) difusão a partir do plasma; 2) difusão a partir do fluido tubular; e 3) metabolicamente produzido dentro das células tubulares, onde a anidrase carbônica catalisa a conversão de CO_2 e de H_2O em H^+ e em HCO_3^- (Sherwood et al., 2013).

O H^+ é excretado na luz tubular de forma passiva por gradiente eletroquímico e de forma ativa na troca pelo íon Na^+ (sistema *antiport*). Ao mesmo tempo, o bicarbonato segue para o espaço intersticial e para o sangue (González; Silva, 2017). O íon H^+ presente no fluido tubular pode reagir sob três maneiras: 1) com o bicarbonato para formar o H_2CO_3 , que é convertido em CO_2 e em H_2O ; 2) com o HPO_4^{2-} para formar o $H_2PO_4^-$, que é excretado sob a forma de ácido titulável; ou 3) com o amônio (NH_3) proveniente da desaminação da glutamina na célula tubular, formando amônia (NH_4), que é excretada pela urina (Johnson, 2008).

A manipulação renal do balanço ácido-base envolve também o ajuste da excreção de HCO_3^- , dependendo da carga de H^+ no plasma. Os rins regulam a concentração de HCO_3^- no plasma por três mecanismos interrelacionados: 1) variável reabsorção do HCO_3^- filtrado de volta ao plasma juntamente com a secreção de H^+ ; 2) variável adição de novo HCO_3^- no plasma juntamente com a secreção de H^+ ; e 3) variável secreção de HCO_3^- juntamente com reabsorção de H^+ (Sherwood et al., 2013).

Quando um HCO_3^- filtrado é reabsorvido ou um novo HCO_3^- é adicionado ao plasma juntamente com a secreção de H^+ , dependerá de o HCO_3^- filtrado estar presente no fluido tubular para reagir com o H^+ secretado. Como o desaparecimento de um HCO_3^- do fluido tubular é acoplado com o aparecimento de outro HCO_3^- no plasma, um HCO_3^- tem o efeito de ser “reabsorvido”. Apesar da entrada do HCO_3^- no plasma ser “nova”, isto é, não é o mesmo íon que foi filtrado, o resultado líquido é o mesmo que se o HCO_3^- fosse diretamente reabsorvido (Sherwood et al., 2013). A manipulação renal de H^+ e de HCO_3^- depende primariamente de um efeito direto do status ácido-base plasmático sobre as células tubulares renais.

Sob condições normais de balanço, a quantidade de secreção de H^+ é aproximadamente a mesma do HCO_3^- filtrado nos glomérulos e o pH da urina formada cai pouco. Quando a taxa de filtração de HCO_3^- excede a taxa de secreção de H^+ , todo H^+ secretado reage com o HCO_3^- filtrado, e o bicarbonato que escapa da reação com o H^+ aparece na urina alcalina (Reece, 2017). A entrada de HCO_3^- nas células epiteliais renais é permitida pela atividade de um co-transportador, Na^+/HCO_3^- , na membrana basolateral. Intracelularmente, bicarbonato é gerado a partir de um CO_2 do fluido extracelular pela atividade de diversas isoformas solúveis de anidrase carbônica ligadas à membrana, embora a contribuição relativa de cada uma dessas enzimas ainda não esteja bem definida (Kiela; Ghishan, 2009).

O H^+ é secretado no lúmen tubular pelo mecanismo de contracorrente com Na^+ . O Na^+ é transportado via transporte ativo no fluido intersticial. A neutralidade elétrica é mantida pelos movimentos simultâneos do Na^+ tubular nos fluidos intersticiais com o HCO_3^- . Deve-se notar que o HCO_3^- reabsorvido para os fluidos intersticiais não é o mesmo HCO_3^- como no fluido tubular (Reece, 2017).

Os rins podem ajustar a excreção de H^+ para compensar trocas em ambos os ácidos, carbônico e não-carbônico. Quando a concentração de H^+ está elevada durante a acidose, íons H^+ são secretados além do normal. Ao mesmo tempo, menos HCO_3^- é filtrado, porque mais HCO_3^- do plasma é usado para tamponar o excesso de H^+ no fluido extracelular. Essa inequidade maior do que o normal entre HCO_3^- filtrado e H^+ secretado tem duas consequências. A primeira, mais do H^+ filtrado é excretado na urina, pois mais íons H^+ estão entrando no fluido tubular ao mesmo tempo em que menos são necessários para reabsorver as quantidades reduzidas de HCO_3^- filtrado. Nesse sentido, o H^+ extra é eliminado a partir do corpo, tornando a urina mais ácida do que o normal. A segunda, devido à excreção de H^+ ser ligada com a adição de novo HCO_3^- no plasma, mais HCO_3^- que o usual entra no plasma passando através dos rins. Esse HCO_3^- adicional está disponível para tamponar o excesso de H^+ presente no corpo (Sherwood et al., 2013).

Em situação oposta, de alcalose, a taxa de secreção de H^+ diminui, enquanto a taxa de filtração de HCO_3^- aumenta se comparada ao normal. Quando a concentração de H^+ no plasma cai abaixo do normal, uma menor proporção do pool de HCO_3^- é ligada ao tamponamento de H^+ , então a concentração de HCO_3^- é elevada acima do normal. Como resultado, a taxa de filtração de HCO_3^- aumenta correspondentemente. Nem todo HCO_3^- filtrado é reabsorvido, pois esses íons estão em excesso quando comparados aos íons H^+ secretados no fluido tubular, e o HCO_3^- não pode ser reabsorvido sem primeiro reagir com o H^+ (Sherwood et al., 2013). O excesso de HCO_3^- é deixado no fluido tubular para ser excretado na urina, reduzindo, então, a concentração de HCO_3^- no plasma e tornando a urina alcalina. Por outro lado, células intercaladas tipo B agem durante a alcalose, diminuindo ainda mais o excesso de carga de HCO_3^- no corpo por secretarem HCO_3^- na urina. O bicarbonato não pode tamponar o H^+ urinário como faz no fluido extracelular, porque o HCO_3^- não é excretado na urina simultaneamente ao H^+ . Existem, portanto, dois tampões urinários críticos: 1) tampão fosfato e 2) amônia secretada (mais importante):

- Tampão fosfato urinário: normalmente, o H^+ secretado é o primeiro tamponado pelo sistema tampão fosfato, o qual está no fluido tubular devido ao excesso de fosfato ingerido que foi filtrado, mas não reabsorvido. A forma básica do fosfato, HPO_4^{2-} , liga-se ao H^+ secretado. O fosfato está presente no fluido tubular em virtude de excesso dietético e não por causa de algum mecanismo deliberado para tamponar o H^+ secretado.

- A amônia durante acidose serve para tamponar o excesso de H^+ no fluido tubular, então grandes quantidades de H^+ podem ser secretadas na urina antes da queda do pH a um valor limitante de 4,5. A taxa de secreção de NH_3 é relacionada à quantidade de H^+ em excesso para ser transportado na urina (Sherwood et al., 2013).

O Na é o principal eletrólito osmoticamente ativo no plasma e na urina. É ativamente absorvido no intestino e carregado para os rins, onde pode ser reabsorvido no plasma ou secretado pelos túbulos renais e excretado na urina. Isso envolve um mecanismo de concentração renal que depende do tamanho e da orientação das alças de Henle (Sturkie, 1986). O soluto é ativamente transportado pelo ramo ascendente da alça de Henle; então se difunde no ramo descendente e é carregado para a medula renal, onde é mais concentrado.

A reabsorção de Na é essencial para a reabsorção de nutrientes, de cloro e de água, e para a regulação da osmolaridade e do volume do fluido extracelular. A reabsorção de Na⁺ é única e passiva-complexa em algumas seções do túbulo, mas ativa na maioria delas. De fato, 80% da exigência total de energia dos rins estima-se ser usada para o transporte de Na⁺, o que indica a importância desse processo (Sherwood et al., 2013).

O potássio é um constituinte inorgânico que é filtrado, reabsorvido e secretado. Seu nível no plasma é baixo e relativamente constante (4 a 5 mEq/L) e é mais alto na urina (5 a 25mEq/L), dependendo das condições de hidratação e de carga. O K⁺ é secretado nas aves, mas a uma taxa relativamente baixa (Orloff; Davidson, 1959). A taxa máxima de transporte para um rim varia de 60 a 85 µmoles/min para um frango de 2,0kg. Reduzindo a pCO₂, aumenta-se a excreção de K⁺, e aumentando a pCO₂, ela diminui (Sturkie, 1986).

A concentração de K⁺ intracelular é normalmente alta, aproximadamente 140mEq/L. Por outro lado, sua concentração extracelular é normalmente baixa, cerca de 5mEq/L, como citado acima. Dessa forma, o principal cátion intracelular é o K⁺, e, portanto, é o primeiramente responsável pela manutenção da neutralidade elétrica. O potássio é importante no balanço ácido-base em, por exemplo, quadros de alcalemia, pois os íons H⁺ deixam as células, entrando no fluido extracelular, em troca de íons K⁺ que se tornam intracelulares. A troca de íons H⁺ pelos íons K⁺ leva à hipocalcemia (Reece, 2017).

Em aves poederias, no período em que o Ca está sendo depositado na casca do ovo, por exemplo, o pH da urina é ácido (aproximadamente 5,3). Já quando o ovo é posto ou nenhum Ca está sendo depositado, o pH é alcalino (aproximadamente 7,6) (Anderson, 1967; Prashad; Edwards, 1973). Isso ocorre porque a produção de Ca⁺⁺ para a casca resulta em um excesso de íons H⁺, os quais são tamponados no sangue, e existe uma queda no bicarbonato sanguíneo e no pH. Essa queda também ocorre na urina, e a maior parte do bicarbonato é absorvido (Sturkie, 1986).

3 HIPÓTESES E OBJETIVOS

As hipóteses que conduziram essa pesquisa foram as seguintes:

- A equação de balanço eletrolítico de Mongin é pouco eficiente quando utilizada em situações de termoneutralidade pelo uso de apenas três elementos como sendo os influenciadores desse metabolismo.
- O balanço eletrolítico completo, o qual considera a inclusão de cátions e de ânions de forma adicional aos utilizados usualmente, tem melhor ajuste que o balanço eletrolítico segundo a equação de Mongin.
- O NaHCO_3 por si só representa um maior efeito atribuído ao balanço eletrolítico pelo papel desempenhado pelo íon bicarbonato.
- CaCO_3 e NaHSO_4 representam efeito significativo atribuído ao balanço eletrolítico pelos efeitos alcalinizantes do carbonato e pelo efeito acidogênico do sulfato.
- A proposta de balanço eletrolítico pela equação “ad hoc” $\text{Na}^+ + \text{K}^+ + \text{Mg}^{2+} + \text{CO}_3^- - \text{Cl}^- - \text{P}^- - \text{S}^-$, que propõe a substituição do Ca pelo CO_3 na soma de cátions, pode explicar e segregar melhor os efeitos dos diferentes elementos que afetam o balanço eletrolítico e ácido-base em frangos.
- Os sais, suas proporções e os diferentes balanços eletrolíticos dietéticos afetam significativamente o desempenho das aves.

Os objetivos do presente estudo estão listados a seguir:

- Analisar como dietas com balanço eletrolítico calculado pelo número de Mongin e pelo balanço eletrolítico completo alteram o nível de Na no sangue pela inclusão na forma de NaHCO_3 ou de NaHSO_4 .
- Desenvolver uma revisão sistemática para compreender como o equilíbrio eletrolítico é representado pela equação de Mongin em condições de termoneutralidade.
- Realizar um estudo prático experimental avaliando desempenho, características de cama aviária e excretas e hemogasometria de frangos de corte com fins de validação dos achados na revisão sistemática.

- Determinar como a inclusão de CO_3 pelos diferentes níveis de participação de CaCO_3 influencia o equilíbrio ácido-base de frangos de corte.
- Avaliar o uso de NaHSO_4 como suplemento mineral sobre o equilíbrio ácido-base de frangos de corte.
- Analisar a aplicabilidade da equação “ad hoc” $\text{Na}^+ + \text{K}^+ + \text{Mg}^{2+} + \text{CO}_3^- - \text{Cl}^- - \text{P}^- - \text{S}^-$ para fins de melhor compreensão dos efeitos dos íons sobre o metabolismo ácido-base de frangos de corte.
- Avaliar como os diferentes sais utilizados, assim como as inclusões dos minerais, afetam o desempenho e as variáveis hemogasométricas das aves.

CAPÍTULO II¹

¹Este capítulo é apresentado conforme as normas de publicação da revista Poultry Science.

Comparative analysis of electrolyte balance models applied to blood variables and growth performance of broilers

Santos A.B.*, Kessler A.M.*¹

*Departamento de Zootecnia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. 91540-00

¹Endereço email: akessler@ufrgs.br

Abstract: A survey of publications about dietary electrolyte balance in broilers was carried out. The database was composed of 35 papers published between 1985 and 2015 with 422 treatments and more than 23,000 broiler chickens used. In this database, the data related to the nutritional composition of the experimental diets were recalculated, as well as electrolyte balances (DEB) (Na+K-Cl), (Na+K+Ca+Mg-Cl-P-S) and (Na+K+Mg+CO₃-Cl-P-S). In addition, the sum of ions, anions, cations and carbonate plus bicarbonate was calculated again. The physiological variables analyzed in the created database were related to blood variables such as pH, bicarbonate ions concentration and partial pressure of carbon dioxide (pCO₂). These characteristics are relatively constant, allowing the detection of existing variations. Performance data was also analysed, but variation among publications was relatively high. Data of birds under heat stress were not used. Polynomial and multiple regression was performed for blood variables, and variance/covariance was used for performance data. The DEB of Mongin (Na+K-Cl) did not affect blood pH, whereas the complete balance (Na+K+Ca+Mg-Cl-P-S) showed a positive quadratic relationship ($P < 0,001$). Dietary levels of several minerals significantly affected this response, as Mg (positive quadratic), Ca and Cl (negative linear), and P and S (negative quadratic). The pCO₂ showed a positive linear relationship with DEB (Na+K-Cl) and the complete balance (Na+K+Ca+Mg-Cl-P-S). All the studied minerals, excepting S, significantly affected pCO₂. The DEB did not affect HCO₃ concentration in the blood but showed a negative linear relationship with the dietary concentration of Cl alone. The growth performance evaluation showed no significant effect of DEB (Na+K-Cl) on weight gain, feed intake and feed conversion ratio. Weight gain was linearly improved by increasing the complete balance (Na+K+Ca+Mg-Cl-PS) and Na level in diets and had a negative linear relationship with dietary levels of P and S. The obtained results strongly indicate that DEB (Na+K-Cl) has a low predictive power on the analyzed responses. In contrast, other cations (Ca and Mg) and anions (P and S) showed important effects.

Keywords: electrolyte balance proposal, blood parameters, broiler performance, carbonate salt

Introduction

The acid-base or electrolyte balance is crucial for the homeostasis of the organism and consists of precise regulation of free H^+ ions in bodily fluids. Part of this regulation is associated with the ingestion and excretion of electrolytes by animals. Therefore, the electrolyte balance consists of the difference between the main diet cations and anions and represents the metabolic dietary acidogenicity or alkalinity (Butcher and Miles, 1994). Since the 1980s, Mongin (1981) equation is commonly used to define an electrolyte balance for poultry diets. In this equation, two monovalent cations and a monovalent anion were used, although Mongin (1981) initially included Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , Cl^- , PO_4^- SO_4^- , which would have the potential to influence the acid-base balance in birds. However, some elements were being excluded for several reasons, reducing the equation to $Na^+ + K^+ - Cl^-$, expressed in milliequivalents (mEq) per kilo of the diet. According to Mongin, the excellent electrolyte balance required by broiler chickens was defined as approximately 250mEq/kg (Borges et al., 2007). Since then, this equation has been frequently used, though several authors still argue this reduced form.

Imbalances among Na, K and Cl directly affect acid-base balance with consequences on many metabolic functions that may affect the performance of broilers. Araújo et al. (2011) reported that other authors stated that there is a higher number of elements involved in this balance, such as Ca and Mg cations and the biological forms of S, SO_4 and PO_4 , as well as some amino acids, as methionine and cysteine. Thus, they should be considered in a reassessment of Mongin's equation. Additionally, the usual form of raising the electrolyte balance is increasing the dietary levels of Na and K in the bicarbonate form ($NaHCO_3$ and $KHCO_3$). In this case, the bicarbonate ion is the blood buffer and is indirectly responsible for Na and K effects.

Calcium participates in the diet mineral composition and it is considered an alkalizing cation, increasing, for example, urine pH as it alters the electrolyte balance (Dibartola, 2006). Calcium carbonate ($CaCO_3$) is considered a strong dietetic base (Kienzle et al., 1991); however other Ca chemical forms such as calcium sulfate present the cation-anion balance close to zero but may have effects on the base-acid status on animals.

Mg and P have their metabolism closely connected to Ca. Therefore, different dietary acid-base balance levels also influence their metabolisms. Taking that into account, Nelson et al. (1981) affirm that alternating the dietary cation-anion relationship by adding Mg or P also influences bird performance. In this way, it is possible to observe a close interaction between P and Mg (Ding et al., 1992).

Additionally, CANH et al. (1998) investigated the effects of calcium sulfate (CaSO_4), CaCl_2 , CaCO_3 and calcium benzoate ($\text{C}_{14}\text{H}_{10}\text{CaO}_4$) in diets of finishing swine. The authors observed that CaSO_4 in two dosages (7 and 10g Ca/kg) acidified urine, and the higher dosage led to increased acidification. The result was similar for acidification of urine caused by ingestion of diets containing CaCl_2 . The authors explain that the Cl and SO_4 anions have a higher absorption rate in the intestines than Ca. Conversely, the Ca is kept in the body, especially in bones (Kemmer-Kroonsberg, 1993), and has lower urine excretion and blood circulation (Guyton and Hall, 2011).

Including again the elements not considered by Mongin, such as bivalent cations and anions (EBCComplete = Na+K+Mg+Ca-Cl-P-S), seems to be essential as there is scientific evidence that identifies the influence of these elements in the acid-base balance. As a complement, aiming at seeking broader comprehension of the roles of all ions involved in the dietary electrolyte balance, a new proposal has been outlined in this paper: the electrolyte balance equation including the carbonate replacing the Ca. This model, EBCO₃ (Na+K+Mg+CO₃-Cl-P-S), suggests including carbonate ion in the sum of cation influencing the acid-base balance in substitution to the Ca cation. By analyzing papers including salts with associated carbonates (Patience et al., 1987; Gorman and Balnave, 1994), it is possible to identify responses that were associated with the used cations levels (Ca, Na, Mg e K). However, the possible effects of carbonate were not included and are, therefore, not associated with it. In this sense, this proposal suggests a differentiated look at the salts with associated carbonate with the additional benefit of not computing the high cationic value of Ca in the sum of the EBCComplete when CaCl_2 is used, for example, once it has a strong anionic effect.

Thus, the objective of this paper was to review and analyze the literature on this topic from the analysis of joint data and propose a broader view about the determination of electrolyte balance. It was used alternative calculations of this balance and included other parameters at the broiler diets, aiming to establishing a model that may be better adjusted to the participation and influence of the ions present in feeds.

Materials and Methods

The resources used were selecting and analyzing articles on electrolyte balance, the use of different salts and their combination in broiler diets. The survey on the scientific papers originated a database whose criteria for selection were: a) the experimental animals were broiler chickens; b) electrolyte balance or related parameters analysis (complete nutritional composition); c) use of different dietary salts and their proportions; and d) complete composition of experimental diets. The keywords for research were: electrolyte balance, acid-base metabolism, broiler chickens, blood gas analysis, performance broilers in the periodicals *Acta Scientiarum Animal Sciences*; *Arquivos Brasileiros de Medicina Veterinária e Zootecnia*; *Poultry Science*; *Journal of Nutrition*; *World's Poultry Science Association*; *Animal Feed Science and Technology*; *British Poultry Science*; *Brazilian Journal of Poultry Science*.

The database was composed by a total of 35 articles published between 1985 and 2015. Data of birds under heat stress as well as papers with purified diets were not used. Only papers with clearly described diet data were included, with or without calculated electrolyte balances. The studies comprehended more than 23,000 broiler chickens. The ages were concentrated on the growth phase, including or not finishing. From the article selection, the information related to the composition of electrolyte balance was extracted from the materials and methods and results sections in the original publications and transferred to the digital database. Fifteen papers reported electrolyte or balance levels chemically analyzed, whereas twenty presented these values calculated from the pure salts used in the diets. When the information on electrolyte levels lacked in the paper, the data related to the nutritional composition of the experimental diets were recalculated, as well as the electrolyte balance of Mongin and the proposals in this article. In this case, as information sources for the used feedstuffs nutritional composition, bases such as FEDNA (2010), NRC (1994), NRC (2012), Rostagno et al. (2017) were used.

An amount of 422 treatments were considered in the analysis. Twelve salts were identified as the most used treatments in the selected articles: CaCO_3 , NaHCO_3 , CaHPO_4 ($\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), NaCl , NH_4Cl , KHCO_3 , KCl , $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, Na_2SO_4 , K_2SO_4 and Na_2CO_3 . The use of corn and soybean meal as the basic ingredients of experimental diets prevailed.

As an initial reference, it was calculated the electrolyte balance proposed by Mongin (1981) ($\text{EB}_{\text{Mongin}} = \text{Na} + \text{K} - \text{Cl}$, mEq/kg). The proposed alternatives are, firstly, the equation here called “complete” ($\text{EB}_{\text{Complete}} = \text{Na} + \text{K} + \text{Mg} + \text{Ca} - \text{Cl} - \text{P} - \text{S}$, mEq/kg) and, secondly, a new equation called “alternative” (EB_{CO_3}), whose difference consists in the addition of carbonate ion among the cations and the exclusion of bivalent cation Ca^{++} ($\text{Na} + \text{K} + \text{Mg} + \text{CO}_3 - \text{Cl} - \text{P} - \text{S}$, mEq/kg). In addition, the sum of ions, anions, cations and carbonate plus bicarbonate is also proposed in mEq/kg.

In each of the 422 treatments, Na, K, Ca, Mg, Cl, P and S, CO_3^{2-} and HCO_3^- mEq/kg values were calculated. From them, it was estimated the three electrolyte balance values: EBMongin, EBComplete and EBCO₃, ions total sum (Na+K+Ca+Mg+Cl+P+S), cations sum (Na+K+Ca+Mg), anions sum (Cl+P+S) and $\text{CO}_3^{2-}+\text{HCO}_3^-$ also in mEq/kg of diet.

The variables analyzed were mainly related to blood parameters such as pH, bicarbonate ions concentration and partial pressure of carbon dioxide as these characteristics are relatively constant even at different ages of broilers, allowing the detection of existing variations. Performance data was also analyzed, but it was much more variable.

The descriptive statistics of studied variables of the database and used on analysis are shown in Table 1. Weight gain (WG), feed intake (FI) and feed conversion (FC) results of the birds were analyzed in every phase. In order to analyze the blood characteristics data, 12 articles were used: Johnson and Karunajeewa (1985), Kim et al. (1989), Ruíz-Lopéz and Austic (1993), Borges et al. (2003a,b), Borges et al. (2004), Mushtaq et al. (2005), Ahmad et al. (2005), Ahmad et al. (2008), Ahmad et al. (2009) Saedi and Khajali (2010), and Mushtaq et al. (2013).

For the analysis of WG and FI, 25 articles were used: Johnson and Karunajeewa (1985), Kim et al. (1989), Balnave and Oliva (1991), Gorman and Balnave (1994), Salvador et al. (1999), Oviedo-Rondón et al. (2001), Borges et al. (2003a,b), Shabbaz et al. (2004), Borges et al. (2004), Maiorka et al. (2004), Moghaddam et al. (2005), Ahmad et al. (2005), Ravindran et al. (2008), Ahmad et al. (2008), El- Deek et al. (2010), Koreleski et al. (2010), Jankowski et al. (2011), Leal et al. (2011), Koreleski et al. (2011a,b), Shafey et al. (2011), Arantes et al. (2013), Mushtaq et al. (2013), and Gamba et al. (2015).

In order to analyze the FC, 32 articles were used: Johnson and Karunajeewa (1985), Kim et al. (1989), Balnave and Oliva (1991), Belay and Teeter (1993), Gorman and Balnave (1994), Salvador et al. (1999), Oviedo-Rondón et al. (2001), Borges et al. (2003b), Borges et al. (2003c), Shahbaz et al. (2004), Borges et al. (2004), Maiorka et al. (2004), Moghaddam et al. (2005), Mushtaq et al. (2005), Ahmad et al. (2005), Oliveira et al. (2006), Ahmad et al. (2008), Ravindran et al. (2008), Ahmad et al. (2009), El-Deek et al. (2010), Oliveira et al. (2010), Koreleski et al. (2010), Saedi and Khajali (2010), Jankowski et al. (2011), Vieites et al. (2011), Leal et al. (2011), Koreleski et al. (2011a,b), Shafey et al. (2011), Arantes et al. (2013), Mushtaq et al. (2014), and Gamba et al. (2015).

Statistical analysis. The assessment of experimental treatments means was started with graphical analysis using the digital database (in order to assess the quality of the database and verify the consistency of the proposed models). Afterward, polynomial and multiple regressions analysis were performed, followed by variance and covariance (GLM procedure) using StatGraphics Plus for Windows 4.1 software (Manugistics, 1997). Blood parameters data were less variable among experiments, and polynomial and multiple regressions analysis were quite successful. ANOVA with polynomial regression was performed with each electrolyte balance or sum and each individual mineral as independent variables. Multiple regression was performed with all the seven minerals as independent variables initially, and non-significant effects (minerals) were removed by stepwise backward selection. Performance data (WG, FI and FC) were highly variable among experiments, and the most straightforward and efficient model was to include each experiment as a categorical factor. Each electrolyte balance or sum was tested as a quantitative factor in variance/covariance analysis using the GLM module of StatGraphics Plus for Windows 4.1 software (Manugistics, 1997). Also, significative combinations of all the seven minerals were also tested using the same variance/covariance model.

Results and discussion

The electrolyte balance is associated with blood pH, gas pressure and HCO_3 concentration (Ahmad and Sarwar, 2006). Some blood parameters and their relationship are presented in Table 2 according to electrolyte balance models (EBMongin, EBComplete and EBCO_3), ions total sum, anions sum, cations sum, carbonate and bicarbonate sum, and the dietary minerals in mEq/kg.

Regression analysis showed that blood pH was not influenced ($P > 0.05$) by the variables EBMongin, $\text{CO}_3 + \text{HCO}_3$, K and Na. The pH presented a positive quadratic relationship ($\text{pH} = 7.23578 + 0.00053422 * \text{EBComplete} - 8.56654 \times 10^{-7} * \text{EBComplete}^2$; $P < 0.001$; $R^2 = 29.0\%$) with the EBComplete and linear decrescent relations with the ions sum ($\text{pH} = 7.50272 - 0.000125818 * \text{Ions sum}$; $P < 0.0001$; $R^2 = 29.3\%$) and the anions sum ($\text{pH} = 7.59953 - 0.00435115 * \text{Anions sum}$; $P < 0.001$; $R^2 = 49.9\%$) (Table 2). The anions sum, represented here by the sum of P, S and Cl dietary levels, promotes the reduction of the blood pH inducing metabolic acidosis in birds. This sum strongly affected the blood pH and the three anions which compose it presented high R^2 (P = 57.97%, S = 33.5% e Cl = 16.92%) when individually tested (Table 2).

The influence of anions other than the Cl is highlighted on the acid-base balance in broiler chickens, justifying its inclusion in the electrolyte balance equations. The anions formed by these elements are highly soluble and retain a higher concentration of H⁺ in the blood, decreasing the pH. As for the S, it has already been reported that the increase of SO₄ anion in the diet reduces chicken growth, although it keeps the cations content constant (Leach et al., 1960). Sauveur and Mongin (1974) also denoted that the metabolic acidosis caused by excessive Cl ingestion resulted in reduced growth that may be overcome by dietary supplementation with Na and K. Likewise, it can also be expected that the damaging effect of excessive dietary cations (Na and K) may be mitigated by the increase on the Cl dietary content. Thus, the concept of electrolyte balance as described by Sauver and Mongin (1974) may only be validated within narrow dietary Cl (Adekunmisi and Robbins, 1987). In this sense, Halfen et al. (2018b), working with CaSO₄ as a source of S in the diet of adult cats, detected acidification of urine with S. The greater was the acidification of urine, the greater was the dose of CaSO₄ used, proving the effect of the S anions on pH.

On the other hand, Patience et al. (1987) indicated that metabolizable anions like bicarbonate, carbonate and acetate influence the acid-base balance as they neutralize acids and increase blood pH, corroborating with the proposed EBCO₃ equation, which showed a positive linear effect ($\text{pH} = 7.2918 + 0.00020143 \cdot \text{EBCO}_3$; $P < 0.0003$; $R^2 = 18.5\%$) on blood pH. Gorman and Balnave (1994) demonstrated this in a study in which the weight gain of stressed chickens by heat, associated with Na₂CO₃ and NaHCO₃, was significantly different in diets with identical dietary electrolyte balance. It was concluded that certain environmental conditions could lead to different metabolic demands of HCO₃ ion.

Gorman and Balnave (1994) mentioned that these findings raise doubts about using only Na, K and Cl on the dietary electrolyte balance equation by Mongin (1981). In this study, the sum of CO₃+HCO₃ was not significant ($P < 0.05$) to pH and pCO₂, but it was to the concentration of HCO₃ in the blood ($P < 0.035$) (Table 2). Concerning the composition of minerals in the diet, Na and K did not present significant effect on blood pH, but Mg and Ca did, as well as P and S.

In Table 2, it is possible to observe that ions that most influenced the blood pH were Mg (pH = $5.62842 + 0.0237008 \cdot \text{Mg} - 0.0000784875 \cdot \text{Mg}^2$; $P < 0.0001$; $R^2 = 55.92\%$), P (pH = $8.39468 - 0.00372482 \cdot \text{P} + 0.0000027516 \cdot \text{P}^2$; $P < 0.0001$; $R^2 = 57.97\%$) and S (pH = $8.0397 - 0.00870633 \cdot \text{S} + 0.000022036 \cdot \text{S}^2$; $P < 0.0001$; $R^2 = 33.5\%$), presenting quadratic relationships (Mg positive, and P and S negatives). According to Mongin (1981), the ions which are essential to the maintenance of the acid-base balance are Na, K and CL, disregarding, however, their ingestion method. Even though this analysis evidenced that the metabolizable anions with P or S influence the acid-base balance in broilers.

Cations possess alkalinogenic effects on blood pH and are opposed to anions that are acidogenic, as shown in the relationships above mentioned of Mg, P and S and their effects on pH. Mg and P have their metabolism linked to the Ca one. Therefore, different levels of dietary acid-base balance also influence the metabolism of these minerals. Nelson et al. (1981) demonstrated that changing the cation:anion ratio of the diet by adding Mg or P influences the performance of birds. O'Dell et al. (1956) showed that the growth rate in guinea pigs decreased when they were fed with high P levels, and the decrease in growth was neutralized by the combination of Na, K and Mg. According to Melliere and Forbes (1966), this is probably caused by an excess of phosphate ions neutralized in the renal tubules by Na or K cations. In contrast, Mg reduces the phosphate ions absorption by the intestines.

Ca and Cl also presented a negative linear relationship ($P < 0.001$) with blood pH. Consequently, there is a reduction in the pH given by the increase in the dietary Ca and Cl concentrations. The Ca probably exerts such influence on pH as it was included in the experimental diets, considering the electrolyte balance, mainly through CaCl_2 , which due to the presence of Cl, holds acidogenic characteristics. Feeds formulated with high levels of Cl (NH_4Cl , HCl, NaCl and CaCl_2) reduce blood pH in broilers, hindering their growth in thermoneutrality conditions. This happens due to high concentrations of Cl^- reducing H^+ excretion and reducing HCO_3^- ions reabsorption by the kidneys, causing anion accumulation and acidifying the blood. Regarding the dietary Ca, there is a relationship between Ca and its associated anion on the acid-base balance. Halfen et al. (2018a), working with cats, showed that the addition of CaCO_3 increased urine pH, unlike CaCl_2 , which acidified the urine. The acidifying effect of CaCl_2 happens since Ca is less absorbed than Cl, and the urine excretion of Cl reduces HCO_3^- excretion and increases ammonia, acidifying urine pH (Pastoor et al. 1994).

Changes in cell pH are occasionally followed by changes in blood and urine pH (McDonald et al., 2010). This way, the primary effects of acid-base imbalance are usually indicated by blood pH description and respiratory ($p\text{CO}_2^-$) and metabolic (HCO_3^-) components, as demonstrated by Meyer et al. (1995). Ca is part of the diet mineral composition, and it is considered a cation of alkalinizing power, increasing, for instance, urine pH as it alters the electrolyte balance (Dibartola, 2006). CaCO_3 is considered a dietary base (Kienzle et al., 1991); however, other chemical forms of Ca, as the CaSO_4 , which are acidifying (Halfen et al., 2018b), also present cation-anion balance close to zero and may have opposing effects on the acid-base status in animals. In this sense, there will be an acidifying effect on the diet by using CaCl_2 due to the presence of Cl. At the same time, the diet will be alkalinized by the effect of the carbonate when CaCO_3 is used, once the presence of Ca seems to act more as blood buffering than alkalinizing and moreover, Ca is probably less excreted via urine. Salgueiro et al. (2014), evaluating the Ca digestibility of ingredients for swine, found no Ca values in the analyzed urine samples. Bindels (1993), cited by Salgueiro et al. (2014), affirms that approximately 98% of the filtered Ca is reabsorbed throughout the whole nephron in mammals, thus, tiny amounts are excreted via urine. It is believed that the same can occur with birds. However, how the electrolyte balance is calculated influences the interpretations of the results obtained.

The results of multiple regressions performed between the variables pH, $p\text{CO}_2$, HCO_3 and the dietary minerals are presented in Figures 1 to 3. In Figure 1, it is possible to observe a combined negative effect of the minerals Cl and P on blood pH as the increase in the concentration of these anions promotes a reduction in the pH of the blood. This effect has already been mentioned and discussed before, so the multiple regression analysis proves what the literature shows, as well as the results demonstrated in Table 2.

The $p\text{CO}_2$ (mmHg) presented positive linear relationship with the EBMongin ($p\text{CO}_2 = 34.1885 + 0.0611929 \cdot \text{EBMongin}$; $P < 0.001$; $R^2 = 39.37\%$), EBComplete ($p\text{CO}_2 = 37.0425 + 0.0409667 \cdot \text{EBComplete}$; $P < 0.0001$; $R^2 = 46.6\%$), total ions ($p\text{CO}_2 = -0.213912 + 0.0266445 \cdot \text{total ions}$; $P < 0.0001$; $R^2 = 46.6\%$) and cations sum ($p\text{CO}_2 = 8.55541 + 0.0384685 \cdot \text{cations sum}$; $P < 0.0001$; $R^2 = 55.8\%$). The total ions sum was positively influenced by the cations sum, which in this study is composed of K, Mg, Na and Ca ions and had individually good statistical relationships (R^2) with blood $p\text{CO}_2$ (Table 2). Therefore, it is possible to infer that these minerals played a cation exchange role and influenced the carbonate retention in the blood.

Similarly to the response of blood pH, the minerals Mg ($p\text{CO}_2 = 28.5212 + 0.0720684*\text{Mg} + 0.00549816*\text{Mg}^2$; $P<0.0001$; $R^2=71.72\%$) and P ($p\text{CO}_2 = -40.673 + 0.269929*\text{P} - 0.000166164*\text{P}^2$; $P<0.0001$; $R^2=61.4\%$) presented great effect to blood $p\text{CO}_2$ in a positive quadratic relationship. K, had a positive quadratic influence ($p\text{CO}_2 = -17.0192 + 0.43481*\text{K} - 0.000514402*\text{K}^2$; $P<0.0001$; $R^2=37.17\%$) as well, whereas Ca ($p\text{CO}_2 = 22.5694 + 0.0424773*\text{Ca}$; $P<0.0001$) and Na ($p\text{CO}_2 = 34.2885 + 0.0915515*\text{Na}$; $P<0.0001$; $R^2=23.8\%$) presented crescent linear relationship. These results are significant for this subject, as it is known that low blood $p\text{CO}_2$ is harmful to the acid-base balance, representing a respiratory alkalosis framework, more common in birds under thermal stress. It is concluded that the dietary manipulation of the minerals mentioned above can help to maintain the blood CO_2 concentration compatible with the good development and production of broilers. Olanrewajuet al. (2007) and Ahmad et al. (2009) observed reduction on $p\text{CO}_2$ in high values of dietary electrolyte balance, 241mEq/kg and 350mEq/kg, respectively, and in both publications these electrolyte balances were obtained showing high NaHCO_3 inclusion.

Nevertheless, it is worth highlighting that are indications on the Mg results that there may have been some overlap between the dietary levels of Mg and the experiment effect, once the differences on the Mg levels were more related to the different experiments than the variations within the experiments. In Figure 2, it is presented the model of the $p\text{CO}_2$ (mm Hg) relationship with Mg and P with positive effects on this variable. Thus, they influence the concentration of blood CO_2 in a way that the concentration of CO_2 is crescent under increasing dietary Mg and P concentration.

The concentration of blood HCO_3 (mEq/L) presented significant effect with the concentration of dietary Cl ($\text{HCO}_3 = 27.2207 - 0.0338963*\text{Cl}$; $P<0.0005$; $R^2=16.5\%$) in negative linear relationship, and with the model EBCO₃ ($\text{HCO}_3 = 24.028 + 0.00449707*\text{EBCO}_3$; $P<0.035$; $R^2=6.5\%$), which is linear positive. The relationship between HCO_3 and Cl corroborates the results obtained by Riley and Austic (1984) that by analyzing the influence of the dietary electrolytes on the pH of the digestive system and the acid-base status in broilers obtained HCO_3 reduction by increasing the Cl in the feeds.

According to Austic (1994), the excess of Cl in the diet reduces the blood pH and the concentration of ions of HCO_3 unless equivalent concentrations of Na or K balance the Cl. On the other hand, it would be expected that the sum CO_3+HCO_3 or the levels of Na and K had a positive relationship with blood HCO_3 . However, these variables do not present significant relationships ($P>0.05$). Several researchers have observed significant changes in pH and in the concentration of blood HCO_3 when the electrolyte balance is altered. Cohen et al. (1972) found a significant reduction in pH and pCO_2 and in the concentration of HCO_3 when amounts of dietary Na and Cl were altered seeking to provide a low relationship $(\text{Na}^+ + \text{K}^+)/\text{Cl}^-$. Cohen and Hurwitz (1974) observed an increase in pH and HCO_3 with supplementation of Na or K and reduction of the same parameters with excessive dietary Cl.

Hamilton and Thompson (1980) showed equal effects about the same blood parameters when there was manipulation of the dietary relationship $(\text{Na}^+ + \text{K}^+)/\text{Cl}^-$ through the use of different amounts of the salts NaCl, NaHCO_3 and $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Riley and Austic (1984) obtained an increase in the dietary Cl by substituting CaCO_3 for $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, whereas the level of dietary Ca was kept constant. The authors did not specify if the reduction on the variables of acid-base status resulted from the excess of Cl in the diet or the reduction of CO_3 .

It is probable that, in Riley and Austic's (1984) work, the effect on the pH reduction, even though it had not been significant, associated with the reduction of pCO_2 and the HCO_3 ion concentration, presented this result given the CO_3 reduction in the diet. Besides, the increase of the Cl anion, as the metabolic pathways of Ca itself, indicates that its role could be as buffer in the blood and non-alkalinizing in itself. Although many researchers had already reported a significant reduction in blood pH in birds, Riley and Austic (1984) affirm in their study that the birds seem to compensate for their acidosis status. The authors expose that the lower HCO_3 concentration on the blood and the excess of bases reflected on the buffering of acidity, and the reduction of pCO_2 reflected the compensation to the acidosis. In Figure 3, it is presented the model of the relationship of the HCO_3 (mEq/L) concentration in the blood with the minerals Ca, Cl, P, which are positive with Ca and negative with Cl and P. These results agree with Riley and Austic (1984), who also observed reduction in the blood HCO_3 with the increase of the dietary Cl.

The results of WG, FI and FC are presented in Table 3 and related to the electrolyte balances, ions sum, anions sum, cations sum and sum of CO_3+HCO_3 . The effect of the experiment was highly significant to all the analyses related to the WG, FI and FC, representing the greater part of the variation (R^2). Although the variability among experiments was high, some significant effects were detected about the quantitative variables tested.

The WG and FI were affected in a similar pattern by the dietary ions balances and sums. There was no significant effect on the WG and FI of EBMongin and sum of $\text{CO}_3 + \text{HCO}_3$ (Table 3). The proposals EBCO_3 ($\text{WG} = 1025.1 + 0.543932 * \text{EBCO}_3$, $R^2 = 56.29\%$, $P < 0.001$; $\text{FI} = 1958.7 + 1.3363 * \text{EBCO}_3$, $R^2 = 55.93\%$, $P < 0.005$) and EBComplete ($\text{WG} = 756.837 + 0.97515 * \text{EBComplete}$, $R^2 = 57.36\%$; $P < 0.001$; $\text{FI} = 1231.93 + 2.6357 * \text{EBComplete}$, $R^2 = 58.01\%$; $P < 0.001$) were significant with positive linear effect on the WG and FI of broiler chickens. The anions sum ($\text{WG} = 2307.46 - 1.88706 * \text{anions sum}$, $R^2 = 58.49\%$, $P < 0.001$; $\text{FI} = 5201.1 - 4.7738 * \text{anions sum}$, $R^2 = 59.28\%$, $P < 0.001$) showed a negative linear relationship. Consequently, its increase led to a reduction in the performance of the chickens.

The total ions sum ($\text{WG} = 7715.7 - 6.6781 * \text{ions sum} + 0.00153787 * \text{ions sum}^2$, $R^2 = 55.48\%$, $P < 0.001$; $\text{FI} = 18575.9 - 16.646 * \text{ions sum} + 0.003854 * \text{ions sum}^2$, $R^2 = 61.99\%$, $P < 0.001$) and cations sum ($\text{WG} = 3908 - 5.25181 * \text{cations sum} + 0.00223847 * \text{cations sum}^2$, $R^2 = 57.97\%$, $P < 0.001$; $\text{FI} = 8942.9 - 12.920 * \text{cations sum} + 0.005618 * \text{cations sum}^2$, $R^2 = 58.58\%$, $P < 0.001$) showed a negative quadratic relationship. The total sum of electrolytes in the feed is fundamentally important as it directly influences on the regulation of the animal electrolytic balance (Butcher and Miles, 1994) and, therefore, on the performance of the birds. These negative relationships observed, as presented in Table 3, probably relate to the acidifying physiological effect of dietary anions, earlier related to the sum of anions and the total sum of anions. It may also be pondered that the more extreme treatments related to these sums used excessive levels of salts which could compromise the digestive and excretory efficiency of broiler chickens. These negative effects are seen primarily by a depressed feed intake followed by a reduction in weight gain.

For the minerals considered (Na, K, Mg, Ca, Cl, P and S), only Na, P and S had a significant effect on WG (Figure 4). Na, as demonstrated in the equation $\text{WG} = 2987.38 + (\text{experiment}) + 0.957391 * \text{Na} - 2.76672 * \text{P} - 5.79189 * \text{S}$ ($P < 0.001$; $R^2 = 61.8\%$), presented a positive linear relationship with the WG, as could be expected, whereas the anions P and S presented negative linear relationships. A similar pattern was found for FI, but including Ca (Figure 5): $\text{FI} = 5447.26 + (\text{experiment}) + 1.97876 * \text{Ca} + 2.11191 * \text{Na} - 6.48826 * \text{P} - 12.601 * \text{S}$ ($P < 0.001$; $R^2 = 64.4\%$). Na positive relationship with the performance of broilers was also observed by Balnave and Oliva (1993), Borges et al. (2004), Mushtaq et al. (2005), Ahmad et al. (2005), Ahmad et al. (2008), and Koreleski et al. (2010).

Karunajeewa et al. (1986), analyzing the effect of the concentration of dietary P and the electrolyte balance on the growth performance of the broilers, detected that during the finishing phase, the birds that were given feeds with a high concentration of dietary P (8.2 g/kg) gained less weight ($P < 0.05$). However, neither feed intake nor the intake:gain relationship were significantly affected. There was a significant interaction between the dietary organic P and the electrolyte balance on the weight gain of the birds. The reduction of the growth caused by high dietary inorganic P was mitigated by increasing the electrolyte balance from 250 to 300 mEq/kg in the diet, reducing the NaCl participation, and increasing NaHCO_3 and KCO_3 .

In the present results, P and S increasing dietary levels led the depressing effect in FI and WG, also seen in the linear depressing effect of dietary anions sum. Nesheim et al. (1964) obtained results of reduction on the growth rate of the birds under high values of dietary Cl, which were not identified in the present results. Similarly, Adekunmisi and Robbins (1987) observed that diets high on Cl, along with high Na and K values, reduced the growth of the broilers, as well as reduced the blood pH, HCO_3 concentration and the excess of bases. Leach et al. (1960) obtained a similar result for S since the increase in the dietary SO_4 content reduced broiler growth.

Concerning FC, there was no significant effect of EBMongin and $\text{CO}_3 + \text{HCO}_3$ sum (Table 3). The proposal EBComplete and EBCO_3 presented significant effect ($\text{FC} = 1.82623 + 0.000514781 * \text{EBComplete}$, $R^2 = 57.36\%$, $P < 0.001$) and ($\text{FC} = 1.96468 + 0.000432617 * \text{EBCO}_3$, $R^2 = 56.29\%$, $P < 0.0012$), respectively, and crescent linear relationships with the FC. Ahmad et al. (2005) obtained better performance on broiler chickens in WG, FC and feed consumption when the salts with CO_3 and HCO_3 were used, as well as Ahmad et al. (2008) on WG and FC, with crescent levels of NaHCO_3 and decrescent of NH_4Cl . The total ions sum ($\text{FC} = 6.32391 - 0.00426946 * \text{ions sum} + 9.49604e^{-7} * \text{ions sum}^2$, $R^2 = 64.3\%$, $P < 0.001$), anions sum ($\text{FC} = 4.14378 - 0.0045061 * \text{anions sum} + 0.000001845517 * \text{anions sum}^2$, $R^2 = 64.3\%$, $P < 0.001$) and cations sum ($\text{FC} = 3.84474 - 0.00321661 * \text{cations sum} + 0.00000124561 * \text{cations sum}^2$, $R^2 = 60.75\%$, $P < 0.001$) presented significant effects and negative quadratic relationships with the FC variable.

Concerning the dietary minerals and their influence on the FC of broiler chickens, from the seven minerals assessed, only Cl, P and S presented negative and significant effect ($R^2=63.97\%$) as the equation $FC = 3.17123 + (\text{experiment}) - 0.00128415 \cdot Cl - 0.00152436 \cdot P - 0.00293083 \cdot S$, $P < 0.001$, $R^2 = 63.9\%$ (Figure 6). Therefore, the crescent dietary levels of the three anions improved the FC of the broiler chickens. This result is somehow opposite to the one observed for the WG, depressed by increasing levels of P and S. Improved FC along with depressed WG is consistent with depressed feed intake, as affected by increasing ions sum, P and S levels.

This study aimed to identify dietary elements with ionic potential, as well as their combinations, which best corresponded with blood biochemistry and broiler performance variables, from a database obtained from publications. When considering blood variables (pH, pCO_2 and HCO_3^-), it was found that the well-established electrolytic balance of Mongin (Na+K-Cl) had little or no statistical influence on the responses, whereas complete balance (Na+K+Ca+Mg-Cl-P-) or the sum of ions, cations and anions showed very significant effects. In addition, the dietary levels of individual elements or their combinations were highly determinants in the pH and pCO_2 blood variations of chickens. In the weight gain of the broilers, the balance (Na+K-Cl) did not show any significant effect, while the balance (Na+K+Ca+Mg-Cl-P-S) showed a positive linear effect. Ion sums were negatively related to weight gain and feed intake, even improving feed conversion. The results obtained indicate that the balance (Na+K-Cl) has a low predictive power on the analyzed responses, while other cations (Ca and Mg) and anions (P and S) showed important effects. The equations obtained in this study are, on the other hand, highly “ad hoc”, only indicating and segregating the effects, and dependent on the limitations of this database. Obtaining an electrolyte balance or ion sum model with chemical and biological significance and adjusted to broiler responses will depend on further research in this area.

References

- Adekunmisi, A. and K. Robbins. 1986. Effects of dietary electrolyte balance on growth and metabolic acid-base status of chicks. *Nutr. res.* 7: 519-528.
- Ahmad, T. et al. 2005. Influence of varying sources of dietary electrolytes on the performance of broilers reared in a high temperature environment. *Anim. feed sci. technol.* 120: 277–298. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2005.02.028>

Ahmad, T. and M. Sarwar. 2006. Dietary electrolyte balance: Implications in heat stressed broilers. *World's poult. sci. j.* 62: 638-653. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0043933906001188>

Ahmad, T. et al. 2008. Effect of potassium chloride supplementation in drinking water on broiler performance under heat stress conditions. *Poult. Sci.* 87: 1276 -1280. DOI: 10.3382/ps.2007-00299.

Ahmad, T et al. 2009. Influence of varying dietary electrolyte balance on broiler performance under tropical summer conditions. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 93: 613-621. DOI: 10.1111/j.1439-0396.2008.00840.x.

Arantes, U.M. et al. 2013. Effect of different electrolyte balances in broiler diets. *Braz. J. Poult. Sci.* 15: 169-286.

Araújo, W.A.G. et al. 2011. Cálculo de balanço eletrolítico em dietas de frangos de corte. *Rev. Elet. Nutri.* 08: 1529-1539.

Balnave, D. and A. Oliva. 1991. The influence of sodium bicarbonate and sulfur amino acids on the performance of broilers at moderate and high temperatures. *Aust. j. Agric. Res.*, 42, 1385-97. <https://doi.org/10.1071/AR9911385>

Belay, T. and R. G. Teeter. 1993. Broiler water balance and thermobalance during thermoneutral and high ambient temperature exposure. *Poult. Sci.* 72: 116–124. <https://doi.org/10.3382/ps.0720116>

Bindels, R.J. 1993. Calcium handling by the mammalian kidney. *J. Exp. Biol.* 184: 89-104.

Borges, S. A. et al. 2003a. Dietary electrolyte balance for broiler chickens exposed to thermoneutral or heat-stress environments. *Poult. Sci.* 82: 428–435. DOI:10.1093/ps/82.3.428

Borges, S. A. et al. 2003b. Dietary electrolyte balance for broiler chickens under moderately high ambient temperatures and relative humidities. 2003 *Poult. Sci.* 82: 301–308. DOI: 10.1093/ps/82.2.301

Borges, S. A et al. 2004. Physiological responses of broiler chickens to heat stress and dietary electrolyte balance (sodium plus potassium minus chloride, milliequivalents per kilogram). *Poult. Sci.* 83: 1551–1558. DOI:10.1093/ps/83.9.1551

Borges, S.A.; A.V.F. Silva, and A. Maiorka. 2007. Acid-base balance in broilers. *World's poult. sci. j.* 63: 73-81.

Butcher, G.D. and R.D. Miles Jr. 1994. Origin of acids in animals. *Poult. digest.* 53.

Cohen, I. and S. Hurwitz. 1974. The response of blood ionic constituents and acid-base balance to dietary sodium, potassium and chloride in laying fowl. *Poult. Sci.* 53: 378-383.

Cohen, I., S. Hurwitz, and A. Bar, 1972. Acid-base balance and sodium-to-chloride ratio in diets of laying hens. *J. Nutr.* 102:1-8

Dibartola, S. P. 2006. *Fluid therapy in small animal practice.* Philadelphia: Pennsylvania. 611p.

Ding S.T.; C. C. Chang and T. F. Shen. 1992. The effect of dietary magnesium and calcium level on the eggshell quality and mineral content in plasma eggshell and bone in laying Tsaiya duck and Leghorn hen. Dept Animal Husbandry, Natl Taiwan Univ, Taiwan.

El-Deek, A.A. et al. 2010. Effect of different dietary levels of NaCl and KCl on performance of broiler chicks fed plant diets. *Egyp. Poult. Sci. J.* 29: 907-921.

FEDNA. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. *Tablas Fedna de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos (3ª edición)*, 2010. C. de Blas, G. G. Mateos y P. García-Rebollar (Eds.), Madrid. 502 p.

Gamba, J.P. et al. 2015. The Strategic Application of Electrolyte Balance to Minimize Heat Stress in Broilers. *Braz. J. Poult. Sci.* 17: 237-246.

Gorman, I.; and D. Balnave. 1994. Effects of dietary mineral supplementation on the performance and mineral excretions of broilers at high ambient temperatures. *Br. Poult. Sci.* 35: 563-572.

Guyton, A. C. and J. E. Hall. 2011. *Tratado de fisiologia médica*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1176p.

Halfen et al. 2018a. Effect of calcium sources in the diets of adult cats on urinary parameters and acid-base balance. *Pesq. Vet. Bras.* 38: 2133-2138. <https://doi.org/10.1590/1678-5150-pvb-5796>

Halfen et al. 2018b. Different sources of sulfur in diets of adult cats on the urinary parameters and acid-base balance. *Ciência Rural.* 48. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20180017>

Hamilton, R.M.G., and B. K. Thompson, 1980. Effects of sodium plus potassium to chloride ratio in practical-type diets on blood gas levels in three strains of White Leghorn hens and the relationship between acid-base balance and egg shell strength. *Poult. Sci.* 59:1294-1303. <https://doi.org/10.3382/ps.0591294>

Karunajeewa et al. 1986. Effect of dietary phosphorus concentration and electrolyte balance on the growth performance of broiler chickens. *Br. Poult. Sci.* 27: 601-612. DOI:10.1080/00071668608416919

Kemme-Kroonsberg, C. 1993. *Nutrition and acid–base balance of pigs, a review*. Lelystad: Institute for Animal Science and Health, 69p.

Kienzle, E. et al. 1991. Influence of food composition on the urine pH in cats. *J. Nutri.* 121: 87-88.

Kim, H.W.; I. K. Han, and Y. J. Choi. 1989. Effects of lysine level and Na+K-Cl ratio on lysine-arginine antagonism, blood pH, blood acid-base parameters and growth performance in broiler chicks. *Asi. Austral. J. Anim. Sci.* 2: 7-16. DOI: <https://doi.org/10.5713/ajas.1989.7>

Koreleski, J. et al. 2010. The effect of dietary potassium and sodium on performance, carcass traits, and nitrogen balance and excreta moisture in broiler chicken. *J. Anim. Feed Sci.* 19: 244–256.

Koreleski, J.; S. Swiatkiewicz and A. Arezewska. 2011a. The effect of different dietary potassium and chloride levels on performance and excreta dry matter in broiler chickens. *Czech J. Anim. Sci.* 56: 53-60. DOI: 10.17221/45/2010-CJAS

Koreleski, J. et al. 2011b. The effect of sodium and chloride supplements on performance, balance indices and excreta dry matter in broiler chickens fed high potassium diets. *Arch.Geflügelk.*, 75: 30–35.

Jankowski, J. et al. 2011. The effect of different dietary sodium levels on the growth performance of broiler chickens, gastrointestinal function, excreta moisture and tibia mineralization. *J. Anim. Feed Sci.* 20: 93–106. DOI: <https://doi.org/10.22358/jafs/66161/2011>

Johnson, R. J. and H. Karunajeewa. 1985. The effects of dietary minerals and electrolytes on the growth and physiology of the young chick. *J. Nutri.* 115: 1680–1690. DOI:10.1093/jn/115.12.1680

Leach, R. M.; T. R. Zeigler and L. C. Norris. 1960. The effect of dietary sulfate on growth rate of chicks fed a purified diet. *Poult. Sci.* 39: 1577-8.

Leal, P. C. et al. 2011. Sodium formiate in diets for broilers. *Cienc. Rural.* 41: 1278-1283. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782011005000093>.

Maiorka, A et al. 2004. Different sodium levels and electrolyte balances in pre-starter diets for broilers. *Rev. Bras. Ciênc. Avíc.* 6: 143-146. <https://doi.org/10.1590/S1516-635X2004000300002>

Manugistics. 1997. Statgraphics Plus for Windows (versão 4.1). Manugistics Inc., Rockville, Maryland, USA.

Melliere A. L. and R. M. Forbes. 1996. Effect of altering the dietary cation anion ratio on food consumption and growth of young chicks. *J. Nutr.* 90: 310-315. DOI:10.1093/jn/90.3.310

Meyer, D. J.; E. H. Coles and L. J. 1995. *Rich. Medicina de laboratório veterinária: interpretação e diagnóstico.* Tradução de Paulo Marcos Oliveira. São Paulo: Roca, 308p.

Moghaddam, H.N.; H. Janmohammadi and H. J. Najafabadi. 2005. The effect of dietary electrolyte balance on growth, tibia ash and some blood serum electrolyte in young pullets. *Intern. J. Poult. Sci.* 4: 493-496. DOI:10.3923/ijps.2005.493.496

Mongin, P. 1981. Recent advances in dietary anion-cation balance: application in poultry. *The Proceedings of the Nutrition Society.* 40: 285-294. DOI:10.1079/pns19810045

Mushtaq, T. et al. 2005. Effect and interactions of dietary sodium and chloride on broiler starter performance (hatching to twenty-eight days of age) under subtropical summer conditions. *Poult. Sci.* 84: 1716–1722. DOI:10.1093/ps/84.11.1716

Mushtaq, M.M.H. and T.N. Pasha. 2013. Electrolytes, dietary electrolyte balance and salts in broilers: an updated review on acid-base balance, blood and carcass characteristics. *World's Poult. Sci. Assoc.* 69: 833: 852. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0043933913000846>

Nesheim, M.C. et al. 1964. Interrelationships between dietary levels of sodium, chloride and potassium. *J. Nutri.* 84: 361-366. DOI:10.1093/jn/84.4.361

Nelson, T.S. et al. 1981. Effect of altering the dietary cation and anion content with magnesium and phosphorus on chick performance. *Poult. Sci.* 60: 1030-1035. <https://doi.org/10.3382/ps.0601030>

NRC. National Research Council. 1994. *Nutrient Requirements of Poultry.* 9th rev. ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC.

NRC. National Research Council. 2012. Nutrient requirements of swine. 11 ed. Washington: National academy. 424p.

O'Dell, B.L. et al. 1956. Effect of a high phosphorus diet on acid-base balance in guinea pigs. *Proceedings of the Society of Experimental Biology and Medicine*, 91, pp. 220-223.

Oliveira, R. F. M. et al. 2006. Efeitos da temperatura e da umidade relativa sobre o desempenho e o rendimento de cortes nobres de frangos de corte de 1 a 49 dias de idade. *Rev. Bras. Zootec.* 35: 797-803. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982006000300023>.

Oliveira, M. C. et al. 2010. Efeito do balanço eletrolítico da ração sobre parâmetros ósseos e da cama de frango. *Biotemas*, 23: 203-209. DOI: <https://doi.org/10.5007/2175-7925.2010v23n1p203>

Olanrewaju, H. A. et al. 2007. Electrolyte diets, stress, and acid-base balance in broiler chickens. *Poult. Sci.* 86: 1363–1371. DOI:10.1093/ps/86.7.1363

Oviedo-Rondón, E. O. et al. 2001. Sodium and chloride requirements of young broiler chickens fed corn-soybean diets (one to twenty-one days of age). *Poult. Sci.* 80:592–598. DOI:10.1093/ps/80.5.592

Pastoor F. J. et al. 1994. Dietary calcium chloride vs. calcium carbonate reduces urinary ph and phosphorus concentration, improves bone mineralization and depresses kidney calcium level in cats. *J. Nutr.* 124:2212-2222. DOI:10.1093/jn/124.11.2212

Patience, J. F.; R. E. Austic and R.D. Boyd. 1987. Acid-base homeostasis in swine: nutritional perspective. *Feedstuff*. 13-18.

Ravindran, V.; A. J. Cowieson and P. H. Selle. 2008. Influence of dietary electrolyte balance and microbial phytase on growth performance, nutrient utilization, and excreta quality of broiler chickens. *Poult. Sci.* 87:677–688. doi:10.3382/ps.2007-00247

Riley, W. W. and Austic, R. E. 1984. Influence of dietary electrolytes on digestive tract pH and acid-base status of chicks. *Poult. Sci.* 63:2247-2251. <https://doi.org/10.3382/ps.0632247>

Rostagno, H. S. et al. 2017. Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais. 4a edição. Viçosa, MG: Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Viçosa. 488p.

Ruíz-López, B. and Austic, R.E. 1993. The effects of selected minerals on acid-base balance of growing chicks. *Poult. Sci.* 72: 1054-1062. <https://doi.org/10.3382/ps.0721054>

Saedi, M. and Khajali, F. 2010. Blood gas values and pulmonary hypertension as affected by dietary sodium source in broiler chickens reared at cool temperature in a high-altitude area. *Acta vet. hung.* 58: 379–388. doi: 10.1556/AVet.58.2010.3.10.

Salgueiro, S. C. et al. 2014. Digestibilidade do cálcio de ingredientes para suínos, avaliada por meio de dois métodos. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.* 66: 1539-1546. <https://doi.org/10.1590/1678-6950>.

Salvador, D. et al. 1999. Suplementação de bicarbonato de sódio na ração e na água de bebida de frangos de corte submetidos ao estresse calórico. *Ars Vet.* 15:144-148.

Sauver, B. and P. Mongin. 1974. Influence of dietary level of chloride, sodium and potassium on chick cartilage abnormalities. 15th WPSA Congr., New Orleans, pp. 180-181.

Shabbaz, T. H. et al. 2004. Effect of Varying Dietary Cation-Anion Balance on Broilers Growth. *Pak. j. life soc. sci.* 1: 82-84.

Shafey, T.M. et al. 2011. Effects of dietary electrolyte balance on the performance of broiler chickens fed high calcium diets. *J. Ani. Vet. Adv.* 10: 2902-2908. DOI: 10.3923/javaa.2011.2902.2908.

Vieites, F.M. et al. 2011. Desempenho de frangos de corte alimentados com altos valores de balanço eletrolítico em região de clima quente. *Arq. Bras. Med. Vet. Zoot.*, v. 63: 441-447. <https://doi.org/10.1590/S0102-09352011000200023>.

Table 1 - Descriptive statistics of studied variables electrolyte balance Mongin (EBMongin), electrolyte balance complete (EBComplete), electrolyte balance with carbonate (EBCO3), ions sum, anions sum, cations sum, CO₃ + HCO₃, K, Mg, Na, Ca, P, S, Cl, blood pH, pCO₂, HCO₃, weight gain, feed intake and feed conversion of the broiler chicken and used in analysis

Quantitative variables	Unity	Values		
		Minimum	Maximum	Average
EBMongin	mEq/kg	-4.0	568.0	238.6 ± 91.52
EBComplete	mEq/kg	-254.0	1169.6	287.0 ± 199.66
EBCO3	mEq/kg	-663.2	846.0	21.82 ± 203.23
Ions sum	mEq/kg	1091.2	2918.4	1669.9 ± 303.49
Anions sum	mEq/kg	469.9	1173.4	691.9 ± 126.82
Cations sum	mEq/kg	523.4	1877.3	978.0 ± 220.24
CO ₃ + HCO ₃	mEq/kg	0.0	1099.0	290.2 ± 172.68
K	mEq/kg	48.6	547.8	226.5 ± 50.69
Mg	mEq/kg	98.8	419.7	133.4 ± 33.44
Na	mEq/kg	13.05	452.4	100.9 ± 68.46
Ca	mEq/kg	209.6	1402.2	517.2 ± 197.23
P	mEq/kg	303.6	904.4	455.8 ± 107.21
S	mEq/kg	93.9	288.0	146.0 ± 24.66
Cl	mEq/kg	14.1	293.3	90.02 ± 49.21
Response variables				
Blood pH (n=67)	- log ₁₀ [H ⁺]	7.05	7.50	7.28 ± 0.095
Blood pCO ₂ (n=73)	mmHg	19.7	77.3	45.28 ± 15.71
Blood HCO ₃ (n=69)	mEq/L	12.6	30.0	13.09 ± 3.618
Weight gain (n=306)	g/bird	63.0	3553.2	987.6 ± 736.16
Feed intake (n=299)	g/bird	116.7	6466.8	1869.5 ± 1509.33
Feed conversion (n=320)	g/g	1.12	4.16	1.84 ± 0.456

Table 2 - Effects of different electrolyte balances, Mongin (EBMongin (Na +K-Cl)), complete (EBComplete (Na+K+Mg+Ca-Cl-P-S)) and alternative (EBCO3 (Na+K+Mg+CO3-Cl-P-S)), ions sum, anions sum, cations sum, carbonate and bicarbonate sum, and K, Mg, Na, P, S, Ca Ca and Cl minerals dietary leves in the blood pH, CO₂ partial pressure and blood bicarbonate ion of broiler chickens

Response	Variable (mEq/kg)	R ² (%)	P*	Model**
Blood pH	EBMongin	9.3	NS	NS
	EBComplete	29.0	0.000	Q+
	EBCO ₃	18.5	0.0003	L+
	Ions sum	29.3	0.000	L-
	Anions sum	49.9	0.000	L-
	Cations sum	16.8	0.0006	L-
	CO ₃ +HCO ₃	4.52	NS	NS
	K	2.56	NS	NS
	Mg	55.9	0.000	Q+
	Na	0.5	NS	NS
	Ca	16.8	0.0006	L-
	P	58.0	0.000	Q-
	S	33.5	0.000	Q-
	Cl	16.9	0.0005	L-
Blood pCO ₂ (mm Hg)	EBMongin	39.4	0.000	L+
	EBComplete	46.6	0.000	L+
	EBCO ₃	6.48	NS	NS
	Ions sum	46.6	0.000	L+
	Anions sum	15.0	0.0006	L+
	Cations sum	55.8	0.000	L+
	CO ₃ +HCO ₃	3.36	NS	NS
	K	37.2	0.000	Q+
	Mg	71.7	0.000	Q+
	Na	23.8	0.000	L+
	Ca	29.6	0.000	L+
P	61.4	0.000	Q+	

	S	7.32	NS	NS
	Cl	12.7	0.0003	L-
	EBMongin	3.15	NS	NS
	EBComplete	9.28	NS	NS
	EBCO ₃	6.52	0.035	L+
	Ions sum	0.0012	NS	NS
	Anions sum	3.82	NS	NS
	Cations sum	1.08	NS	NS
	CO ₃ +HCO ₃	5.47	NS	NS
Blood HCO ₃ (mEq/L)	K	1.54	NS	NS
	Mg	0.011	NS	NS
	Na	0.156	NS	NS
	Ca	8.36	NS	NS
	P	0.64	NS	NS
	S	0.48	NS	NS
	Cl	16.5	0.0005	L-

*P = probability

**Model = NS = not significant; L = linear effect; Q=quadratic effect; “+” = positive, or “-” negative effects

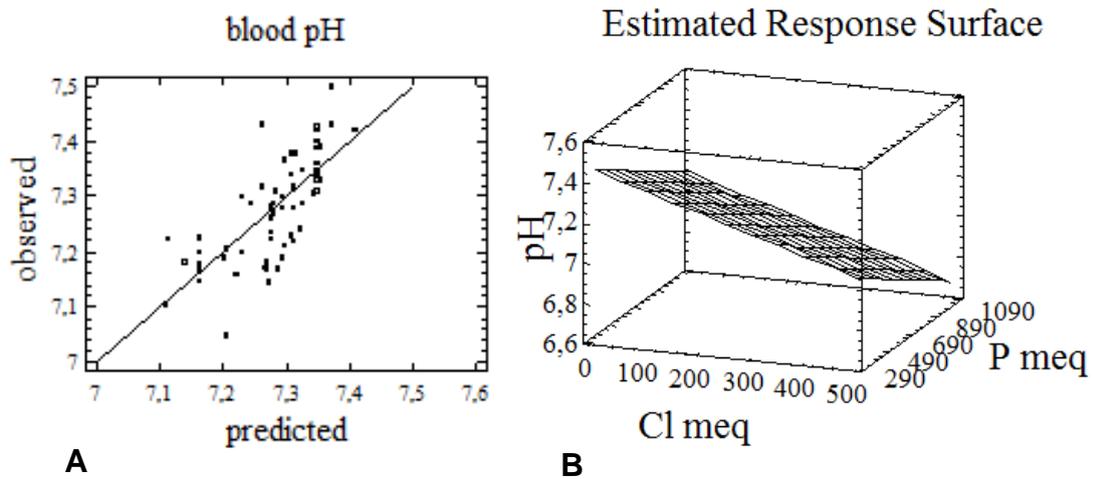


Figure 1 - A and B. Model prediction of blood pH relationship with dietary levels of chlorine and phosphorus. Multiple regression equation Blood pH = 7.58777 – 0.000826377*Cl – 0.000445747*P; P<0.001; R2=54.76%.

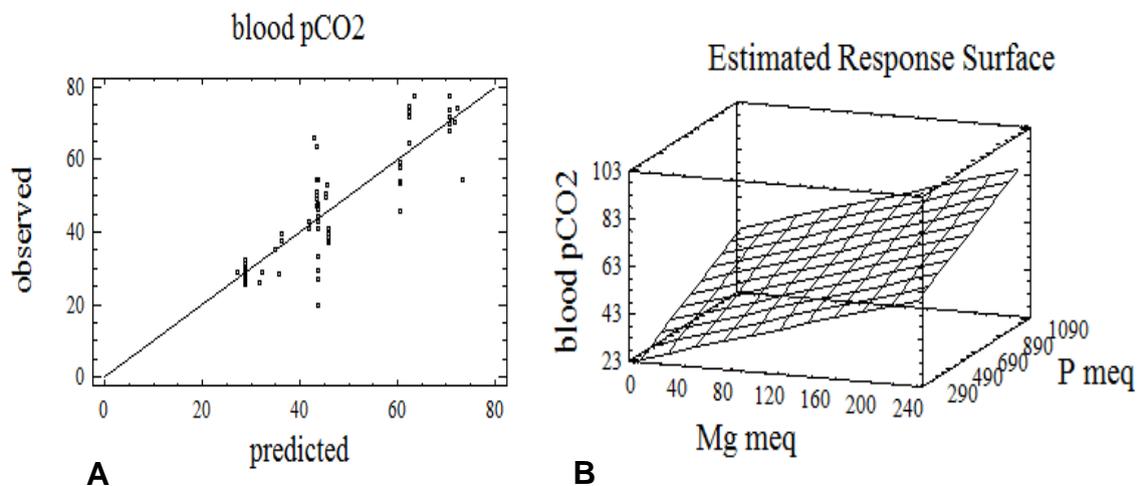


Figure 2 - A: Model prediction of blood CO₂ (mm Hg) pressure relationship and; B: dietary levels of magnesium and phosphorus. Multiple regression equation Blood pCO₂ = 13.5859 + 0.144167*Mg + 0.0346424*P; P<0.001; R2 = 74.85%.

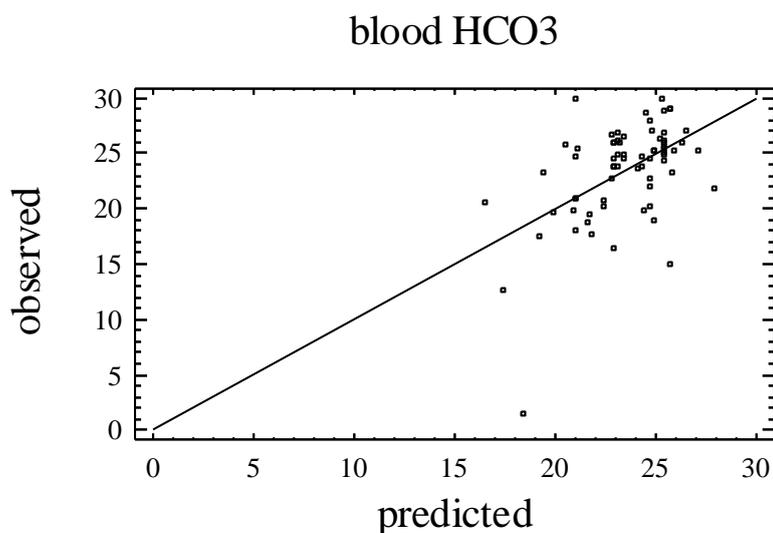


Figure 3 - Model prediction of blood HCO₃ (mEq/kg) concentration relationship and the dietary levels of calcium, chlorine and phosphorus. Multiple regression equation Blood HCO₃ = 28.7803 + 0.0103333*Ca – 0.0351816*Cl -0.0148209*P; P<0.001; R² = 26.5%.

Table 3 - Weight gain, feed intake and feed conversion of broiler chickens comparing different electrolyte balances models, Mongin (EBMongin (Na+K-Cl)), complete (EBComplete Na+K+Mg+Ca-Cl-P-S) and alternative (EBCO₃ (Na+K+Mg+CO₃-Cl-P-S)), ions sum, anions sum, cations sum and carbonate and bicarbonate sum

Response	Variables	R² (%)	P*	Model**
	(mEq/kg)			
	Experiment		0.000 ¹	
WG (g/bird)	EBMongin	55.54	NS	NS
	EBComplete	57.36	0.0005	L+
	EBCO ₃	56.29	0.000	L+
	Ions sum	55.48	0.000	Q-
	Anions sum	58.49	0.000	L-
	Cations sum	57.97	0.0002	Q-
	CO ₃ +HCO ₃	56.29	NS	NS
	Experiment		0.000	
EBMongin	54.70	NS	NS	
EBComplete	58.01	0.000	L+	

FI (g/bird)	EBCO ₃	55.93	0.005	L+
	Ions sum	61.99	0.000	Q-
	Anions sum	59.28	0.000	L-
	Cations sum	58.58	0.000	Q-
	CO ₃ +HCO ₃	54.67	NS	NS
Experiment			0.000	
	EBMongin	58.1	NS	NS
FC (g feed/g gain)	EBComplete	59.73	0.0007	L+
	EBCO ₃	59.61	0.0012	L+
	Ions sum	64.28	0.000	Q-
	Anions sum	64.3	0.0006	Q-
	Cations sum	60.75	0.000	Q-
	CO ₃ +HCO ₃	58.32	NS	NS

*P = probability

**Model = NS = not significant; L = linear effect; Q=quadratic effect; “+” = positive, or “-” negative effects.

¹ Experiment was used as a categorical variable and was highly significant for WG,FI and FC

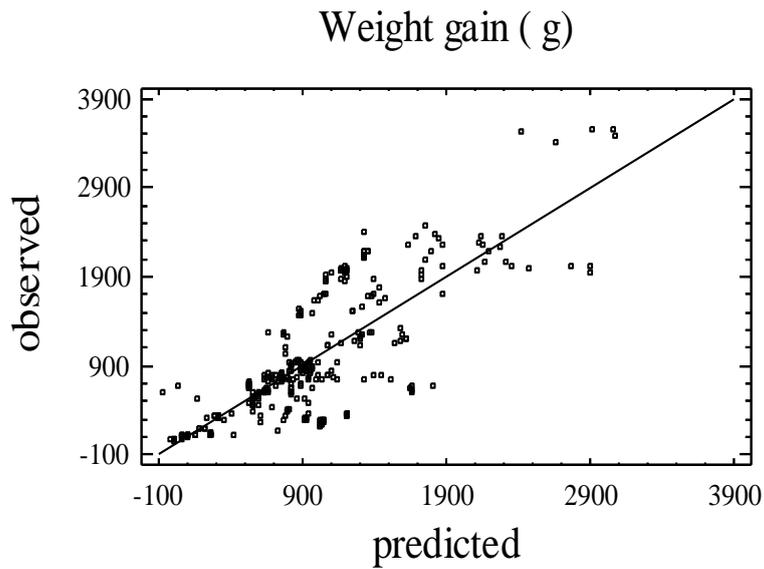


Figure 4 - Model prediction of weight gain (g) relationship and the dietary levels of sodium, phosphorus and sulfur. Multiple regression equation $WG=2987.38 + (\text{exp}^*) + 0.957391*\text{Na} - 2.76672*\text{P} - 5.79189*\text{S}$. *exp = effect of each one of the experiments, adjusted model only with significant effects $P<0.001$; $R^2 = 61.8\%$.

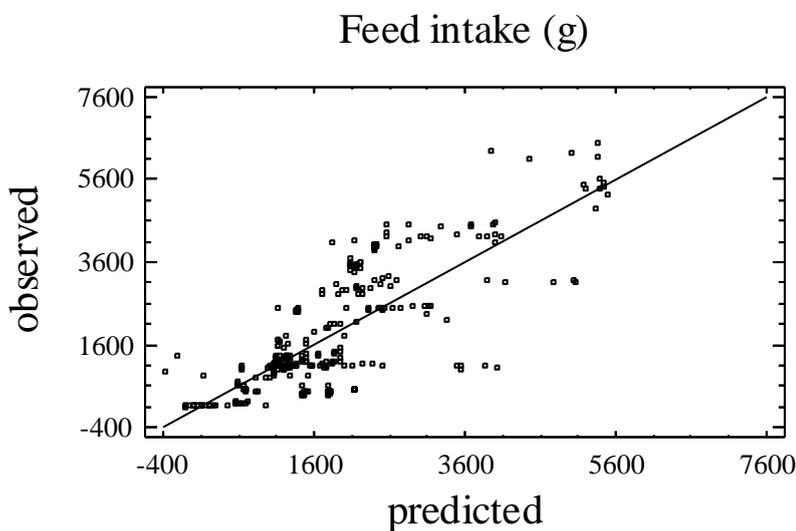


Figure 5 - Model prediction of feed intake (g) relationship and the dietary levels of calcium, sodium, phosphorus and sulfur. Multiple regression equation $FI=5447.26 + (\text{exp}^*) + 1.97876*\text{Ca} + 2.11191*\text{Na} - 6.48826*\text{P} - 12.601*\text{S}$. *exp = effect of each one of the experiments, adjusted model only with significant effects $P<0.001$; $R^2 = 63.4\%$.

Feed conversion

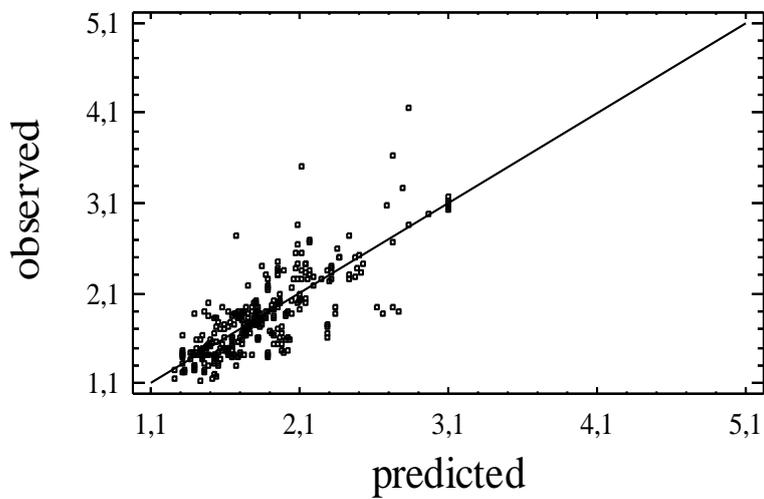


Figure 6 - Model prediction of feed conversion (g/g) relationship and the dietary levels of chlorine, phosphorus and sulfur. Multiple regression equation $FC = 3.17123 + (\text{exp}) - 0.00128415 \cdot \text{Cl} - 0.00152436 \cdot \text{P} - 0.00293083 \cdot \text{S}$. *exp = effect of each one of the experiments, adjusted model only with significative effects; $P < 0.001$; $R^2 = 63.9\%$.

CAPÍTULO III

Efeitos do tipo de equilíbrio eletrolítico (Na+K-Cl, Na+K+Mg+Ca-Cl-P-S ou Na+K+Mg⁻CO₃-Cl-P-S) da dieta sobre o desempenho e metabolismo ácido-base de frangos de corte de 14 a 35 dias de vida

Santos A. B.*, Valle, S. F.**, Kessler A. M.*¹

*Departamento de Zootecnia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. 91540-00

** Laboratório de Análises Clínicas Veterinárias, Faculdade de Veterinária , UFRGS

¹Endereço email: akessler@ufrgs.br

Resumo: Novecentos frangos machos Cobb 500[®] foram criados do primeiro ao 35^o dia de vida em dois experimentos. Objetivou-se validar os achados de uma revisão sistemática realizada anteriormente e analisar a aplicabilidade da equação de Mongin e a viabilidade das equações propostas, sendo que as mesmas consideram mais íons como influenciadores do equilíbrio eletrolítico. Os frangos receberam dez dietas no experimento um (inverno) e cinco dietas no experimento dois (verão), com equilíbrios eletrolíticos dietéticos variando de 100 a 449mEq/kg pela equação de Mongin. Os animais foram avaliados do 14^o ao 35^o dia de vida quanto ao desempenho, características físicas da cama aviária e das excretas e gasometria em condições ambientais contrastantes. Ambos os experimentos foram desenvolvidos sob mesma metodologia, com exceção das variações descritas acima. As dietas foram compostas por três propostas de cálculo do balanço eletrolítico dietético, equação de Mongin (Na+K-Cl: BE1), equação denominada completa (Na⁺+K⁺+Mg²⁺+Ca²⁺-Cl⁻-P⁻-S⁻: BE2) e equação denominada alternativa (Na⁺+K⁺+Mg²⁺+CO₃⁻-Cl⁻-P⁻-S⁻: BECO3) utilizando-se suplementações de NaCl, de CaCO₃, de CaCl₂, de NaHSO₄ e de NaHCO₃. As aves apresentaram melhor desempenho, elevados pesos finais e ganhos de peso totais nos tratamentos com BE1 de 100 a 200mEq/kg e com BE2 de 200 a 350mEq/kg e foram observadas significativas influências negativas da alta inclusão de Na e S, variando os efeitos com a participação de sais de HCO₃ ou de CO₃ nas dietas. A alta inclusão de Na e de S, assim como as somas de cátions e de ânions, causaram aumento na umidade das excretas e redução na matéria seca da cama aviária. As variáveis hemogasométricas mostraram que as aves sofreram de acidose e de alcalose de origem metabólica e foram mais responsivas aos BE1 e BE2. O uso da equação de Mongin mostrou-se limitado e metodologias que incluam íons como Ca, sulfatos, bicarbonato e carbonato contribuem para a ampla interpretação dos efeitos dietéticos sobre o balanço ácido-base e sobre o equilíbrio eletrolítico de frangos de corte. Altas correlações negativas entre os níveis de CO₃ e de HCO₃+CO₃ na dieta com o desempenho das aves e com a matéria seca das excretas e da cama aviária reforçam essa indicação. O desempenho das aves sofreu forte impacto negativo das somas de cátions e de ânions, semelhantemente à matéria seca fecal e da cama de aviário.

Palavras-chave: balanço ácido-base, balanço eletrolítico dietético alternativo, bicarbonato, carbonato, gasometria

Abstract: Nine hundred male Cobb 500® chickens were bred from the 1st to the 35th day in two experiments. The objective was to validate the findings of a systematic review carried out previously and to analyze the applicability of the Mongin equation and the viability of the proposed equations, which consider more ions as influencing the electrolyte balance (EB). The broiler chickens received ten diets in experiment 1 (winter) and five diets in experiment 2 (summer), with dietary electrolyte balance ranging from 100 to 449mEq / kg by the Mongin equation. The animals were evaluated from the 14th to the 35th day of life for performance, physical characteristics of poultry litter and excreta, and blood gases under contrasting environmental conditions. Both experiments were developed under the same methodology, except for the variations described above. The diets were composed of three proposals for calculating the dietary electrolyte balance, Mongin's equation ($\text{Na} + \text{K} - \text{Cl}$: EB1), equation called complete ($\text{Na}^+ + \text{K}^+ + \text{Mg}^{2+} + \text{Ca}^{2+} - \text{Cl}^- - \text{P}^- - \text{S}^-$: EB2) and equation called alternative ($\text{Na}^+ + \text{K}^+ + \text{Mg}^{2+} + \text{CO}_3^{2-} - \text{Cl}^- - \text{P}^- - \text{S}^-$: EBCO3) using NaCl, CaCO₃, CaCl₂, NaHSO₄ and NaHCO₃ supplements. The birds showed better performance, high final weights and total weight gains in treatments with EB1 from 100 to 200mEq / kg and EB2 from 200 to 350mEq / kg, and significant negative influences were observed from the high inclusion of Na and S, varying the effects with the participation of HCO₃ or CO₃ salts in the diets. The high inclusion of Na and S, as well as the sum of cations and anions, caused an increase in the humidity of the excreta and a reduction in the dry matter of the poultry litter. Hemogasometric variables showed that broilers suffered from metabolic acidosis and alkalosis and were more responsive to EB1 and EB2. The use of Mongin's equation is apparently limited, and methodologies that include ions such as Ca, sulfates, bicarbonate and carbonate contribute to a broad interpretation of dietary effects on the acid-base balance and electrolyte balance of broilers. High negative correlations between the levels of CO₃ and HCO₃ + CO₃ in the diet with the performance of broilers, dry matter of excreta and poultry litter reinforce this indication. The performance of the broilers suffered a strong negative impact from the sum of cations and anions, similar to dry fecal matter and poultry litter.

Keywords: acid-base balance, alternative dietary electrolyte balance, bicarbonate, carbonate, blood gas analysis

Introdução

O balanço ácido-base é crucial para o organismo, pois ele afeta diretamente diversas rotas metabólicas e, por conseguinte, tem potencial para alterar o crescimento e o desempenho produtivo das aves. Desequilíbrios entre os minerais sódio (Na), potássio (K) e cloro (Cl) alteram o balanço eletrolítico dietético (BED), consequentemente possuem efeito direto sobre o balanço ácido-base. Ainda, o balanço eletrolítico é associado com o pH do sangue, a pressão de gases e a concentração de HCO_3 (Ahmad e Sarwar, 2006). Tal balanço consiste de uma precisa regulação de íons H^+ livres nos fluidos corporais e parte dessa regulação está associada com a ingestão e a excreção de eletrólitos pelos animais. Mongin (1981) desenvolveu a equação de BED, a qual tem sido usada para a formulação de dietas desde então. Ela se baseia no uso de íons monovalentes, dois cátions (Na e K) e um ânion (Cl). Inicialmente, Mongin (1981) incluiu outros elementos na equação, como Ca^{++} , Mg^{++} , PO_4^- e SO_4^- , os quais teriam potencial para influenciar o balanço ácido-base em aves. Todavia, Mogin optou por excluí-los ao longo do tempo por motivos variados, mantendo apenas três elementos e dando origem à equação Na+K-Cl expressa em mEq/Kg de dieta. De acordo com esse autor, o BED considerado ótimo para o bom desempenho de frangos seria de aproximadamente 250mEq/kg (Borges et al., 2007). Entretanto, evidências mostram que administrar dietas com menor balanço eletrolítico pode ter efeitos benéficos no desempenho das aves devido a suas características ácidas (Borges et al., 2003; Nikoofard et al., 2015). Já Johnson e Karunajeewa (1985) determinaram que o melhor BED está entre 200 e 350mEq/kg de dieta, sendo influenciado por P, K^+ , Na^+ , e Cl^- .

Com o passar do tempo, a validade e a aplicabilidade dessa equação vem sendo questionada por já haver diversos trabalhos (Nesheim et al. (1964), Nelson et al. (1981), Johnson e Karunajeewa (1985), Hulan et al. (1987), Patience et al. (1987) e Patience (1990)) que mostram que os elementos excluídos da equação, como os cátions Ca e Mg e os ânions sulfato (SO_4) e fosfato (PO_4), além de alguns aminoácidos, possuem efeitos significativos sobre o balanço ácido-base, sugerindo, portanto, uma revisão da equação de BED de Mongin. Gorman e Balnave (1994) também mostram que determinados achados colocam em dúvida a validade em se usar apenas Na, K e Cl na determinação do BED. Adicionalmente, o que se tem observado é que a forma usual para se elevar o balanço eletrolítico é através do aumento dos níveis dietéticos de Na e de K na forma de sais de bicarbonato (NaHCO_3 e KHCO_3).

Nesse caso, o íon HCO_3^- é um tampão no sangue e indiretamente responsável pelos efeitos de Na e de K, entretanto, estes não são considerados. Nesse sentido, logo após a publicação da equação de BED de Mongin, Patience et al. (1986) observou que ânions metabolizáveis, tais como bicarbonato, carbonato e acetato, são capazes de neutralizar ácidos e aumentar o pH do sangue. Da mesma forma, os autores citam que o NaHCO_3 dietético foi também considerado como tampão de CO_2 e que contribuiu para que os níveis de HCO_3^- e a pressão de CO_2 fossem restaurados. De forma semelhante a Patience et al. (1986), Ahmad et al. (2005) enfatizaram a importância em se considerar os ânions metabolizáveis suplementados em associação com os cátions durante o balanceamento das equações de BED.

Dessa forma, a equação de Mongin pode ter baixo poder preditivo dos efeitos do BED nas aves se comparada com BED com outros cátions e ânions que vêm mostrando resultados importantes. Ao analisar trabalhos que utilizaram sais de carbonato (Patience et al., 1987; Gorman e Balnave, 1994), é possível observar respostas que foram associadas aos cátions da dieta quando, na realidade, os efeitos possivelmente foram causados pelo carbonato. Sendo assim, o objetivo desse estudo foi analisar o desempenho, as características da cama aviária e das excretas, e a hemogasometria de frangos de corte até os 35 dias de vida consumindo dietas baseadas em diferentes balanços eletrolíticos obtidos através de três equações, a de Mongin (Na+K-Cl) e duas novas propostas, chamadas de Completa (Na+K+Mg+Ca-Cl-P-S), onde foi feita a inclusão novamente dos íons inicialmente excluídos, e Alternativa (Na+K+Mg+ CO_3 -Cl-P-S), onde houve a inclusão do CO_3 em substituição ao Ca na soma de cátions, influenciando o balanço ácido-base.

Material e métodos

Os procedimentos experimentais descritos foram avaliados e aprovados pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) com o protocolo de número 36772.

Local e época

Foram conduzidos dois experimentos para avaliar cálculos alternativos de balanço eletrolítico em frangos de corte objetivando estabelecer um modelo que melhor se ajuste à participação e à influência dos íons presentes nos alimentos.

Ambos os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Ensino Zootécnico/LEZO do Departamento de Zootecnia, da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul em Porto Alegre, Brasil, de agosto a setembro de 2019 e de janeiro a fevereiro de 2020. Os experimentos foram conduzidos em um prédio de alvenaria equipado com sistema de ventilação por exaustor, de aquecimento por campânula e de resfriamento por ar-condicionado. Foram usadas duas salas da instalação de 50 m² cada, com janelas laterais, piso de concreto, forro de PVC e telhas de fibrocimento. Cada sala possui 30 boxes de 1 m² divididos por tela e de medidas 1,0 x 1,0 x 0,70 m para comprimento, largura e altura, respectivamente. O primeiro experimento foi realizado utilizando-se as duas salas da instalação, totalizando 60 boxes. Já no segundo experimento foram utilizados 30 boxes em apenas uma sala.

A temperatura foi mantida de acordo com o manual da linhagem das aves até o 13º dia de vida. A partir do 14º dia, início do período experimental, o regime de luz utilizado foi de 22 horas de luz artificial e duas horas de escuro controlados com temporizador. Nos períodos experimentais, não houve controle da temperatura das salas, apenas foi acionada a ventilação quando necessária, de forma a caracterizar as temperaturas nas condições ambientais do momento (inverno no primeiro experimento e verão no segundo). As temperaturas mínimas e máximas ambientais e as temperaturas médias no local de alojamento das aves nos dois experimentos são apresentadas na Tabela 1.

Animais e dietas experimentais

Foram utilizados 900 frangos de corte (600 para o Experimento 1 e 300 para o Experimento 2), de linhagem comercial (linhagem Cobb 500[®], desempenho superior), machos, de um dia de idade. Em cada experimento os frangos foram acompanhados do primeiro ao 35º dia de vida, alojados nos boxes, com densidade de 10 aves/m². A cama dos boxes foi composta de casca de arroz com 10 cm de altura. As aves receberam manejo e alimentação padrão de acordo com o manual da linhagem (Cobb, 2001) do primeiro ao 13º dia de idade das aves e uma dieta inicial. Do 14º ao 35º dia de vida, os animais receberam as dietas experimentais isocalóricas e isoproteicas, e nesse período foram coletados os dados experimentais de desempenho, de características das excretas, de amostras sanguíneas para gasometria e de condições da cama aviária.

Foram usadas dez dietas experimentais no primeiro ensaio, variando entre elas os sais minerais utilizados e o tipo de balanço eletrolítico almejado (Mongin ($\text{Na}^+ + \text{K}^+ - \text{Cl}^-$) e completo ($\text{Na}^+ + \text{K}^+ + \text{Mg}^{2+} + \text{Ca}^{2+} - \text{Cl}^- - \text{P}^- - \text{S}^-$). Como complemento, objetivando aumentar a compreensão dos papéis dos diferentes íons envolvidos no balanço eletrolítico, uma nova proposta foi realizada nesse estudo, a equação de um balanço eletrolítico incluindo o carbonato e substituindo o Ca na equação de balanço completo. Esse modelo, BECO_3 ($\text{Na}^+ + \text{K}^+ + \text{Mg}^{2+} + \text{CO}_3^- - \text{Cl}^- - \text{P}^- - \text{S}^-$), sugere a inclusão do íon carbonato na soma de cátions influenciando o balanço ácido-base em substituição ao cátion Ca. Também foram calculadas as somas dos ânions ($\text{Cl}^- + \text{P}^- + \text{S}^-$), dos cátions ($\text{Na}^+ + \text{K}^+ + \text{Mg}^{2+} + \text{Ca}^{2+}$) e do total ($\text{Na}^+ + \text{K}^+ + \text{Mg}^{2+} + \text{Ca}^{2+} + \text{Cl}^- + \text{P}^- + \text{S}^-$). As somas e os balanços eletrolíticos foram todos expressos em mEq/kg de dieta. A formulação básica das dietas estão elucidadas nas Tabelas 2 e 3 (dieta inicial na Tabela 2 e dieta basal na Tabela 3, ambas usadas nos períodos experimentais dos dois experimentos), enquanto que a composição nutricional da formulação básica está na Tabela 4. As dietas foram compostas da mesma base de formulação, diferindo conforme a inclusão dos tratamentos e dos eletrólitos. Os níveis nutricionais foram formulados a fim de atender as exigências de cada fase conforme Rostagno et al. (2017). Na Tabela 5, são apresentadas as composições em ingredientes e nutrientes de cada dieta experimental.

De acordo com os resultados do primeiro experimento, foram selecionadas cinco dietas para serem analisadas no segundo experimento. Tais dietas foram escolhidas da seguinte forma: T1 – tratamento testemunha; T4 – tratamento que obteve resultados promissores no primeiro experimento; T7 e T9 - tratamentos considerados extremos devido aos sais, níveis de inclusão e BE; e T10 – considerado um tratamento com resultados intermediários. A composição das dietas foi a mesma utilizada no experimento 1.

Variáveis de desempenho e gasometria

As variáveis de desempenho zootécnico avaliadas foram peso vivo inicial e peso vivo ao sétimo dia (período pré-experimental), peso vivo aos 14º, 21º e 28º dias e peso vivo final (PV) no 35º dia de vida. Ainda, semanalmente foram avaliados também os ganhos de peso (GP) desse período e da fase de crescimento/experimental, a taxa de conversão alimentar (CA) e o consumo de alimento (CR) e a taxa de mortalidade na fase inicial e na fase de crescimento. A cada sete dias, todas as aves de cada boxe foram pesadas em grupo.

Para tal, os comedouros foram suspensos cerca de 2 h antes da pesagem a fim de reduzir o consumo de alimento e evitar alterações na pesagem. Nos dias das pesagens, foi feito o ajuste na oferta de alimento, assim como pesadas as sobras da semana anterior para obter o consumo total de ração e calcular a taxa de conversão alimentar. A determinação da oferta foi baseada no consumo *ad libitum* das aves, com acompanhamento do mesmo através da pesagem das sobras. As medidas de peso vivo visaram obter o peso médio e o ganho de peso no período. O consumo alimentar foi obtido através do controle da oferta de alimento e das sobras diárias, e a conversão alimentar, calculada através dos valores de consumo alimentar e de ganho de peso. A mortalidade foi anotada diariamente, assim como a pesagem individual das aves mortas a fim de calcular o ganho de peso médio e o consumo de ração, ambos ajustados pelos dados de número de aves mortas por período.

Para a análise de pH das excretas dos frangos, foram coletadas amostras frescas, produzidas nos dias das coletas, diretamente de uma camada plástica colocada em cima da cama aviária para evitar contaminação com o substrato, durante os três últimos dias da última semana do período experimental das aves (28° ao 35° dia de vida das aves), sendo realizadas sempre no mesmo horário. As excretas foram diluídas em 20mL de água destilada e após homogeneização do líquido foi feita a medição do pH com eletrodo acoplado a pHmetro portátil. Foram coletadas amostras de todas as repetições de todos os tratamentos, sendo que as excretas foram secas em estufa de circulação de ar forçado a 60°C por no mínimo 72h. De cada semana experimental, foram retiradas amostras da cama de todas as repetições de todos os tratamentos, congeladas e posteriormente analisadas para obter o teor de matéria seca através da secagem de amostras de 5g de cama a uma temperatura de 130 a 135°C por 2 horas.

Para as análises de gasometria sanguínea (pH, pressão parcial de CO₂, pressão parcial de O₂, CO₂ total, íon HCO₃, excesso de bases, saturação de O₂, ânion gap, níveis de Na, K, Ca e Cl e hematócrito no sangue das aves) foi utilizado o aparelho analisador de gases do sangue Cobas b 121 Roche®. Um valor mínimo de 80% e máximo de 98% da saturação de O₂ foram usados como critério para considerar uma amostra satisfatória (Murakami et al., 2001). Para tal, amostras identificadas de 0,3mL de sangue foram coletadas de uma ave por repetição de cada dieta aos 28 dias de vida através de punção na veia braquial, diretamente em seringa marca BDA-line de 0,6mL com heparina lítio em seu interior. O sangue coletado foi mantido resfriado por no máximo uma hora entre coleta e análise no Laboratório de Análises Clínicas Veterinárias – LACVet, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS.

Delineamento experimental e análise estatística

O primeiro experimento foi realizado sob um delineamento em blocos casualizados (bloqueamento por sala experimental), com dez dietas experimentais, com seis repetições de dez aves por tratamento, num total de 600 aves alojadas em 60 boxes. O segundo experimento foi realizado sob um delineamento inteiramente casualizado, já que apenas uma sala do galpão foi utilizada pelo menor número de dietas analisadas e de aves experimentais, sendo este com cinco dietas experimentais, com seis repetições por tratamento, totalizando 300 aves alojadas em 30 boxes.

Os resultados obtidos das variáveis de desempenho (peso vivo, ganho de peso, conversão alimentar, consumo de ração), da matéria seca fecal e da cama aviária, do pH das excretas e da gasometria foram analisados a partir de análise de variância, e as médias dos tratamentos comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Sequencialmente, os ajustes das respostas aos diferentes níveis dos BE (Na+K-Cl; Na+K+Mg+Ca-Cl-P-S; Na+K+Mg+CO₃-Cl-P-S) e às somas de ânions, de cátions e do total de íons dietéticos foram estimados por análise de regressão polinomial. Posteriormente, as variáveis dietéticas, incluindo os BE, somas de íons e níveis de cada íon, foram relacionadas com todas as respostas medidas por análise de correlação linear. Por último, o efeito dos níveis dietéticos de Na, de Ca, de Cl e de S sobre as respostas foi avaliado por regressão múltipla, usando o critério “backward selection” para definir o modelo apenas com as variáveis significativas. Para todas as análises foi utilizado o programa Statgraphics 3.1 (Statistical Graphic Corp., Rockville, MD, USA) (Manugistics, 1997).

Resultados e discussão

Os resultados de desempenho dos frangos sob os balanços eletrolíticos estudados são apresentados na Tabela 6 e possuem grande relação com a revisão sistemática de Santos e Kessler (dados não publicados). Não houve diferença significativa no peso vivo inicial, o que demonstra boa uniformidade entre as repetições dos tratamentos para o início do período experimental em ambos os experimentos. Em relação ao PV final das aves aos 35 dias, o T9 apresentou o menor valor no Experimento 1. Efeitos significativos foram observados no crescimento de frangos quando os conteúdos de cátions e de ânions dietéticos foram alterados pela variação nos conteúdos de sulfato (Nesheim et al., 1964; Ruiz-Lopez e Austic, 1993; Ahmad et al., 2005). Patience (1990) também apontou os efeitos negativos dos ânions HPO₄⁻², H₂PO₄⁻ e SO₄⁻² sobre o balanço ácido-base e eletrolítico em aves.

Por outro lado, T4, T5 e T6 foram os tratamentos com os maiores PV finais observados no primeiro experimento, assim como os que apresentaram melhores resultados quanto ao GP total das aves no período. Esses tratamentos possuem similares BE segundo o cálculo de Mongin (200mEq/kg) e BE completo (300, 201,5 e 350mEq/kg), respectivamente (Tabela 5). Brenes et al. (1988) e Teeter et al. (1985) encontraram aumento no ganho de peso de 9% com 0,5% de adição de NaHCO_3 e atribuíram esse efeito benéfico devido aos íons HCO_3 independentemente do pH. Já Fixter et al. (1987), relataram respostas semelhantes de aumentos em balanço eletrolítico dietético resultando em suplementos de 16 g NaHCO_3 /kg. Alterações no balanço eletrolítico dietético e no balanço ácido-base são ligados à perda de apetite e correspondente redução no desenvolvimento das aves. No entanto, esse tipo de depressão no crescimento, devido à perturbação no consumo de alimento, pode possivelmente ser consequência de áreas do cérebro que controlam o consumo em aves serem afetadas (Mongin, 1981).

No segundo experimento, as aves apresentaram menor PV no T9 e no T10, assemelhando-se ao Experimento 1, enquanto que o maior PV foi observado no T1. No T10, nota-se que, com o valor de BE acima da faixa indicada como adequada na literatura para o BE Mongin (300mEq/kg) e BE completo (250mEq/kg), os efeitos negativos de uma alta inclusão de sulfato (1,796% de NaHSO_4) sem inclusão de NaHCO_3 foram controlados pela adição de CaCO_3 , cujo poder alcalinizante do íon carbonato age de forma mais acentuada do que a presença do cátion Ca^+ em si. Halfen et al. (2018), trabalhando com diferentes fontes de Ca para gatos, concluiu que aparentemente o efeito alcalinizante do Ca^+ não foi suficiente para evitar a acidificação do sulfato na urina, e os tratamentos analisados não mostraram nenhuma alteração no balanço ácido-base dos animais ou afetaram o consumo das dietas. Essa conclusão vem ao encontro dos resultados obtidos nesse estudo, uma vez que é sabido que o efeito alcalinizante do Ca é dependente do ânion que o acompanha, o qual, no presente estudo, foi o carbonato.

Os maiores CR total no Experimento 1 ocorreram nos T2, T3, T4, T5 e T6, conforme Tabela 6, acompanhando os resultados de GP tot e de CA tot. Já nos T7, T9 e T10 foram obtidos os menores valores de CR total. O T2 foi o tratamento com maior inclusão de CaCl_2 (1,094%) e esse suplemento pode ter efeitos negativos no desempenho animal, além de causar desbalanços entre Ca e P. Entretanto, a presença de NaHCO_3 pode ter evitado tais prejuízos principalmente pelo seu efeito sobre o pH e o excesso de bases. Segundo Lei et al. (2017), a adição de CaCl_2 diminuiu a taxa de crescimento e o consumo de ração em leitões. Adicionalmente, a suplementação de CaCl_2 pode suprimir o apetite e reduzir o consumo de alimento. Em Santos e Kessler (dados não publicados), o GP de frangos foi influenciado positivamente pelos BE completo e BECO₃, enquanto que o CR foi negativamente afetado pelos ânions.

O T9 foi a dieta com maior efeito negativo sobre o desempenho das aves. O BE Mongin desse tratamento supera o valor médio adequado para frangos de corte indicado na literatura (250 a 300mEq/kg), atingindo 449mEq/kg, enquanto o BE completo chegou a 249,6mEq/kg. A alta inclusão de NaHCO_3 não foi suficiente para impedir o efeito negativo do excesso de enxofre em sua composição (1,796% de NaHSO_4). Mesmo com o aumento no nível do Na^+ (0,74%; Tabela 5), houve prejuízo no desempenho das aves, possivelmente pela ocorrência de uma acidose metabólica causada pelo excesso de sulfato (Leach et al., 1960), já que ânions possuem ação acidogênica. A literatura traz diversos relatos de que altos equilíbrios eletrolíticos dietéticos (acima de 350mEq/kg) são prejudiciais às aves, sem mencionar o efeito de determinados ânions, como o sulfato. O NaHSO_4 dissocia-se em Na^+ , H^+ e SO_4^- (Ullman et al., 2004), liberando o sulfato, que é um ânion caracteristicamente acidificante. Jarrett (2006) obteve resultados positivos para o desempenho de suínos em diferentes fases de crescimento com o aumento da inclusão de NaHSO_4 na dieta como acidificante dietético em substituição ao antigo uso de antibióticos. De forma semelhante, Nuffer e Geraert (2004) em seu trabalho mostraram que a substituição de NaHCO_3 por NaHSO_4 não afetou o desempenho e o crescimento de frangos durante o período de um a 42 dias de vida. Nenhum efeito adverso do bissulfato versus bicarbonato foi observado por esses autores, porém a concentração de NaHSO_4 usada pelos mesmos foi de 0,434%, valor esse pouco superior à menor dose utilizada no presente estudo (0,414%). Mesmo que o objetivo dessa pesquisa não tenha sido substituição de antibióticos, os resultados obtidos foram diferentes de ambos os trabalhos citados acima, uma vez que o NaHSO_4 prejudicou muito as aves quando usado em alta inclusão (Tabelas 5 e 6).

Nikoofard et al. (2015), avaliando o efeito de diferentes fontes de aminoácidos sulfurados e níveis de balanço eletrolítico em frangos de corte, detectaram que o aumento no equilíbrio eletrolítico dietético acima de 350mEq/kg diminuiu o ganho médio diário de peso das aves acentuadamente ($P < 0,0001$). Segundo os autores, essa depressão poderia ser explicada pela redução no consumo de alimento, assim como a significativa supressão na altura dos vilos no intestino delgado, especialmente no jejuno, que pode ter ocorrido também com as aves do presente trabalho no T9 (BE Mongin 449mEq/kg). Resultados similares foram reportados por Johnson e Karunajeewa (1985), os quais demonstraram que um balanço eletrolítico dietético mais alto que 300mEq/kg causou redução no peso dos frangos de corte. Confirmando esses achados, Ahmad et al. (2008) mostraram que frangos alimentados com balanços eletrolíticos de 50, 150 e 250mEq/kg, comparados àqueles que receberam balanços de 0 e 350mEq/kg, tiveram melhores GP aos 42 dias ao mesmo tempo que a CA e a taxa de mortalidade caíram.

Nikoofard et al. (2015) indicaram que o melhor GP médio diário foi obtido quando as aves receberam dietas com o mais baixo nível de equilíbrio eletrolítico dietético (150mEq/kg) durante o crescimento e os períodos experimentais. Resultados semelhantes foram obtidos no presente estudo, nos T1, T2 e T3, cujos BE Mongin foram de 100mEq/kg e o desempenho das aves no primeiro experimento foi considerado dentro do esperado quando comparado aos demais tratamentos de diferentes faixas de balanço eletrolítico. Alguns mecanismos têm sido propostos para explicar os efeitos benéficos de dietas com baixo equilíbrio eletrolítico sobre o crescimento e o desempenho de frangos de corte. Um desses mecanismos propõe a ação antibacteriana de suplementos inorgânicos (Hassan et al., 2009), tais como NH_4Cl usado em dietas aniônicas envolvendo trocas no pH citoplasmático e o status energético das células microbianas devido ao acúmulo de ânions e distúrbio na membrana citoplasmática (Roe et al., 2002; Nikoofard et al., 2015). Outro mecanismo é o efeito benéfico do conteúdo intestinal acidificado em dietas com baixo equilíbrio eletrolítico sobre a ionização intestinal, que leva à melhoria da biodisponibilidade de íons (Borges et al., 2007).

Análises de regressão foram realizadas para identificar qual cálculo de BE ou somas de íons apresentaram maior poder de predição sobre as respostas de desempenho (Tabela 7). De acordo com as análises de regressão, o PV final não foi influenciado ($P > 0,05$) pelos BE2 e BECO3 no experimento 1. O PV35d (final) foi mais fortemente influenciado no Experimento 1 pelo BE1 ($R^2=42,27\%$, $P < 0,001$, $PV = 2,02467 + 0,00156352*BE1 - 0,0000051905*BE1^2$, $X_{máx.} = 150,6$ meq/kg) e em ambos os experimentos pela soma de ânions ($R^2=40,25\%$, $P < 0,001$, $PV35 = 0,540893 + 0,00586778*soma\ ânion - 0,00000534322*soma\ ânion^2$, $X_{máx.} = 549,1$ meq/kg, experimento 1; $R^2=51,94\%$, $P < 0,001$, $PV35 = 0,867871 + 0,00503659*soma\ ânion - 0,00000431135*soma\ ânion^2$, $X_{máx.} = 584,1$ meq/kg, experimento 2). Foram observados também efeitos significativos com as soma de cátions e soma total de íons para o PV35d. O GP tot foi mais influenciado pelo BE1 no experimento 1 ($R^2=39,04\%$, $P < 0,001$, $GP\ tot = 1,58701 + 0,00115739*BE1 - 0,0000044551*BE1^2$, $X_{máx.} = 129,9$ mEq/kg) e pela soma de ânions em ambos os experimentos ($R^2=39,45\%$, $P < 0,001$, $GP\ tot = 0,202419 + 0,00542574*soma\ ânion - 0,00000498681*soma\ ânion^2$, $X_{máx.} = 544$ meq/kg; $R^2=51,47\%$, $P < 0,001$, $GP\ tot = 0,38376 + 0,00502659*soma\ ânion - 0,00000429383*soma\ ânion^2$, $X_{máx.} = 585,3$ mEq/kg, respectivamente). Adicionalmente, as somas de cátions e total de íons foram significativas nos dois experimentos (Tabela 7).

Compreende-se com esses resultados que o aumento no BE1, a soma de cátions e a soma total de íons, esta última mais influenciada pela soma de cátions, prejudicam o desempenho dos frangos. Mongin (1981) elencou apenas esses três íons como sendo os únicos diretamente envolvidos no equilíbrio eletrolítico, porém outros elementos são capazes de causar desbalanços no status ácido-base, como os íons sulfato, carbonato e bicarbonato, influenciando, com isso, no desempenho das aves, conforme ocorreu no presente estudo.

Quando analisados por regressão múltipla os efeitos de cada íon sobre PV e GP, Na apresentou efeito linear negativo sobre ambas as variáveis ($R^2=46\%$ e $R^2=45,44\%$, respectivamente) no Experimento 1 (Tabela 17). Já no Experimento 2, Ca e S foram significativos e decrescentes com o PV35d ($P < 0,0001$, $R^2=59,26$), e para o GP tot os efeitos individuais dos íons foram semelhantes aos do PV35d, com o Ca e o S sendo significativamente decrescentes ($P < 0,000$, $R^2=59,0\%$; Tabela 18). As variáveis PV35d e GP total apresentaram correlações negativas altamente significativas ($P < 0,001$) com Na, S, soma total de íons, soma de cátions e BE1 no Experimento 1 (Tabela 10). No Experimento 2, as correlações repetiram-se para S e para soma de íons, de cátions e de ânions e BE1 para o PV35d. Ainda, o GP apresentou correlação altamente significativa e positiva com o CO_3 (Tabela 11).

O CR total não foi influenciado pelos BE2 e BECO3 ($P > 0,05$), entretanto apresentou efeito significativo com o BE1 ($R^2 = 33,52\%$, $P < 0,001$, $CR_{tot} = 2,61341 + 0,00141859 * BE1 - 0,00000458632 * BE1^2$, $X_{máx.} = 154,6$ mEq/kg) e com a soma total de íons ($R^2 = 37,7\%$, $P < 0,001$, $CR_{tot} = 3,62939 - 0,000544441 * soma$) no Experimento 1, e com a soma de ânions ($R^2 = 27,76\%$, $P < 0,05$, $CR_{tot} = -0,613422 + 0,0108232 * soma_{ânion} - 0,00000875858 * soma_{ânion}^2$, $X_{máx.} = 617,9$ mEq/kg), no Experimento 2. Quando abordados por regressão múltipla os efeitos de cada íon no CR, foram observados que Ca e Na apresentaram efeitos significativos e com relações negativas conforme Tabelas 17 e 18. Em ambos os experimentos, o CR total apresentou correlações negativas altamente significativas ($P < 0,001$) com Na, S, soma de ânions, soma de cátions e soma total de íons e com o BE1.

A CA total foi influenciada apenas pelo BE1 no Experimento 1 ($R^2 = 18,16\%$, $P < 0,05$), e mais influenciada pela soma de ânions ($R^2 = 16,95\%$, $P < 0,01$). No Experimento 2, o relacionamento do CA total não foi significativo com nenhum dos balanços eletrolíticos analisados assim como as somas ($P > 0,05$; Tabela 7), diferentemente dos resultados obtidos por Santos e Kessler (dados não publicado), os quais observaram relação linear positiva da CA com os BE2 e BECO3. A CA também não apresentou relações significativas por regressão múltipla com os efeitos de cada íon (Tabela 16) e segue a ideia discutida anteriormente sobre os resultados de PV35d e de GP total. Houve correlação significativa ($P < 0,01$) positiva da CA com Na e com as somas de cátions, de ânions e do total de íons, além de ter se mostrado altamente significativa ($P < 0,001$) e positiva com S no Experimento 1. Entretanto, não houve correlações significativas ($P > 0,05$) da CA com as características das dietas no Experimento 2 (Tabela 11).

Os resultados de MS da cama de aviário e das excretas e do pH fecal dos dois experimentos são apresentados na Tabela 8. Em relação à MS da cama dos frangos, nas duas primeiras semanas de ambos os experimentos o T9 foi o tratamento que apresentou a maior umidade, conforme apresentado a seguir. Vale ressaltar que as MS da cama e das excretas são características intimamente ligadas à composição de eletrólitos nas dietas. Já na terceira semana, não houve diferença no teor de MS da cama entre os tratamentos no primeiro experimento. Esses resultados se explicam pelo maior BE Mongin (449 mEq/kg) e maior teor de Na (0,74%) devido ao uso combinado de $NaHCO_3$ (1,257%) e de $NaHSO_4$ (1,796%) no T9. O efeito somado de alto Na e de alto SO_4^- fez com que as aves provavelmente ingerissem mais água (efeito não medido) e consequentemente intensificassem a produção de urina, aumentando com isso a umidade da cama em praticamente todas as semanas do período experimental.

Nas aves, o consumo de água depende do consumo de sal (Mongin, 1980). Na prática, um relacionamento entre excesso de consumo de Na e excesso de umidade da cama é bem conhecido. Entretanto, pouca atenção vem sendo dada a outros íons. O ânion Cl^- nem sempre é relacionado à umidade das excretas, mas K^+ e Na^+ são íons de grande influência sobre o percentual de água nas dejeções. Dessa forma, qualquer aumento de Na^+ e de K^+ dietéticos aumentará consequentemente o consumo de água e o conteúdo de água excretada. Os efeitos positivos da suplementação de Na^+ em aves sob estresse térmico têm sido atribuídos justamente a uma temperatura corporal menor mediada pelo aumento no consumo de água (Ahmad et al., 2008; Borges et al., 2003), embora os mesmos autores indiquem que a adição de altos níveis de carbonato pode exacerbar as condições alcalóticas associadas à ofegação durante o estresse por calor.

A respeito disso, as características acidificantes do ânion bissulfato (HSO_4^-) no NaHSO_4 poderiam ajudar a manter o pH do sangue durante o estresse térmico. Então, os efeitos benéficos do bissulfato no desempenho produtivo durante o estresse térmico poderiam ser associados ao aumento no consumo de água devido ao Na extra e com a redução do pH arterial devido ao ânion HSO_4^- . O fato foi que, no presente estudo, as aves não foram necessariamente submetidas ao estresse térmico (Tabela 1), principalmente no primeiro experimento, que foi realizado no inverno. Dessa forma, o possível efeito positivo de alto Na^+ dietético, aqui associado com alto sulfato, não foi observado. Mushtaq et al. (2005) concluíram que a umidade da cama foi um efeito acumulativo e interativo de Na^+ e de Cl^- .

As MS das camas nas duas primeiras semanas experimentais no Experimento 1 foram significativas apenas para o BE1, com relações quadráticas e positivas ($P < 0,0001$ e $P < 0,05$; MS cama = $49,8606 + 0,0308906 \cdot \text{BE1} - 0,000134115 \cdot \text{BE1}^2$, $X_{\text{máx.}} = 115,2$ mEq/kg e MS cama = $47,6996 + 0,00254559 \cdot \text{BE1} + 5,58578 \cdot 10^{-7} \cdot \text{BE1}^2$, $X_{\text{máx.}} = 215,9$ mEq/kg, respectivamente; Tabela 9). Na terceira semana, não houve influência de nenhum dos balanços eletrolíticos analisados ($P > 0,05$). Em relação às regressões múltiplas, apenas o Na apresentou efeito significativo, linear e negativo com essas variáveis, nas três semanas avaliadas ($R^2 = 35,2\%$, $R^2 = 11,92\%$ e $R^2 = 10,39\%$, respectivamente; Tabela 17). No segundo experimento, a MS da cama na primeira semana experimental apresentou relação quadrática positiva ($P < 0,001$, $R^2 = 40,7\%$, MS = $56,4102 + 0,103557 \cdot \text{BE1} - 0,000259768 \cdot \text{BE1}^2$, $X_{\text{máx.}} = 199,3$ mEq/kg) com BE1, e não significativa com BE2 e com BECO3 ($P > 0,05$; Tabela 11). Na segunda semana do segundo experimento, houve um efeito maior dos tratamentos sobre a MS da cama, o que se pode observar pelos efeitos dos balanços eletrolíticos nas equações de regressão.

Para os três balanços eletrolíticos testados, Mongin (tradicional), completo (inclusão de mais íons) e alternativo (substituição do Ca na fórmula pelo CO_3), ocorreram efeitos significativos com o BE1 para as três semanas de avaliação. As MS da cama aviária nas três semanas experimentais foram influenciadas por todas as somas, de ânions, de cátions e do total de íons, porém com maior significância para a soma de cátions, que apresentaram maiores valores de R^2 ($R^2= 20,92\%$, $R^2= 47,45\%$ e $R^2= 37,05\%$, respectivamente; Tabela 9).

Regressões múltiplas entre os íons e a MS da cama no segundo experimento (Tabela 18) geraram como resultado na primeira semana efeitos significativos negativos de Cl^- , de HCO_3^- e de S^- ($P<0,05$, $R^2=45,54\%$). Na segunda semana experimental, houve efeitos significativos e negativos de Ca^+ , de Cl^- e de Na^+ , e positivo de S^- ($P<0,001$, $R^2=75,4\%$). Na terceira semana, os efeitos dos íons citados acima se repetiram ($P<0,001$, $R^2=66,4\%$). A Tabela 10 mostra os coeficientes de correlação da MS da cama e os componentes das dietas, e a partir dela é possível observar que há correlação altamente significativa ($P<0,001$) negativa do Na, do S, da soma de $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3$, das somas de ânions, de cátions e do total de íons e do BE1 com a MS da cama na primeira semana experimental. Já na segunda semana, as correlações seguem negativas com o Na, as três somas e o BE1, e não houve nenhuma correlação significativa da MS na terceira semana. No Experimento 2, as análises de correlação são muito semelhantes, com exceção de que houve correlação significativa na terceira semana experimental, sendo ela altamente significativa ($P<0,001$) e negativa com Na, soma total de íons, soma de cátions e BE1, e significativa com HCO_3 , soma de $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3$ e soma de ânions (Tabela 11).

A MS das excretas foi menor nos T9 e T10 em ambos os experimentos, em concordância com os aspectos já discutidos acima quanto à composição da dieta e à relação de determinados íons com a excreção de água. A MS das excretas apresentou efeito significativo apenas para o BE1 ($P<0,001$, $R^2=40,94\%$, $\text{MS excretas}= 19,6614 + 0,0170219*\text{BE1}-0,0000461852*\text{BE1}^2$, $X_{\text{máx.}} = 184,3 \text{ mEq/kg}$), sendo o relacionamento quadrático positivo (Tabela 9), e uma correlação negativa com o mesmo, assim como com o Na, o S e a soma total de íons em ambos os experimentos (Tabelas 10 e 11). Para BE2 e BECO3, não houve efeito significativo ($P>0,05$). Além disso, a MS mostrou efeito significativo linear negativo com o Na ($P<0,05$, $R^2=28,33\%$; Tabela 17). Koreleski et al. (2010) relatam que o conteúdo de MS da excreta das aves foi negativamente afetado pelo nível de K^+ na dieta, sendo que o mais alto nível de K^+ aumentou o teor de umidade. Por outro lado, a suplementação de Na^+ não influenciou a MS das excretas.

Esses dados são contrastantes com o presente estudo, onde foi observada relação significativa negativa do Na^+ com o teor de água das excretas, porém como não houve manipulação na concentração de K^+ dietético, não foi possível detectar sua influência. O consumo de água pelas aves depende diretamente da temperatura ambiental e da proporção de cátions no alimento (Borges et al., 2007).

Na Tabela 8, são apresentados também os resultados de pH das excretas de frangos. No primeiro experimento, o pH das excretas dos frangos mostrou ter sido influenciado de forma mais significativa apenas pela soma de cátions na segunda leitura ($R^2=19,06\%$, $P<0,01$). Já no Experimento 2, nenhum dos balanços eletrolíticos afetou as segunda e terceira leituras do pH fecal, conforme a Tabela 9. A soma de ânions nas leituras do primeiro e do terceiro dia de avaliação do pH das excretas também foi significativa com relações negativas, quadrática ($R^2=30,42\%$) e linear ($R^2=19,44\%$), respectivamente. O BE2 foi positivamente correlacionado com as primeira e terceira leituras de pH ($P<0,05$), assim como o BECO3 com a terceira leitura ($P<0,05$; Tabela 10). A correlação se repetiu no Experimento 2 (Tabela 11), porém só para a primeira leitura, adicionando também a correlação positiva com o BECO3.

A Tabela 12 apresenta os valores de algumas das variáveis sanguíneas analisadas. Para a variável ânion gap (AG), foi encontrado o menor valor (17 mmol/L) no T3 e o maior no T9 (21,93 mmol/L) para o Experimento 1 (Tabela 12). No Experimento 2, o menor AG foi observado no T7 (15,1mmol/L) sem diferir dos T1 e T4, e o maior valor foi observado no T9 (18,25mmol/L), assim como no Experimento 1. A janela aniônica, ou ânion gap, é a diferença entre cátions (Na^+ , K^+) e ânions (Cl^- , HCO_3^-) medidos no sangue, sendo utilizada na classificação dos desequilíbrios como acidose metabólica devido à perda de HCO_3^- ou ao excesso de ácidos orgânicos, alcalose metabólica ou ainda transtornos ácido-básicos mistos.

O AG mostrou relação significativa linear decrescente com BE2 no Experimento 1 ($R^2=18,67\%$, $P<0,001$, $\text{AG mmol/L} = 23,0724 - 0,0153103 * \text{BE2}$), e efeito significativo e relações lineares decrescentes com os BE2 ($P<0,05$, $R^2=29,09\%$, $\text{AG} = 21,7663 - 0,0171279 * \text{BE2}$) e BECO3 ($P<0,05$, $R^2=26,04\%$, $\text{AG} = 18,3519 - 0,0134751 * \text{BECO}_3$) no Experimento 2. Não houve efeito significativo do BE1 para a variável AG ($P>0,05$; Tabela 14). No Experimento 2, a soma de ânions também mostrou significância ($R^2=24,68\%$, $P<0,05$). Dessa forma, aumentos nos valores de BE2 determinam redução no AG de tal forma que conduzem o organismo a condições alcalóticas, uma vez que baixos valores de AG indicam alcalose, e o contrário também é verdadeiro.

Esse resultado justifica o uso alternativo de balanços eletrolíticos mais completos, com a inclusão de outros íons na equação, se comparados à equação de Mongin, uma vez que mostra o papel desses elementos atuando no equilíbrio ácido-base. Adicionalmente, conforme Tabela 15, a AG apresentou correlações positiva com Na ($P < 0,05$) e negativas com BE2 ($P < 0,001$) e BECO3 ($P < 0,01$) no Experimento 1. No Experimento 2, foram observados resultados semelhantes quanto à correlação do AG com o BE2 e com o BECO3, adicionalmente ainda houve correlação positiva com a soma de ânions (Tabela 16).

Resultados obtidos de experimentos com aves são semelhantes aos reportados por Thacker (1959), que observou que taxas de crescimento de coelhos foram melhoradas pela suplementação da dieta basal com sais de Ca^{++} , de Mg^{++} , de Na^+ e de K^+ carregando um ânion metabolizável, reforçando, com isso, os questionamentos sobre a eficácia em determinados casos do uso da equação tradicional de equilíbrio eletrolítico dietético. Já em relação à análise por regressão múltipla dos íons sobre o AG, Cl, S e Na apresentaram relacionamentos positivos com Cl e S e negativo com Na ($R^2 = 27,11\%$) no Experimento 1 (Tabela 15). No Experimento 2, Cl⁻ e S⁻ foram significativos e apresentaram relação linear positiva ($P < 0,05$, $R^2 = 34,7\%$, $\text{AG} = 12,7581 + 0,02442 * \text{Cl} + 0,00903768 * \text{S}$) com o AG (Tabela 17).

Em relação ao excesso de bases no fluido extracelular (Beecf), conforme a Tabela 12, o menor valor foi encontrado no T2 (-1,0 mmol/L) e o maior no T7 (5,902 mmol/L) no Experimento 1. No Experimento 2, o menor valor de excesso de bases foi observado no T1 (-2,4 mmol/L) e o maior no T7 (3,18 mmol/L), esse último dado concordando com o Experimento 1. O excesso de base é um cálculo que se baseia na quantificação da proporção de bases no sangue. O valor de excesso de bases do sangue próximo a zero é desejável (Ahmad et al., 2006), e indica a manutenção do balanço ácido-base requerido para um melhor desempenho. O valor positivo de excesso de bases mostra um excedente de HCO_3^- (condições alcalóticas), enquanto um valor negativo representa a produção de ácidos (condições acidóticas). Portanto, no Experimento 1, o excesso de bases foi negativo nos T1 e T2, enquanto no Experimento 2 isso ocorreu apenas no T1, o que significa que as aves consumindo essas dietas estavam em condições acidóticas.

As análises de regressão mostram que o excesso de bases foi mais influenciado pelo BECO₃ em uma relação linear crescente em ambos os experimentos ($R^2= 27,11\%$, $P<0,001$, $Beecf= 0,219101 + 0,0158357*BECO_3$; $R^2= 35,20\%$, $P<0,001$, $Beecf= -1,44746 + 0,0211625*BECO_3$). No Experimento 2, a soma de ânions também influenciou o excesso de bases em uma relação quadrática negativa ($R^2= 36,58\%$, $P<0,01$, $Beecf = 86,5777- 0,273551*soma\ ânion + 0,00020873*soma\ ânion^2$, $X_{mín.}= 655,3\ meq/kg$). Essa variável também apresentou correlações positivas e significativas com os três balanços, a soma de ânions e a soma HCO_3+CO_3 , e negativa com Cl no Experimento 1 e com efeitos semelhantes no Experimento 2 (Tabelas 15 e 16). Dessa forma, conforme se elevam os valores de balanço eletrolítico das três formas aqui estudadas, aumentam-se os valores de excesso de bases. Portanto, independentemente da equação utilizada, altos balanços eletrolíticos determinam aumento da ocorrência de alcalose metabólica em frangos.

Os íons Na e Ca da dieta influenciaram positivamente o excesso de bases no Experimento 1, e os íons Cl e S, negativamente, na análise de regressão múltipla, o que era esperado ($R^2=30,45\%$; Tabela 17). Já no Experimento 2, o único íon com efeito significativo foi o Cl⁻ ($P<0,05$, $R^2=29,34\%$, $Beecf = 3,31663 - 0,03491*Cl$; Tabela 16). Tanto o excesso de ânions quanto o excesso de cátions são prejudiciais às aves. Quantidades elevadas de Cl⁻, em determinadas condições e sem o devido ajuste da quantidade de cátions, são relacionadas à depressão de CR e de GP.

O Cl⁻ por si pode não ser prejudicial às aves quando alimentadas com sais de Na⁺ e de K⁺, entretanto, quando usado como CaCl₂, indicou ou uma absorção preferencial do Cl⁻ ou diferentes rotas de excreção, o Ca⁺⁺ via intestino e o Cl⁻ via rins (Melliere e Forbes, 1966). Altos níveis de Na⁺ também são relacionados à redução no CR e no GP, mostrando efeito tóxico desse cátion e podendo inclusive levar as aves à morte. Em uma base equivalente igual, excesso de K⁺ também tende a deprimir o GP, mais até do que o Na⁺. Apesar disso, diferentes cátions e ânions possuem efeitos benéficos se fornecidos em quantidades adequadas, permitindo um controle inerente das condições ácido-base do organismo. Quando o ânion dietético é o fosfato, por exemplo, o papel do Na⁺ e do K⁺ é sem dúvidas o de neutralizar o excesso de ânions no túbulo renal. E quando ânion dietético em excesso é o cloro ou o sulfato, Na⁺ e K⁺, e em alguma extensão o Mg⁺⁺, agem nos rins neutralizando-os. O Ca⁺⁺, por sua vez, é ineficaz em prevenir acidose, provavelmente devido à limitada capacidade dos rins de excretar Ca⁺⁺ ou à habilidade do intestino em absorver o excesso de Ca⁺⁺ (Melliere e Forbes, 1966).

Os T9 e T3 destacaram-se, pois apresentaram o menor (1,327 mmol/L) e o maior (1,703 mmol/L) valor para a variável Ca ionizado, respectivamente, no Experimento 1. Já no Experimento 2, o T4 apresentou o menor valor de Ca ionizado (1,497mmol/L), não diferindo dos T1, T7 e T9 e assemelhando-se em partes ao Experimento 1. O maior valor desse íon durante o Experimento 2 foi observado no T10 (1,738mmol/L), possivelmente devido à maior inclusão de Ca nesse tratamento advindo do CaCO₃, gerando 1,11% de Ca nessa dieta. Em comparação com a dosagem de Ca total, a determinação do Ca ionizado oferece a vantagem de se referir à fração do elemento fisiologicamente atuante. O Ca ionizado não apresenta as variações que o Ca total sofre com a taxa de proteínas, embora possa ser influenciado pelas condições do equilíbrio ácido-base. Concentrações de Ca ionizado são variáveis entre espécies, sendo valores para frangos de corte de linhagem pesada em torno de 2 a 3mmol/L (Rezende, 2017), 0,8 a 1,3mmol/L em aves silvestres (Vila, 2013) e 1,15 a 1,35mmol/L em gatos.

Além disso, baixos valores de Ca ionizado podem ser relacionados ao uso de heparina nas seringas de coleta de sangue (Dibartola, 2006), sendo essa substância capaz, inclusive, de influenciar nos resultados, o que pode ter ocorrido no presente estudo. Os ossos funcionam como um sistema tampão para o balanço eletrolítico de fluidos corporais. Dietas ácidas podem induzir liberação de cátions (incluindo Ca⁺⁺) a partir dos ossos para o sangue para corrigir o pH. A maioria do Ca⁺⁺ no corpo está limitada à matriz mineral óssea, o que sugere que os ossos são a fonte de maior excreção desse mineral nos rins (Bushinsky, 2001). A perda de Ca⁺⁺ deveria resultar em reduzida mineralização óssea e poderia afetar a densidade dos ossos. Arantes et al. (2013) não observaram tal efeito, sugerindo que o balanço eletrolítico dietético de 200 mEq/kg não afetou o metabolismo ósseo de frangos até os 38 dias de vida. Não foi avaliada no presente estudo nenhuma variável relacionada à mineralização óssea, porém, de qualquer forma, as análises de regressão mostraram que o Ca ionizado não foi influenciado por nenhum dos balanços eletrolíticos estudados (P>0,05; Tabela 14) em nenhum dos experimentos. Todavia, durante o Experimento 2 o Ca ionizado foi mais influenciado pela soma de ânions (R²=15,24% e P<0,05), e de forma positiva, o que pode ser associado a algum efeito sobre a mobilização óssea. Por outro lado, o Ca ionizado apresentou correlação positiva somente com o Ca da dieta (Tabela 15) no Experimento 1 e com Ca, S, CO₃, soma total de íons, soma de ânions e soma de cátions no Experimento 2 (Tabela 16). Vale destacar que o pool de Ca ionizado é inversamente relacionado ao pH sanguíneo. Baixos níveis de Ca ionizado resultam em efeitos deletérios sobre o metabolismo do Ca⁺⁺ em aves (Odom et al., 1986; Bottje e Harisson, 1990). Em aves sob estresse térmico, concentrações elevadas de piruvato e de lactato foram associadas à redução nas concentrações de Ca ionizado nas aves.

Em relação ao CO₂ sanguíneo total, houve pouca diferença estatística entre os tratamentos em ambos os experimentos (Tabela 12). Sabendo que o balanço eletrolítico é intimamente associado com o pH do sangue, a pressão de gases e a concentração de HCO₃⁻ (Darre et al., 1980; Teeter, 1997a e 1997b), as análises de regressão mostraram que o nível de CO₂ no sangue foi mais influenciado e teve relação linear crescente com BECO₃ nos dois experimentos ($R^2= 23,72\%$, $P<0,001$, $CO_2= 28,5875 + 0,0137355*BECO_3$; $R^2= 29,24\%$, $P<0,01$, $CO_2= 25,8942 + 0,0150648*BECO_3$), além da soma de ânions no Experimento 2 ($R^2= 34,89\%$, $P<0,01$, $CO_2= 93,3029-0,212285*soma\ ânion + 0,000163783*soma\ ânion^2$, $X_{mín.} = 648\text{ mEq/kg}$) com uma relação quadrática negativa (Tabela 14).

Os três balanços eletrolíticos apresentaram correlação positiva com o CO₂ total (Tabela 15), além do CO₃ e da soma de HCO₃+CO₃, sendo esses efeitos os mesmos observados no Experimento 2 (Tabela 16). Dessa forma, aumentos nos balanços eletrolíticos promovem acréscimo no teor de CO₂ do sangue. Isso é possível pois o ácido carbônico, por ação da anidrase carbônica, libera tanto H⁺ e HCO₃⁻ como CO₂ e H₂O de forma reversível ($CO_2 + H_2O \leftrightarrow H_2CO_3 \leftrightarrow H^+ + HCO_3^-$). Sendo assim, dependendo da dieta, maiores concentrações de H⁺ ou de HCO₃⁻ liberados promovem maior ou menor formação de ácido carbônico que poderá se dissociar liberando CO₂ e H₂O. Além disso, as dietas ainda podem influenciar no metabolismo celular devido à digestão de diferentes compostos, afetando conseqüentemente a liberação de CO₂ como produto final. Baixa concentração de CO₂ ocorre em situações de alcalose respiratória, o que não ocorreu nas aves nesse estudo. Esse resultado reforça o papel de vários íons influenciando variáveis bioquímicas do sangue, e, portanto, a manipulação da nutrição é relacionada ao equilíbrio ácido-base e eletrolítico. Quando analisados individualmente, Na e Ca influenciaram o CO₂ em um relacionamento linear positivo, enquanto Cl e S negativamente afetaram essa variável ($R^2=26,63\%$, $P<0,01$; Tabela 17) no Experimento 1. Já no Experimento 2, o Cl foi o único íon com efeito significativo sobre o CO₂ do sangue em uma relação linear negativa ($P<0,05$, $R^2=32,24\%$, $CO_2= 29,5615 - 0,0285876*Cl$; Tabela 18).

Em relação ao íon HCO_3^- , os maiores valores foram encontrados nos T7 dos dois experimentos, 31,64 e 27,78mmol/L, respectivamente, resultados esses explicados pelas mais altas inclusões de NaHCO_3 (1,257%) e de CaCO_3 (1,398%) terem ocorrido nesses tratamentos, seguidos pelos T9, como podem ser observados na Tabela 12. Suplementos dietéticos de sais de CO_3^- e de HCO_3^- podem ser considerados como substratos para formação de HCO_3^- de acordo com Gorman e Balnave (1994). Da mesma forma, NaHCO_3 foi também considerado como tampão de CO_2 produzido, ajudando a restaurar os níveis de HCO_3^- e a pCO_2 . Isso pode ser constatado nos T3, T6 e T10, pois no T3 não foi usado NaHCO_3 na formulação, e sim CaCO_3 , no T6 foi utilizada uma pequena quantidade (0,413%) de NaHCO_3 , porém com alta inclusão de CaCO_3 (1,687%), e no T10 novamente não se usou o NaHCO_3 , mas uma inclusão ainda maior de CaCO_3 (2,281%; Tabela 5), e os valores de HCO_3^- sanguíneo desses três tratamentos foram relativamente elevados (28,7, 27,48 e 28,2 mmol/L, T3, T6 e T10, respectivamente; Tabela 14).

De forma semelhante ao CO_2 , o HCO_3^- sanguíneo no Experimento 1 mostrou relação linear crescente altamente significativa com BECO3 ($R^2=24,7\%$, $P<0,001$, $\text{HCO}_3= 26,8243 + 0,0134657*\text{BECO3}$), semelhantemente ao resultado obtido por Santos e Kessler (dados não publicados) ao analisarem um banco de dados de 35 artigos, nos quais observaram o mesmo efeito do BECO3 sobre a concentração de íons HCO_3^- no sangue. A relação obtida do HCO_3^- no Experimento 2 foi quadrática com o BE1 ($R^2=33,12\%$, $P<0,01$, $\text{HCO}_3= 20,1846 + 0,0394354*\text{BE1}-0,000055695*\text{BE1}^2$, $X_{\text{máx.}} = 354 \text{ mEq/kg}$), bem como com a soma de ânions ($R^2=35,73\%$, $P<0,01$, $\text{HCO}_3 = 92,095-0,212474*\text{soma ânion} + 0,000163542*\text{soma ânion}^2$, $X_{\text{mín.}} = 649,6 \text{ mEq/kg}$; Tabela 14). Na análise de regressão múltipla, os íons Ca^{++} e Na^+ influenciaram positivamente o HCO_3^- do sangue, contrariamente ao Cl e ao S, os quais mostraram coeficientes negativos com essa variável ($R^2=27,75\%$) no Experimento 1 (Tabela 17). Por outro lado, no Experimento 2, o Cl foi o íon com efeito individual significativo e decrescente atuando sobre a concentração de HCO_3^- no sangue ($P<0,05$, $R^2=32,31\%$, $\text{HCO}_3= 28,1093 - 0,0282873*\text{Cl}$; Tabela 18). Esse resultado confirma o observado por Santos e Kessler (dados não publicados) ao analisarem os efeitos de diversos íons, dentre eles o Cl, sobre a concentração de HCO_3^- , obtendo relação linear negativa do íon sobre essa variável.

As correlações do HCO_3^- com os três balanços eletrolíticos e com a soma de ânions foram positivas, portanto, a concentração do íon HCO_3^- é superior conforme se aumentam os balanços eletrolíticos aqui propostos (Tabela 15). Houve correlação positiva e significativa também com o CO_3 , altamente significativa com a soma HCO_3+CO_3 e negativa com o Cl da dieta. No Experimento 2, os efeitos são semelhantes aos observados no Experimento 1 (Tabela 16). Esse resultado vai ao encontro dos resultados de AG e Beecf, discutidos anteriormente. Murakami et al. (2001) afirmam que níveis altos de NaHCO_3 necessários para alcançar altos níveis de Na^+ nas dietas também contribuem com HCO_3^- , o qual, em seu experimento, deslocou Cl^- do sangue e pode ter criado uma deficiência ou desbalanço do mesmo. Segundo esses autores, um nível de NaHCO_3 de 0,6% apresentou resultados normais, mas níveis de 0,79% ou superiores foram prejudiciais aos frangos. No presente estudo, níveis mais elevados de NaHCO_3 foram utilizados (T2, T7 e T9) e altos níveis de HCO_3^- foram detectados no sangue das aves que receberam essas dietas, porém os resultados negativos observados principalmente no T9 foram associados ao SO_4^- e não ao HCO_3^- .

O hematócrito não foi influenciado por nenhum dos balanços eletrolíticos testados em nenhum dos experimentos (Tabela 14). Alterações no hematócrito comumente ocorrem em resposta ao estresse por calor (Whittow et al., 1964). Existe um aumento no hematócrito em aves sob altas temperaturas, o que pode ser explicado pelo maior número de células vermelhas (Borges, Silva, Maiorka, 2007). Entretanto, esse efeito não foi notado no presente estudo. Em nenhum dos experimentos dessa pesquisa, as aves foram submetidas ao estresse térmico, primeiramente porque o Experimento 1 foi realizado no inverno, e em segundo lugar porque durante o Experimento 2, mesmo tendo sido desenvolvido no verão, as condições ambientais não causaram alterações hemogasométricos correspondentes ao estresse térmico nas aves.

O hematócrito não apresentou diferença em nenhum dos tratamentos, mesmo havendo alguns relatos na literatura como o de Peng et al. (2013), cujas análises bioquímicas do sangue em seu estudo indicaram que o NaHCO_3 acima de 1,0% diminuiu a hemoglobina do sangue ($P<0,001$) e aumentou o hematócrito ($P<0,001$). Esses efeitos, entretanto, não foram observados nesse estudo, conforme a Tabela 12. Essa variável não apresentou correlação com nenhuma das demais analisadas em nenhum dos experimentos (Tabelas 15 e 16).

O pH do sangue no Experimento 1 apresentou menores valores nos T1 e T8 (7,25 e 7,28), porém sem diferença estatística entre os tratamentos 2, 3, 5, 6, 9 e 10. No entanto, o pH mais alto foi obtido no T4 (7,36), não diferindo dos tratamentos 3, 6 e 7, conforme a Tabela 12. No Experimento 2, o menor pH foi observado no T1 (7,32) sem diferir dos T9 e T10, já o maior pH foi observado no T7 (7,41). Alterações no pH celular podem ser seguidas por variações no pH do sangue e da urina. Logo, essas medidas, juntamente com as medições dos $p\text{CO}_2$ e HCO_3^- , componentes respiratório e metabólico, respectivamente, têm o poder de indicar desbalanços primários no equilíbrio ácido-base, uma vez que essas variáveis são relativamente constantes, e, portanto, atuam como bons indicadores. Considerando o pH do sangue como sendo um dos indicadores de alterações no pH celular, variações deste podem indicar efeitos metabólicos devido à composição das dietas das aves. Hurwitz et al. (1973), enquanto estudavam o impacto da relação cátion/ânion ($\text{Na}^+ + \text{K}^+ / \text{Cl}^-$), notaram que a taxa de crescimento de frangos foi mais alta quando o pH do sangue foi 7,28 e se reduziu quando valores de pH foram maiores que 7,30 ou menores do que 7,20. No entanto, ainda não está definido se a resposta foi totalmente devido à mudança de pH ou a eletrólitos e a efeitos metabólicos.

O pH sanguíneo não foi influenciado pelo BE1 ($P > 0,05$) em nenhum dos experimentos. Todavia, sofreu maior influência e mostrou relação linear crescente com o BECO3 no Experimento 2 ($R^2 = 25,86\%$, $P < 0,051$, $\text{pH} = 7,33233 + 0,000366851 * \text{BECO3}$; Tabela 14). Isso confirma os resultados obtidos por Santos e Kessler (dados não publicados) em sua revisão sistemática sobre as formas de calcular o balanço eletrolítico e sua influência sobre o desempenho e variáveis sanguíneas em frangos de corte, onde foi observada relação linear positiva também do pH do sangue com o BECO3. Com isso, valores crescentes de BECO3 tendem a elevar o pH do sangue, chegando à relação já estabelecida de balanço eletrolítico e pH, a qual demonstra que quanto maior o balanço, mais alto é o pH e, portanto, mais alcalina será a dieta e conseqüentemente o sangue. A soma de ânions também teve efeito significativo sobre o pH sanguíneo em uma relação quadrática negativa ($R^2 = 28,86\%$, $P < 0,01$, $\text{pH} = 8,63658 - 0,00391935 * \text{soma ânion} + 0,00000290432 * \text{soma ânion}^2$, $X_{\text{mín.}} = 674,7 \text{ mEq/kg}$) no Experimento 2. Em Santos e Kessler (dados não publicados) também foi observada uma relação negativa, porém linear, da soma de ânions com o pH sanguíneo.

Adicionalmente, nas análises de correlação foram obtidos coeficientes positivos com os BE2 e BECO3 em ambos os experimentos (Tabelas 15 e 16). Aqui se reforça a importância dos íons excluídos da equação de BE de Mongin, uma vez que a partir do momento em que esses íons foram incluídos no cálculo, seus efeitos foram identificados na análise de variáveis do balanço ácido-base, como o pH. Esses resultados mais uma vez concordam com outras variáveis apresentadas acima e suas relações com as metodologias de cálculo dos balanços aqui propostas, reforçadas de forma adicional pela análise de regressão múltipla onde efeitos negativos com Cl e S sobre o pH do sangue ($R^2=9,29\%$) foram observados no Experimento 1 (Tabela 17). No Experimento 2, Cl e S também foram os íons que influenciaram o pH sanguíneo, sendo seus efeitos negativos ($P<0,05$, $R^2=28,9\%$, $pH= 7,4748 - 0,000728999*Cl - 0,000191182*S$), de forma que aumentos na inclusão de ambos na dieta promovem queda nos valores de pH, tornando o sangue mais ácido (Tabela 18).

Ruiz e Austic (1993) conduziram um estudo a fim de determinar as acidogenicidades relativas de suplementos dietéticos de ânions, de Cl, de sulfato e de fosfato monovalente em dietas para frangas Leghorn. O Cl consistentemente reduziu o pH do sangue e a concentração de HCO_3^- . O sulfato foi acidogênico, porém menos do que o Cl, enquanto que o fosfato monovalente não afetou as medidas de sangue e de balanço ácido-base. Uma excessiva ingestão de ânions promove secreção intestinal de HCO_3^- ou resulta em concomitante absorção de H^+ junto com os ânions absorvidos (Block, 1984). Esta situação favorece uma redução no pH do sangue e no consumo da reserva de HCO_3^- para compensar e evitar o desenvolvimento de acidose metabólica (Lee e Drobatz, 2003). Nesse estudo, foram coletadas amostras do sangue venoso das aves para as análises de gasometria, e a respeito disso, é relevante dizer que Middleton et al. (1981) utilizaram sangue venoso para estudar os efeitos metabólicos de dietas diversas quanto à composição mineral. Esses autores compararam o sangue venoso e o arterial de gatos sob as mesmas condições e concluíram que o pH do sangue venoso é adequado para estudar diversas alterações do metabolismo ácido-base. As principais diferenças entre sangue arterial e venoso são menor pO_2 , maior pCO_2 e pH levemente inferior no sangue venoso (Dibartola, 2006). Sabendo-se que alterações no pH celular podem ser detectadas através do pH da urina e do sangue, ampliam-se as percepções do balanço ácido-base.

Os T1, T2, T8, T9 e T10 foram classificados como em acidose metabólica, levando em consideração pH, HCO_3^- sanguíneo e excesso de bases, de acordo com a literatura (Hurwitz et al., 1973; Bottje e Harrison, 1985; Johnson e Karunajeewa, 1985; Teeter et al., 1985; Borges et al., 2003b; Borges et al., 2003c; Borges et al., 2004; Ahmad et al., 2005; Saki et al., 2016; Yosi et al., 2016). É possível associar a acidose metabólica nos T1 e T2 à presença de CaCl_2 na formulação desses tratamentos. Murakami et al. (2001) observaram efeito linear negativo de níveis de Cl^- no pH do sangue, de HCO_3^- , de CO_2 total e excesso sanguíneo de bases. Esses valores diminuíram conforme o Cl^- aumentou, confirmando as observações de Adesina e Robbins (1987), Ruíz-López e Austic (1993) e Hooge (1998).

O Cl dietético tem efeito acidogênico indireto sobre o metabolismo das aves. O mesmo efeito foi detectado no presente estudo, quando analisadas as correlações entre o Cl^- e o pH do sangue, o HCO_3^- , o CO_2 total e o excesso sanguíneo de bases. De acordo com Kusakawa e Faria (1998), algumas pesquisas demonstram que o excesso de Cl^- na ração pode levar à acidose. No entanto, os resultados obtidos para codornas são semelhantes aos relatados por Mushtaq et al. (2005) para frangos de corte de um a 28 dias de idade. Esses pesquisadores verificaram que o pH e as concentrações de Na^+ e de K^+ do sangue não foram influenciados pelo nível de Cl^- da ração. No presente estudo, os níveis de Cl^- dos T1 e T2 foram altos (0,6 e 0,68%, respectivamente). O aumento dos níveis de Cl^- na ração pode induzir a quadros de acidose metabólica nas aves, pois favorece a retenção de íons H^+ no sangue (Mushtaq et al., 2005 e Mushtaq et al., 2007). Entretanto, os efeitos do Cl^- dietético sobre as características do sangue podem variar em função de mecanismos regulatórios do equilíbrio ácido-base, sendo que os mesmos são dinâmicos e dependentes das relações entre Cl^- e os outros eletrólitos corporais, assim como das condições ambientais de criação das aves. Em relação aos T8, T9 e T10, associa-se a acidogenicidade da dieta ao sulfato proveniente do NaHSO_4 , já que não houve inclusão de CaCl_2 , sendo esse um ânion de alto poder acidificante e conseqüentemente com influência sobre o pH do sangue.

Canh et al. (1998) investigaram os efeitos do sulfato de cálcio (CaSO_4), do CaCl_2 , do CaCO_3 e do benzoato de cálcio ($\text{C}_{14}\text{H}_{10}\text{CaO}_4$) em dietas para suínos em terminação. Essas fontes foram adicionadas baseando-se na quantidade de Ca na dieta, com alto balanço eletrolítico (320mEq/kg de MS) e baixo balanço eletrolítico (100mEq/kg de MS). Os autores observaram que o CaSO_4 , em ambas as dosagens, acidificou a urina, e a dose mais alta causou a maior acidificação. O resultado foi similar para acidificação da urina causada pela ingestão de dietas contendo CaCl_2 . Os autores explicam que os ânions Cl^- e o SO_4^{2-} têm maior taxa de absorção no intestino do que o Ca^{2+} . Além disso, o Ca^{++} é mantido no corpo, especialmente nos ossos (Kemmer-Kroonsberg, 1993), e tem menor excreção urinária e circulação no sangue (Guyton e Hall, 2011).

Por outro lado, os T3, T4, T5, T6 e T7 classificaram-se como em alcalose metabólica, seguindo os mesmos critérios (Hurwitz et al., 1973; Teeter et al., 1985; Johnson e Karunajeewa, 1985; Bottje e Harrison, 1985; Borges et al., 2003b; Borges et al., 2003c; Borges et al., 2004; Ahmad et al., 2005; Saki et al., 2016; Yosi et al., 2016). Com exceção do T5, que teve inclusão de NaHSO_4 , porém baixa (0,592%), os demais tratamentos que resultaram em alcalose metabólica tiveram alta inclusão de CaCO_3 e/ou de NaHCO_3 em sua formulação (Tabela 5). Esse resultado, portanto, era esperado, uma vez que se sabe que os íons CO_3 e HCO_3 têm o poder de aumentar o pH sanguíneo. Patience et al. (1986) relataram que ânions metabolizáveis, tais como HCO_3 , CO_3 e acetato, são capazes de neutralizar ácidos e de aumentar o pH do sangue. Da mesma forma, os autores citam que o NaHCO_3 dietético foi também considerado como tampão de CO_2 e que ajudou a restaurar os níveis de HCO_3^- e de pCO_2 . Semelhantemente a Patience et al. (1986), Ahmad et al. (2005) enfatizam em seu trabalho a importância em se considerar os ânions metabolizáveis suplementados em associação com os cátions enquanto se faz o balanceamento das equações de balanço eletrolítico. Ruiz-Lopez e Austic (1993) afirmam que baixo pH sanguíneo e valores negativos de excesso de bases com Na_2SO_4 e K_2SO_4 foram relacionados a propriedades acidogênicas do sulfato e relatam ainda que propriedades acidogênicas de sulfato dependem da fonte.

Em experimentos conduzidos em laboratório com aves usando dietas purificadas contendo caseína como fonte proteica, uma marcada depressão no crescimento foi observada por dietas com altos níveis do íon sulfato nas tentativas de induzir a deficiência de molibdênio. A mistura mineral na dieta supriu de 0,23 a 0,41% o sulfato inorgânico, sendo que as fontes de sulfato usadas foram o Na_2SO_4 , o CaSO_4 , e o K_2SO_4 . Quando o íon sulfato foi adicionado à dieta, Ca, Na e K foram mantidos constantes por trocas correspondentes em outros sais, então o conteúdo de cátions da dieta permaneceu constante. O conteúdo de íon CO_3 da dieta, no entanto, foi reduzido. Os resultados obtidos a partir da adição de 1,2% de sulfato na dieta basal mostram que esse nível de sulfato consistentemente reduziu a taxa de crescimento (Leach et al., 1960).

Quanto aos íons presentes no sangue das aves, o K^+ apresentou pouca diferença entre tratamentos e não variou na composição das dietas experimentais. O maior valor de K^+ encontrado foi no T1, porém sendo semelhante a alguns outros tratamentos, e o menor valor foi o do T8, também se assemelhando a outros tratamentos (Tabela 13). Segundo Derouchey et al. (2003), existe uma relação negativa entre pH do sangue e as concentrações de K^+ , sendo que esta reflete o movimento do K^+ e dos íons H^+ dentro e fora das células em resposta às mudanças nos valores de pH do sangue. Entretanto, esse efeito não foi medido no presente estudo. Não houve diferença significativa dos níveis de K^+ no sangue no Experimento 2 e nenhum dos balanços eletrolíticos analisados apresentou efeito significativo sobre o K^+ ($P > 0,05$) nos dois experimentos. No Experimento 2, o teor de K^+ foi influenciado significativamente pela concentração de Na^+ dietético em uma relação linear positiva ($P < 0,05$, $R^2 = 14,2\%$, $K = 5,08992 + 0,00154055 * \text{Na}$; Tabela 18). Houve correlação positiva do K com o BE2 e correlação positiva do Na e da soma de ânions nos Experimentos 1 e 2, respectivamente (Tabelas 15 e 16).

O teor de Na^+ entre as dietas apresentou diferenças no Experimento 1, sendo que o menor valor no sangue foi encontrado no T6 e se assemelhou a outros tratamentos, e os maiores valores foram encontrados nos T2, T7, T8 e T9 (Tabela 12), associando-se o resultado das três últimas dietas às maiores inclusões de Na^+ nesses tratamentos (0,4, 0,4 e 0,74% Na, respectivamente; Tabela 5), sendo que no T9 duas fontes de Na, de NaHCO_3 (1,257%) e de NaHSO_4 (1,796%) foram utilizadas. Somente o BE1 mostrou efeito significativo com o Na ($P < 0,001$) em uma relação quadrática negativa ($R^2 = 23,71\%$, $\text{Na} = 152,023 - 0,0335721 * \text{BE1} + 0,0000853764 * \text{BE1}^2$, $X_{\text{mín.}} = 196,6 \text{ mEq/kg}$), os BE2 e BECO3 não foram significativos (Tabela 14) tanto no Experimento 1 quanto no Experimento 2 ($R^2 = 25,91\%$, $P < 0,05$, $\text{Na} = 144,491 - 0,0251851 * \text{BE1} + 0,0000569302 * \text{BE1}^2$, $X_{\text{mín.}} = 221,2 \text{ mEq/kg}$; Tabela 14).

O Na foi correlacionado positivamente com o S, o HCO_3 , o BE1, a soma de cátions e a soma total de íons ($P < 0,01$; Tabela 15) e com o S, a soma total de íons, a soma de cátions e a soma de ânions nos Experimentos 1 e 2, respectivamente (Tabela 16). Na análise de regressão múltipla, o S mostrou efeito significativo e crescente sobre o Na do sangue ($P < 0,05$, $R^2 = 22,2\%$, $\text{Na} = 140,864 + 0,00657933 * \text{S}$; Tabela 17). O teor de Na sanguíneo foi significativamente influenciado pelos níveis de inclusão de Na nas dietas quando utilizados NaHCO_3 e NaHSO_4 como fontes desse mineral (Tabelas 15 e 16).

Não houve diferença significativa na concentração de Cl no sangue para nenhuma das dietas em nenhum dos experimentos. Em estudo realizado por Riley e Austic (1984), o Cl dietético reduziu significativamente o HCO_3 do plasma, o excesso de bases e a pCO_2 ($P < 0,05$), mas não diminuiu significativamente o pH do plasma ($P > 0,05$). Esse efeito não foi observado na presente pesquisa uma vez que, dos três tratamentos que apresentaram maior conteúdo de Cl⁻ (T1, T2 e T3), os T1 e T3 foram os com alto teor de CO_3 pela elevada inclusão de CaCO_3 na formulação, a qual provavelmente agiu equilibrando o efeito acidificante do Cl proveniente do CaCl_2 . No Experimento 2, o Cl mostrou efeito significativo e quadrático com o BE1 ($P < 0,05$, $R^2 = 21,84\%$, $\text{Cl} = 109,055 - 0,0315319 * \text{BE1} + 0,0000511138 * \text{BE1}^2$, $\text{Xmín.} = 308,4 \text{ mEq/kg}$) e quadrático positivo com a soma de ânions ($R^2 = 21,32\%$, $P < 0,05$, $\text{Cl} = 64,9232 + 0,127568 * \text{soma ânion} - 0,0000973301 * \text{soma ânion}^2$, $\text{Xmáx.} = 655,3 \text{ mEq/kg}$; Tabela 14). O Cl foi correlacionado negativamente com o CO_3 e o BECO_3 (Tabela 15) e com a soma $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3$, o BE2 e o BECO_3 (Tabela 16).

As pCO_2 e pO_2 não apresentaram diferença estatística entre os tratamentos em nenhum dos experimentos. Análises de regressão confirmam que essas pressões parciais não foram influenciadas pelos balanços eletrolíticos ($P > 0,05$) em nenhum dos experimentos. Dessa forma, os distúrbios do balanço ácido-base observados são de origem metabólica e não respiratória. A pO_2 não foi correlacionada com nenhuma das variáveis analisadas, assim como a pCO_2 em ambos os experimentos (Tabelas 15 e 16). A pCO_2 é um indicador de distúrbios do balanço ácido-base de origem respiratória e ao não apresentar correlação com os balanços demonstra que as aves não sofreram nem acidose nem alcalose respiratória. A pCO_2 apresentou efeito significativo somente com Na de forma linear e positiva ($P < 0,05$, $R^2 = 14,4\%$, $\text{pCO}_2 = 42,4407 + 0,0223196 * \text{Na}$; Tabela 18) no Experimento 2.

Na saturação de O₂, o maior valor foi encontrado nos T6 e T7, porém se considerou de pouco efeito frente aos demais tratamentos, e o menor valor foi observado no T5, também se assemelhando a outros. Essa variável foi mais influenciada pela soma de cátions no Experimento 1 ($R^2=17,325$, $P<0,01$, saturação O₂ = $-222,096 + 0,762635*\text{soma cátions} - 0,00047698*\text{soma cátions}^2$, $X_{\text{máx.}} = 799,4$ mEq/kg) e pelo BECO3 no Experimento 2 ($R^2=16,3\%$, $P<0,05$, saturação O₂ = $63,8874 + 0,0501624*\text{BECO3}$; Tabela 14). Dessa forma, conforme se aumentam os valores do BECO3, ocorrem elevações na saturação de oxigênio.

A saturação de O₂ apresentou todas as correlações muito próximas a zero. Logo, não há relação significativa entre as variáveis (Tabela 15) no Experimento 1. Ao mesmo tempo, no experimento 2 a saturação de O₂ foi positivamente correlacionada aos BE2 e BECO3 ($P<0,05$; Tabela 16). Uma maior oxigenação dos tecidos pode prevenir a hipoxia, melhorando o desempenho das aves (Raup e Bottje, 1990). No entanto, como dito anteriormente, as pO₂ não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos. No que diz respeito aos resultados da análise de regressão múltipla, a saturação de O₂ no sangue foi afetada positivamente pelo Ca dietético e negativamente pelo Cl e pelo S ($P<0,05$, $R^2=31,45\%$; Tabela 18).

Conclusões

Equações de balanço eletrolítico alternativas à equação de Mongin mostram que o uso dessa equação pode ser limitado em condições de termoneutralidade. Portanto, incluir íons como Ca, sulfatos, carbonato e bicarbonato contribuem para uma interpretação mais ampla dos efeitos da dieta sobre o balanço ácido-base e sobre o equilíbrio eletrolítico de frangos de corte. A contribuição de metodologias alternativas para determinar o equilíbrio eletrolítico é reforçada pelas altas correlações negativas entre os níveis de carbonato e da soma HCO₃+CO₃ da dieta com o desempenho das aves (peso vivo final, ganho de peso total e consumo de ração), assim como com a matéria seca das excretas e da cama aviária. O carbonato e a soma HCO₃+CO₃ da dieta influenciam a hemogasometria através de correlações positivas com o excesso de bases, o CO₂ total e o HCO₃ sanguíneo.

O nível de Na sanguíneo é diretamente influenciado pelos níveis de inclusão de Na na dieta quando utilizados NaHCO₃ e NaHSO₄ como fontes desse mineral. O desempenho das aves sofreu forte impacto negativo das somas de cátions e de ânions, semelhantemente à matéria seca fecal e da cama de aviário. Baixas temperaturas ambientais no inverno afetaram negativamente o desempenho das aves, diferentemente das temperaturas no verão.

Nesse sentido, sugere-se o desenvolvimento de mais estudos com esse tema relacionados à digestibilidade dos elementos aqui analisados a fim de ampliar o conhecimento na área.

Referências bibliográficas

Adesina, A. A., K. R. Robbins. 1987. Effect of dietary electrolyte balance on growth and metabolic acid-base status of chicks. *Nutrit. Res.* 7: 519–528.

Ahmad, T., Mushtaq T., Mahr-Un-Nisa, Sarwar M. et al. 2006. Effect of different non-chloride sodium sources on the performance of heat-stressed broiler chickens. *Brit. Poult. Sci.* 47: 249-256.

Ahmad, T. et al. 2008. Effect of potassium chloride supplementation in drinking water on broiler performance under heat stress conditions. *Poult. Sci.* 87: 1276 -1280.

Ahmad, T., M. Sarwar, M. U. Nisa, A. U. Haq, Z. U. Hasan. 2005. Influence of varying sources of dietary electrolytes on the performance of broilers reared in a high temperature environment. *Anim. Feed Sci. Technol.* 120:277-298. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2005.02.028>

Ahmad, T.; Mushtaq, T.; Khan, M. A.; Babar, M. E.; Yousaf, M.; Hasan, Z. U.; Kamran, Z., 2008. Influence of varying dietary electrolyte balance on broiler performance under tropical summer conditions. *J. Anim. Physio. Anim. Nutri.* 93: 613–621

Ahmad, T.; Sarwar, M. 2006. Dietary electrolyte balance: Implications in heat stressed broilers. *World's Poult. Sci. J.* 62.

Arantes, U.M.; Stringhini, J.H.; Oliveira, M.C.; et al. 2013. Effect of different electrolyte balances in broiler diets. *Braz. J. Poult. Sci.* v.15, n.3, p. 169-286.

Block E. 1984. Manipulating dietary anions and cations for prepartum dairy cows to reduce incidence of milk fever. *J. Dairy Sci.* 67(12):2939-2948. <[http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(84\)81657-4](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(84)81657-4)> <Pmid:6530489>

Borges, S. A. et al. 2003. Dietary Electrolyte Balance for Broiler Chickens Under Moderately High Ambient Temperatures and Relative Humidities. *Poult. Sci.* 82:301–308.

Borges, S.A.; Silva, A.V.F. Maiorka, A. 2007. Acid-base balance in broilers. *World's Poult. Sci. J.* 63:73-81.

Bottje, W. G.; Harrison P. C. 1985. The Effect of Tap Water, Carbonated Water, Sodium Bicarbonate, and Calcium Chloride on Blood Acid-Base Balance in Cockerels Subjected to Heat Stress. *Poult. Sci.* 64:107-113.

Brenes, A., Diez, M.V., Yuste, P. and Rubio, L.A., 1988. Effect of salt and sodium bicarbonate on abdominal fat and bone minerals contents in chicks. *Arch. Zootec.*, 37: 105-113.

- Bushinsky, D.A. 2001. Acid-base imbalance and the skeleton. *Europ. J. Nutri.* 40(5):238-244.
- Canh, T.T. et al. 1998. Influence of electrolyte balance and acidifying calcium salts in the diet of growing-finishing pigs on urinary pH, slurry pH and ammonia volatilization from slurry. *Livest. Prod. Sci.* 56: 1-13, Available from: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301622698001481>>.
- Darre, M. J., T. W. Odom, P. C. Harrison and F. E. Staten. 1980. Time course of changes in respiratory rate, blood pH, and blood pCO₂ of SCML hens. *Poult. Sci.* 59:1598.
- Derouchey, J.M., J.D. Hancock, R.H. Hines, K.R. Cummings, D.J. Lee, C.A. Maloney, D.W. Dean, J.S. Park, and H.Cao. 2003. Effects of dietary electrolyte balance on the chemistry of blood and urine in lactating sows and sow litter performance. *J. Anim. Sci.* 81:3067-3074.
- Dibartola, S.P. 2006. *Fluid Therapy in Small Animal Practice.* Philadelphia, Pennsylvania. 611p.
- Fixter, M., D. Balnave, R. J. Johnson, 1987. The influence of dietary electrolyte balance on broiler growth at high temperatures. Pages 34–48 in: *Proceedings of the Poultry Husbandry Research Foundation Symposium, University of Sidney, Sidney, Australia.*
- Gorman, I.;D. Balnave, D. 1994. Effects of dietary mineral supplementation on the performance and mineral excretions of broilers at high ambient temperatures. *Briti. Poult. Sci.* 35, p. 563-572.
- Guyton A. C., Hall J. E. 1996. *Tratado de Fisiologia Médica.* Guanabara Koogan, Rio de Janeiro. 1176p.
- Halfen, D. et al. 2018. Effect of calcium sources in the diets of adult cats on urinary parameters and acid-base balance. *Pesq. Vet. Bras.* 38: 2133-2138. [112ejun://doi.org/10.1590/1678-5150-pvb-5796](https://doi.org/10.1590/1678-5150-pvb-5796).
- Hassan, A. M.; May Abdel Azeem, H.; Reddy, P. G., 2009. Effect of some water supplements on the performance and immune system of chronically heat stressed broiler chicks. *Intern. J. Poult. Sci.* 8: 432–436.
- Hooge, D. M., 1998. Electrolyte balance in turkeys layers examined. *Feedstuffs* 70 (May 4):17–19.
- Hulan, H.W.; Simons, P.C.M.; Van Schagen, P.J.W. et al. 1987. Effect of dietary cation-anion balance and calcium content on general performance and incidence of leg abnormalities o broiler chickens. *Can. J. Anim. Sci.* 67:165-177.
- Hurwitz, S., I. Cohen, A. Bar and S. Bornstein. 1973. Sodium and chloride requirements of the chick: Relationship to acid-base balance. *Poult. Sci.* 52:903-909.
- Jarrett, Jamie Pearl. 2006. Effects of adding sodium bisulfate to weanling and finishing pig diets on growth performance, nutrient excretion, and slurry characteristics. Degree of Master of Science. California Polytechnic State University San Luis Obispo, California

- Johnson, R. J.; H. Karunajeewa. 1985. The effects of dietary minerals and electrolytes on the growth and physiology of the young chick. *J. Nutri.* 115: 1680–1690.
- Lee, J A. D.V.M; Kenneth J. Drobatz. 2003. Characterization of the clinical characteristics, electrolytes, acid-base, and renal parameters in male cats with urethral obstruction. *J. Veter. Emerg. Crit. Care.* 13(4):227-233.
- Kemme-Kroonsberg, C. Nutrition and acid–base balance of pigs, a review. 1993. Lelystad: Institute for Animal Science and Health. 69p.
- Koreleski, J. et al. 2010. The effect of dietary potassium and sodium on performance, carcass traits, and nitrogen balance and excreta moisture in broiler chicken. *J. Anim. Feed Sci.* 19: 244–256.
- Leach, R. M., Jr., T. R. Zeigler and L. C. Norris 1960. The effect of dietary sulfate on the growth rate of chicks fed a purified diet. *Poultry Sci.*, 39: 1577.
- Lei et al. 2017. Evaluation of different dietary electrolyte balance in weanling pigs diets. *Anim. Feed Sci. Techno.* 226: 98–102.
- Manugistics. 1997. Statgraphics Plus for Windows (versão 4.1). Manugistics Inc., Rockville, Maryland, USA.
- Melliere, A.L. Forbes, R.M. 1966. Effect of altering the dietary cation-anion ratio on food consumption and growth of young chicks. *J. Nutri.* 90: 310-314.
- Meschy, F. 1998. Balance electrolítico y productividad em animales monogástricos. France: Cuadernos Técnicos, Ed. INRA, p.15.
- Middleton, D. J., Ilkiw, J. E. and Watson, A. D. 1981. Arterial and venous blood gas tensions in clinically healthy cats. *Am. J. Vet. Res.* 42: 1609–1611. [Medline]
- Mongin, P. 1980. Electrolytes in nutrition. A review of basic principles and practical applications in poultry and swine. In: *Proceedings of 3rd Annual International Minerals Conference, Orlando, FL.* Pp. 1.
- Mongin, P. Recent advances in dietary anion-cation balance: application in poultry. *Procedure Nutrition Society*, v.40, p.285-294, 1981.
- Murakami, A. E. et al. 2001. Sodium and Chloride Requirements of Growing Broiler Chickens (Twenty-one to Forty-two Days of Age) Fed Corn-Soybean Diets. *Poult. Sci.* 80: 289–294.
- Mushtaq, T., Sarwar, M., Nawaz, H., Mirza, M.A. and Ahmad, T. 2005. Effect and Interactions of Sodium and Chloride on Broiler Starter Performance (One-to-Twenty-Eight Days) under Subtropical Summer Condition. *Poult. Sci.* 84: 1716-1722. <https://doi.org/10.1093/ps/84.11.1716>.

- Mushtaq, T., M. A. Mirza, M. Athar, D. M. Hooge, T. Ahmad, G. Ahmad, M. M. H. Mushtaq and U. Noreen. 2007. Dietary sodium and chloride for twenty-nine to forty-two-day-old broiler chickens at constant electrolyte balance under subtropical summer conditions. *J. Appl. Poult. Res.*16:161-170.
- Nelson, T.S.; Kirby, L.K.; Johnson, Z.B.; Beasely, J.N. 1981. Effect of altering the dietary cation and anion content with magnesium and phosphorus on chick performance. *Poult. Sci.* 60: 1030-1035,
- Nesheim, M.C.; Leach, R.M.; Zeigler, T.R.; Serafin, J.A. 1964. Interrelationships between dietary levels of sodium, chloride and potassium. *J. Nutri.* 84: 361-366.
- Nikoofard, A. H. et al. 2016. Effects of different sulphur amino acids and dietary electrolyte balance levels on performance, jejunal morphology, and immunocompetence of broiler chicks. *J. Anim. Phys. Anim. Nutri.*100: 189:199.
- Nuffer, Mercier Y., S., Geraert P. A. 2004. Dietary adjustment in sodium for growing broilers: Bicarbonate or sulphate? ADISSEO France S.A.S.
- Odom, T.W., Harrison, P.C., Bottje, W.G. 1986. Effects of thermal-induced respiratory alkalosis on blood ionized calcium levels in the domestic hen. *Poult. Sci.* 65: 570-57.
- Patience, J.F.; Austic, R.E; Boyd, R.D. 1986. The effect of sodium bicarbonate or potassium bicarbonate on acid-bases m and protein and energy digestibility in swine. *NUW. Res.*
- Patience, J.F.; Austic, R.E; Boyd, R.D. 1987. Acid-base homeostasis in swine: nutritional perspective. *Feedstuff.* P.13-18,
- Patience, J. F. A review of the role of acid-base balance in amino acid nutrition. 1990. *J. Anim. Sci.* 68: 398- 408.
- Peng, Yunzhi, Yongwei Wang, Dong Ning and Yuming Guo. 2013. Estimation of Dietary Sodium Bicarbonate Dose Limit in Broiler under High Ambient Temperatures. *J. Pout. Sci.*50: 346-353.
- Raup T. J., W. G. Bottje. 1990. Effect of carbonated water on arterial pH, pCO₂ and plasma lactate in heat-stressed broilers, *Briti. Poult. Sci.* 31:2, 377-384, DOI: 10.1080/00071669008417268
- Rezende, Marcelo Sebastião. Perfil bioquímico sanguíneo de linhagem pesada de frango de corte. 2017. Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias (Tese de doutorado da Faculdade de Medicina Veterinária da Universidade Federal de Uberlândia) Uberlândia – Minas Gerais – Brasil, 2017.
- Riley, W. W., Austic, R. E. 1984. Influence of dietary electrolytes on digestive tract pH and acid-base status of chicks. *Poult. Sci.* 63:2247-2251. <https://doi.org/10.3382/ps.0632247>
- Roe, A. J.; O'Byrne, C.; McLaggan, D.; Booth, I. R., 2002: Inhibition of *Escherichia coli* growth by acetic acid: a problem with methionine biosynthesis and homocysteine toxicity. *Microbiology* 148.

Rostagno, H. S. et al. 2017. Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais. 4ª edição. Viçosa, MG: Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Viçosa. 488p.

Ruíz-López, B.; Austic, R.E. 1993. The effects of selected minerals on acid-base balance of growing chicks. *Poult. Sci.* 72: 1054-1062.

Saki, A. A. et al. The effects of protein, amino acid, and dietary electrolyte balance on broiler chicken performance and blood parameters under heat stress, *Acta Scientiarum. Animal Sciences Maringá*, v. 38, n. 3, p. 285-292, 2016.

Teeter, R. G. 1997a. Balancing the electrolyte equation. *Feed Mix.* 5:22-26.

Teeter, R. G. 1997b. The electrolyte: acid-base connection. *Feed Mix*, 5:32-34.

Teeter, R.G., Smith, M.O., Owens, F.N. et al. 1985. Chronic heat stress and respiratory alkalosis: occurrence and treatment in broiler chicks. *Poult. Sci.* 64: 1060- 1064.

Thacker, E. J., 1959. Effect of a physiological cation-anion imbalance on the growth and mineral nutrition of rabbits. *J. Nutrition* 69: 28-32.

Ullman, J. L., S. Mukhtar, R. E. Lacey, and J. B. Carey. 2004. A review of literature concerning odors, ammonia, and dust from broiler production facilities: 4. Remedial management practices. *J. Appl. Poult. Res.* 13:521- 531.

Vila, Laura García. Bioquímica em aves: Revisão de literatura Seminário apresentado junto à disciplina Seminários Aplicados do Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal da Escola de Veterinária e Zootecnia da Universidade Federal de Goiás. Nível: Mestrado. 2013

Whittow, G.C., Sturkie, P.D., Stein, G., JR. 1964. Cardiovascular changes associated with thermal polypnea in the chicken. *Am. J. Phys.* 235: 1349-135.

Yen, J.T., Pond, W.G., Prior, R.L., 1981. Calcium chloride as a regulator of feed intake and weight gain in pigs. *J. Anim. Sci.* 52, 778–782.

Yosi, F. et al. Performance and Physiological Responses of Broiler Chickens Supplemented with Potassium Chloride in Drinking Water Under Environmental Heat Stress. *Asian Journal of Poultry Science*, v. 11, n. 1, p. 31–37, 2016.

Tabela 1 – Temperaturas (T) mínimas e máximas diárias locais e temperatura média diária no interior do local de alojamento das aves experimentais, nos dois experimentos (experimento 1 em agosto de 2019; experimento 2 em janeiro/fevereiro de 02/2020)

Data (ano 2019)	T mínima (°C)	T máxima (°C)	T média interior alojamento (°C)	Data (ano 2020)	T mínima (°C)	T máxima (°C)	T média interior alojamento (°C)
22/8	7	20	24,2	23/01	21	28	29,3
23/8	12	17	22,9	24/01	19	29	30,5
24/8	8	21	20,2	25/01	19	32	29,3
25/8	12	24	19,8	26/01	22	34	29,5
26/8	12	24	17,4	27/01	23	32	29,0
27/8	15	25	20,4	28/01	22	30	29,8
28/8	14	28	21,1	29/01	23	28	29,0
29/8	15	34	19,5	30/01	23	28	29,5
30/8	17	28	21,5	31/01	21	30	29,0
31/8	15	19	19,2	01/02	21	30	32,4
01/09	12	19	20,8	02/02	20	32	31,5
02/09	9	20	22,4	03/02	23	32	31,0
03/09	11	17	20,6	04/02	22	33	33,5
04/09	7	16	21,5	05/02	23	34	31,5
05/09	8	16	19,7	06/02	23	35	28,5
06/09	12	20	20,1	07/02	24	34	29,8
07/09	14	20	23,8	08/02	24	35	29,5
08/09	18	26	24,0	09/02	24	27	28,5
09/09	17	36	24,9	10/02	18	26	27,5
10/09	17	30	23,9	11/02	18	28	27,5
11/09	16	19	24,7	12/02	20	29	26,5

Tabela 2. Composição da dieta inicial das aves experimentais dos dois experimentos

Ingrediente	%
Milho grão	51,57
Farelo de soja (45% PB)	40,87
Óleo de soja	3,83
Fosfato bicálcico	0,96
Calcário calcítico	1,49

Sal comum	0,46
DL-metionina	0,34
L.lisina HCl	0,21
Colina Cl-60%	0,023
L-treonina	0,07
Monensina 40%	0,025
Fitase 500 FTU 0,01%	0,01
Premix vitamínico	0,06
Premix mineral	0,07

Tabela 3. Composição da dieta basal utilizada nos dois experimentos

Dieta basal	
Ingrediente	%
Milho grão	54,5
Farelo de soja (45% PB)	29,79
Gluten de milho	5,88
Óleo de soja	3,42
Mix suplementos*	1,92
Mix Tratamentos (tabela 5)	4,48

35,75% fosfato bicálcico; 19,22% L-lisina; 13,65% DL-metionina; 3,4% L-treonina; 2,8% colina Cl 60%; 2,56% premix vitamínico; 0,28% fitase; 17,96% dióxido de titânio; 1,28% monensina. 3,08% premix mineral (11,26% óxido de zinco; 3,66% sulfato de cobre; 20% sulfato ferroso; 32,4% sulfato manganês; 2% iodato de cálcio; 0,066% selenito de sódio; 32,33% calcário)

Tabela 4 – Composição nutricional da formulação da dieta basal de ambos os experimentos

Nutrientes	Composição calculada
Energia Metabolizável (kcal/kg)	3120
Proteína bruta (%)	22,04
Extrato etéreo (%)	6,09
Fósforo total (%)	0,46
Fósforo disponível (%)	0,37

Matéria Mineral (%)	7,73
Colina (mg/kg)	1395
Mg (%)	0,16
Lisina digestível (%)	1,2
Metionina digestível (%)	0,59
Met+cis digestível (%)	0,89
Treonina digestível (%)	0,80
Triptofano digestível (%)	0,22
Valina digestível (%)	0,93
Arginina digestível (%)	1,29
Histidina digestível (%)	0,52
Isoleucina digestível (%)	0,85
Leucina digestível (%)	2,06

Tabela 5. Composição das dietas experimentais. Cada dieta baseada em diferentes balanços eletrolíticos (Mongin e Completo) é identificada pela letra “T” seguida de um número sequencial

Composição das dietas (%)										
Ingrediente	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
NaCl	0,449	0	0,448	0,158	0,158	0,158	0,065	0,065	0,065	0,065
CaCO ₃	1,093	0,514	1,682	1,395	1,395	1,6875	1,396	1,396	1,396	2,281
CaCl ₂	0,371	1,094	0,3735	0	0	0	0	0	0	0
NaHSO ₄	0	0	0	0	0,592	0	0	1,796	1,796	1,796
NaHCO ₃	0	0,836	0	0,414	0	0,413	1,257	0	1,257	0
Caulim	2,587	2,055	1,996	2,533	2,355	2,2405	1,827	1,243	0	0,358
Composição calculada da dieta final										
BEMongin (mEq/kg)*	100	100	100	200	200	200	300	300	449	300
BECompleto (mEq/kg)**	200,6	200,6	300,6	300,6	201,6	350,1	400,6	100,3	249,6	250,7
HCO ₃ (mEq/kg)***	0	100	0	49,6	0	49,5	150,3	0	150,3	0
CO ₃ (mEq/kg)****	185,6	87,38	285,6	236,9	236,9	286,5	237	237	237	387,3
Na (%)	0,21	0,26	0,21	0,21	0,21	0,21	0,4	0,4	0,74	0,4
Cl (%)	0,6	0,68	0,6	0,24	0,24	0,24	0,19	0,19	0,19	0,19
K (%)	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7

Ca (%)	0,81	0,81	1,01	0,81	0,81	0,91	0,81	0,81	0,81	1,11
--------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

*BE1 = Balanço eletrolítico conforme equação de Mongin; **BE2 = Balanço eletrolítico completo; *** Íon bicarbonato; **** Íon carbonato.

Tabela 6 – Desempenho de frangos de corte sob diferentes balanços eletrolíticos (Mongin (Na+K-Cl) e completo (Na+K+Mg+Ca-Cl-P-S)) de 14 a 35 dias de idade

	PV 0 ¹ kg	PV 35d kg	GP tot kg	Crtot kg	Catot
Experimento 1					
T1 ³	0,476	2,111 ^{bc2}	1,634 ^{bc}	2,596 ^{abc}	1,593 ^a
T2	0,483	2,067 ^{bc}	1,583 ^{bc}	2,677 ^{bc}	1,703 ^a
T3	0,470	2,130 ^{bc}	1,660 ^{bc}	2,750 ^{cd}	1,667 ^a
T4	0,483	2,238 ^c	1,769 ^c	2,956 ^d	1,685 ^a
T5	0,471	2,181 ^c	1,710 ^c	2,743 ^{cd}	1,607 ^a
T6	0,470	2,180 ^c	1,710 ^c	2,778 ^{cd}	1,628 ^a
T7	0,472	1,967 ^{abc}	1,495 ^{abc}	2,568 ^{abc}	1,718 ^{ab}
T8	0,472	1,859 ^{ab}	1,386 ^{ab}	2,590 ^{abc}	1,911 ^b
T9	0,462	1,722 ^a	1,260 ^a	2,381 ^a	1,916 ^b
T10	0,459	1,930 ^{abc}	1,470 ^{abc}	2,467 ^{ab}	1,695 ^a
P ⁴	0,1557	0,0	0,0	0,0	0,0219
EP	0,012	0,161	0,158	0,142	0,1733
Experimento 2					
T1	0,483	2,34 ^a	1,854 ^a	2,719	1,464 ^{ab}
T4	0,486	2,31 ^{ab}	1,824 ^a	2,668	1,463 ^{ab}
T7	0,484	2,3 ^{ab}	1,817 ^a	2,549	1,403 ^a
T9	0,481	2,20 ^{bc}	1,722 ^{ab}	2,499	1,454 ^{ab}
T10	0,481	2,1 ^c	1,619 ^b	2,429	1,499 ^b
P	0,4706	0,0001	0,0001	0,0544	0,3059
EP	0,005	0,078	0,077	0,176	0,0747

¹PV 0 = peso vivo inicial (14 dias de idade); PV 35d = peso vivo aos 35 dias; GP tot = ganho de peso total do período experimental. Crtot = consumo de ração total do período experimental; Catot = conversão alimentar total no período experimental.

²Médias na mesma coluna com letras diferentes diferem significativamente ($P < 0.05$) pelo teste Tukey.

³Balanço eletrolítico Mongin = BE1 e Balanço eletrolítico completo = BE2. T1 = BE1 100 e BE2 200,6 mEq/kg; T2 = BE1 100 e BE2 200,6 mEq/kg; T3 = BE1 100 e BE2 300,6 mEq/kg; T4 = BE1 200 e BE2 300,6 mEq/kg; T5 = BE1 200 e BE2 201,5 mEq/kg; T6 = BE1 200 e BE2 350,1 mEq/kg; T7 = BE1 300 e BE2 400,6 mEq/kg; T8 = BE1 300 e BE2 100,3 mEq/kg; T9 = BE1 449 e BE2 249,6 mEq/kg; T10 = BE1 300 e BE2 250,7 mEq/kg.

⁴P = probabilidade; EP = erro padrão estimado.

Tabela 7 – Regressões dos efeitos de diferentes balanços eletrolíticos (Mongin (Na+K-Cl), completo (Na+K+Mg+Ca-Cl-P-S) e alternativo (Na+K+Mg-CO₃-Cl-P-S)), soma de ânions, soma de cátions e soma total de íons sobre o desempenho de frangos de corte machos de 14 a 35 dias de idade

Resposta	Constante ²	Experimento 1			Experimento 2		
		R ² 3 (%)	P ⁴	Modelo	R ² (%)	P	Modelo
PV 35 (kg) ¹	BE1	42,27	0,000	Q+	21,06	0,012	L-
	BE2	4,59	NS		17,37	NS	
	BECO ₃	1,16	NS		27,56	0,015	Q-
	Soma ânions	40,25	0,000	Q+	51,94	0,0001	Q+
	Soma cátions	33,70	0,000	L-	49,07	0,0000	L-
	Soma total íons	38,05	0,000	L-	50,37	0,0000	L-
GP tot (kg)	BE1	39,04	0,000	Q+	20,74	0,013	L-
	BE2	7,35	NS		17,74	NS	
	BECO ₃	1,57	NS		27,94	0,014	Q-
	Soma ânions	39,35	0,000	Q+	51,47	0,0001	Q+
	Soma cátions	32,22	0,000	L-	48,44	0,0000	L-
	Soma total íons	33,54	0,000	L-	49,74	0,0000	L-
CR total (kg)	BE1	33,52	0,000	Q+	19,78	0,015	L-
	BE2	3,04	NS		0,99	NS	
	BECO ₃	0,91	NS		3,37	NS	
	Soma ânions	32,75	0,000	L-	27,76	0,014	Q+
	Soma cátions	35,60	0,000	L-	27,17	0,0037	L-
	Soma total íons	37,70	0,000	L-	25,98	0,0047	L-
CA tot (kg)	BE1	18,16	0,0011	L+	0,394	NS	
	BE2	8,19	NS		10,57	NS	
	BECO ₃	1,55	NS		8,04	NS	
	Soma ânions	16,95	0,001	L+	7,23	NS	
	Soma cátions	11,75	0,009	L+	1,45	NS	
	Soma total íons	15,16	0,003	L+	2,19	NS	

¹PV 35d = peso vivo aos 35 dias; GP tot = ganho de peso total do período experimental; CRtot = consumo de ração total do período experimental; CA tot = conversão alimentar total no período experimental

²BE1 = balanço eletrolítico de Mongin, BE2 = balanço eletrolítico completo, BECO3 = balanço eletrolítico alternativo

³R² = coeficiente de determinação

⁴P = probabilidade

⁵NS = efeito não significativo

Tabela 8 – Matéria seca da cama aviária e matéria seca e pH das excretas de frangos de corte sob diferentes balanços eletrolíticos (Mongin (Na +K-Cl) e completo (Na+K+Mg+Ca-Cl-P-S)) de 14 a 35 dias de idade

	MS ¹ cama S1 %	MS cama S2 %	MS cama S3 %	MS excretas S3 %	pH 1	pH 2	pH 3
Experimento 1							
T1 ³	51,04 ^{b2}	51,15 ^{abc}	44,16	23,72 ^c	5,83	5,88 ^{abc}	6,08 ^{ab}
T2	53,82 ^b	52,67 ^{abc}	45,51	19,9 ^{ab}	6,59	6,25 ^{bc}	6,32 ^{abcde}
T3	47,82 ^{ab}	52,54 ^{abc}	45,65	20,53 ^{abc}	6,3	5,58 ^a	6,44 ^{bcde}
T4	54,03 ^b	59,16 ^c	51,99	22,0 ^{abc}	6,47	6,44 ^c	6,12 ^{abcd}
T5	49,45 ^b	59,16 ^c	50,68	22,23 ^{bc}	6,29	6,44 ^c	6,36 ^{abcde}
T6	53,06 ^b	58,07 ^{bc}	46,51	21,59 ^{abc}	6,24	5,92 ^{abc}	6,09 ^{abc}
T7	45,07 ^{ab}	49,23 ^{abc}	42,80	20,44 ^{abc}	6,54	6,04 ^{abc}	6,89 ^e
T8	46,01 ^{ab}	52,70 ^{abc}	45,00	20,0 ^{ab}	6,75	5,71 ^{ab}	5,81 ^a
T9	37,85 ^a	44,90 ^a	41,66	18,38 ^a	6,58	6,41 ^c	6,68 ^d
T10	43,25 ^{ab}	46,6 ^{ab}	47,28	19,58 ^{ab}	5,8	6,24 ^{bc}	6,64 ^{cde}
P ⁴	0,0007	0,0051	0,5949	0,0017	0,0874	0,0361	0,0166
EP	6,097	6,389	8,079	1,925	0,589	0,493	0,476
Experimento 2							
T1	63,31 ^{ab}	58,60 ^b	54,25 ^b	18,35 ^{ab}	5,26 ^a	5,65	5,89
T4	69,64 ^a	71,59 ^a	66,88 ^a	20,57 ^a	6,16 ^b	5,79	6,41
T7	63,071 ^{ab}	51,66 ^{bc}	47,77 ^{bc}	18,24 ^{ab}	5,97 ^{ab}	5,98	6,26
T9	51,005 ^b	45,715 ^c	39,94 ^c	16,50 ^b	5,61 ^{ab}	5,77	5,63
T10	63,095 ^{ab}	51,51 ^{bc}	50,05 ^{bc}	17,28 ^b	5,45 ^{ab}	5,63	5,85
P	0,0069	0,0000	0,0000	0,0052	0,022	0,876	0,112
EP	7,545	5,356	6,692	1,608	0,485	0,619	0,549

¹MS camaS1 = matéria seca da cama na primeira semana experimental; MS camaS2 = matéria seca da cama na segunda semana experimental; MS camaS3 = matéria seca da cama na terceira semana experimental; MS excretasS3 = matéria seca das excretas na terceira semana experimental. pH 1 = valores de pH fecal no primeiro dia de avaliação; pH 2 = valores de pH fecal no segundo dia de avaliação; pH 3 = valores de pH fecal no terceiro dia de avaliação.

²Médias na mesma coluna com letras diferentes diferem significativamente ($P < 0,05$) pelo teste Tukey.

³Balanço eletrolítico Mongin = BE1 e Balanço eletrolítico completo = BE2. T1 = BE1 100 e BE2 200,6 mEq/kg; T2 = BE1 100 e BE2 200,6 mEq/kg; T3 = BE1 100 e BE2 300,6 mEq/kg; T4 = BE1 200 e BE2 300,6 mEq/kg; T5 = BE1 200 e BE2 201,5 mEq/kg; T6 = BE1 200 e BE2 350,1 mEq/kg; T7 = BE1 300 e BE2 400,6 mEq/kg; T8 = BE1 300 e BE2 100,3 mEq/kg; T9 = BE1 449 e BE2 249,6 mEq/kg; T10 = BE1 300 e BE2 250,7 mEq/kg.

⁴P = probabilidade; EP = erro padrão estimado.

Tabela 9 – Regressões das características físicas e químicas de cama e excretas de frangos de corte machos de 14 a 35 dias de idade e diferentes balanços eletrolíticos (Mongin (Na+K-Cl), completo (Na+K+Mg+Ca-Cl-P-S) e alternativo (Na+K+Mg+CO₃-Cl-P-S)), soma de ânions, soma de cátions e soma total de íons

Resposta	Constante ²	Experimento 1			Experimento 2		
		R ² ³ (%)	P ⁴	Modelo	R ² (%)	P	Modelo
MS cama S1(%) ¹	BE1	33,93	0,000	Q+	40,70	0,0011	Q+
	BE2	0,089	NS ⁵		25,44	NS	
	BECO ₃	5,98	NS		26,19	NS	
	Soma ânions	22,05	0,002	L-	19,31	0,017	L-
	Soma cátions	35,86	0,000	L-	20,92	0,0126	L-
	Soma total íons	36,61	0,000	L-	20,75	0,013	L-
MS cama S2 (%)	BE1	11,52	0,0390	Q+	38,22	0,0004	L-
	BE2	0,61	NS		0,01	NS	
	BECO ₃	0,60	NS		0,24	NS	
	Soma ânions	10,30	0,015	L-	29,62	0,002	L-
	Soma cátions	14,37	0,004	L-	47,45	0,0000	L-
	Soma total íons	13,22	0,005	L-	43,98	0,0001	L-
MS cama S3(%)	BE1	7,51	NS		36,90	0,0004	L-
	BE2	0,55	NS		0,00	NS	
	BECO ₃	0,90	NS		0,16	NS	
	Soma ânions	2,11	NS		23,07	0,008	L-
	Soma cátions	3,49	NS		37,05	0,0005	L-
	Soma total íons	2,83	NS		34,28	0,0008	L-
MS excretas (%)	BE1	40,93	0,000	Q+	19,40	0,0168	L-

	BE2	1,75	NS		2,92	NS	
	BECO ₃	2,11	NS		1,58	NS	
	Soma ânions	35,76	0,000	L-	28,50	0,002	L-
	Soma cátions	46,50	0,000	L-	31,25	0,0016	L-
	Soma total íons	45,41	0,000	L-	30,59	0,0019	L-
pH 1 excretas	BE1	2,35	NS		1,49	NS	
	BE2	6,93	0,049	L+	20,8%	0,01	L+
	BECO ₃	2,43	NS		22,63	0,008	L+
	Soma ânions	5,26	NS		30,42	0,007	Q-
	Soma cátions	0,24	NS		3,18	NS	
	Soma total íons	0,97	NS		3,79	NS	
pH 2 excretas	BE1	4,08	NS		0,36	NS	
	BE2	0,11	NS		3,88	NS	
	BECO ₃	0,24	NS		3,51	NS	
	Soma ânions	0,05	NS		1,76	NS	
	Soma cátions	19,06	0,003	Q-	0,14	NS	
	Soma total íons	17,06	0,007	Q-	0,27	NS	
pH 3 excretas	BE1	5,00	NS	NS	4,69	NS	
	BE2	10,55	0,014	L+	10,74	NS	
	BECO ₃	7,78	0,037	L+	8,88	NS	
	Soma ânions	0,03	NS	NS	19,44	0,01	L-
	Soma cátions	11,05	0,01	L+	11,72	NS	
	Soma total íons	7,02	0,04	L+	12,58	NS	

¹MS camaS1 = matéria seca da cama na primeira semana experimental; MS camaS2 = matéria seca da cama na segunda semana experimental; MS camaS3 = matéria seca da cama na terceira semana experimental; MS excretasS3 = matéria seca das excretas na terceira semana experimental; pH1 = pH das excretas no primeiro dia de avaliação; pH2 = pH das excretas no segundo dia de avaliação; pH3 = pH das excretas no terceiro dia de avaliação,

²BE1 = balanço eletrolítico de Mongin, BE2 = balanço eletrolítico completo, BECO3 = balanço eletrolítico alternativo.

³R² = coeficiente de determinação

⁴P = probabilidade

⁵NS = efeito não significativo

Tabela 10 – Coeficientes de correlação entre as variáveis de desempenho, características físicas da cama e físicas e química das excretas de frangos dos 14 aos 35 dias de vida, e as características das dietas experimentais. Experimento 1

Variáveis- resposta	Características da ração													
	Na	Cl	Ca	S	HCO ₃	CO ₃	HCO ₃ CO ₃	+	Soma íons	Soma cátions	Soma ânions	BE1	BE2	BECO ₃
PVmed35	-0,678***	0,266*	-0,001	-0,594***	-0,290*	-0,087	-0,312*	-0,616***	-0,616***	-0,588***	-0,576***	0,214	0,107	
GPTOT	-0,674***	0,250	-0,014	-0,585***	-0,297*	-0,062	-0,294*	-0,604***	-0,567***	-0,585	-0,565***	0,224	0,125	
CRTOT	-0,626***	0,179	-0,101	-0,546***	-0,235	-0,130	-0,310*	-0,614***	-0,596***	-0,572***	-0,498***	0,174	0,095	
CATOT	0,479**	-0,225*	-0,117	0,431***	0,218	-0,01	0,162	0,389**	0,342**	0,411**	0,426**	-0,218	-0,123	
MS	-0,593***	0,298*	-0,153	-0,513***	-0,197	-0,285*	-0,429***	-0,605***	-0,598***	-0,474***	-0,536***	0,029	-0,103	
CamaS1														
MS	-0,345**	-0,010	-0,140	-0,261	-0,144	-0,071	-0,182	-0,363**	-0,379**	-0,321*	-0,219	0,051	0,059	
CamaS2														
MS	-0,236	-0,068	0,0255	-0,093	-0,179	0,0680	-0,076	-0,168	-0,186	-0,145	-0,12	0,010	0,044	
CamaS3														
MS	-0,507***	0,188	-0,163	-0,416**	-0,323*	-0,113	-0,361**	-0,525***	-0,531***	-0,411**	-0,425**	0,017	0,014	
ExcretasS3														
pH excretas	1	0,075	0,028	-0,191	-0,201	0,389**	-0,208	0,107	-0,098	-0,0539	0,173	0,035	0,263*	0,156
pH excretas	2	0,167	-0,186	-0,130	0,094	0,234*	-0,060	0,126	0,078	0,066	-0,014	0,2022	0,0339	0,049
pH excretas	3	0,270*	-0,094	0,169	0,053	0,322*	0,147	0,395	0,265*	0,329*	0,442	0,2237	0,3249*	0,279*

*P<0,05; ** P<0,01; *** P<0,001

Tabela 11 – Coeficientes de correlação entre as variáveis de desempenho, características físicas da cama e físicas e química das excretas de frangos dos 14 aos 35 dias de vida, e as características das dietas experimentais. Experimento 2

Variáveis- resposta	Características da ração													
	Na	Cl	Ca	S	HCO ₃	CO ₃	HCO ₃ + CO ₃	Soma íons	Soma cátions	Soma ânions	BE1	BE2	BECO ₃	
PVmed35	-0,339	0,439*	-0,62***	-0,652***	0,106	-0,67***	-0,470**	-0,638***	-0,626***	-0,579***	-0,419**	0,142	0,013	
GPTOT	-0,335	0,442*	-0,62***	-0,651***	0,109	-0,68***	-0,470**	-0,636***	-0,624***	-0,577***	-0,418**	0,139	0,010	
CRTOT	-0,398*	0,419*	-0,381*	-0,476**	-0,157	-0,448*	-0,508**	-0,527**	-0,539**	-0,389*	-0,455*	-0,087	-0,166	
CATOT	-0,134	0,031	0,198	0,109	-0,309	0,175	-0,118	0,029	0,0008	0,132	-0,11	-0,250	-0,207	
MS	-0,623***	0,126	0,052	-0,452*	-0,363*	0,026	-0,288	-0,477**	-0,48**	-0,461*	-0,505**	0,159	0,116	
CamaS1														
MS	-0,682***	0,277	-0,189	-0,553**	-0,394*	-0,221	-0,521**	-0,64***	-0,663***	-0,524**	-0,607***	-0,009	-0,053	
CamaS2														
MS	-0,709***	0,226	-0,072	-0,513**	-0,453*	-0,103	-0,473**	-0,597***	-0,62***	-0,495**	-0,607***	0,005	-0,028	
CamaS3														
MS	-0,54**	0,132	-0,222	-0,525**	-0,186	-0,212	-0,335	-0,56**	-0,566**	-0,541**	-0,447*	0,175	0,131	
ExcretasS3														
pH excretas	1	-0,068	-0,335	-0,219	-0,235	0,277	-0,075	0,174	-0,194	-0,178	-0,376*	0,080	0,456*	0,475**
pH excretas	2	0,032	-0,094	-0,116	-0,09	0,173	-0,07	0,087	-0,052	-0,038	-0,132	0,060	0,197	0,187
pH excretas	3	-0,326	-0,057	-0,134	-0,377*	0,04	-0,087	-0,069	-0,354	-0,342	-0,441*	-0,216	0,327	0,298

*P<0,05; ** P<0,01; *** P<0,001

Tabela 12 – Variáveis sanguíneas de frangos de corte sob diferentes balanços eletrolíticos (Mongin (Na+K-Cl) e completo (Na+K+Mg+Ca-Cl-P-S)) de 14 a 35 dias de idade

	AG	Beecf	Ca i	CO ₂ ct	HCO ₃	Hematócrito	pH
	mmol/L ¹	mmol/L	mmol/L	mmol/L	mmol/L	%	
Experimento 1							
T1 ³	20,35 ^{abc2}	-2,15 ^a	1,537 ^{ab}	26,8 ^a	25,0 ^a	22,4	7,25 ^a
T2	19,86 ^{abc}	-1,0 ^{ab}	1,473 ^{ab}	27,21 ^a	25,57 ^a	21,58	7,29 ^{ab}
T3	17,0 ^{ab}	2,333 ^{bc}	1,703 ^b	30,5 ^{ab}	28,7 ^{ab}	20,18	7,30 ^{abc}
T4	16,65 ^{abc}	3,402 ^{cd}	1,481 ^{ab}	30,52 ^{ab}	28,90 ^{ab}	21,05	7,36 ^c
T5	19,67 ^{abc}	0,382 ^{abc}	1,476 ^{ab}	28,80 ^a	27,01 ^a	21,65	7,28 ^{ab}
T6	18,13 ^{abc}	0,682 ^{abc}	1,567 ^{ab}	29,38 ^a	27,48 ^a	22,79	7,30 ^{abc}
T7	16,29 ^a	5,902 ^d	1,506 ^{ab}	33,48 ^b	31,64 ^b	21,77	7,34 ^{bc}
T8	20,56 ^{bc}	0,211 ^{abc}	1,405 ^{ab}	28,68 ^a	26,88 ^a	20,99	7,28 ^a
T9	21,93 ^c	1,75 ^{abc}	1,327 ^a	30,08 ^a	28,23 ^{ab}	22,91	7,29 ^{ab}
T10	19,43 ^{abc}	1,616 ^{abc}	1,588 ^{ab}	30,0 ^{ab}	28,2 ^{ab}	22,73	7,29 ^{ab}
P ⁴	0,0006	0,00	0,0693	0,0026	0,0010	0,68	0,0358
EP	2,133	2,187	0,178	2,340	2,180	2,542	0,0450
Experimento 2							
T1	18,03 ^a	-2,4 ^a	1,562 ^a	24,95 ^a	23,53 ^a	21,65	7,32 ^a
T4	15,75 ^{ab}	1,15 ^b	1,497 ^a	27,28 ^b	25,95 ^b	22,2	7,4 ^{bc}
T7	15,1 ^a	3,18 ^b	1,542 ^a	29,16 ^b	27,78 ^b	22,51	7,41 ^c
T9	18,25 ^c	1,05 ^b	1,56 ^a	28,23 ^b	26,68 ^b	21,38	7,34 ^{ab}
T10	17,68 ^{bc}	0,68 ^b	1,738 ^b	27,6 ^b	26,13 ^b	21,86	7,36 ^{abc}
P	0,0225	0,0148	0,0476	0,0143	0,0132	0,9065	0,0608
EP	1,896	2,513	0,135	1,96	1,93	2,185	0,0542

¹AG = ânion gap; Beecf = excesso de bases no fluido extracelular; Ca i = cálcio ionizado; CO₂ = gás carbônico total; HCO₃ = bicarbonato.

²Médias na mesma coluna com letras diferentes diferem significativamente ($P < 0,05$) pelo teste Tukey.

³Balanço eletrolítico Mongin = BE1 e Balanço eletrolítico completo = BE2. T1 = BE1 100 e BE2 200,6 mEq/kg; T2 = BE1 100 e BE2 200,6 mEq/kg; T3 = BE1 100 e BE2 300,6 mEq/kg; T4 = BE1 200 e BE2 300,6 mEq/kg; T5 = BE1 200 e BE2 201,5 mEq/kg; T6 = BE1 200 e BE2 350,1 mEq/kg; T7 = BE1 300 e BE2 400,6 mEq/kg; T8 = BE1 300 e BE2 100,3 mEq/kg; T9 = BE1 449 e BE2 249,6 mEq/kg; T10 = BE1 300 e BE2 250,7 mEq/kg.

⁴P = probabilidade; EP = erro padrão estimado.

Tabela 13 – Valores de potássio, sódio, cloro, pressão parcial de dióxido de carbono e oxigênio e saturação de oxigênio no sangue de frangos de corte sob diferentes balanços eletrolíticos (Mongin (Na +K-Cl) e completo (Na+K+Mg+Ca-Cl-P-S)) de 14 a 35 dias de idade

	K mmol/L	Na mmol/L	Cl mmol/L	pCO ₂ ¹ mmHg	pO ₂ mmHg	Saturação O ₂ %
Experimento 1						
T1 ³	6,421 ^{c2}	149,4 ^{ab}	110,45	58,02	50,78	77,95 ^{ab}
T2	5,46 ^{ab}	151,03 ^{ab}	111,1	54,13	51,1	80,06 ^{ab}
T3	5,71 ^{abc}	148,76 ^a	108,83	59,18	52,85	82,43 ^{ab}
T4	5,67 ^{abc}	147,4 ^a	107,55	53,12	50,49	83,75 ^b
T5	5,78 ^{abc}	149,04 ^{ab}	108,15	58,65	42,85	70,81 ^a
T6	5,89 ^{abc}	146,98 ^a	107,25	61,53	52,11	82,21 ^b
T7	6,21 ^{bc}	150,06 ^{ab}	108,35	59,79	51,03	83,87 ^b
T8	5,21 ^a	149,70 ^{ab}	107,49	58,09	53,73	81,88 ^{ab}
T9	5,57 ^{abc}	153,82 ^b	109,18	59,78	45,85	75,58 ^{ab}
T10	5,89 ^{abc}	150,38 ^{ab}	108,65	59,58	47,06	74,78 ^{ab}
P ⁴	0,0073	0,0081	0,2002	0,8314	0,1180	0,0187
EP	0,485	2,610	2,443	8,194	6,097	6,244
Experimento 2						
T1	5,29	142,68 ^{ab}	106,42	46,0	36,16	62,25 ^a
T4	5,18	141,33 ^a	104,78	42,91	39,51	74,03 ^b
T7	5,25	141,41 ^a	103,8	44,83	39,91	73,88 ^b
T9	5,59	144,58 ^b	105,2	49,68	34,6	61,86 ^a
T10	5,39	143,03 ^{ab}	104,6	47,2	40,95	73,25 ^b
P	0,2945	0,0339	0,139	0,2028	0,2345	0,0416
EP	0,3473	1,860	1,677	4,9018	5,429	9,179

¹pCO₂ = pressão parcial de dióxido de carbono; pO₂ = pressão parcial de oxigênio.

²Médias na mesma coluna com letras diferentes diferem significativamente ($P < 0.05$) pelo teste Tukey.

³Balanço eletrolítico Mongin = BE1 e Balanço eletrolítico completo = BE2. T1 = BE1 100 e BE2 200,6 mEq/kg; T2 = BE1 100 e BE2 200,6 mEq/kg; T3 = BE1 100 e BE2 300,6 mEq/kg; T4 = BE1 200 e BE2 300,6 mEq/kg; T5 = BE1 200 e BE2 201,5 mEq/kg; T6 = BE1 200 e BE2 350,1 mEq/kg; T7 = BE1 300 e BE2 400,6 mEq/kg; T8 = BE1 300 e BE2 100,3 mEq/kg; T9 = BE1 449 e BE2 249,6 mEq/kg; T10 = BE1 300 e BE2 250,7 mEq/kg.

⁴P = probabilidade; EP = erro padrão estimado.

Tabela 14 – Efeitos de diferentes balanços eletrolíticos (Mongin (Na +K-Cl), completo (Na+K+Mg+Ca-Cl-P-S) e alternativo (Na+K+Mg+CO₃-Cl-P-S)) sob variáveis hemogasométricas de frangos de corte machos de 14 a 35 dias de idade

Resposta	Constante ²	Experimento 1			Experimento 2		
		R ² 3 (%)	P ⁴	Modelo	R ² (%)	P	Modelo
AG (mmol/L) ¹	BE1	11,45	0,039	Q-	19,04	NS	
	BE2	18,67	0,0009	L-	29,09	0,002	L-
	BECO ₃	12,75	0,0007	L-	26,04	0,004	L-
	Soma de ânions	3,89	NS ⁵		24,68	0,005	L+
	Soma de cátions	2,86	NS		23,57	0,026	Q-
	Soma total íons	6,14	NS		23,66	0,026	Q-
Beecf (mmol/L)	BE1	7,87	0,0362	L+	30,03	0,008	Q+
	BE2	22,63	0,0002	L+	30,33	0,002	L+
	BECO ₃	27,11	0,000	L+	35,20	0,0005	L+
	Soma de ânions	11,56	0,010	L+	36,58	0,002	Q-
	Soma de cátions	4,66	NS		22,10	0,034	Q+
	Soma total íons	2,40	NS		22,24	0,035	Q+
Ca i (mmol/L)	BE1	6,34	NS		1,05	NS	
	BE2	2,70	NS		3,09	NS	
	BECO ₃	0,86	NS		1,67	NS	
	Soma de ânions	2,91	NS		15,24	0,033	L+
	Soma de cátions	0,02	NS		13,62	0,044	L+
	Soma total íons	0,44	NS		14,06	0,041	L+
Cl (mmol/L)	BE1	13,24	0,0232	Q-	21,84	0,036	Q-
	BE2	13,22	0,059	C+	18,44	0,018	L-
	BECO ₃	7,036	0,0482	L-	21,32	0,010	L-
	Soma de ânions	0,62	NS		21,92	0,035	Q+
	Soma de cátions	0,16	NS		1,81	NS	
	Soma total íons	0,32	NS		1,15	NS	
CO ₂ ct (mmol/L)	BE1	8,01	0,0345	L+	33,34	0,004	Q+
	BE2	18,63	0,0009	L+	23,43	0,006	L+
	BECO ₃	23,72	0,0001	L+	29,24	0,002	L+
	Soma de ânions	11,41	0,010	L+	34,89	0,003	Q-
	Soma de cátions	6,15	NS		25,93	0,01	Q+
	Soma total íons	3,61	NS		26,03	0,01	Q+
HCO ₃ (mmol/L)	BE1	7,99	0,0347	L+	33,12	0,004	Q+
	BE2	19,78	0,0006	L+	25,45	0,004	L+
	BECO ₃	24,70	0,0001	L+	31,21	0,001	L+

	Soma de ânions	11,79	0,009	L+	35,73	0,002	Q-
	Soma de cátions	5,97	NS		25,73	0,018	Q+
	Soma total íons	3,42	NS		25,64	0,018	Q+
Hematócrito (%)	BE1	2,21	NS		0,02	NS	
	BE2	0,01	NS		2,87	NS	
	BE _{CO₃}	0,09	NS		2,48	NS	
	Soma de ânions	3,34	NS		2,36	NS	
	Soma de cátions	3,20	NS		0,71	NS	
	Soma total íons	1,67	NS		0,89	NS	
K (mmol/L)	BE1	1,77	NS		10,11	NS	
	BE2	6,54	NS		2,73	NS	
	BE _{CO₃}	5,46	NS		1,41	NS	
	Soma de ânions	2,16	NS		13,22	0,048	L+
	Soma de cátions	0,71	NS		12,26	NS	
	Soma total íons	2,02	NS		12,64	NS	
Na (mmol/L)	BE1	23,71	0,0008	Q-	25,91	0,017	Q-
	BE2	2,61	NS		12,42	NS	
	BE _{CO₃}	2,08	NS		8,82	NS	
	Soma de ânions	2,43	NS		26,75	0,003	L+
	Soma de cátions	12,49	0,007	L+	17,89	0,019	L+
	Soma total íons	13,77	0,0049	L+	19,31	0,015	L+
pCO ₂ (mmHg)	BE1	1,47	NS		9,01	NS	
	BE2	0,51	NS		4,25	NS	
	BE _{CO₃}	1,58	NS		2,82	NS	
	Soma de ânions	1,54	NS		16,06	0,028	L+
	Soma de cátions	2,96	NS		13,71	0,043	L+
	Soma total íons	2,44	NS		14,08	0,041	L+
pH	BE1	0,81	NS		18,62	0,061	
	BE2	8,70	0,027	L+	25,43	0,004	L+
	BE _{CO₃}	8,03	0,034	L+	25,86	0,004	L+
	Soma ânions	1,62	NS		28,86	0,010	Q-
	Soma cátions	0,02	NS		1,43	NS	
	Soma total íons	0,18	NS		2,14	NS	
pO ₂ (mmHg)	BE1	3,11	NS		18,81	NS	
	BE2	0,32	NS		5,13	NS	
	BE _{CO₃}	1,65	NS		5,57	NS	
	Soma ânions	0,00	NS		1,81	NS	
	Soma cátions	0,95	NS		0,08	NS	
	Soma total íons	1,12	NS		0,15	NS	
Saturação O ₂ (%)	BE1	2,04	NS		0,12	0,853	

BE2	12,90	0,0275	Q-	14,70	0,036	L+
BECO ₃	11,51	0,041	Q-	16,30	0,027	L+
Soma ânions	0,92	NS		5,73	NS	
Soma cátions	17,32	0,007	Q+	0,35	NS	
Soma total íons	11,58	0,040	Q+	0,58	NS	

¹AG = ânion gap; Beecf = excesso de bases no fluido extracelular; Ca i = cálcio ionizado; Cl = cloro; CO₂ = gás carbônico total; HCO₃ = íon bicarbonato; K = potássio; Na = sódio; CO₂ = pressão parcial de dióxido de carbono; pH = potencial hidrogeniônico; pO₂ = pressão parcial de oxigênio, saturação de O₂ calculada,

²BE1 = balanço eletrolítico de Mongin, BE2 = balanço eletrolítico completo, BECO₃ = balanço eletrolítico alternativo,

³R² = coeficiente de determinação

⁴P = probabilidade

⁵NS = efeito não significativo

Tabela 15- Coeficientes de correlação entre as variáveis sanguíneas de frangos dos 14 aos 35 dias de vida, e as características das dietas experimentais. Experimento 1

Variáveis- resposta	Características da ração												
	Na	Cl	Ca	S	HCO ₃	CO ₃	HCO ₃ + CO ₃	Soma Íons	Soma cátions	Soma Ânions	BE1	BE2	BECO ₃
AG	0,315*	-0,044	-0,157	0,379	0,0162	-0,130	-0,112	0,248	0,169	-0,197	0,227	-0,432***	-0,357**
Beecf	0,176	-0,329*	0,103	-0,012	0,293*	0,273*	0,493***	0,155	0,216	0,34**	0,280*	0,475***	0,521***
Ca i	-0,232	0,199	0,298*	-0,166	-0,207	0,148	-0,020	-0,067	-0,013	0,170	-0,251	0,128	0,0584
Cl	0,000	0,358**	-0,057	-0,105	0,093	-0,290*	-0,205	-0,057	-0,041	0,079	-0,179	-0,110	-0,265*
CO ₂	0,191	-0,314*	0,132	0,027	0,249	0,296*	0,481***	0,190	0,248	0,338**	0,283*	0,431***	0,487***
HCO ₃	0,188	-0,317*	0,131	0,018	0,259	0,294*	0,487***	0,185	0,244	0,343**	0,282*	0,448***	0,497***
Hematócrito	0,162	-0,085	0,026	0,126	0,092	0,051	0,122	0,154	0,185	0,081	0,148	0,0075	0,029
K	-0,144	0,072	0,051	-0,236	-0,028	0,080	0,055	-0,142	-0,084	0,147	-0,131	0,256*	0,233
Na	0,483***	-0,049	-0,085	0,325*	0,323*	-0,106	0,151	0,371**	0,353**	0,156	0,340**	-0,140	-0,144
pCO ₂	0,107	-0,103	0,125	0,105	-0,012	0,184	0,167	0,156	0,172	0,124	0,121	0,0720	0,126
pO ₂	-0,107	0,213	-0,006	-0,113	-0,056	-0,121	-0,161	-0,106	-0,098	-0,0063	-0,176	-0,056	-0,128
Satur. O ₂	-0,045	0,128	-0,068	-0,141	0,081	-0,126	-0,056	-0,103	-0,082	0,051	-0,094	0,063	-0,005
pH sangue	0,016	-0,159	-0,039	-0,115	0,217	0,041	0,211	-0,042	-0,012	0,127	0,090	0,295*	0,283*

*P<0,05; ** P<0,01; *** P<0,001

Tabela 16- Coeficientes de correlação entre as variáveis sanguíneas de frangos dos 14 aos 35 dias de vida, e as características das dietas experimentais. Experimento 2

Variáveis- resposta	Características da ração												
	Na	Cl	Ca	S	HCO ₃	CO ₃	HCO ₃ CO ₃	+ Íons	Soma cátions	Soma Ânions	BE1	BE2	BECO ₃
AG	0,222	0,215	0,168	0,379*	-0,200	0,072	-0,110	0,305	0,275	0,496**	0,079	-0,54**	-0,510**
Beecf	0,221	-0,541**	-0,011	0,037	0,440*	0,154	0,505**	0,140	0,175	-0,141	0,373*	0,550**	0,593***
Ca i	0,086	-0,100	0,534**	0,380*	-0,253	0,488**	0,190	0,375*	0,369*	0,390*	0,102	-0,175	-0,129
Cl	-0,095	0,418	-0,100	-0,027	-0,246	-0,215	-0,390*	-0,107	-0,134	0,110	-0,233	-0,429*	-0,461*
CO ₂	0,351	-0,567**	0,031	0,168	0,476**	0,195	0,570***	0,271	0,305	-0,004	0,478**	0,484**	0,540**
HCO ₃	0,327	-0,56***	0,023	0,142	0,474**	0,189	0,563**	0,246	0,280	-0,034	0,460*	0,504**	0,558**
Hematócrito	-0,093	-0,059	-0,014	-0,119	0,031	0,007	0,033	-0,094	-0,084	-0,153	-0,045	0,169	0,157
K	0,376*	-0,107	0,075	0,358	0,138	0,088	0,191	0,355	0,350	0,363*	0,318	-0,165	-0,118
Na	0,447*	-0,024	0,102	0,471**	0,076	0,084	0,136	0,439*	0,423*	0,517**	0,337	-0,352	-0,297
pCO ₂	0,379*	-0,057	0,107	0,376*	0,106	0,098	0,172	0,375*	0,370*	0,400*	0,300	-0,206	-0,168
pO ₂	-0,202	-0,175	0,245	-0,067	-0,121	0,273	0,123	-0,039	-0,028	-0,134	-0,080	0,226	0,236
Satur. O ₂	-0,212	-0,309	0,204	-0,120	-0,031	0,282	0,208	-0,076	-0,059	-0,239	-0,035	0,383*	0,403*
pH sangue	-0,090	-0,329	-0,082	-0,216	0,234	0,036	0,230	-0,146	-0,120	-0,353	0,062	0,504**	0,508**

*P<0,05; ** P<0,01; *** P<0,001

Tabela 17 – Efeitos de diferentes minerais (em mEq/kg da dieta), por regressão múltipla, sobre o desempenho, características da cama e excretas e variáveis sanguíneas de frangos de corte machos de 14 a 35 dias de idade. Experimento 1

Resposta	R ² ³	P ⁴	Equação
PV 35 (kg)	46,0%	0,000	Pvmed35 = 2,32189 - 0,00205989*Na
GP tot (kg)	45,44%	0,000	GP tot = 1,84466 - 0,00201262*Na
CR total (kg)	39,27%	0,000	CR tot = 2,88481 - 0,00174604*Na
CA tot (kg)	23,03%	0,0002	CA tot = 1,53218 + 0,00128875*Na
MS cama S1(%) ¹	35,20%	0,000	MS CAMA s1 = 57,037 - 0,062828*Na
MS cama S2 (%)	11,92%	0,009	MS CAMAs2 = 60,5056 - 0,0533813*Na
MS cama S3(%)	10,39%	NS	
MS excretas (%)	25,76%	0,0001	MS EXCRETASs3 = 23,0208 - 0,0159826*Na
pH 1 excretas	15,26%	0,01	pH 1 = 6,30581 + 0,00441586*Na - 0,00264232*S
pH 2 excretas	5,96%	NS	
pH 3 excretas	21,51%	0,005	pH 3 = 4,58779 + 0,00516046*Na + 0,00361689*Ca - 0,00205884*S
AG (mmol/L) ¹	27,11%	0,0009	AG mmol/L = 21,4157 + 0,0170114*Cl - 0,0163534*Ca + 0,0131263*S
Beecf (mmol/L)	30,45%	0,0008	Beecf mmol/L = -2,9124 + 0,0217282*Na - 0,0295945*Cl + 0,0186796*Ca - 0,017109*S
Ca i (mmol/L)	8,92%	0,02	Cai mmol/L = 0,833095 + 0,00152791*Ca
Cl (mmol/L)	12,87%	0,006	Cl mmol/L = 107,316 + 0,0162903*Cl
CO ₂ ct (mmol/L)	26,63%	0,002	CO2ct mmol/L = 24,7747 + 0,0193852*Na - 0,0246251*Cl + 0,0179389*Ca - 0,0141249*S
HCO ₃ (mmol/L)	27,75%	0,002	HCO3c mmol/L = 23,2092 + 0,0189352*Na - 0,0242941*Cl + 0,0174627*Ca - 0,0140309*S
Hematócrito (%)	2,81%	NS	
K (mmol/L)	8,33%	NS	
Na (mmol/L)	23,37%	0,0002	Na mmol/L = 146,922 + 0,0211654*Na
pCO ₂ (mmHg)	3,4%	NS	
pH sangue	9,29%	0,0755	pH sangue = 7,36001 - 0,000340401*Cl - 0,000125882*S
pO ₂ (mmHg)	4,61%	NS	
Saturação O ₂ (%)	3,21%	NS	

¹GP tot = ganho de peso total do período experimental; PV 35d = peso vivo aos 35 dias; CRtot = consumo de ração total do período experimental ajustado para mortalidade; CA tot = conversão alimentar total no período experimental, MS camaS1 = matéria seca da cama na primeira semana experimental; MS camaS2 = matéria seca da cama na segunda semana experimental; MS camaS3 = matéria seca da cama na terceira semana experimental; MS excretasS3 = matéria seca das excretas na terceira semana experimental; pH1 = pH das excretas no primeiro dia de avaliação; pH2 = pH das excretas no segundo dia de avaliação; pH3 = pH das excretas no terceiro dia de avaliação; AG = ânion gap; Beecf = excesso de bases no fluido extracelular; Ca i = cálcio ionizado; Cl = cloro; CO₂ = gás carbônico total; HCO₃ = íon bicarbonato; K = potássio; Na = sódio; CO₂ = pressão parcial de dióxido de carbono; pH = potencial hidrogeniônico; pO₂ = pressão parcial de oxigênio, saturação de O₂.

²BE1 = balanço eletrolítico de Mongin, BE2 = balanço eletrolítico completo

³R² = coeficiente de determinação

⁴P = probabilidade

⁵NS = efeito não significativo

Tabela 18 – Efeitos de diferentes minerais (em mEq/kg da dieta), por regressão múltipla, sobre o desempenho, características da cama e excretas e variáveis sanguíneas de frangos de corte machos de 14 a 35 dias de idade. Experimento 2

Resposta	R ² ³	P ⁴	Equação
PV 35 (kg)	59,3%	0,000	PVmed 35=2,65194 – 0,000705124xCa – 0,000373143xS
GP tot (kg)	59,0%	0,000	GP tot = 2,16585 – 0,000704805xCa – 0,000362223xS
CR total (kg)	28,0%	0,0140	CR total=3,2331 – 0,0012106xCa – 0,000850562xNa
CA tot (kg)	17,6%	NS ⁵	
MS cama S1(%) ¹	38,82	0,0011	MS cama S1=73,202 – 0,067047*Na
MS cama S2 (%)	75,4%	0,000	MS cama S2=176,388 – 0,226138*Ca – 0,127111*Cl – 0,259618*Na + 0,108041*S
MS cama S3(%)	66,4%	0,000	MS cama S3=156,191 – 0,18599*Ca – 0,123916*Cl – 0,249358*Na + 0,0967881*S
MS excretas (%)	28,33%	0,003	MS excretas=20,1675 – 0,0122632*Na
pH 1 excretas	35,28%	0,009	pH 1 = 8,45535 – 0,00285541*Na – 0,00849534*Cl – 0,00388441*Ca
pH 2 excretas	4,54%	NS	
pH 3 excretas	14,26%	0,03	pH 3 = 6,39816 – 0,00146502*S
AG (mmol/L) ¹	34,69%	0,0032	AG=12,7581 + 0,02442*Cl + 0,00903768*S
Beecf (mmol/L)	29,34%	0,002	Beecf = 3,31663 – 0,03491*Cl
Ca i (mmol/L)	28,54%	0,002	Ca i = 0,995359 + 0,00136373*Ca
Cl (mmol/L)	17,52%	0,021	Cl=103,757 + 0,0162601*Cl
CO ₂ ct (mmol/L)	32,24%	0,001	CO ₂ = 29,5615 – 0,0285876*Cl
HCO ₃ (mmol/L)	32,31%	0,001	HCO ₃ = 28,1093 – 0,0282873*Cl

Hematócrito (%)	3,85%	0,906	NS
K (mmol/L)	14,20%	0,040	$K=5,08992 + 0,00154055*Na$
Na (mmol/L)	22,20%	0,008	$Na= 140,864 + 0,00657933*S$
pCO ₂ (mmHg)	14,39%	0,038	$pCO_2=42,4407 + 0,0223196*Na$
pH	28,89%	0,010	$pH= 7,4748 - 0,000728999*Cl - 0,000191182*S$
pO ₂ (mmHg)	19,27%	0,234	NS
Saturação O ₂ (%)	31,45%	0,018	$Sat,O_2=54,757 + 0,0780764*Ca - 0,107135*Cl - 0,042404*S$

¹GP tot = ganho de peso total do período experimental; PV 35d = peso vivo aos 35 dias; CRtot = consumo de ração total do período experimental ajustado para mortalidade; CA_{tot} = conversão alimentar total no período experimental, MS camaS1 = matéria seca da cama na primeira semana experimental; MS camaS2 = matéria seca da cama na segunda semana experimental; MS camaS3 = matéria seca da cama na terceira semana experimental; MS excretasS3 = matéria seca das excretas na terceira semana experimental; pH1 = pH das excretas no primeiro dia de avaliação; pH2 = pH das excretas no segundo dia de avaliação; pH3 = pH das excretas no terceiro dia de avaliação; AG = ânion gap; Beecf = excesso de bases no fluido extracelular; Ca i = cálcio ionizado; Cl = cloro; CO₂ = gás carbônico total; HCO₃ = íon bicarbonato; K = potássio; Na = sódio; CO₂ = pressão parcial de dióxido de carbono; pH = potencial hidrogeniônico; pO₂ = pressão parcial de oxigênio, saturação de O₂.

²BE1 = balanço eletrolítico de Mongin, BE2 = balanço eletrolítico completo

³R² = coeficiente de determinação

⁴P = probabilidade

⁵NS = efeito não significativo

CAPÍTULO IV

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A manutenção do metabolismo ácido-base apresenta inúmeros desafios para a produção animal no setor avícola. Há décadas vem sendo utilizada a equação de Mongin (1981) para determinar o equilíbrio de eletrólitos dietéticos, onde são considerados apenas os elementos Na, K e Cl como sendo os íons determinantes de tal equilíbrio. Entretanto, ao longo dos anos várias pesquisas vêm mostrando a influência de outros íons no equilíbrio eletrolítico e no balanço ácido-base. Considerar os íons metabolizáveis carbonato e bicarbonato, os cátions divalentes como Ca e Mg e outros ânions como fosfatos e sulfato mostra-se imprescindível para melhorar a compreensão de seus efeitos no metabolismo dos animais. Dessa forma, propostas alternativas à equação de Mongin, a qual é tradicionalmente utilizada, foram delineadas visando esclarecer as lacunas deixadas por ela.

A forma reduzida de expressar o equilíbrio eletrolítico dietético segundo a equação de Mongin se torna pouco expressiva, inclusive prejudicial, quando utilizada em situações de termoneutralidade, diferentemente de quando aplicadas a condições de estresse térmico em frangos de corte. Nesse sentido, a usual interpretação do efeito de exclusão do cloro da dieta pela substituição do NaCl pelo NaHCO₃ não leva em consideração o efeito do íon bicarbonato, sendo esse o real causador do efeito benéfico do uso do NaHCO₃, e não a exclusão do íon cloro em si, conforme se observou neste trabalho.

Ambos os artigos aqui produzidos, a revisão sistemática e o estudo prático de validação da revisão, mostraram que é de fundamental importância a consideração dos efeitos dos cátions divalentes, do sulfato e do fosfato e dos íons metabolizáveis carbonato e bicarbonato na avaliação do metabolismo ácido-base devido à influência significativa desses elementos. O balanço eletrolítico completo proposto neste estudo considerou a inclusão de cátions e de ânions de forma adicional aos utilizados usualmente e mostrou um melhor ajuste que o balanço eletrolítico segundo a equação de Mongin. A proposta de balanço eletrolítico pela equação “ad hoc” $Na^+ + K^+ + Mg^{2+} + CO_3^{2-} - Cl^- - P^- - S^-$, que propôs a substituição do Ca pelo CO₃ na soma de cátions, pode explicar e segregar melhor os efeitos dos diferentes elementos que afetam o balanço eletrolítico e ácido-base em frangos.

O NaHCO_3 incluído nas dietas em diferentes níveis representou um considerável efeito atribuído ao balanço eletrolítico pelo papel desempenhado pelo íon bicarbonato, efeito esse geralmente não considerado, mesmo sabendo-se que as fontes de Na e de K mais utilizadas são os sais de bicarbonato, porém sem levar em conta seu papel sobre o metabolismo ácido-base. Adicionalmente, a inclusão de CO_3 pelos diferentes níveis de participação de CaCO_3 influenciou o equilíbrio ácido-base de frangos de corte, sendo o carbonato outro íon metabolizável também não considerado no equilíbrio eletrolítico dietético tradicional.

Os suplementos minerais CaCO_3 e NaHSO_4 representaram efeito significativo atribuído ao balanço eletrolítico pelos efeitos alcalinizante do carbonato e acidogênico do sulfato. É importante ressaltar nesse sentido a necessidade de atenção quanto aos limites de inclusão nas dietas favoráveis com o desempenho animal, uma vez que NaHSO_4 em altos níveis de inclusão foram altamente prejudiciais para os frangos.

O teor de Na no sangue foi diretamente relacionado aos níveis de inclusão na dieta utilizando como fontes o NaHCO_3 e o NaHSO_4 , mostrando respostas negativas quando utilizado em excesso, afetando a excreção de água e a umidade da cama aviária negativamente. Adicionalmente, a temperatura ambiental parece ter influenciado o desempenho das aves, uma vez que as aves em condições de baixa temperatura, no inverno, direcionaram energia para a manutenção da temperatura corporal e, com isso, tiveram desempenho reduzido quando comparadas aos frangos sob temperaturas mais elevadas, no verão.

Sendo assim, os resultados obtidos nessa pesquisa indicam que o balanço (Na+K-Cl) pode ter um baixo poder preditivo das respostas das variáveis analisadas, enquanto outros cátions (Ca e Mg), ânions (P e S) e os íons metabolizáveis possuem importantes efeitos sobre o metabolismo ácido-base e, por isso, deveriam ser considerados, como nas equações alternativas aqui propostas.

Estudos futuros incluindo ensaios de digestibilidade dos minerais relacionados ao metabolismo ácido-base em frangos de corte irão contribuir efetivamente para essa área de conhecimento, preenchendo lacunas ainda existentes e elucidando de forma mais ampla pontos ainda pouco estudados em frangos de corte.

5. REFERÊNCIAS

- ABBAS, A. *et al.* Cation anion balance in avian diet: (a review). **Agricultural Science Research Journal**, Ghana, v. 2, n. 6, p. 302–307, 2012.
- ADEDOKUN, S. A.; APPLGATE, T. J. Dietary electrolyte balance influences ileal endogenous amino acid losses in broiler chickens. **Poultry Science**, Champaign, v. 93, p. 935–942, 2014.
- ADESINA, A. A.; ROBBINS, K. R. Effect of dietary electrolyte balance on growth and metabolic acid-base status of chicks. **Nutrition Research**, Los Angeles, v. 7, n. 5, p. 519–528, 1987.
- AHMAD, T. *et al.* Effect of potassium chloride supplementation in drinking water on broiler performance under heat stress conditions. **Poultry Science**, Champaign, v. 87, p. 1276-1280, 2008.
- AHMAD, T.; SARWAR, M. Dietary electrolyte balance: implications in heat stressed broilers. **World's Poultry Science Journal**, Ithaca, v. 62, n. 4, p. 638-653, 2006.
- AHMAD, T. *et al.* Influence of varying sources of dietary electrolytes on the performance of broilers reared in a high temperature environment. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 120, p. 277–298, 2005.
- ANDERSON, R. S. Acid base changes in the excreta of the laying hen. **The Veterinary Record**, London, v. 80, p. 314-315, 1967.
- ARANTES, U. M. *et al.* Effect of different electrolyte balances in broiler diets. **Brazilian Journal of Poultry Science**, Campinas, v. 15, n. 3, p. 169-286, 2013.
- ARAÚJO, W. A. G. *et al.* Cálculo de balanço eletrolítico em dietas de frangos de corte. **Revista Eletrônica Nutritime**, Viçosa, MG, v. 8, n. 139, p. 1529-1539, 2011.
- BALNAVE, D.; OLIVA, A. G. The influence of sodium bicarbonate and sulfur amino acids on the performance of broilers at moderate and high temperatures. **Australian Journal of Agricultural Research**, East Melbourne, v. 42, p. 1385-1397, 1991.
- BALOS, M. Ž. *et al.* Electrolytes – sodium, potassium and chlorides in poultry nutrition. **Arhiv Veterinarske Medicine**, Novi Sad, v. 9, n. 1, p. 31- 42, 2016.
- BANKS, M. R.; FARTHING, M. J. G. Fluid and electrolyte transport in the small intestine. **Current Opinion in Gastroenterology**, Philadelphia, v. 18, n. 2, p. 176–181, 2002.

BARRETT, K. E.; KEELY, S. J. Chloride secretion by the intestinal epithelium: molecular basis and regulatory aspects. **Annual Review of Physiology**, Palo Alto, v. 62, n. 1, p. 535–572, 2000.

BEHAR, J. Magnesium absorption by the rat ileum and colon. **American Journal of Physiology**, Bethesda, n. 227, p. 334-340, 1974.

BELAY, T.; TEETER, R. G. Broiler water balance and thermobalance during thermoneutral and high ambient temperature exposure. **Poultry Science**, Champaign, v. 72, p. 116–124, 1993.

BLAKE, J.; HESS, J. B. **Litter treatments for poultry**. Auburn: The Alabama Cooperative Extension System and Auburn University, 2001.

BORGES, S. A. **Suplementação de cloreto de potássio e bicarbonato de sódio para frangos de corte durante o verão**. 1997. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1997.

BORGES, S. A. **Balanço eletrolítico e sua inter-relação com o equilíbrio ácido-base em frangos de corte submetidos a estresse calórico**. 2001. 97 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Curso de Pós-Graduação em Zootecnia, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2001.

BORGES, S. A.; MAIORKA, A.; SILVA, A. V. F. Fisiologia do estresse calórico e a utilização de eletrólitos em frangos de corte. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 5, p. 975-981, 2003.

BORGES, S. A. *et al.* Dietary electrolyte balance for broiler chickens under moderately high ambient temperatures and humidity. **Poultry Science**, Champaign, v. 82, p. 301–308, 2003.

BORGES, S. A. *et al.* Physiological responses of broiler chickens to heat stress and dietary electrolyte balance (sodium plus potassium minus chloride, milliequivalents per kilogram). **Poultry Science**, Champaign, v. 83, p. 1551–1558, 2004.

BORGES, S. A. Aplicação do conceito de balanço eletrolítico para aves. *In*: CONFERÊNCIA APINCO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AVÍCOLAS, 2006, Santos. **Anais** [...]. Campinas: Facta, 2006. p. 123-137.

BORGES, S. A.; SILVA, A. V. F.; MAIORKA, A. Acid-base balance in broilers. **World's Poultry Science Journal**, Ithaca, v. 63, p. 73-81, 2007.

BOTTJE, W. G.; HARRISON, P. C. The effect of tap water, carbonated water, sodium bicarbonate, and calcium chloride on blood acid-base balance in cockerels subjected to heat stress. **Poultry Science**, Champaign, v. 64, n. 1, p. 107-113, 1985.

BRÊTAS, A. A. *et al.* Estudo do balanço eletrolítico alimentar para suínos machos castrados em acabamento mantidos em ambiente de alta temperatura. **Revista Portuguesa de Ciências Veterinárias**, Lisboa, v. 104, n. 569/572, p. 37-43, 2009.

BUTCHER, G. D.; MILES, R. D. Jr. *Origin of acids in animals*. **Poultry Digestion**, *Leichhardt*, v. 53, n. 1, [p. 28-37], 1994.

CALDER, W. A.; SCHIMIDT-NIELSEN, K. Panting and blood carbon dioxide in birds. **American Journal of Physiology**, Bethesda, v. 215, n. 2, p. 477-482, 1968.

CANH, T. T. *et al.* Influence of electrolyte balance and acidifying calcium salts in the diet of growing-finishing pigs on urinary pH, slurry pH and ammonia volatilization from slurry. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 56, p. 1-13, 1998.

COBB. **Manual de manejo de frangos Cobb 500**: guia de manejo. São Paulo: Cobb-Vantress Brasil, 2001. 47 p.

COSTA, F. G. P. *et al.* Nutritional potassium requirement for laying Japanese quails. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 40, p. 2754-2759, 2011.

DALL'STELLA, R. **Balanço eletrolítico e relações de aminoácidos sulfurados e lisina digestíveis para frangos de corte**. 2008. 76 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Veterinárias) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

DEWAR, W. A.; WHITEHEAD, C. C. Sodium supplementation of broiler diets. **British Poultry Science**, Edinburgh, v. 14, p. 315–381, 1973.

EL-DEEK, A. A. *et al.* Effect of different dietary levels of NaCl on the performance of broiler chickens fed practical and plant diets. **Egyptian Poultry Science**, Alexandria, v. 29, n. 4, p. 887-905, 2010.

FORBES, E. B. **The balance between inorganic acids and bases in animal nutrition**. Wooster: Ohio Agricultural Experiment Station, 1909. (Bulletin, 207).

FURONI, R. M. *et al.* Distúrbios do equilíbrio ácido-básico. **Revista da Faculdade de Ciências Médicas**, Sorocaba, v. 12, n. 1, p. 5-12, 2010.

GAÁL, K. K. *et al.* Magnesium in animal nutrition. **Journal of the American College of Nutrition**, New York, v. 23, n. 6, p. 754–757, 2004.

GAMBA, J. P. *et al.* The strategic application of electrolyte balance to minimize heat stress in broilers. **Brazilian Journal of Poultry Science**, Campinas, v. 17, n. 2, p. 237-246, 2015.

GHASEMI, R.; TORKI, M.; GHASEMI, H. A. Effects of dietary crude protein and electrolyte balance on production parameters and blood biochemicals of laying hens under tropical summer condition. **Tropical Animal Health and Production**, Edinburgh, v. 46, n. 5, p. 717–723, 2014.

GOFF, J. P. Digestion and absorption of nutrients. *In*: REECE, W. O. *et al.* (ed.). **Dukes physiology of domestic animals**. Hoboken: Wiley-Blackwell, 2015. p. 502-521.

GOFF, J. P. Invited review: Mineral absorption mechanisms, mineral interactions that affect acid–base and antioxidant status, and diet considerations to improve mineral status. **Journal of Dairy Science**, Amsterdam, v. 101, n. 4, p. 2763–2813, 2018.

GONZÁLEZ, F. H. D.; SILVA, S. C. **Introdução à bioquímica clínica veterinária**. 3. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2017.

GORMAN, I.; BALNAVE, D. Effects of dietary mineral supplementation on the performance and mineral excretions of broilers at high ambient temperatures. **British Poultry Science**, Edinburgh, v. 35, p. 563-572, 1994.

GUYTON, A. C.; HALL, J. E. **Buku ajar fisiologi kedokteran**. 11th ed. Jakarta: ECG, 2007.

GUYTON, A. C.; HALL, J. E. **Tratado de fisiologia médica**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2011.

HALDANE, J. B. S.; HILL, R.; LUCK, J. M. Calcium chloride acidosis. **Journal of Physiology**, Oxford, v. 57, p. 301-305, 1923.

HALFEN, D. *et al.* Effect of calcium sources in the diets of adult cats on urinary parameters and acid-base balance. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, Rio de Janeiro, v. 38, p. 2133-2138, 2018a.

HALFEN, D. *et al.* Different sources of sulfur in diets of adult cats on the urinary parameters and acid-base balance. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 48, n. 10, [art.] e20180017, 2018b.

HALLEY, J. T. *et al.* Effect of altering dietary mineral balance on growth, leg abnormalities and blood base excess in broiler chicks. **Poultry Science**, Champaign, v. 66, p. 1684–1692, 1987.

HARDWICK, L. L. *et al.* Comparison of calcium and magnesium absorption: in vivo and in vitro studies. **American Journal of Physiology**, Bethesda, v. 259, p. 720-726, 1990.

HOOGE, D. M. Dietary electrolytes influence metabolic processes of poultry. **Feedstuffs**, Minneapolis, v. 67, n. 50, p. 14–21, 1995.

HOOGE, D. M. Electrolyte balance in turkeys layers examined. **Feedstuffs**, Minneapolis, v. 70, n. 18, p. 17–19, 1998.

HULAN, H. W. *et al.* Effect of dietary cation-anion balance and calcium content on general performance and incidence of leg abnormalities of broiler chickens. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v. 67, p. 165-177, 1987.

HURWITZ, S.; COHEN, I.; BAR, A. Sodium and chloride requirements of chick: relationship to acid-base balance. **Poultry Science**, Champaign, v. 52, p. 903-909, 1973.

JOHNSON, R. A. Respiratory alkalosis: a quick reference. **Veterinary Clinics Small Animal Practice**, Philadelphia, v. 38, n. 3, p. 427-430, 2008.

JOHNSON, R. J.; KARUNAJEEWA, H. The effects of dietary minerals and electrolytes on the growth and physiology of the young chick. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 115, p. 1680–1690, 1985.

KAPLAN, J. H. Sodium ions and the sodium pump: transport and enzymatic activity. **American Journal of Physiology**, Bethesda, v. 245, p. 327–333, 1983.

KAYNE, L. H.; LEE, D. B. N. Intestinal magnesium absorption. **Mineral and Electrolyte Metabolism**, Basel, v. 19, n. 4/5, p. 210-217, 1993.

KEMME-KROONSBERG, C. **Nutrition and acid–base balance of pigs**: a review. Lelystad: Institute for Animal Science and Health, 1993.

KIELA, P. R.; GHISHAN, F. K. Ion transport in the intestine. **Current Opinion in Gastroenterology**, Philadelphia, v. 25, n. 2, p. 87–91, 2009.

KIM, H. W.; HAN, I. K.; CHOI, Y. J. Effects of lysine level and Na+K-Cl ratio on lysine-arginine antagonism, blood pH, blood acid-base parameters and growth performance in broiler chicks. **Asian Australasian Journal of Animal Sciences**, Seoul, v. 2, n. 1, p. 7-16, 1989.

KING, R. G.; STANBURY, S. W. Magnesium metabolism in primary hyperparathyroidism. **Clinical Science**, London, v. 39, n. 2, p. 281-303, 1970.

KIRK, K. L.; HALM, D. R.; DAWSON, D. C. Active sodium transport by turtle colon via an electrogenic Na-K exchange pump. **Nature**, London, n. 287, p. 237–239, 1980.

LEACH, R. M. Jr.; NESHEIM, M. C. Further studies on tibial dyschondroplasia (cartilage abnormality) in young chicks. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 102, p. 1673–1680, 1972.

LEESON, S.; SUMMERS, J. D. **Nutrition of the chicken**. 4th ed. Ontario: University Books, 2001.

MCDONALD, P. *et al.* **Animal nutrition**. 7th ed. Harlow: Prentice Hal, 2010.

MEYER, D. J.; COLES, E. H.; RICH, L. J. **Medicina de laboratório veterinária**: interpretação e diagnóstico. São Paulo: Roca, 1995.

MOGHADDAM, H. N.; JANMOHAMMADI, H.; NAJAFABADI, H. J. The effect of dietary electrolyte balance on growth, tibia ash and some blood serum electrolyte in young pullets. **International Journal of Poultry Science**, Faisalabad, v. 4, n. 7, p. 493-496, 2005.

MONGIN, P.; SAUVEUR, B. Interrelationships between mineral nutrition, acid-base, growth and cartilage abnormalities. **Proceedings Poultry Science**, [S.l.], n. 12, p. 235-247, 1977.

- MONGIN, P. Role of sodium, potassium and chloride in eggshell quality. *In*: NUTRITION CONFERENCE OF FLORIDA, 1980, Gainesville. **Proceedings of the** [...]. Florida: NCF, 1980. p. 213–223.
- MONGIN, P. Recent advances in dietary anion-cation balance: application in poultry. **The Proceedings of the Nutrition Society**, London, v. 40, n. 3, p. 285-294, 1981.
- MURAKAMI, A. E. *et al.* Sodium and chloride requirements of growing broiler chickens (twenty-one to forty-two days of age) fed corn-soybean diets. **Poultry Science**, Champaign, v. 80, p. 289–294, 2001.
- MUSHTAQ, T. *et al.* Effect and interactions of dietary sodium and chloride on broiler starter performance (hatching to twenty-eight days of age) under subtropical summer conditions. **Poultry Science**, Champaign, v. 84, p. 1716–1722, 2005.
- MUSHTAQ T. *et al.* Growth performance, carcass characteristics and plasma mineral chemistry as affected by dietary chloride and chloride salts fed to broiler chickens reared under phase feeding system. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, Seoul, v. 26, p. 845-855, 2013.
- MUSHTAQ, M. M. H.; PASHA, T. N. Electrolytes, dietary electrolyte balance and salts in broilers: an updated review on acid-base balance, blood and carcass characteristics. **World's Poultry Science Journal**, Ithaca, v. 69, p. 833-852, 2013.
- NELLANS, H. N. Contributions of cellular and paracellular pathways to transepithelial intestinal calcium transport. *In*: BRONNER, F.; PETERLIK, M. **Cellular calcium and phosphate transport in health and disease**. New York: Liss, 1988. p. 269–276.
- NELSON, T. S. *et al.* Effect of altering the dietary cation and anion content with magnesium and phosphorus on chick performance. **Poultry Science**, Champaign, v. 60, p. 1030-1035, 1981.
- NESHEIM, M. C. *et al.* Interrelationships between dietary levels of sodium, chloride and potassium. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 84, p. 361-366, 1964.
- NIKOOFARD, A. H. *et al.* Effects of different sulphur amino acids and dietary electrolyte balance levels on performance, jejunal morphology, and immunocompetence of broiler chicks. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, Berlin, v. 100, p. 189-199, 2016.
- NUFFER, M. Y.; GERAERT, P. A. S. **Dietary adjustment in sodium for growing broilers: bicarbonate or sulphate?** Antony: ADISSEO France, 2004.
- OLANREWAJU, H. A. *et al.* Stress and acid-base balance in chickens. **Poultry Science**, Champaign, v. 85, n. 7, p. 1266-1274, 2006.
- OLANREWAJU, H. A. *et al.* Electrolyte diets, stress, and acid-base balance in broiler chickens. **Poultry Science**, Champaign, v. 86, p.1363–1371, 2007.

ORLOFF, B. J.; DAVIDSON, D. G. The mechanism of potassium excretion by the kidney has been investigated in a number of events involved, the interpretation of results has often been complicated by extrarenal effects induced by the experimental procedures. **The Journal of Clinical Investigation**, New Haven, v. 38, n. 1, p. 21–30, 1959.

PATIENCE, J. F.; AUSTIC, R. E.; BOYD, R. D. Acid-base homeostasis in swine: nutritional perspective. **Feedstuff**, Minneapolis, v. 6, p. 13-18, 1987.

PATIENCE, J. F. A review of the role of acid-base balance in amino acid nutrition. **Journal of Animal Science**, Champaign, n. 68, p. 398-408, 1990.

PATIENCE, J. F. The physiological basis of electrolytes in animal nutrition. *In*: COLE, D. J. A.; HARESIGN, W.; GARNSWORTHY, P. C. (ed.). **Recent development in pig nutrition**. Loughborough: Nottingham University, 1993. p. 225-242.

PRASHAD, D. N.; EDWARDS, N. E. Phosphate excretion in the laying fowl. **Comparative Biochemistry and Physiology. A, Comparative Physiology**, Oxford, v. 46, n. 1, p. 131-137, 1973.

RAUP, T. J.; BOTTJE, W. G. Effect of carbonated water on arterial pH, PCO₂ and plasma lactate in heat-stressed broilers. **British Poultry Science**, Edinburgh, v. 31, n. 2, p. 377-384, 1990.

RAYSSIGUIER, Y.; REMESY, C. Magnesium absorption in the caecum of rats related to volatile fatty acids production. **Annales de Recherches Vétérinaires**, Paris, v. 8, n. 2, p. 105-110, 1977.

REECE, W. O. (ed.). **Dukes' physiology of domestic animals**. 13. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2017.

REENSTRA, W. W. Inhibition of cAMP- and Ca-dependent Cl⁻ secretion by phorbol esters: inhibition of basolateral K⁺ channels. **American Journal of Physiology**, Bethesda, v. 264, p. 161–168, 1993.

RIBEIRO, A. M. L. *et al.* Nutritional interaction of methionine sources and sodium and potassium levels on broiler performance under Brazilian summer conditions. **Journal of Applied Poultry Research**, Oxford, v. 17, p. 69-78, 2008.

RIOND, J. L. Animal nutrition and acid-base balance. **European Journal of Nutrition**, Darmstadt, v. 40, n. 5, p. 245–254, 2001.

ROSS, E. The effect of water sodium on the chick requirement for dietary sodium. **Poultry Science**, Champaign, v. 58, p. 626–630, 1979.

RUIZ-LÓPEZ, B.; AUSTIC, R. E. The effects of selected minerals on acid-base balance of growing chicks. **Poultry Science**, Champaign, v. 72, p. 1054-1062, 1993.

SAKI, A. A. *et al.* The effects of protein, amino acid, and dietary electrolyte balance on broiler chicken performance and blood parameters under heat stress. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, Maringá, v. 38, n. 3, p. 285-292, 2016.

SCHARRER, E.; LUTZ, T. Effects of short chain fatty acids and K on absorption of Mg and other cations by the colon and caecum. **Zeitschrift für Ernährungswissenschaft**, Darmstadt, v. 29, n. 3, p. 162-168, 1990.

SCHWEIGEL, M.; MARTENS, H. Magnesium transport in the gastrointestinal tract. **Frontiers in Bioscience**, Tampa, v. 5, p. 666–677, 2000.

SHAFEY, T. M. *et al.* Effects of dietary electrolyte balance on the performance of broiler chickens fed high calcium diets. **Journal of Animal and Veterinary Advances**, Faisalabad, v. 10, n. 22, p. 2902-2908, 2011.

SHERWOOD, L. *et al.* **Animal physiology: from genes to organism**. 2nd ed. Pacific Grove: Cengage Learning, 2013.

SHIGA, A.; MORINO, Y. Correlations among Mg, Ca and P contents of digesta in the gastro-intestinal tract of rats. **Japanese Journal of Veterinary Science**, Tokyo, v. 48, p. 1283-1286, 1986.

SMITH, M. O.; TEETER, R. G. Potassium balance of the 5 to 8-week-old broiler exposed to constant heat or cycling high temperature stress and the effects of supplemental potassium chloride on body weight gain and feed efficiency. **Poultry Science**, Champaign, v. 66, p. 487-492, 1987.

STURKIE, P. D. Kidneys, extrarenal salt excretion, and urine. *In*: STURKIE, P. D. (ed.). **Avian physiology**. New York: Springer, 1986. cap. 5, p. 359-382.

SUN, H. *et al.* Effects of sodium bisulfate on alcohol, amine, and ammonia emissions from dairy slurry. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 37, p. 608-614, 2008.

TEETER, R. G. *et al.* Chronic heat stress and respiratory alkalosis: occurrence and treatment in broiler chicks. **Poultry Science**, Champaign, v. 64, p. 1060-1064, 1985.

TEETER, R. Balancing the electrolyte equation. **Feed Mix**, Doetinchem, v. 5, p. 22–26, 1997.

TORIBIO, R. E. Disorders of calcium and phosphate metabolism in horses. **The Veterinary Clinics of North America. Equine Practice**, Philadelphia, v. 27, n. 1, p. 129–147, 2011.

ULLMAN, J. L. *et al.* A review of literature concerning odors, ammonia, and dust from broiler production facilities: 4. Remedial management practices. **Journal of Applied Poultry Research**, Oxford, v. 13, p. 521-531, 2004.

VENKATASUBRAMANIAN, J.; AO, M.; RAO, M. C. Ion transport in the small intestine. **Current Opinion in Gastroenterology**, Philadelphia, v. 26, n. 2, p. 123–128, 2010.

VIEIRA, E. C.; GAZZINELLI, G.; MARES-GUIA, M. **Química fisiológica**. São Paulo: Atheneu, 1979.

VIEITES, F. M. *et al.* Balanço eletrolítico e níveis de proteína bruta sobre parâmetros sanguíneos e ósseos de frangos de corte aos 21 dias de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 33, n. 6, p. 1520-1530, 2004.

VIEITES, F. M. *et al.* Balanço eletrolítico e níveis de proteína bruta sobre o desempenho, o rendimento de carcaça e a umidade da cama de frangos de corte de 1 a 42 dias de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 34, p. 1990-1999, 2005.

VIEITES, F. M. *et al.* Variação catiônica na dieta sobre o peso absoluto, rendimento de carcaça e cortes nobres de frangos de corte na região sul de Mato Grosso. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 10, n. 3, p. 723-730, 2009.

VIEITES, F. M. *et al.* Desempenho de frangos de corte alimentados com altos valores de balanço eletrolítico em região de clima quente. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 63, p. 441-447, 2011.

VIEITES, F. M. *et al.* Balanço de minerais e desempenho em frangos de corte aos 21 dias de idade alimentados com rações contendo *Solanum malacoxylon*. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 16, n. 3, p. 535-543, 2015.

WEBER, M. P. *et al.* Effect of size on electrolyte apparent absorption rates and fermentative activity in dogs. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, Berlin, v. 88, n. 9/10, p. 356–365, 2004.

YOSI, F. *et al.* Performance and physiological responses of broiler chickens supplemented with potassium chloride in drinking water under environmental heat stress. **Asian Journal of Poultry Science**, Faisalabad, v. 11, n. 1, p. 31–37, 2016.

6. VITA

Aline Bosak dos Santos natural de São Sebastião, São Paulo, nascida no dia 26 de setembro de 1985, filha de José Raimundo dos Santos e Suzana Bosak dos Santos, cursou Ensino Fundamental na Escola do Serviço Social da Indústria de São Paulo (SESI-SP) na cidade de Bragança Paulista/SP, e o Ensino Médio na Escola Estadual de Ensino Fundamental e Médio Affonso Charlier em Canoas/RS.

É bacharela em Zootecnia pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), RS, graduada no ano de 2009. Ao longo da graduação realizou estágios extracurriculares nos setores de Piscicultura, Cunicultura, Suinocultura, Laboratório de Bromatologia e em Nutrição de Ruminantes, sendo bolsista de Iniciação científica no último lugar. Como requisito do curso de graduação realizou o estágio curricular no setor de Forragicultura da mesma instituição.

Em janeiro de 2010, iniciou o Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Agrobiologia na UFSM atuando na área de Forragicultura/Manejo e conservação de campo nativo, sob orientação do Prof. Dr. Fernando Luiz Ferreira de Quadros, concluindo o mesmo no ano de 2012. Concomitantemente ao mestrado, houve a Graduação em Formação de Professores para Educação Profissional pelo Programa Especial de Graduação/PEG/UFSM, tornando-se licenciada. Em 2012/2013 cursou Especialização em Gestão Educacional/EaD/UAB, pólo Agudo pela UFSM.

Em outubro de 2013 assumiu como professora substituta do Instituto Federal Farroupilha, campus Alegrete e em março de 2014, assumiu como professora do quadro efetivo na mesma instituição atuando principalmente na área de não ruminantes, desenvolvendo projetos de ensino e extensão no campus.

Em abril de 2017, iniciou o curso de Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), na área de concentração Nutrição de Não-Ruminantes sob orientação do Prof. Dr. Alexandre de Mello Kessler. Durante a vida acadêmica, participou de projetos de pesquisa em nutrição de ruminantes e forragicultura, e projetos de ensino e extensão na área de não-ruminantes. Participou de eventos nacionais e internacionais, de nutrição e produção animal. Publicou artigos e resumos como autora e coautora.