

Produção e utilização da glicerina bruta na alimentação de frangos de corte

Souza, C.[®]; Nunes, R.V.; Broch, J. e Wachholz, L.

Universidade Estadual do Oeste do Paraná. UNIOESTE. Marechal Cândido Rondon, PR. Brasil.

PALAVRAS CHAVE ADICIONAIS

Coproduto.
Desempenho.
Valor energético.

ADDITIONAL KEYWORDS

Coprodukt.
Performance.
Energy value.

INFORMATION

Cronología del artículo.
Recibido/Received: 20.09.2016
Aceptado/Accepted: 03.05.2017
On-line: 15.10.2017
Correspondencia a los autores/Contact e-mail:
cleisonsz@hotmail.com

INTRODUÇÃO

A produção brasileira de biodiesel no ano de 2016 alcançou a marca de 3801 m³, que representa uma queda de 3,4% em relação ao ano anterior, porém 11% maior que a produção de 2014. Esse aumento na produção se deve a elevação do percentual de mistura do

RESUMO

A glicerina bruta (GB) é um coproduto gerado no processo de produção do biodiesel, do qual representa 10% do produto final. A utilização da GB na alimentação de animais não-ruminantes torna-se interessante, pois apresenta um alto teor de energia bruta e, ainda, a sua utilização pode proporcionar o retorno de parte das matérias-primas empregadas na produção de energia à cadeia alimentar, dando origem a produtos de elevado valor nutritivo. O emprego da glicerina na sua forma bruta como alimento energético vem sendo estudado como uma alternativa para a redução do custo com a alimentação animal, além de proporcionar um destino ambientalmente correto a esse coproduto. Porém, os valores enérgicos e a composição da GB, encontrados na literatura, apresentam grande variação, porque no processo de produção do biodiesel podem ser utilizadas diferentes matérias primas bem como diferentes processos. Além disso, a GB pode apresentar altas concentrações de metanol e sal (sódio ou potássio), devido a utilização do metanol e hidróxido de sódio ou potássio durante o processo de produção do biodiesel. Neste contexto, é necessário o entendimento da capacidade da utilização da GB e seus possíveis efeitos adversos em frangos de corte. Perante estes factos, o objetivo desta revisão é caracterizar a GB como um alimento alternativo para frangos de corte, bem como os fatores que devem ser avaliados antes da sua utilização.

Production and use of crude glycerin in the feed of broilers

SUMMARY

Crude glycerin (GB) is a byproduct generated during the production of biodiesel process, which represents 10% of the final product. The use of GB in non-ruminant animal feeding becomes interesting because it presents a high gross energy content, although its use can result in the return of part of the raw materials used in energy production back to the food chain, leading to high nutritional value products. The use of glycerin in its raw form as an energy food has been studied as an alternative to reduce the cost of animal feed, as well as providing an environmentally friendly destination to this coproduct. However, energetic values and GB composition in the literature show wide variation, what may be attributed to the fact that in the biodiesel production process various materials and processes may be used. Furthermore, GB can have high concentrations of methanol and salt (sodium or potassium), due to the use of methanol and sodium or potassium hydroxide during the biodiesel manufacturing process. In this context, the understanding of the utilization ability of GB and possible adverse effects in broilers is required. Thus, the aim of this review is to characterize GB as an alternative feed for broiler chickens, as well as the factors that must be evaluated before its use can be implemented.

biodiesel no óleo diesel para 7%, ocorrido em novembro/2014 (Anp, 2017).

Apesar de uma ligeira queda de produção em 2016, a produção poderá aumentar caso o Projeto de Lei do Senado PLS 613/2015, que prevê o aumento da adição do biodiesel no óleo diesel, passando para 8% em até

12 meses, 9% em até 24 meses e 10% em até 36 meses, seja aprovado.

O biodiesel é produzido a partir de gordura animal e óleos vegetais, que passam por um processo de transesterificação, dando origem ao biodiesel e ao coproduto do processo, denominado glicerina bruta (GB), que corresponde a aproximadamente 10% do produto final da produção (Dasari *et al.*, 2005). Este coproduto é caracterizado por apresentar em sua composição 65 a 85% de glicerol, 2 a 10% de sal (sódio ou potássio), 8 a 15% de água, 0,5 de ácidos graxos e 0,5% de metanol (Kerr *et al.*, 2007).

Diante do crescente aumento na produção de GB torna-se necessário encontrar outras formas de utilização desta, evitando o seu descarte de forma incorreta. A utilização da GB na alimentação de aves e suínos torna-se interessante, pois apresenta um alto teor de energia bruta (4320 kcal kg⁻¹), ainda sua utilização pode proporcionar o retorno de parte das matérias-primas empregadas na produção de energia à cadeia alimentar, dando origem a produtos de elevado valor nutritivo (Silva *et al.*, 2012).

O setor avícola é essencial para o agronegócio brasileiro, com uma produção de 13,146 milhões de toneladas (sendo destas mais de 4304 milhões exportadas) no ano de 2015, o Brasil ocupa o segundo lugar em produção e o primeiro em exportação no cenário mundial (Abpa, 2016). Dentre os fatores que interferem no setor, a nutrição apresenta um papel fundamental, visto que representa a maior parte dos custos, aproximadamente 70% (Costa *et al.*, 2007).

Neste contexto, a realização de estudos com alimentos alternativos, é uma questão importante para os nutricionistas (Khempaka *et al.*, 2009). O emprego da glicerina na sua forma bruta como um alimento energético (Silva *et al.*, 2012; Sehu *et al.*, 2013) vem sendo estudado como uma alternativa para a redução do custo com a alimentação animal, além de proporcionar um destino ambientalmente correto a esse coproduto.

De acordo com dados apresentados na literatura a GB apresenta uma energia metabolizável aparente (EMA) entre 3353 e 3815 kcal kg⁻¹, valores estes que se assemelham aos determinados para o milho, 3.381 kcal kg⁻¹ (Rostagno *et al.*, 2011; Henz *et al.*, 2014a), ingrediente comumente utilizado na formulação das dietas para aves. Porém, os valores enérgicos e a composição da GB, encontrados na literatura apresentam grande variação (Jung e Batal, 2011a), isso porque no processo de produção do biodiesel podem ser utilizadas diferentes matérias primas bem como processos.

A fim de avaliar os efeitos da inclusão da GB na dieta de frangos de corte Suchý *et al.* (2011) testaram três níveis de inclusão, e observaram um aumento no desempenho das aves que receberam 5 e 10% de GB. Em experimento realizado por Cerrate *et al.* (2006) concluíram que o nível de 10% de inclusão de GB afetou negativamente a conversão e o peso vivo das aves. Em um segundo experimento realizado pelo mesmo autor, testando níveis de inclusão de 0, 2,5 e 5%, estes observaram que o desempenho não foi afetado por nenhum dos níveis de GB, no entanto, o rendimento de peito e o

peso da carcaça foram maiores nas aves que receberam 2,5 e 5% de GB na dieta.

Visto a grande heterogeneidade de resultados encontrados na literatura se faz necessário avaliar possíveis fatores antinutricionais, bem como os valores energéticos e nutritivos deste ingrediente. A GB pode apresentar altas concentrações de metanol e sal (sódio ou potássio), devido a utilização do metanol e hidróxido de sódio ou potássio durante o processo de transesterificação (Menten *et al.*, 2010). Ao ter conhecimento dessas especificações, a concentração destes compostos, deve ser considerada na formulação das rações, devido a seus possíveis efeitos deletérios ao animal (Jung e Batal, 2011a).

Neste contexto, é necessário o entendimento da capacidade da utilização da GB e seus possíveis efeitos adversos em frangos de corte. Diante disso, o objetivo desta revisão é caracterizar a GB como um alimento alternativo para frangos de corte, bem como os fatores que devem ser avaliados antes da sua utilização.

PRODUÇÃO DO BODIESEL E GLICERINA BRUTA

Os biocombustíveis vêm ganhando destaque como fontes energéticas renováveis pois produzem menores quantidades de poluentes após sua queima, reduzindo a poluição ambiental.

No Brasil, foi sancionada a Lei n° 13 033, que elevou o percentual de mistura do biodiesel no óleo diesel, de 6% para 7% a partir de novembro de 2014. O país até outubro de 2016 como o segundo maior produtor e consumidor (2,8 milhões de metros cúbicos) de biodiesel, ficando atrás apenas dos EUA (Mme, 2016). A produção acumulada de 2016 foi de 3.801 m³, 3,4% menor em relação ao ano anterior (ANP, 2017).

Uma grande variedade de matérias-primas pode ser utilizada para a produção de biodiesel, dentre estas as gorduras animais (sendo a principal o sebo), os óleos vegetais (soja, palma, coco, amendoim, semente de colza/canola/algodão e outros) e os resíduos de óleos (geralmente óleos utilizados em frituras). A escolha da matéria-prima a ser utilizada depende da disponibilidade na região onde a indústria está localizada (Knothe *et al.*, 2005).

O biodiesel pode ser obtido por dois processos, a transesterificação e o craqueamento catalítico, contudo a transesterificação é o mais frequente (Costa e Oliveira, 2006). No processo de transesterificação o biodiesel é produzido pela reação química da matéria-prima com um álcool (etanol ou metanol), na presença de um catalizador, normalmente utilizado uma base forte (hidróxido de sódio ou potássio) (Van Gerpen, 2005). Ao final da reação, há formação de duas fases, fase leve constituída de ésteres metílicos, conhecida como biodiesel; e fase pesada, formada pelo glicerol e impurezas (**figura 1**) (Oliveira *et al.*, 2013).

As moléculas de glicerol, que constituem a fase pesada, são facilmente separadas do biodiesel pelo processo de sedimentação ou centrifugação, por apresentarem maior densidade (Van Gerpen, 2005), e juntamente com uma série de impurezas, constituem a glicerina bruta (GB) (Oliveira *et al.*, 2013), que se apresenta

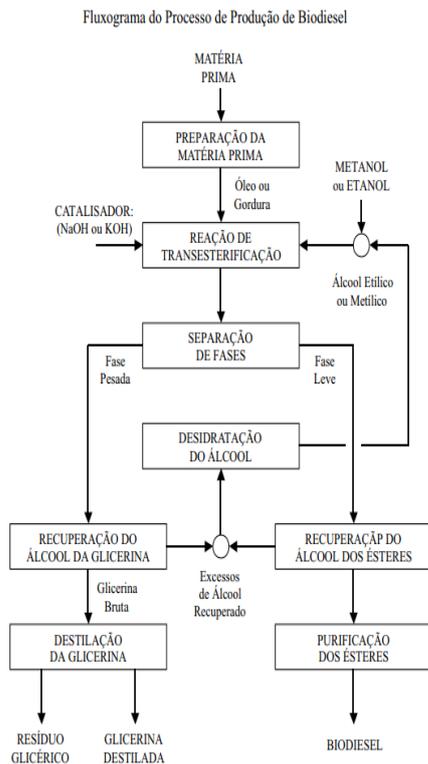


Figura 1. Fluxograma do processo de produção de biodiesel e glicerina pelo processo de transesterificação (Flowchart of biodiesel and glycerin production process by transesterification process). Fonte: Parente, 2003.

em temperatura ambiente na forma líquida, viscosa, com cor parda escura e uma concentração de glicerol que varia de 65 a 70% (Ooi *et al.*, 2004).

A técnica do craqueamento catalítico ou térmico é indicada para produção de combustível em pequena quantidade, devido ao alto gasto energético para atingir a temperatura necessária para que ocorra à reação. Este processo promove a quebra das moléculas complexas dos óleos e gorduras, por ação catalítica ou térmica (Costa e Oliveira, 2006).

Apesar da diferença entre os processos, os produtos finais de ambas as reações serão o biodiesel e a glicerina bruta (GB). Estima-se que para cada 90 m³ de biocombustível produzido por reação de transesterificação, a partir dos óleos vegetais e gorduras de origem animal, são gerados 10 m³ de GB (Yazdani e Gonzalez, 2007; Sun e Chen, 2008). Considerando a produção brasileira de biodiesel em 2015, foram gerados 346,8 mil m³ de GB, 14,8% superior ao ano de 2014 (ANP, 2016).

A glicerina pode ser utilizada na indústria farmacêutica, na produção de cosméticos, na indústria de armas, indústria têxtil e alimentícia (Singhabhandhu e Tezuka, 2010; Sehu *et al.*, 2012), porém para ser utilizadas a glicerina precisa apresentar uma concentração de glicerol acima de 95%, com isso há a necessidade da GB passar por um processo de purificação (retirada as impurezas elevando a concentração de glicerol), no entanto esse processo é considerado de alto custo e de baixa viabilidade para usinas de pequeno e médio porte (Thompson e He, 2006; Groesbeck *et al.*, 2008). Em

função disso, a exploração da glicerina na sua forma bruta é uma alternativa para a sua utilização.

CARACTERIZAÇÃO DA GLICERINA

Apesar de inúmeros trabalhos referirem-se aos termos glicerol e glicerina, como sendo o mesmo composto (ou mesma substância) o glicerol é a molécula pura (1,2,3 – propanotriol) (**figura 2**), e a glicerina purificada é um composto comercial que possui em sua fórmula quantidade maior ou igual a 95% de glicerol (Mota *et al.*, 2009).

Ao composto derivado da produção de biodiesel, com cerca de 80% de glicerol em sua composição dá-se o nome de glicerina bruta (Dozier *et al.*, 2008a). Tendo em conta que há uma grande variação na utilização desta nomenclatura entre os trabalhos, utilizaremos estas denominações no presente estudo.

Apesar da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) permitir o uso do glicerol como umectante na alimentação humana e animal, pela resolução 386/1999 (ANVISA, 1999), somente em 2010 o Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2016), estabeleceu critérios mínimos de qualidade para que a GB possa ser utilizada como um alimento na dieta animal. Sendo assim, a GB deve apresentar em sua composição no máximo 13% de umidade, 150 mg kg⁻¹ de metanol, e no mínimo conter 80% de glicerol, já os valores mínimos da matéria mineral e sódio devem ser assegurados pelo fabricante, variando conforme a matéria-prima e processos utilizados na produção.

A GB apresenta em sua constituição impurezas como polímeros, catalizadores, ésteres, álcoois que não reagiram, água, sabões, impurezas oriundas dos reagentes, monoésteres e propanodióis (Ferrari *et al.*, 2005; Yang *et al.*, 2012), resultantes do processo de produção do biodiesel.

As características físicas e a composição química da GB são altamente dependentes da matéria prima utilizada (óleo vegetal ou gordura animal) e da unidade de produção, em função do tipo de processamento utilizado na produção do biodiesel e eficiência dos equipamentos usados. Sua cor varia de acordo com pigmentos

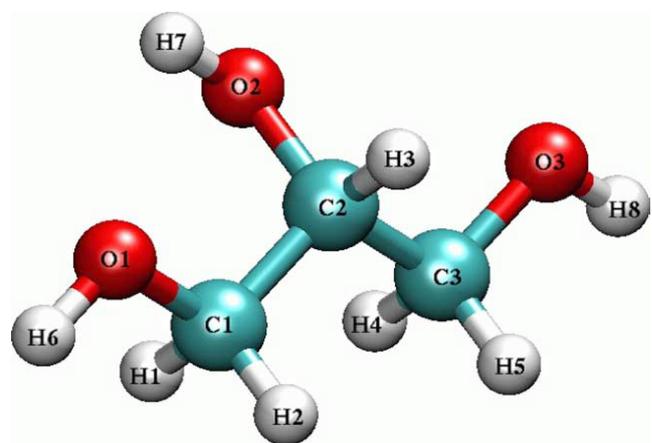


Figura 2. Estrutura molecular do glicerol (Molecular structure of glycerol). Adaptado de Blicek *et al.* (2005).

e diferentes compostos presentes na matéria-prima que são concentrados na GB, juntamente com as impurezas resultantes do processo de produção (Kerr, 2007).

O componente de maior valor e concentração presente na GB é o glicerol. Este composto é encontrado no metabolismo animal e nos alimentos e por ser altamente energético é considerado um possível substituto dos alimentos com alto teor de amido, utilizados na formulação de dietas animais (Defrain *et al.*, 2004; Lammers *et al.*, 2008a).

O glicerol é caracterizado como um álcool, líquido em temperatura ambiente, hidrosscópico, viscoso, com sabor adocicado (Knothe *et al.*, 2005), insolúvel em clorofórmio e éter, mas solúvel em álcool e água (Rivaldi *et al.*, 2008). Componente natural de todos os óleos e gorduras vegetais e animais, ocorre na forma combinada com ácidos graxos, formando os triacilgliceróis (Knothe *et al.*, 2005).

GLICEROL: ABSORÇÃO E METABOLISMO

O glicerol absorvido pelo trato gastrointestinal pode ser oriundo tanto da digestão dos triacilgliceróis, que sofrem a ação da lipase pancreática liberando moléculas de ácidos graxos livres e 2 mono-glicerol (BRODY, 1994), como de outras fontes exógenas como a glicerina. Independente da origem o glicerol, por ser solúvel em água, entra livremente no sistema sanguíneo (Sambrook, 1980). Segundo Hober e Hober (1937), a absorção do glicerol pelo intestino de ratos foi de 70 a 89%. Bartelt e Schneider (2002) verificaram que em galinhas poedeiras a absorção foi de aproximadamente 97%.

A alta taxa de absorção do glicerol é atribuída ao seu baixo peso molecular, pois são absorvidos de forma passiva, não necessitando formar micelas como os ácidos graxos (Guyton e Hall, 2006). Além, da absorção intestinal há também uma pequena absorção pelo estômago, bem mais lenta que no intestino (Tao *et al.*, 1983).

Dentro do grupo das proteínas intrínsecas, responsáveis pelo transporte de íons pela membrana celular, as aquagliceroporinas são responsáveis pelo transporte de glicerol e diversos solutos além da água (Verkman e Mitra, 2000; Fujiyoshia *et al.*, 2002), sendo classificadas em aquaporinas 3, 7, 9 e 10 (Kruse *et al.*, 2006).

Estudos realizados *in situ* por Yuasa *et al.* (2003) e Kato *et al.* (2004) demonstraram que a absorção intestinal do glicerol em ratos é realizada por meio de dois tipos de transporte, um ativo e outro passivo, sendo o transporte ativo Na-dependente e responsável por cerca de 75% do transporte quando o glicerol apresenta-se em baixas concentrações. Estes autores ainda verificaram que em concentrações mais elevadas de glicerol a absorção foi reduzida, demonstrando que esta é saturável, atribuindo ao sistema passivo a maior absorção nestas condições.

O glicerol após ser absorvido, é transportado pela corrente sanguínea para o fígado, onde é fosforilado a glicerol-3-fosfato pela enzima glicerol quinase, após é oxidado pela enzima glicerol-3-fosfato-desidrogenase a diidroxiacetona-fosfato (**figura 3**), um importante intermediário da gliconeogênese, lipogênese, via glicolítica e do ciclo do ácido cítrico (Champe *et al.*, 2006).

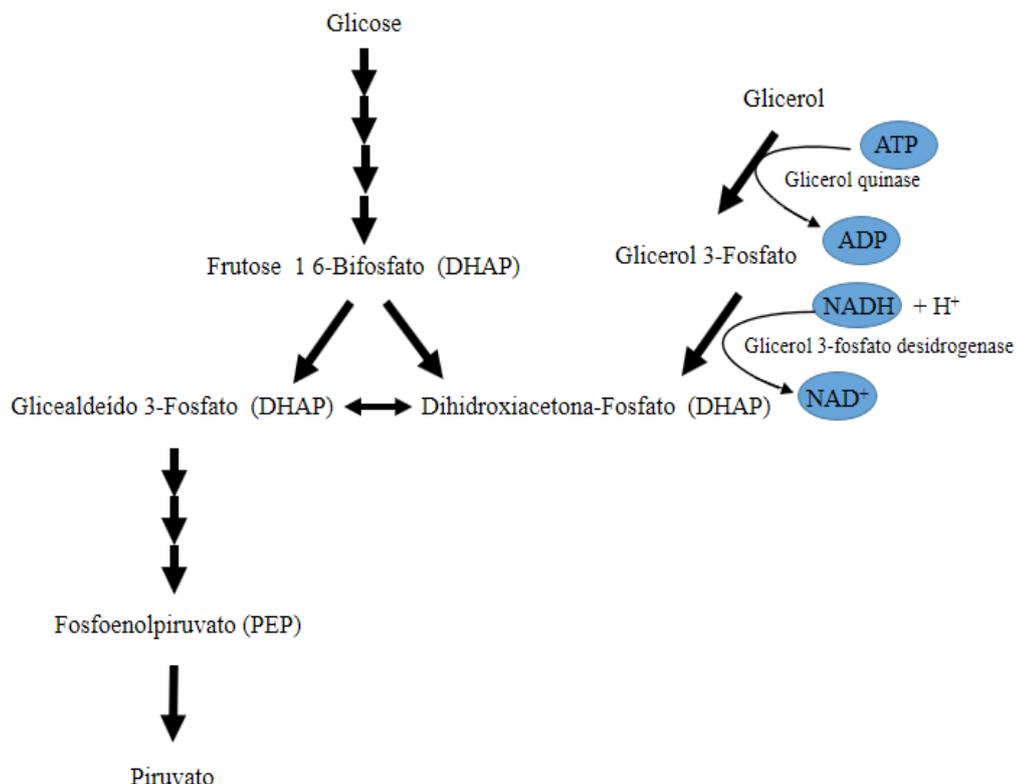


Figura 3. Metabolização do glicerol (Metabolization of glycerol). Fonte: Adaptado de Nelson e Cox, 2006.

No tecido adiposo a diidroxiacetona-fosfato é reduzida a glicerol-3-fosfato através da enzima glicerol-3-fosfato-desidrogenase, em função de não haver a presença da enzima glicerol quinase neste tecido (Champe *et al.*, 2006). O tecido muscular também não possui essa enzima, contudo consegue metabolizar o glicerol a glicerol-3-fosfato, por meio da enzima glicerol redutase, uma enzima NADPH dependente (Toews, 1996).

Estudos tem demonstrado que a utilização da molécula de glicerol pelas aves é limitada, isso porque a enzima glicerol quinase apresenta um ponto de saturação, limitando assim a transformação do glicerol em glicerol-3-fosfato (Min *et al.*, 2010). Esse glicerol que não sofre a metabolização é eliminado pelos rins na urina (Dasari, 2007), por ser hidrofílico ao ser excretado carrega junto consigo água, acarretando no aumento na produção de urina (Gianfelici *et al.*, 2011). Em estudo realizado por Romano *et al.* (2014), as aves alimentadas com até 7,5% de GB foram capazes de metabolizar o glicerol mais facilmente do que aquelas alimentadas com 10%, que apresentaram uma concentração sanguínea de glicerol aproximadamente 69% superior.

O estado energético do animal definirá como o glicerol será utilizado. Cada mol de glicerol oxidado gera aproximadamente 22 ATPs (Best, 2006). Cerca de 3/4 da metabolização do glicerol é realizada pelo fígado, enquanto o rim tem um papel muito importante na reabsorção do glicerol, evitando que o excesso seja eliminado na urina, sendo responsável por 1/5 da capacidade de fosforilação do glicerol (Lin, 1977).

Segundo Sousa *et al.* (2015) a utilização de glicerina, diminui a ação das enzimas fosfoenolpiruvato carboxiquinase e glutamato desidrogenase. A glutamato desidrogenase catalisa a reação do glutamato a α -cetoglutarato e vice-versa. Sendo assim, atua tanto na degradação como na síntese de aminoácidos glicogênicos, dependendo do estado fisiológico dos animais (Champe *et al.*, 2009).

Sendo assim, grande parte do glicerol contido na GB, pode ser metabolizado para a produção da energia por meio da glicólise e do ciclo de Krebs, impedindo a atividade da glutamato desidrogenase, reduzindo a degradação dos aminoácidos glicogênicos (Sousa *et al.*, 2015; Bernardino *et al.*, 2013).

VALOR ENERGÉTICO DA GLICERINA BRUTA PARA AVES

Em estudos recentes a GB tem se apresentado como uma fonte energética promissora e alternativa na alimentação de não ruminantes (Cerrate *et al.*, 2006; Dozier *et al.*, 2008b; Lammers *et al.*, 2008b; Henz *et al.*, 2014^a; Beserra *et al.*, 2016). Segundo Mandalawi *et al.* (2014) o conteúdo energético da GB depende primariamente da concentração de glicerol que está possui.

Henz *et al.* (2014a) determinaram a energia metabolizável aparente corrigida pelo balanço de nitrogênio (EMA_n) da GB para frangos de corte em diferentes fases (11 a 20; 21 a 30 e 31 a 40 dias de idade), com níveis de 3, 6, 9, 12 e 15% de inclusão na ração referência e observaram valores médios de 3353, 3815 e 3667 kcal kg^{-1} de EMA_n para as respectivas idades estudadas. E coeficientes de metabolizabilidade (CM) de 75,10, 85,50 e 82,84%, respectivamente. O CM representa o

quanto a EMA_n representa da EB do alimento, ou seja, a porcentagem da energia, obtida dos nutrientes, que realmente foi utilizada pelas aves.

Para avaliar a EMA_n da GB (87% de glicerol, 0,03% de metanol, 9% de umidade e 3625 kcal kg^{-1} de energia bruta (EB) para frangos de corte em diferentes idades, Dozier *et al.* (2008b) realizaram três ensaios de metabolismo. No primeiro, os tratamentos consistiram de duas dietas, uma sem a inclusão de GB e outra com 6% de GB, para a fase de quatro a 11 dias. No segundo ensaio a GB foi avaliada em aves de 17 a 25 dias e no terceiro ensaio de 38 a 45 dias, sendo que ambos possuíam quatro níveis de inclusão (0; 3; 6; e 9%). Estes autores encontram valores médios de EMA_n de 3621; 3331; e 3349 kcal kg^{-1} , respectivamente, com um coeficiente de metabolizabilidade média CM de 95%.

Em outro estudo, Jung e Batal (2011a) determinaram a EMA_n para galos Leghorn, de sete amostras de GB de diferentes indústrias dos Estados Unidos, com uma composição nutricional média de 63,7% de glicerol, 1,33% de metanol, 18,2% de umidade e 4.648 kcal kg^{-1} EB. Os valores encontrados para EMA_n variaram de 2950 a 6711 kcal kg^{-1} , com uma média de 4206 kcal kg^{-1} , proporcionando um CM de aproximadamente 89%.

Avaliando GB oriundas de diferentes matérias primas e indústrias, Dozier *et al.* (2011) encontraram valores de 3 254 a 4 134 kcal kg^{-1} EMA_n para frangos de corte ROSS com idade de 17 a 22 dias.

Em um experimento com galinhas poedeiras, foram testadas quatro dietas formuladas a partir de uma dieta basal com 15% de glicose e 1% de celite (utilizado para aumentar o teor de cinzas ácido insolúvel), onde foi substituída a glicose em 0, 5, 10 e 15% por GB (87% de glicerol, 0,03% de metanol, 9% de umidade e 3.625 kcal kg^{-1} de EB). Os autores verificaram um aumento linear no valor de EMA_n , com o aumento da porcentagem da GB, o valor estimado de 3805 kcal kg^{-1} e um CM de 105%, demonstrando efetiva utilização da GB (Lammers *et al.*, 2008b). Valores semelhantes com os relatados por Németh *et al.* (2013), que encontraram o valor de 3654 kcal kg^{-1} de EMA_n e o CM de 97% para galinhas poedeiras.

Zavarize *et al.* (2014) realizaram um ensaio de metabolismo para determinar a EMA_n de quatro amostras de GB oriundas de indústrias brasileiras de diferentes matérias primas, para frangos de corte de 21 a 29 dias de idade. Estes autores observaram que a EMA_n foi de 3145, 5026, 2828 e 2892 kcal kg^{-1} , com um CM médio de 82%. Esta variância nos resultados foi atribuída à composição de glicerol e de ácidos graxos que variaram em cada GB.

Segundo Rostagno *et al.* (2011) o milho possui uma EMA de 3381 kcal kg^{-1} , o qual está próximo ao valor da EMA_n atribuída a GB. Bem como o CM da glicerina se apresentam parecidos aos determinados para o milho por Nunes *et al.* (2008), 86% para frangos de corte de 21 dias de idade. Da mesma forma, Vieira *et al.* (2007) ao analisarem 13 híbridos de milho, observaram que o CM variou de 75 a 88%. Demonstrando que a GB pode

ser um potencial substituto deste cereal na dieta de não ruminantes.

Estes autores atribuem as variações ocorridas nas características químicas e nutricionais entre as amostras de GB, as diferentes matérias-primas utilizadas, a técnica de catálise e processo utilizados na produção do biodiesel.

FATORES LIMITANTES NA UTILIZAÇÃO DE GLICERINA BRUTA

Dentre os álcoois e catalizadores mais utilizados nas indústrias brasileiras se destacam o metanol e o hidróxido de sódio, como resultado a glicerina pode apresentar altas concentrações destas substâncias (Menten *et al.*, 2010).

De acordo com as normas determinadas pelas plantas produtoras brasileiras há um limite de 7% de inclusão deste sal na reação de transesterificação, deixando uma concentração residual média de 2,75% de sódio na GB. A inclusão de 10% de GB forneceria 0,275% de sódio na dieta (Menten *et al.*, 2010), valor este que extrapola por si só as recomendações das tabelas brasileiras para aves (0,19 a 0,22%) (Rostagno *et al.*, 2011).

Devido a GB conter esse alto teor de sódio é necessário controlar a quantidade do mineral, que pode acarretar um desbalanço eletrolítico nas aves (Cerrate *et al.*, 2006). González e Silva (2006) destacam que o balanço eletrolítico é dependente do sódio, potássio, magnésio, cloro, bicarbonato e algumas proteínas. O balanço eletrolítico pode afetar o apetite, a resposta ao estresse térmico, o desenvolvimento ósseo, o crescimento e o aproveitamento de minerais, aminoácidos e vitaminas (Patience, 1990). Outra questão a ser considerada quando do excesso de sal na dieta, é o aumento da umidade da cama, uma vez que as aves aumentam o consumo de água para tentar manter a homeostasia corporal (Barros *et al.*, 2004).

O excesso de metanol, não reagente no processo de produção do biodiesel, migra para a GB, em função de ambos apresentarem caráter polar (Dasari, 2007). Grande parte do metanol, presente na glicerina, é recuperado por meio da destilação e reutilizado no processo, toda via esse processo não retira todo o metanol da GB (Menten *et al.*, 2010).

O metanol, após ser absorvido, é metabolizado no fígado pela ação da enzima álcool desidrogenase a formaldeído e posteriormente a ácido fórmico. O ácido fórmico pode ser oxidado a CO₂ e H₂O e excretado pelos pulmões e rins (Jacobsen e McMartin, 1986).

O ácido fórmico tem ação direta sobre a atividade da enzima citocromo oxidase, um importante componente da cadeia transportadora de elétrons, comprometendo assim a produção de ATP pelas mitocôndrias (Nicholls, 1975). Segundo Soffritti *et al.* (2002), o seu acúmulo no organismo pode causar cegueira, depressão do sistema nervoso central, vômito, acidose metabólica grave, bem como problemas motores. Apesar do efeito tóxico atribuído ao metanol, Jung e Batal (2011b) observaram que a GB com até 3,1% de metanol pode ser incluída em até 10% nas dietas sem afetar o desempenho das aves. Apesar do trabalho não ter sido realizado no Brasil, a concentração do metanol

se encontra acima do estabelecido pelo MAPA, 2016, como nível máximo, para que a GB possa ser utilizada nas dietas animais.

Desta forma, como o metanol e sódio contidos na GB podem ocasionar efeitos deletérios ao organismo do animal, as concentrações destes compostos devem sempre ser ponderadas nas formulações das dietas contendo GB (Jung e Batal, 2011a).

EFEITO DA UTILIZAÇÃO DA GLICERINA BRUTA SOBRE O DESEMPENHO DE AVES

Em função do seu potencial como ingrediente para as rações de não ruminantes, inúmeros trabalhos vêm sendo realizados para avaliar sua inclusão em dietas para aves. Cerrate *et al.* (2006) realizaram dois experimentos para avaliar a inclusão de GB em dietas de frangos de corte. No primeiro experimento testaram a inclusão de 0, 5 e 10% de GB. As aves alimentadas com 5% não apresentaram diferença na conversão alimentar e ganho de peso, em comparação ao tratamento sem a inclusão. Já os animais que receberam a dieta com 10% de inclusão, apresentaram uma redução no consumo de ração e de ganho do peso, sendo que esse efeito negativo no desempenho pode ter sido em função da má fluidez da ração no comedouro, reduzindo o consumo pelos animais. Aliado a isso, foi verificado um aumento na umidade da cama em relação à dieta controle, evidenciando uma provável presença de diarreia. No segundo experimento os níveis de inclusão foram de 0, 2,5 e 5% e estes não apresentaram efeito sobre o desempenho das aves, porém os autores observaram um maior rendimento de peito nas aves que receberam 2,5 e 5% de GB.

Em estudo realizado por Mandalawi *et al.* (2014) com níveis de glicerina proveniente de diferentes tipos de processamento para pintos de 1 a 21 dias de idade, os autores não encontraram diferença do tipo de processamento sobre as variáveis produtivas e digestibilidade dos frangos de corte. Já os níveis de inclusão ocasionaram uma melhora na conversão alimentar, porém não alterando o ganho de peso diário e por fim concluiu que a glicerina bruta pode ser incluída em até 10% na dieta de pintos de corte dos 1 a 21 dias de idade.

Silva *et al.* (2012) trabalhando com GB (83,4% de glicerol, 208 ppm de metanol, e EMA_n de 3422 kcal kg⁻¹) nos níveis de 2,5, 5, 7,5, e 10% para frangos de corte Cobb 500 descrevem uma redução no ganho de peso de 4,2% nas aves alimentadas com 10% de GB, recomendando o nível de 5% de inclusão.

Com o intuito de avaliar diferentes níveis de GB (0, 3, 6, 9, 12 e 15%) em dietas para frango de corte de 1 a 21 dias, Henz *et al.* (2014b) subdividiram os tratamentos em dois grupos de aves. Um grupo recebeu GB até os 10 dias e o outro até os 21 dias, ambos receberam posteriormente ração sem inclusão do ingrediente. Os autores observaram um efeito quadrático para ganho de peso, consumo de ração, conversão alimentar e viabilidade, recomendando o nível de 6% para a fase de 1 a 21 dias. Os autores ainda destacam que as aves que receberam a ração contendo GB até os 21 dias, independente do nível de inclusão, apresentaram um

desempenho inferior em comparação com as que receberam até os 10 dias.

Sehu *et al.* (2013) trabalhando com três níveis de inclusão de GB para frangos de corte de 1 a 42 dias de idade, destacaram que ao nível de 5 e 10% de inclusão as aves apresentaram um melhor peso corporal, ganho de peso e conversão alimentar, quando comparadas com aves alimentadas com ração controle.

Em estudo com diferentes níveis de inclusão de glicerina, Bernardino *et al.* (2015) concluiu que, a adição de 3,5% de glicerina de soja e 7% de glicerina semipurificada proporciona o melhor desempenho das aves aos 22 a 35 dias de idade.

Trabalhando com 0, 2, 4 e 6% de inclusão de GB para galinhas poedeiras Swiatkiewicz e Koreleski (2009), não encontraram interferência da inclusão em parâmetros de qualidade do ovo e excreção e retenção de N, Ca e P, concluindo que é possível utilizar até 6% de GB para poedeiras.

Ao avaliarem GB mista (origem animal e vegetal) sobre as variáveis produtivas de poedeiras e perfil de ácidos graxos em ovos, Duarte *et al.* (2014) obtiveram uma redução no consumo de ração e aumento na excreção de água com o aumento dos níveis de inclusão de glicerina, e concluíram que a mesma pode ser incluída até o nível 7,5% em dietas de galinhas de postura sem prejudicar o desempenho e a qualidade dos ovos, sendo que a inclusão de até 5,54% prove a diminuição da quantidade de ácidos graxos saturados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao se avaliar os resultados já encontrados, a GB pode ser considerada uma fonte energética na formulação de dietas de não ruminantes. Contudo, antes da sua utilização o nutricionista deve estar atento devido a variação observada na sua composição, aos efeitos antinutricionais de seus componentes e ao seu nível de utilização nas rações.

BIBLIOGRAFIA

Associação Brasileira de Proteína Animal – ABPA. Relatório Anual 2016. http://abpa-br.com.br/storage/files/abpa_relatorio_anual_2016_in-gles_web_versao_para_site_abpa_bloqueado.pdf (07/03/2017).

ANP. Agência Nacional de Petróleo. 2016. Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis. http://www.anp.gov.br/wwwanp/imagens/publicacoes/Anuario_Estatistico_ANP_2016.pdf (25/09/2016).

ANP. Agência Nacional de Petróleo. 2017. Produção Nacional de Biodiesel Puro B100 – 2007-2017. <http://www.anp.gov.br/wwwanp/dados-estatisticos> (30/03/2017).

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. 1999. Resolução nº 386, de 5 de agosto de 1999. Dispõe sobre o regulamento técnico sobre aditivos utilizados segundo as boas práticas de fabricação e suas funções. http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/0556e3004745787485bdd53fbc4c6735/RESOLUCAO_386_1999.pdf?MOD=AJPERES (03/11/2015).

Barros, J.M.S.; Gomes, P.C.; Albino, L.F.T.; Rostagno, H.S. e Costa, L.F. 2004. Exigência de sódio para frangos de corte nas fases de crescimento (22 a 42 dias) e final (43 a 53 dias). *Rev Bras Zootecn*, 33: 1721-1733.

Bartelt, J. and Schneider, D. 2002. Investigation on the energy value of glycerol in the feeding of poultry and pig. In: Union for the promotion of oilseeds Schriften Heft. Union ZurFörderung Von Oel-Und Protein-plafalzen E.V. Berlin. Germany. 17: 15-36.

Bernardino, V.M.P.; Rodrigues, P.B.; Feritas, R.T.F.D.; Gomide, E.M.; Makiyama, L.; Bueno, R.S.; Oliveira, D.H.D. e Lara, L.J. 2015. Sources and levels of glycerin for broilers from 22 to 35 days. *Afr J Agric Res*, 10: 1259-1265.

Bernardino, V.M.P.; Rodrigues, P.B.; Paula Naves, P.; Zangeronimo, M.G.; Alvarenga, R.R.; Rosa, P.V.; Santos, L.M. and Teixeira, L.V. 2014. Activity of glutamate dehydrogenase and protein content in the breast of broilers fed diets containing different sources and levels of glycerine. *J Anim Physiol Anim Nutr*, 98: 559-568.

Beserra, V.A.; Cesar, A.S. e Peres, A.A.C. 2016. Adoção da glicerina bruta na dieta animal e seu impacto no produto final. *Arch Zootec*, 65: 259-266.

Best, P. 2006. Increased biofuel production will grow supplies of by-products: glycerin gives an energy option. *Feed Inter*, 55: 20-21.

Blieck, J.; Affouard, F.; Bordat, P.; Lerbret, A. and Descamps, M. 2005. Molecular dynamics simulations of glycerol glass-forming liquid. *Chem Phys*, 317: 253-257.

Brody, T. 1994. Nutritional Biochemistry. Acad. Press Inc. San Diego, CA.

Cerrate, S.; Yan, F.; Wang, Z.; Coto, C.; Sacakli, P. and Waldroup, P.W. 2006. Evaluation of glycerine from biodiesel production as a feed ingredient for broilers. *Inter J Poult Sci*, 11: 1001-1007.

Champe, P.C.; Harvey, R.A. and Ferrier, D.R. 2009. Biochemistry: Lippincott's illustrated reviews. 4^o ed. Artmed. Porto Alegre. RS. 528 pp.

Champe, P.C.; Harvey, R.A. e Ferrier, D.R. 2006. Bioquímica ilustrada. 3. ed. Artmed. Porto Alegre. RS. 544 pp.

Costa, F.G.P.; Sousa, W.G.; Silva, J.H.V.; Goulart, C.C. e Martins, T.D.D. 2007. Avaliação do feno de maniçoba (*Manihot pseudoglaziovii Paz & Hoffman*) na alimentação de aves caipiras. *Rev Caatinga*, 20: 42-48.

Costa, B.J. e Oliveira, S.M.M. 2006. Produção de biodiesel. (Dossiê Técnico). Instituto de Tecnologia do Paraná. Novembro. <http://www.ebah.com.br/content/ABAAABwGsAJ/producao-biodiesel?part=2> (25/07/2015).

Dasari, M. 2007. Crude glycerol potential described. *Feedstuffs*, 79: 43.

Dasari, M.A.; Kiatsimkul, P.P.; Sutterlin, W.R. and Suppes, G.J. 2005. Low-pressure hydrogenolysis of glycerol to propylene glycol. *Appl Catal A*, 281: 225-231.

Defrain, J.M.; Hippen, A.R.; Kalscheur, K.F. and Jardon, T.W. 2004. Feeding glycerol to transition dairy cows: effects on blood metabolites and lactation performance. *J Dairy Sci*, 87: 4195-4206.

Dozier, W.A.; Kerr, B.J. and Branton, S.L. 2011. Apparent metabolizable energy of crude glycerin originating from different sources in broiler chickens. *Poultry Sci*, 90: 2528-2534.

Dozier, W.A.; Kerr, B.J. e Bregendahl, K. 2008a. Glycerin as an energy source in poultry diets. Midwest Poultry Federation Convention. St. Paul, MN.

Dozier, W.A.; Kerr, B.J.; Corzo, A.; Kidd, M.T.; Weber, T.E. and Bregendahls, K. 2008b. Apparent metabolizable energy of glycerin for broiler chickens. *Poultry Sci*, 87: 317-322.

Ferrari, R.A.; Oliveira, V.S. e Scabio, A. 2005. Biodiesel de soja – Taxa de conversão em ésteres etílicos, caracterização físico-química e consumo em gerador de energia. *Química Nova*, 28: 19-23.

Fujiyoshi, Y.; Mitsuokaa, K.; Groot, B.L.; Philippsen, A.; Grubmuller, H.; Agre, P. and Engel, A. 2002. Structure and function of water channels. *Curr Opin Struct Biol*, 12: 509-515.

Gianfelici, M.F.; Ribeiro, A.M.L.; Penz Jr., A.M.; Kessler, A.M.; Vieira, M.M. and Machinsky, T. 2011. Determination of apparent metabolizable energy of crude glycerin in broiler chickens. *Braz J Poult Sci*, 13: 255-258.

González, F.H.D. e Silva, S.C. 2006. Introdução à bioquímica clínica veterinária. 2^o ed. Editora da UFRGS. Porto Alegre. RS. 364 pp.

Groesbeck, C.N.; Mckinney, L.J.; Derouchey, J.M.; Tokach, M.D.; Goodband, R.D.; Dritz, S.S.; Nelssen, J.L.; Duttlinger, A.W.; Fahrenholz, A.C. and Behnke, K.C. 2008. Effect of crude glycerol on pellet mill

- production and nursery pig growth performance. *J Anim Sci*, 86: 2228-2236.
- Guyton, A.C. and Hall, J.E. 2006. Textbook of medical physiology. 11^o ed. Elsevier Saunders. Philadelphia.
- Henz, J.R.; Nunes, R.V.; Eyng, C.; Silva, Y.L.; Schone, R.A.; Oliveira, T.M.M.; Berwanger, E. e Sangali, C.P. 2014a. Energia metabolizável da glicerina bruta para frangos de corte de diferentes idades. *Semina: Ciênc Agrár*, 35: 3393-3400.
- Henz, J.R.; Nunes, R.V.; Eyng, C.; Pozza, P.C.; Frank, R.; Schone, R.A. and Oliveira, T.M.M. 2014b. Effect of dietary glycerin supplementation in the starter diet on broiler performance. *Czech J Anim Sci*, 59: 557-563.
- Hober, R. and Hober, J. 1937. Experiments on the absorption of organic solutes in the small intestine of rats. *J Cell Comp Physiol*, 10: 401-422.
- Jacobsen, D. and McMartin, K. 1986. Methanol and ethylene glycol poisonings. Mechanism of toxicity, clinical course, diagnosis and treatment. *Medical Toxicol*, 1: 309-34.
- Jung, B. and Batal, A.B. 2011a. Nutritional and feeding value of crude glycerin for poultry. 1. Nutritional value of crude glycerin. *J Appl Poult Res*, 20: 162-167.
- Jung, B. and Batal, A.B. 2011b. Nutritional and feeding value of crude glycerin for poultry. 2. Evaluation of feeding crude glycerin to broilers. *J Appl Poult Res*, 20: 514-527.
- Kato, T.; Hayashi, Y.; Inoue, K. and Yuasa, H. 2004. Functional characterization of the carrier-mediated transport system for glycerol in everted sacs of the rat small intestine. *Biol Pharm Bull*, 27: 1826-1830.
- Kerr, B.J.; Dozier, W.A. and Bregendahl, K. 2007. Nutritional value of crude glycerin for nonruminants. Proceedings of the 23rd Annual Carolina Swine Nutrition Conference. Raleigh, NC. pp: 6-18.
- Kerr, B.J. 2007. Feeding bioenergy coproducts to swine. Sheffield: Iowa State University, University Extension. (19/10/2015).
- Khempaka, S.; Molee, W. and Guillaume, M. 2009. Dried cassava pulp as an alternative feedstuff for broilers: Effect on growth performance, carcass traits, digestive organs, and nutrient digestibility. *J Appl Poult Res*, 18: 487-493.
- Knothe, G.; Gerpen, J.V. and Krahl, J. 2005. The Biodiesel handbook. AOCS Press. Champaign, Illinois.
- Kruse, E.; Uehlein, N. and Kaldenhoff, R. 2006. The aquaporins. *Genome Biol*, 7: 206.
- Lammers, P.J.; Kerr, B.J.; Weber, T.E.; Dozier, W.A.; Kidd, M.T.; Bregendahl, K. and Honeyman, M.S. 2008a. Digestible and metabolizable energy of crude glycerol for growing pigs. *J Anim Science*, 86: 602-608.
- Lammers, P.J.; Kerr, B.J.; Honeyman, M.S.; Stalder, K.; Dozier, W.A.; Weber, T.E.; Kidd, M.T. and Bregendahl, K. 2008b. Nitrogen-corrected apparent metabolizable energy value of crude glycerol for laying hens. *Poultry Sci*, 87: 104-107.
- Lin, E.C.C. 1977. Glycerol utilization and its regulation in mammals. *Ann Review Biochem*, 46: 765-795.
- Mandalawi, H.A.; Kimiaetalab, M.V.; Obregon, V.; Menoyo, D. and Mateos G.G. 2014. Influence of source and level of glycerin in the diet on growth performance, liver characteristics, and nutrient digestibility in broilers from hatching to 21 days of age. *Poultry Sci*, 93: 2855-2863.
- MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Ministério da agricultura autoriza novo uso da glicerina. 2016. http://www.sindicatodasindiracoes.org.br/index.php?option=com_content&task=view&id=972&Itemid=1 (03/04/2016).
- Menten, J.F.M.; Zavarize, K.C. e Silva, C.L.S. 2010. Biodiesel: oportunidades do uso de glicerina na nutrição de aves. IV Congresso Latino Americano de Nutrição Animal - IV CLANA. Piracicaba. Brasil.
- Min, Y.N.; Yan, F.; Liu, F.Z.; Coto, C. e Waldroup, P.W. 2010. Glycerin - a new energy source for poultry. *Inter J Poult Sci*, 9:1-4.
- MME. Ministério de Minas e Energia. 2016. *Boletim Mensal dos Combustíveis Renováveis*. Ed. nº106. Dezembro, 2016. <http://www.mme.gov.br/documents/1138769/1732805/Boletim+DBio+n%C2%BA+106+dezembro+de+2016.pdf/d0fd7bc5-b800-443e-a0f6-2959e7dd8a8e> (10/03/2017).
- Mota, C.J.A.; Silva, C.X.A. e Gonçalves, V.L.C. 2009. Gliceroquímica: novos produtos e processos a partir da glicerina de produção de biodiesel. *Quím Nova*, 32: 639-648.
- Nelson, D.L. e Cox, M.M. 2006. Lehninger: princípios de bioquímica. Sarvier. São Paulo. 1362 pp.
- Németh, K.; Zsédely, E. and Schmidt, J. 2013. Nitrogen-corrected apparent metabolizable energy value of crude glycerol for laying hens. *Ann Anim Sci*, 13: 829-836.
- Nicholls, P. 1975. Formate as an inhibitor of cytochrome c oxidase. *Biochem Biophys Res Commun*, 67: 2.
- Nunes, R.V.; Rostagno, H.S.; Gomes, P.C.; Nunes, C.G.V.; Pozza, P.C. e Araujo, M.S. 2008. Coeficientes de metabolizabilidade da energia bruta de diferentes ingredientes para frangos de corte. *Rev Bras Zootecn*, 37: 89-94.
- Oliveira, J.S.; Antoniassi, R.; Freitas, S.C. e Müller, M.D. 2013. Composição química da glicerina produzida por usinas de biodiesel no Brasil e potencial de uso na alimentação animal. *Ciênc Rural*, 43: 509-512.
- Oliveira, L.B.; Araujo, M.S.M.; Rosa, L.P.; Barata, M. and Rovere, E.L.L. 2006. Analysis of the sustainability of using wastes in the Brazilian power industry. *Renew Sust Energy Rev*, 12: 883-890.
- Ooi, T.L.; Yong, K.C.; Hazimah, A.H.; Dzulkefly, K. and Wan Yunus, W.M.Z. 2004. Glycerol residue - A rich source of glycerol and medium chain fatty acids. *J Oleo Sci*, 53: 29-33.
- Parente, E.J.S. 2003. Biodiesel: Uma aventura tecnológica num país engraçado. Ed. Unigráfica. Fortaleza-CE. 66 pp.
- Patience, J.E. 1990. A review of the role of acid-base balance in amino acid nutrition. *J Anim Sci*, 68: 398-408.
- Rivaldi, J.D.; Sarrouh, B.; Fiorilo, R. e Silva, S.S. 2008. Glicerol de biodiesel: Estratégias biotecnológicas para o aproveitamento do glicerol gerado da produção de biodiesel. *Biotecnol Ciênc Desenvol*, 37: 44-51.
- Romano, G.G.I.; Menten, J.F.M.I.; Freitas, L.W.I.; Lima, M.B.I.; Pereira, R.I.; Zavarize, K.C.I. and Dias C.T.S. 2014. Effects of glycerol on the metabolism of broilers fed increasing glycerine levels. *Braz J Poultry Sci*, 16: 97-106.
- Rostagno, H.S.; Albino, L.F.T.; Donzele, J.L.; Gomes, P.C.; Oliveira, R.F.; Lopes, D.C.; Ferreira, A.S.; Barreto, S.L.T e Euclides, R.F. 2011. Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais. UFV. Departamento de Zootecnia. Viçosa. 252 pp.
- Sambrook, I. E. 1980. Digestion and absorption of carbohydrate and lipid in the stomach and the small intestine of the pig. In: A.G. Low and I.G. Partridge (Eds.). Current concepts of digestion and absorption in pigs. Natl. Inst. Res. Dairying. Reading, UK. pp. 78-93.
- Sehu, A.; Kucukersan, S.; Coskun, B. and Koksall, B.H. 2013. Effects of graded levels of crude glycerine addition to diets on growth performance, carcass traits and economic efficiency in broiler chickens. *J Faculty Vet Med*, 19: 569-574.
- Sehu, A.; Kucukersan, S.; Coskun, B.; Koksall, B.H. and Cital, O.B. 2012. Effects of dietary glycerol addition on growth performance, carcass traits and fatty acid distribution in cloacal fat in broiler chickens. *Rev Méd Vét*, 163: 194-200.
- Silva, C.L.S.; Menten, J.F.M.; Traldi, A.B.; Pereira, R.; Zavarize, K.C. and Santarosa, J. 2012. Glycerine derived from biodiesel production as a feedstuff for broiler diets. *Braz J Poultry Sci*, 14: 159-232.
- Singhabhandhu, A. and Tezuka, T.A. 2010. Perspective on incorporation of glycerin purification process in biodiesel plants using waste cooking oil as feedstock. *Energy*, 35: 2493-2504.
- Soffritti, M.; Belpoggi, F.; Cevolani, D.; Guarino, M.; Padovani, M. and Maltoni, C. 2002. Results of long-term experimental studies on the carcinogenicity of methyl alcohol and ethyl alcohol in rats. *Ann N Y Acad Sci*. 982: 46-69.
- Sousa, D.C.; Oliveira, N.L.A.; Dourado, L.R.B. e Ferreira, G.J.B.C 2015. Sistema digestório das aves e o glicerol na dieta de frangos de corte: Revisão. *PubVet*. 9: 369-380.
- Suchý, P.; Strakova, E.; Kroupa, K. and Herzig, I. 2011. Pure and raw glycerol in the diet of broiler chickens, its effects on the production parameters and slaughter value. *Archiv Tierzucht*, 54: 308-318.

- Sun, F. and Chen, H. 2008. Organosolv pretreatment by crude glycerol from oleochemicals industry for enzymatic hydrolysis of wheat straw. *Bioresour Technol*, 99: 5474-5479.
- Swiatkiewicz, S. and Koreleski, J. 2009. Effect of crude glycerin level in the diet of laying hens on egg performance and nutrient utilization. *Poultry Sci*, 88: 615-619.
- Tao, R.C.; Kelley, R.E.; Yoshimura, N.N. and Benjamin, F. 1983. Glycerol: Its metabolism and use as an intravenous energy source. *J Parenter Enteral Nutr*, 7: 479-488.
- Thompson, J.C. and He, B.B. 2006. Characterization of crude glycerol from biodiesel production from multiple feed stocks. *Appl Eng Agric*, 22: 261-265.
- Toews, C.J. 1966. Evidence for the metabolism of glycerol by skeletal muscle and the presence of a muscle nicotinamide-adenine dinucleotide phosphate-dependent glycerol dehydrogenase. *J Biochem*, 98: 27-29.
- Van Gerpen, J. 2005. Biodiesel processing and production. *Fuel Process Technol*, 86: 1097-1107.
- Verkman, A.S. and Mitra, A.K. 2000. Structure and function of aquaporin water channels. *Am J Physiol*, 278: F13-F28.
- Vieira, R.O.; Rodrigues, P.B.; Freitas, R.T.F.; Nascimento, G.A.J.; Silva, E.L. e Hespanhol, R. 2007. Composição química e energia metabolizável de híbridos de milho para frangos de corte. *Rev Bras Zootecn*, 36: 832-838.
- Yang, F.; Hanna, M.A. and Sun, R. 2012. Value-added uses for crude glycerol—a byproduct of biodiesel production. *Biotechnol Biofuels*, 5: 1-10.
- Yazdani, S.S. and Gonzalez, R. 2007. Anaerobic fermentation of glycerol: a path to economic viability for the biofuels industry. *Curr Opin Biotechnol*, 18: 213-219.
- Yuasa, H.; Hamamoto, K.; Dogu, S.; Marutani, T.; Nakajima, A.; Kato, T.; Hayashi, Y.; Inoue, K. and Watanabe, J. 2003. Saturable absorption of glycerol in the rat intestine. *Biol Pharm Bull*, 26: 1633-1636.
- Zavarize, K.C.; Menten, J.F.M.I.; Pereira, R.; Freitas, L.W.; Romano, G.G.; Bernardino, M. and Rosa, A.S. 2014. Metabolizable energy of different glycerine sources derived from national biodiesel production for broilers. *Braz J Poultry Sci*, 16: 411-416.