



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

ARLAN SILVA FREITAS

**BEM-ESTAR ANIMAL E QUALIDADE DE CARNE DE
FRANGO DE CORTE NA REGIÃO DE CLIMA TROPICAL**

Londrina
2016

ARLAN SILVA FREITAS

**BEM-ESTAR ANIMAL E QUALIDADE DE CARNE DE
FRANGO DE CORTE NA REGIÃO DE CLIMA TROPICAL**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência Animal da Universidade Estadual de Londrina como requisito para a obtenção do grau de Doutor em Ciência Animal.

Orientador: Prof. Dr. Massami Shimokomaki (UEL)

Londrina
2016

F862b Freitas, Arlan Silva.

Bem-estar animal e qualidade de carne de frango de corte na região de clima tropical/Arlan Silva Freitas. – Londrina, 2016.

117f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Massami Shimokomaki.

Tese (Doutorado em Ciência Animal) – Programa de Pós Graduação em Ciência Animal, Universidade Estadual de Londrina, 2016.

1.Avicultura - Manejo. 2.Microambiente térmico. 3.Transporto de frango. 4.PSE. 5.DFD
I. Título.

CDU 636.5

ARLAN SILVA FREITAS

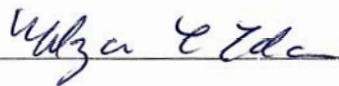
**BEM-ESTAR ANIMAL E QUALIDADE DE CARNE DE FRANGO DE
CORTE NA REGIÃO DE CLIMA TROPICAL**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência Animal da Universidade Estadual de Londrina como requisito para a obtenção do grau de Doutor em Ciência Animal.

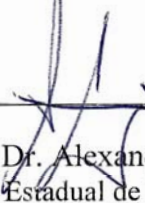
BANCA EXAMINADORA



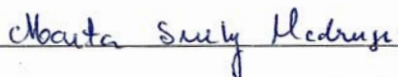
Prof. Dr. Massami Shimokomaki (Orientador)
Universidade Estadual de Londrina - UEL



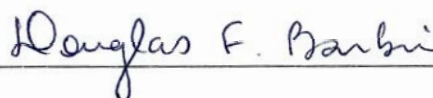
Profa. Dra. Elza Iouko Ida
Universidade Estadual de Londrina - UEL



Prof. Dr. Alexandre Oba
Universidade Estadual de Londrina - UEL



Profa. Dra. Marta Suely Madruga
Universidade Federal da Paraíba - UFPB



Prof. Dr. Douglas Fernandes Barbin
Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP

Londrina, 14 de outubro de 2016.

DEDICO

A Deus, por todas as bênçãos, luz e direção em meu caminho;

A minha esposa Rozenne e meu filho Gabriel, por todo entendimento, amor, paciência e ajuda no desenvolvimento deste trabalho;

Ao professor Massami Shimokomaki (Professor, orientador, amigo e “pai científico”).

“Profissional de talento é aquele que soma dois pontos de esforço, três pontos de talento e cinco pontos de caráter”.

(Roland Barthes)

AGRADECIMENTOS

A Deus, criador e a luz que guia todos os caminhos.

Aos meus pais Benedito Trinta Freitas e Antonia Silva Freitas pela vida e pela minha formação moral.

À minha esposa Rozenne Freitas e meu filho Gabriel Freitas, que sem a paciência, compreensão, dedicação e ajuda nada seria possível.

Ao meu orientador Prof. Dr. Massami Shimokomaki, não só pela constante orientação neste trabalho, mas sobretudo pela sua amizade, empenho, atenção dedicada e por acreditar em mim até o fim.

Às professoras Dra. Elza Iouko Ida e Dra. Marta Suely Madruga pelos conselhos, acolhimento e ajuda para o meu crescimento profissional e pessoal.

Ao amigo, Dr. Rafael Humberto Carvalho, pelo inestimável apoio, amizade e aplicação dos conhecimentos nos períodos de dificuldade encontrados durante o percurso.

À Leila Moreira Carvalho e Érica Oliveira pela amizade, ajuda no desenvolvimento da pesquisa e pelos bons momentos.

Aos proprietários da empresa Guaraves, Sr. Ivanildo Coutinho e Arnold Neto e seus funcionários, em especial, ao Gessian Amorim.

Às novas pessoas da minha vida, Helenice Kieski, Daniele Honorato e Victor, por terem paciência e me acolherem muito bem.

À Profa. Ilka South de Lima Cantanhede pela ajuda, paciência e dedicação ao programa interinstitucional IFMA-UEL.

Aos colegas do programa DINTER em Ciência Animal IFMA-UEL.

À todos os professores do PPG em Ciência Animal/UEL que contribuíram para minha formação doutoral.

À CAPES pelo fornecimento da bolsa de estudo.

Ao IFMA Campus São Luis-Monte Castelo por acreditar e incentivar a minha vida profissional.

Aos amigos que Deus abençoou em meu caminho: José Hilton Gomes

Rangel, Fábio Rodrigues Gomes, Ebenézer de Almeida Araújo, Emílio Azevedo e Hailton Rógeres dos Reis sempre incentivando e apoiando as etapas de minha vida.

À todos os amigos conquistados ao longo desses anos de estudo, a todos os valiosos não citados aqui por falha de minha memória ou por ter de abreviar as palavras.

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”.

Marthin Luther King

FREITAS, Arlan Silva. **Bem-estar animal e qualidade de carne de frango de corte na região de clima tropical**. 2016. 117 p. Tese de Doutorado em Ciência Animal – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2016.

RESUMO

O Brasil é o principal exportador de carne de frangos de corte no mundo e a despeito desse fato, a indústria avícola possui vários fatores prejudiciais para a manutenção das qualidades de carne, devido o país estar situado em zonas geográficas de climas tropicais e subtropicais. Portanto, essas aves são submetidas constantemente ao estresse térmico. O Nordeste produz 2,07% da produção nacional bruta e, há necessidade de motivar a cadeia produtiva de carne de frango na região. Este estudo teve por objetivos: 1) quantificar a incidência de PSE (*pale, soft and exudative*) e DFD (*dark, firm and dry*) no peito de frango em uma planta de processamento comercial no Estado da Paraíba durante as estações chuvosa e seca; 2) avaliar a influência de microclimas na carroceria do caminhão durante o transporte dos frangos e na espera no abatedouro sob condições comerciais na qualidade do peito e a porcentagem de DOA (Dead on Arrival= Morte na Chegada). Para este estudo, um total de 2.800 amostras de filés de peito (*Pectoralis major*) foram obtidos durante os períodos seco (n = 1.400) e chuvoso (n = 1.400). A incidência de carne PSE foi de 43,53% na estação seca e 10,46% na estação chuvosa. Adicionalmente, foram detectados 3,3% de carne DFD, em decorrência das condições da estação chuvosa, que afetaram a fisiologia muscular das aves, não havendo registro desta anomalia para a estação seca. O resultado do índice de DOA foi de 0,45%. A alta incidência de carne PSE sugere a necessidade de controlar o manuseio pré e pós-abate, mantendo a qualidade da carne e evitando perdas econômicas devido às anormalidades ocorridas na carne obtida na zona de clima tropical.

Palavras-chave: Avicultura. Manejo. Microambiente térmico. Transporte de frango. PSE. DFD.

FREITAS, Arlan Silva. **Animal welfare and quality of broiler chicken meat in the tropical region**. 2016. 117 p. Thesis Doctor's Degree in Animal Science - State University of Londrina, Londrina. 2016.

ABSTRACT

Brazil is the major broiler breast meat export in the world and despite this fact, the poultry industry has several harmful factors for the maintenance of meat qualities, because the country is located within areas of tropical and subtropical geographical climates. Therefore, these birds are constantly subjected to heat stress. The Northeast produces officially only 2.07% of gross national production thus there is a need to motivate the productive chicken meat chain in the region. The aim this work was: 1) to quantify the incidence of PSE (pale, soft and exudative) and DFD (dark, firm and dry) in chicken meat in a commercial processing plant within Paraíba state during the rainy and dry seasons; 2) to evaluate the influence of microclimate created within 3 regions of the truck container (front, middle, rear) during the transport of chickens and lairage at the slaughterhouse under commercial conditions in the quality of the breast and the percentage of DOA (Death on Arrival) during rainy season. A total of 2,800 samples of breast fillets (*Pectoralis major*) samples were obtained during the dry (n = 1,400) and rainy (n = 1,400) periods. The incidence of PSE meat was 43.53% in the dry season and 10.46% in the rainy season. In addition, a value of 3.3% of DFD meat were detected, due to the conditions of the rainy season, as no such color abnormality was detected in the dry season. The result DOA index was 0.45%. The incidence of PSE and DFD meat suggested that animals were under hyper- and hypothermia, respectively. These facts suggest there is a need to control the pre and pos-slaughter handling, to keep the meat quality and avoid the high incidence of DOA thus preventing the economic losses in the tropical climate zone.

Key words: Aviculture. Handling. Thermic microenvironment. Transport of poultry. PSE. DFD.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Revisão de Literatura

Figura 1 – Produção brasileira de carne de frango (milhões de toneladas) para os anos de 2009 a 2015.	18
Figura 2 – Abate de Frangos por Regiões do Brasil no período de 2015.....	19
Figura 3 – Abate de frango por federação.....	20
Figura 4 – Evolução da exportação brasileira de carne de frango no período 2004-2015.....	21
Figura 5 – Consumo per capita de carne de frango (kg/hab.) no Brasil.....	22
Figura 6 - Coloração na superfície da carne relacionado com a desnaturação das proteínas, promovida pelo declínio do pH.....	42
Figura 7 – A. Barracão com as aves alojadas. B. Ventiladores utilizados no barracão. C. Parede lateral com a cortina plástica. D. Sistema de controle automático de temperatura e umidade relativa do barracão	48
Figura 8 – Localização dos aparelhos registradores: Superior Frontal (SF); Inferior Frontal (IF); Superior Meio (SM); Inferior Meio (IM); Superior Traseiro (SR); e Inferior Traseiro (IR).....	50

Artigo A

Figura 1 – Histograms of distribution of $L^*_{24\text{ h}}$ (A) and $\text{pH}_{24\text{ h}}$ (B) in chicken breast meat analyzed (n=2,800) in the dry and rainy seasons in the tropical zone.....	85
Figura 2 – Occurrence of PSE in broiler breast meat during the dry season (A) (n = 1,400) and rainy season (B) (n = 1,400). The DFD meat samples occurrence is observed in only the rainy season.....	85

Artigo B

Figura 1 – (A) Map of tropical north-eastern Brazil, Paraíba (PB) and Rio Grande do Norte (RN) States, where the experiment was carried out. (B) The main highway on which the birds were transported over a distance of 289 km from the farm to the commercial processing plant.	108
---	-----

Figura 2 – Flowchart of broiler handling for transportation from farm to processing plant (Langer et al. 2010).	109
Figura 3 – Side and back views of the lorry container. A) Side view showing the positions of the data loggers (dark-grey crates): horizontally at 1.5 m, 5.4 m and 9.2 m (2nd, 7th and 12th crate columns, respectively), from the front, and vertically at 0.84 m and 2.24 m (3rd and 8th crate, respectively) from the lorry floor. B) Back view showing the position of data loggers (dark grey) in the two central lanes and a 20-cm empty space, as described by Spurio <i>et al.</i> (2016)	109
Figura 4 – A) Birds under a 5-min shower just after arrival at the commercial precinct slaughterhouse and processing plant. B) Birds under forced ventilation.	109
Figura 5 – Variations in air ventilation (A), temperature (B), heat index (C) and relative humidity (D) at the front, middle and rear of the lorry container during a transport (TRP) journey of 350 min (T) and lairage (LG) of 300 min at the slaughterhouse holding space (n = 3 journeys).	110

LISTA DE TABELAS

Artigo A

- Tabela 1** – Correlation coefficients for measurements of broiler breast meat samples (n=2,800) in the dry and rainy seasons in the tropical zone..... 86
- Tabela 2** – Comparative values of PSE and DFD chicken broiler breast meat obtained in different countries in relation to the results described in this work 86
- Tabela 3** – Averages L*, a*, b*, pHu and WHC in *Pectoralis major* obtained during dry and rainy seasons in the tropical zone 87

Artigo B

- Tabela 1** – Mean values of air ventilation (AV), temperature (T), relative humidity (RH) and heat index (HI) performed in a 289 km journey and at lairage for 5 h before birds slaughtering measured at the lorry container front, middle and rear positions 105
- Tabela 2** – Values of L*, a*, b*, pH and WHC (water holding capacity) of breast fillets classified as Normal, PSE and DFD meat 106
- Tabela 3** – Occurrence (%) of PSE and DFD abnormalities and Normal breast meat samples taken from birds located in lorry container positions of front, middle and rear after 6 h journey and 5 h lairage 107

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a*	Índice de verde e vermelho
b*	Índice de azul e amarelo
CRA	Capacidade de retenção de água
DFD	Dark, Firm, Dry (Escura, Firme e Seca)
FC	Força de cisalhamento
h	Hora
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
kg/hab.	Quilograma por habitante
km/h	Quilômetros por hora
L*	Luminosidade
m ²	Metro quadrado
m/s ²	Metro por segundo ao quadrado
min.	Minutos
pH	Potencial hidrogeniônico
PSE	<i>Pale, Soft, Exudative</i> (Pálida, Flácida e Exudativa)
SIF	Serviço de Inspeção Federal
WHC	Water Holding Capacity

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1	A PRODUÇÃO BRASILEIRA DE FRANGOS DE CORTE	18
2.2	TRANSPORTE DAS AVES: DA GRANJA AO ABATEDOURO.....	25
2.3	ESPERA PARA ABATE: O AMBIENTE E A DURAÇÃO	29
2.4	MORTE NA CHEGADA OU “DEAD ON ARRIVAL” (DOA).....	31
2.5	ALTERAÇÕES NA ESTRUTURA MUSCULAR PROMOVIDAS PELO MANEJO	34
2.5.1	A Carne Pálida, Flácida e Exudativa (PSE)	38
2.5.2	A Carne Escura, Firme e Seca (DFD)	43
3	OBJETIVOS	46
3.1	GERAL	46
3.2	ESPECÍFICOS	46
4	MATERIAL E MÉTODOS	47
4.1	ANIMAIS	47
4.1.1	Da Incidência.....	47
4.1.2	Do Transporte	47
4.2	A GRANJA	47
4.3	TRANSPORTE DOS FRANGOS DA GRANJA AO ABATEDOURO	48
4.4	ESPERA PARA ABATE.....	50
4.5	PROCESSO DE ABATE.....	51
4.6	TAXA DE MORTALIDADE	51
4.7	CLASSIFICAÇÃO DA CARNE PSE E DFD	51
4.7.1	Medida da Cor e pH da Carne	51
4.8	CAPACIDADE DE RETENÇÃO DE ÁGUA (CRA).....	52
4.9	ANÁLISES ESTATÍSTICAS	52
	REFERÊNCIAS	53

5	ARTIGO A. BROILER THERMAL STRESS MEASURED BY MEAT COLOR ABNORMALITIES IN A BRAZILIAN NORTHEASTERN REGION COMMERCIAL SLAUGHTERHOUSE	74
6	ARTIGO B. SIMULTANEOUS OCCURRENCE OF BROILER CHICKEN HYPER- AND HYPOTHERMIA IN-TRANSIT AND LAIRAGE AND DOA (DEAD ON ARRIVAL) INDEX UNDER TROPICAL CLIMATE	88
	CONCLUSÕES	115
	APÊNDICES	116
	APÊNDICE A – Ficha de Registro de Acompanhamento do Lote	117

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a avicultura brasileira vem se destacando pela criação e processos com alto grau de eficiência operacional. Este destaque levou o Brasil a uma aproximação na produção dos Estados Unidos e desbancando a China do *ranking* que, embora produza apenas para o mercado interno, mantinha a segunda posição dentre os países produtores de frango (ABPA, 2016).

Para que o Brasil pudesse atingir o primeiro lugar no *ranking* dos exportadores e entre os maiores produtores mundiais de carne de frango, foi necessária a utilização de técnicas eficientes de produção, utilizadas durante todo o período de criação. Entretanto, mesmo havendo diferença de manejo entre as fases, todas devem ser encaradas com a mesma importância (Albino & Tavernari, 2008).

Fatores como o bem estar, qualidade, sanidade e preço contribuíram para aperfeiçoar a produtividade no setor em etapas decisivas do manejo como a sanidade, alimentação balanceada, melhoramento genético, produção integrada e transporte, fomentando a parceria entre indústria e avicultores, que também contribuiu para a excelência técnica em todas as etapas da cadeia produtiva (Brasil, 2016; Espíndola, 2012).

Na produção de frangos de corte, o pré-abate é uma etapa crítica dentre os diversos fatores que influenciam na elevação do estresse dos animais, tendo como consequência, a redução nos parâmetros de qualidade de carcaça e carne, como exemplo à ocorrência de lesões na carcaça e maior incidência das carnes PSE (pálida, flácida e exsudativa) e DFD (escura, firme e seca), que acometem expressivamente índices econômicos da atividade avícola (Schneider, 2004; Shimokomaki et al., 2006).

O transporte de aves merece atenção especial por ser uma etapa da cadeia produtiva com ligação direta ao rendimento das empresas e, provavelmente, com impacto na vida dos animais (Weeks, 2014). Deste modo, diminuir o percentual de DOA (Dead on Arrival, Morte na Chegada) e garantir o bem estar dos frangos de corte durante o pré-abate se fazem necessários para a melhoria da logística e planejamento, adequando o tempo de transporte e de espera no abatedouro o mais curto possível (Nijdam et al., 2004).

A população nordestina, que supera 56 milhões de habitantes (IBGE, 2016), representa um grande mercado consumidor de carne de frango, o qual, em situações normais, não é o foco das grandes empresas avícolas do Sul/Sudeste do país. O Nordeste apresenta consumo oficial *per capita* desse produto de aproximadamente 3,03 kg/habitante/ano em 2010, com persistente tendência de crescimento. Há campo para o crescimento da avicultura regional, mesmo sem considerar as possibilidades do mercado externo, ainda pouco acessado pela produção local (Freitas et al., 2014).

Para isso, tornam-se indispensáveis estudos bioclimáticos da região, permitindo a distribuição adequada da atividade. Indubitavelmente, a exploração agropecuária é amplamente afetada por fatores climáticos, dentre os quais, destacam-se a precipitação pluviométrica e sua distribuição ao longo do ano (Dantas et al., 2008).

Considerando que em 2015 a avicultura brasileira registrou um crescimento de 4,76% nas exportações de industrializados (ABPA, 2016), esta investigação visa aprofundar conhecimento sobre o bem estar animal na Região Nordeste para melhoraria do desenvolvimento tecnológico das indústrias processadoras de carnes naquela região de clima tropical.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A PRODUÇÃO BRASILEIRA DE FRANGOS DE CORTE

A América Latina tem se destacado no cenário mundial com a maior e melhor produção avícola, com destaque para o Brasil, sendo um dos líderes mundiais em exportação e produção (ABPA, 2015).

A produção de frango no Brasil tem obtido números expressivos nos últimos anos. Neste cenário, o Brasil continua como o maior exportador mundial desde 2004 e em uma nova posição, segundo maior produtor de carne de frango, atrás somente dos Estados Unidos. Em 2015, segundo a ABPA (2016), registrou-se uma produção mundial de carne de frango de 13,1 milhões de toneladas (Figura 1), com aumento de 4,76% em relação a 2014.

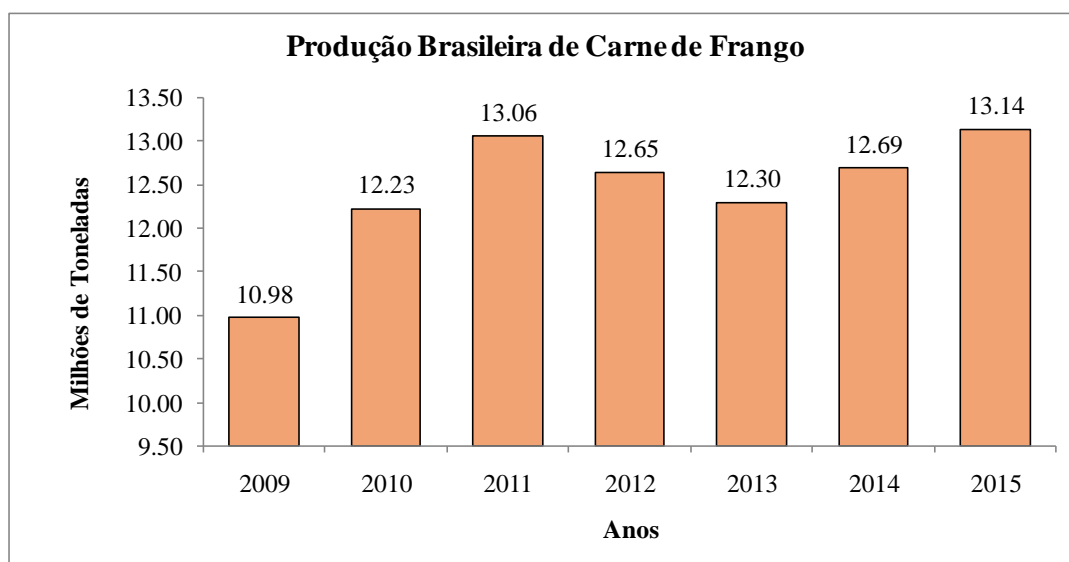


Figura 1 - Produção brasileira de carne de frango (milhões de toneladas) para os anos de 2009 a 2015.

Fonte: ABPA (2016).

As regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, respectivamente, são as regiões responsáveis pela grande produção brasileira da carne de frango atualmente (ABPA, 2016). A grande produção originou aumento na demanda pela industrialização de produtos a base de carne de aves nas últimas décadas. Fato também observado na produção de perus, que obteve um aumento de 300% desde a década de 70, e este se deve em parte às mudanças ocorridas na taxa de crescimento e rendimento de carcaça, associados ao aumento na proporção de peito e diminuição de gordura abdominal (Strasburg & Chiang, 2009; Shimokomaki, et al., 2006).

A Região Sul contribui com 62,83% da produção (Figura 2), enquanto o Nordeste apresenta a sua produção equivalente a 2,07% da nacional, conforme observado na Figura 3, considerando os estados Bahia, Paraíba, Pernambuco e Piauí como únicos Estados da Região com empresas inspecionadas pelo Serviço de Inspeção Federal (S.I.F.) (ABPA, 2016).

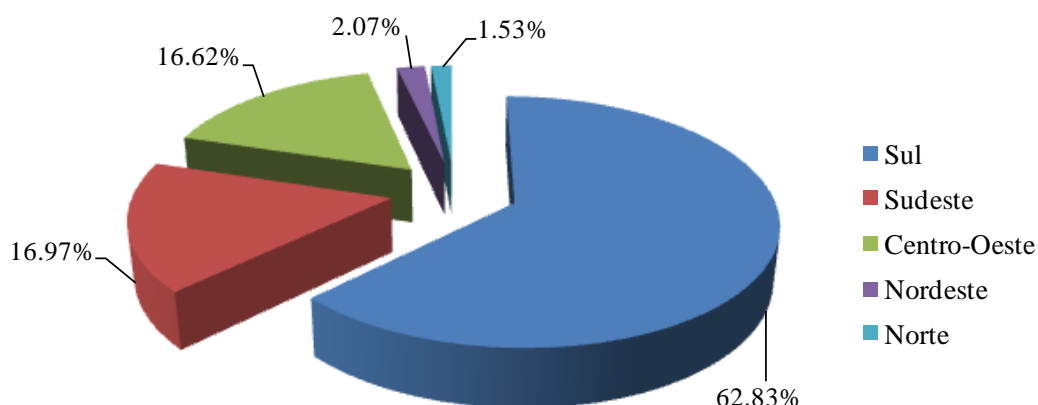


Figura 2 - Abate de Frangos por Regiões do Brasil no período de 2015.

Fonte: ABPA (2016).

Estes números indicam a necessidade de motivar a implantação de frigoríficos na região o que obviamente traria como consequência o seu desenvolvimento na área deixando a sua dependência da importação de carnes de frangos de outros estados produtivos da federação (Freitas et al., 2014).

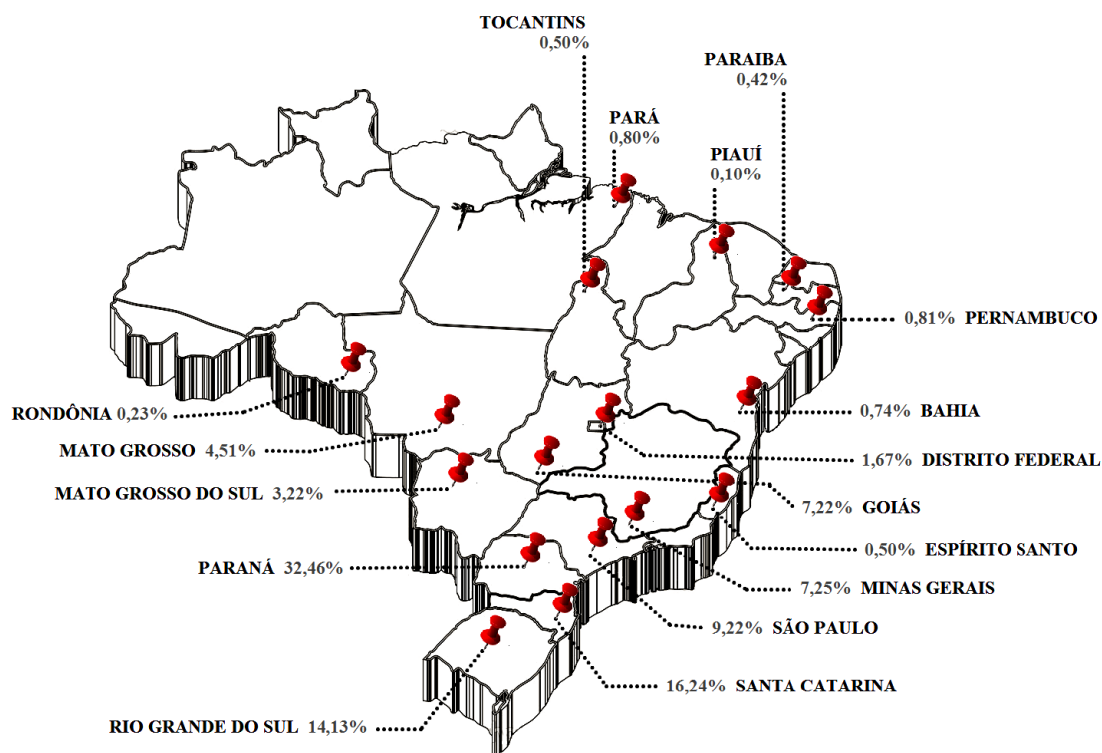


Figura 3 – Abate de frango por federação.

Fonte: ABPA (2016).

Do quantitativo total de frangos produzido no Brasil, 67,3% foram designados ao consumo interno, e 32,7% para exportações, sendo que para este mercado, tem se demonstrado, conforme a Figura 4, bastante promissor para a indústria avícola. O Brasil vem conquistando desde 2004 a primeira posição na exportação, devido à apresentação de cortes especiais, oferta de novos produtos industrializados, e a garantia da qualidade da carne obtida (ABPA, 2015).

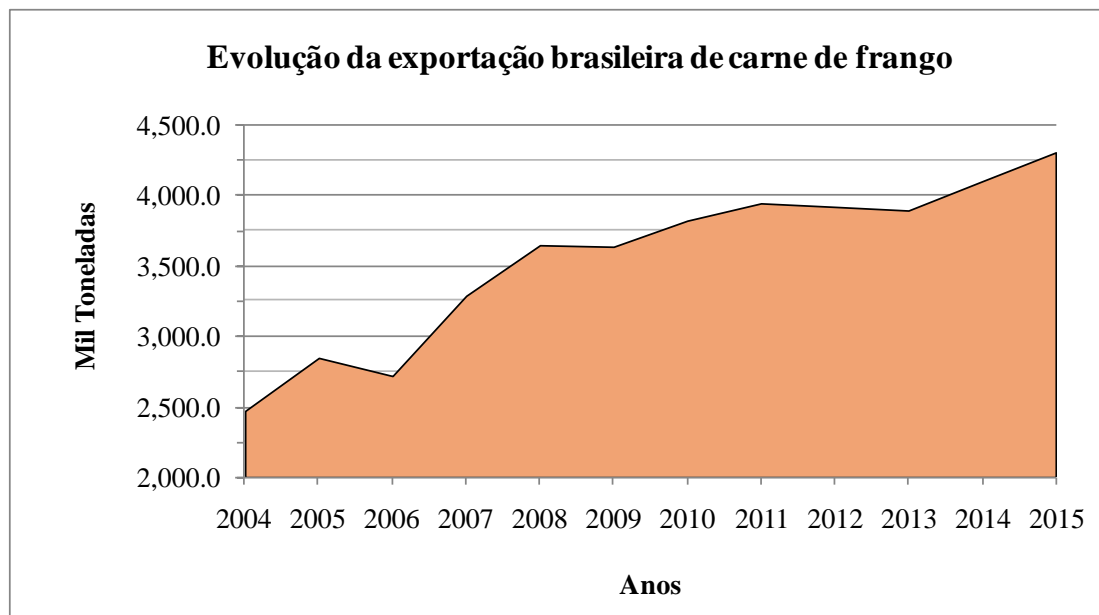


Figura 4 - Evolução da exportação brasileira de carne de frango no período de 2004-2015.

Fonte: ABPA (2016).

No mercado consumidor interno, o brasileiro tem mudado seus hábitos de consumo de carne, passando de um país preponderantemente consumidor de carne bovina para consumidor de carne de frango. A qualidade, a imagem de um produto saudável, o menor custo de produção, bem como os preços acessíveis auxiliaram nesta conquista (Sarcinelli et al., 2007). O consumo per capita de carne de frango atingiu 43,25 quilos por pessoa, havendo um aumento de 1,09% em relação a 2014 (ABPA, 2016) (Figura 5).

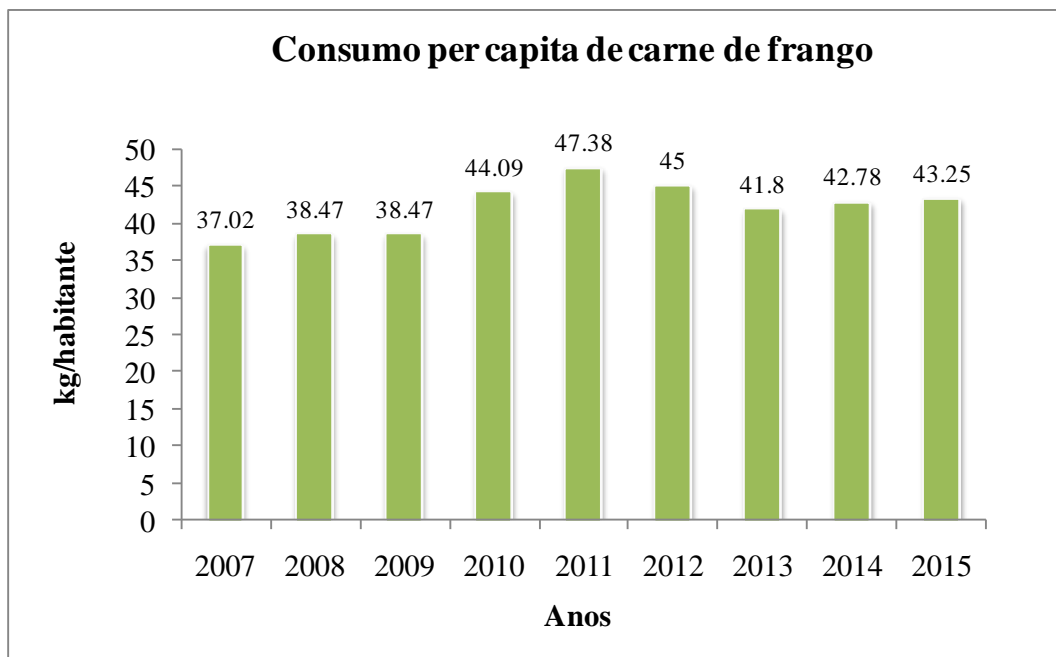


Figura 5 – Consumo per capita de carne de frango (kg/hab.) no Brasil.

Fonte: ABPA (2016).

As agroindústrias ligadas à avicultura estão centralizadas principalmente na Região Sul, ampliando-se para Sudeste e, atualmente, para o Centro-Oeste (ABPA, 2016). Conforme Voilà & Triches (2012) em todas as regiões, a diferenciação no nível de tecnologia de algumas empresas permite a produção de cortes de frango com alto grau de padronização, oferecendo ao mercado um produto de maior valor agregado.

O elevado consumo de frango se deve também ao custo que vem sendo menor do que as demais carnes, como a bovina e a suína (UBABEF, 2010).

Segundo IPARDES (2002) a demanda por carne de frango é inelástica em relação ao preço. A cada 10% no aumento do preço, espera-se uma redução de 3,3% no quantitativo consumido. Este mesmo aumento elevaria a demanda da carne bovina em 2,8% e na carne suína de 4%, mostrando que a carne de frango deixou de ser um substituto para se tornar complementar no mercado brasileiro.

No Brasil, os principais estados avicultores encontram-se na região Sul, que juntamente com o Estado de São Paulo, respondem por aproximadamente 70% do total de frangos abatidos (Voilà & Triches, 2014). A região Nordeste, embora apresente enorme potencial produtivo, corresponde por apenas 9% da produção nacional de carne de frango, tendo como principal produtor o estado de Pernambuco (Freitas Brasil & Barbosa Filho, 2012).

No ano 2000, existiam 243 abatedouros de frangos no Brasil, sendo que 53% dos estabelecimentos possuíam o Sistema de Inspeção Federal (SIF) e apenas 10% dos estabelecimentos tinham Sistema de Inspeção Municipal (SIM). Após 10 anos, este número quase duplicou alcançando 436 estabelecimentos de abate de frangos sendo que apenas 36% dos estabelecimentos tinham SIF e 42% dos estabelecimentos tinham SIM. Em 2000, a Região Sudeste tinha o maior número de estabelecimentos de abate de frangos, seguida pelas Regiões Sul e Nordeste. No ano 2010, a Região Nordeste tinha o maior número de estabelecimentos com SIM, seguida pelas Regiões Sul e Sudeste. Ao contrário do ano de 2000, a maioria dos estabelecimentos tinha o SIM. Observando-se, portanto, que houve um aumento do número de pequenos estabelecimentos e diminuição dos que possuíam o SIF (Costa et al., 2015).

Em relação à avicultura comercial, em 2005, o Nordeste contava com 2,2 milhões de matrizes de corte, apresentando o estado do Pernambuco com maior plantel de 1,0 milhão de cabeças, seguido da Bahia e Ceará com 533 mil e 442 mil cabeças, respectivamente (ANUALPEC, 2006). Pernambuco e Bahia representaram, em 2007, índice na participação nacional de abate, inferior a 1% em cada Estado, com 10.577,668 e 36.439,052 de unidades de frangos abatidas, respectivamente. No Nordeste, as granjas e aviários geralmente são conduzidos por pequenos produtores ou microempresários,

onde a sobrevivência e a viabilidade econômica destes representam uma atividade de geração de renda e de empregos locais (Belusso & Hespanhol, 2010; Lima et al. 2013).

O sistema avícola nordestino conta, na distribuição dos produtos, com estabelecimentos que abatem e comercializam o chamado “frango quente”. Trata-se de um tipo de intermediário que fornece o “frango abatido na hora”, produto muito difundido nos municípios dos Estados do Nordeste, principalmente nas áreas periféricas. Entre esses “abatedouros” e as granjas há ainda intermediários, que adquirem as aves vivas, distribuindo-as com aqueles que fazem o abate “na hora” e as repassam aos consumidores (Evangelista et al., 2008).

O consumo de carne está relacionado à condição econômica da população, de modo que quanto mais elevada a renda, maior é o consumo por habitante. Apesar de não conhecermos o consumo dessa carne na Região, dada à complexidade da sua distribuição, obviamente esses valores de consumo per capita de 3,03 kg/habitante, não representam a realidade do consumo nordestino. Isto, pelo fato da cultura do “frango abatido na hora” para consumo (Freitas et al., 2014).

Conforme Evangelista et al., (2008) um dos principais obstáculos para o desenvolvimento da avicultura no Nordeste, está condicionado, sobretudo, à questão da oferta de grãos para formulação das rações, onde a necessidade de importar milho e soja de outros Estados pode vir a onerar os custos de produção. Para Santos (2012) a região Nordeste possui potencialidade de expansão na avicultura em função da extensão territorial, da elevação na produção do milho e do mercado consumidor, porém as condições climáticas em algumas microrregiões não são totalmente adequadas, precisando de metodologias artificiais de acondicionamento térmico para que o desempenho dos animais e conseqüente desenvolvimento econômico da atividade, não sejam afetados.

As elevadas temperaturas ambientais durante o verão na Região Nordeste do Brasil, representam um empecilho à atividade avícola e, ainda que o problema seja sazonal e variável, suas consequências são economicamente significativas na produção animal (Sarmiento et al., 2005).

2.2 TRANSPORTE DAS AVES: DA GRANJA AO ABATEDOURO

Conforme Silva et al. (2007) desde que a produção avícola passou a ser considerada nos conceitos de cadeia do agronegócio, pesquisas têm priorizadas as perdas na qualidade do produto final relacionadas ao manejo da fase “dentro da porteira”, que envolve o ciclo de produção desde o nascimento dos pintos até a idade de abate (42 a 45 dias).

Em recentes experimentos, Simões et al. (2009a) e Langer et al. (2010) verificaram que as distâncias de transporte e a aplicação de banho imediatamente antes do transporte interferem na qualidade final da carne, visto que em distâncias curtas a aplicação do banho proporcionaram menores ocorrências de carnes PSE.

De acordo com Silva et al. (2011) no Brasil as empresas avícolas passaram a recomendar como prática de manejo pré-abate no verão, a aplicação do banho de água sobre os frangos, logo após o carregamento, para reduzir a temperatura do microambiente durante o transporte.

De acordo com Zuffo (2012) a condição térmica mínima para molhar os frangos deve ser a de temperatura ambiente elevada e umidade relativa baixa. A umidade elevada (> 85%) dificulta trocas térmicas das aves, devido à evaporação da água ser limitada em função da quantidade de vapor d'água na atmosfera. Molhar em um só

ponto favorece a desigualdade de umidade na carga, acarretando os núcleos ou “bolsões” térmicos.

Segundo Silva et al. (2007) na fase “pós porteira”, que envolve as operações pré-abate, como o transporte, pouco se tem pesquisado, o que gera gargalos tecnológicos e dificulta o desenvolvimento de tecnologias de manejo que permitam a melhoria das condições de execução dessas operações e que possibilitem restringir o aumento da produtividade deste segmento da agropecuária brasileira.

No processo de transporte, os animais são submetidos a fatores estressantes (temperatura, umidade relativa, condições da estrada, entre outros) que afetam o bem-estar e ocasionam prejuízos, devido à elevada mortalidade e a queda na qualidade da carne (Mitchell et al., 1992; Mitchell & Kettlewell, 1998).

Segundo Carlisle et al. (1998), Gebresenbet et al. (2011) e Nazareno (2012) dentre os fatores estressantes às aves, as condições das estradas e do veículo, da mesma forma que o desempenho do motorista durante a condução, são determinantes na ocorrência de um evento ainda pouco estudado, ou seja, as vibrações mecânicas.

Silva et al. (1997) analisaram o nível de conforto térmico na espera para abate em diferentes tipos e localizações dos caminhões transportadores. Os autores concluíram que durante o transporte os itens: densidade por caixa e idade das aves, incidiu significativamente no índice de mortalidade. A localização dos caminhões na espera é importante para minimizar a temperatura e, conseqüentemente, o estresse das aves (Nääs et al., 1998).

O calor metabólico gerado pelas aves durante o transporte origina gradientes térmicos entre as caixas de transporte e o meio externo, este também pela velocidade do

ar em cada ponto, resultando em distribuição heterogênea da temperatura ao longo carroceria do caminhão (Mitchell & Kettlewell, 1998). Vários estudos (Mitchell et al., 1992; Kettlewell & Mitchell, 1993; Kettlewell et al., 1993) relataram a formação de um núcleo térmico na carga dos caminhões, desenvolvido pela baixa ventilação e onde a carga térmica e a umidade são maiores. Conforme Barbosa Filho et al. (2009) são escassas as pesquisas que evidenciam o perfil térmico da carga em condições climáticas tropicais, principalmente quando consideradas intensas flutuações térmicas diárias nas estações do ano.

Segundo Kettlewell et al. (2000) e Voslářová et al. (2016) as condições térmicas (temperatura e umidade) extremas durante o transporte são inaceitáveis, pois atingem proporções de mortalidade acima de 1% em certos trechos da viagem. Kettlewell et al. (2000) observaram que quando as aves foram transportadas em conforto térmico (15 - 22°C), as mesmas não apresentaram alterações nas características fisiológicas. Contudo, aves mantidas durante 2 h em caixas de transporte a 34°C demonstraram quadro de hipertermia (Akşit et al., 2006). Silva et al. (2011) afirmaram que maiores distâncias de transporte aumentam a mortalidade dos frangos e a aplicação do banho antes do transporte no período do verão, reduz esta problemática.

O tempo entre a chegada do caminhão no abatedouro até a pendura na linha de abate é considerado o descanso pré-abate. Esta é uma prática muito importante para obter uma carne de qualidade. Durante o transporte as aves podem chegar com o sistema cardiorrespiratório alterado e a temperatura corporal superior ao normal, logo, a espera pré-abate proporciona melhores condições às aves, reduzindo os efeitos ocasionados pelo estresse. Sendo que o lugar de espera deve ser sombreado, possuir temperatura amena e circulação de ar (Guarnieri et al., 2004; Ludtke et al., 2006).

Kannan et al. (1997) observaram que os frangos apresentaram maior nível de corticosterona após o transporte de três horas. O elevado nível plasmático de corticosterona apresentou uma carne mais pálida. Conforme Grandin (1998), a alta concentração de corticosterona liberada em função do estresse, produz doenças cardiovasculares (arteriosclerose), ascite e modificações nas funções imunológicas.

Simões et al. (2009a) e Langer et al. (2010) observaram que as distâncias de transporte e a aplicação de banho antes do transporte influenciam na qualidade da carne, tendo em vista que curtas distâncias e aplicação do banho promoveram menores incidências de carnes PSE. Olivo & Shimokomaki (2006) afirmaram que estas informações são importantes às indústrias, que segundo Droval et al. (2011) os filés de frango de cor pálida, textura flácida e baixa capacidade de retenção de água possuem baixa aceitabilidade pelo consumidor. A localização dos frangos na carroceria do caminhão de transporte influencia na ocorrência de PSE. Esses resultados motivaram o desenvolvimento de uma carroceria no sentido de diminuir o estresse térmico das aves consequentemente mantendo o seu bem estar refletindo na melhora da qualidade da carne (Spurio et al., 2016). Portanto, muitos são os fatores que favorecem o estresse das aves durante as etapas de pré-abate e que a intensidade destes efeitos determina o nível elevado de perdas por mortalidade na chegada ao abatedouro (Simões et al., 2009a, 2009b).

Silva et al. (2007) em sua pesquisa sobre os efeitos das altas temperaturas e umidade no transporte, simularam o ambiente de transporte submetendo 30 aves em câmara climática com temperatura de 35°C e umidade relativa de 85%. Os autores observaram que as aves apresentaram significativa perda de peso à medida que o período de estresse térmico aumentava. A exposição nas condições de temperatura

(35°C), umidade (85%) e tempo (30 minutos), as aves apresentaram estresse térmico confirmado pelos parâmetros fisiológicos (temperatura e frequência respiratória) e na qualidade da carcaça, havendo a perda de peso nos membros e dorso.

2.3 ESPERA PARA ABATE: O AMBIENTE E A DURAÇÃO

Em regiões de clima tropical, a condição térmica tornou-se um desafio para o avanço da avicultura. Os valores médios de temperatura e umidade relativa do ar elevaram os índices de perdas por mortalidade, especialmente durante as operações pré-abate, que correspondem à apanha das aves, ao carregamento, ao transporte e à espera no abatedouro (Vieira et al., 2016).

De acordo com Hunter et al. (1998), etapa de espera no abatedouro é uma fonte potencial de estresse para os frangos de corte. Quinn et al. (1998) relataram que existe a necessidade de climatização nos ambientes de espera dos abatedouros, com o acréscimo de movimentação da massa de ar para melhores condições às aves. Conforme os autores há a necessidade de estudos sobre os diferentes ambientes na espera pré-abate.

As condições físicas do ambiente de espera podem resultar na diminuição do bem-estar animal contribuindo para a ineficácia de todas as etapas anteriores. Sendo a climatização recomendada para ambientes de espera, com ventiladores e nebulizadores para que melhorem a sensação térmica das aves, com acionamento em intervalos frequentes, observando-se para que as aves não fiquem molhadas durante grande período de tempo (Nääs et al., 1998). Os autores relataram que o molhamento deve ser necessário para que as gotículas de água sobre a superfície corpórea sejam deslocadas com o ar de ventilação, e com isso, a redução de calor corporal. Guarnieri et al. (2004)

investigaram a influência do banho antes do abate dos frangos sobre a qualidade da carne de peito (*Pectoralis major*). Os autores observaram alterações ultra-estruturais promovidas pelos eventos bioquímicos/fisiológicas durante o início do *rigor mortis*. Os estudos histológicos das amostras de aves PSE após 72 h *post-mortem*, revelaram um encolhimento do diâmetro da célula muscular em aproximadamente 10% e um alargamento extracelular do endomísio e perimísio.

Vieira et al. (2007) analisando o tempo de espera em abatedouro comercial e a temperatura retal das aves relatam que acima dos 50 minutos sob climatização, os frangos apresentaram redução na temperatura retal (superior a 1°C), indicando eficiência do ambiente da espera pré-abate. Segundo Quinn et al. (1998) e Bressan & Beraquet (2002) os intervalos de tempo de espera maiores reduzem os efeitos negativos do transporte. Bayliss e Hinton (1990) registraram uma redução na mortalidade (0,2%) na utilização de um galpão de espera climatizado durante o verão. Vieira et al. (2016) afirmaram que quando a temperatura e a umidade relativa apresentaram no limite da zona de conforto, a mortalidade foi de aproximadamente 0,35%, comprovando a eficiência do controle das condições térmicas no abatedouro para a redução de perdas.

Para Silva & Vieira (2010) o controle térmico do ambiente, por meio da temperatura e umidade relativa, proporciona maior conforto para as aves nos caminhões, reduzindo, desta forma, as perdas por mortalidade. Porém, é necessário o controle do tempo de espera, visto que em condição de climatização, a maior duração no galpão de espera nestas condições permite maior troca de calor das aves com o ambiente.

Hildebrand (2006) analisou o tempo de espera em diferentes estações do ano, observando a morte na chegada (DOA). O autor observou que a partir de 1 h de espera

após a chegada ao abatedouro, houve uma redução no índice de mortalidade, devido à eficiência na climatização dos galpões de espera.

Vieira et al. (2016) em sua pesquisa sobre a influência das condições térmicas do galpão de espera climatizado na mortalidade, observaram que o ambiente de espera no abatedouro aumentou a umidade devido o uso de nebulização e molhamento na carga, mantendo o ambiente próximo da saturação de vapor d'água. Os autores concluíram que as aves, em termos de temperatura, mantiveram-se dentro do conforto térmico, porém numa faixa de estresse quando observados os valores de umidade relativa.

2.4 MORTE NA CHEGADA OU “DEAD ON ARRIVAL” (DOA)

O bem-estar dos frangos de corte tem sido um desafio para a indústria avícola, e uma gestão adequada é um tema para prevenir as condições de estresse que podem comprometer a qualidade da carne, como no caso da carne PSE e DOA (Mitchell & Kettlewell, 1998, Barbut et al. , 2008, Olivo & Shimokomaki, 2006). A mortalidade observada nas operações pré-abate é denominada de morte na chegada ou DOA (Bayliss & Hinton, 1990; Warriss et al., 2005).

Bayliss & Hinton (1990) afirmaram que as mortes no transporte podem ser influenciadas pela saúde dos animais, estresse térmico e injúrias e traumas ocorridos nas etapas anteriores ao transporte. Conforme Ritz et al. (2005) 35% de DOA são devidos às injúrias como fraturas, deslocamentos, contusões e traumas na carcaça, ocasionados durante as operações de apanha e carregamento. Contudo, com as operações pré-abate, a mortalidade é somente identificada na linha de abate, mais precisamente quando as aves estão prestes a ser penduradas na nórea.

Warriss et al. (2005) reportaram que existe um efeito da variação sazonal na mortalidade das aves. Os autores observaram um aumento do número de DOA durante o verão quando comparado com o inverno.

Tabbaa & Alshawabkeh (2000), analisando os fatores que afetam os índices de mortalidade durante o transporte de aves, observaram diferenças significativas entre as estações do ano e a mortalidade das aves. Pesquisas realizadas no Reino Unido demonstraram que mais de 40% das aves no DOA tem como causa o estresse durante o transporte e a mortalidade aumentava conforme a extensão da jornada (Mitchell & Kettlewell, 1998). Knowles (1994) em pesquisa com transporte de aves poedeiras estimou DOA de 0,2 a 0,5% atribuídas aos extremos de temperatura no caminhão e umidade na carga. Bayliss e Hinton (1990) em pesquisa com galpões de espera observaram que os galpões dotados de sistema de climatização eficiente, com nebulização e ventilação, registraram menor mortalidade (0,2% nos caminhões), enquanto que a condição térmica severa, a média de DOA foi de 0,34%. Em galpões dotados apenas de ventilação forçada e sem cobertura de proteção a mortalidade apresentou valores entre 0,56 e 0,64%.

Jorge (2008) avaliou a taxa de mortalidade na chegada ao abatedouro e as principais lesões encontradas nos frangos de corte, galinhas de postura de descarte e matrizes de descarte. O autor observou que o índice de mortalidade (1,23%) foi maior em animais que foram transportados por períodos mais longos, sendo superior ao encontrado por Branco (2004) que relatou valores de 0,30% e 0,20% no verão e inverno, respectivamente. Nijdam et al (2004), analisando 1.907 lotes de frango de corte, originárias de granjas holandesas e alemãs, observaram que a média de aves mortas (DOA) foi de 0,46%. Peñuela et al. (2014) em pesquisa sobre a mortalidade e

lesões de frango na Colômbia, relataram valor de DOA de 2,54%, sendo as falhas na prática de manejo e no bem estar animal os responsáveis pelo elevado índice de mortalidade.

Conforme Warriss et al. (1992) a mortalidade aumenta com o tempo de transporte, estando a carga térmica durante o transporte promovendo o estresse moderado ou severo e consequente redução do bem-estar das aves, (Mitchell & Kettlewell, 1998; Mitchell et al., 2001). O estresse térmico durante o transporte resultará na diminuição da qualidade da carne (Gregory et al., 1989; Bressan, 1998) e no aumento dos índices de mortalidade (Hunter et al., 2001). Petracci et al. (2004) verificaram que menos tempo de viagem (<3,5 h) mostrou uma taxa de mortalidade mais baixa (0,24%) de aves em relação ao período mais longo (> 5 h; 0,45%). Scott et al. (1993) e Knowles et al. (1995) mostraram aumento da corticosterona (CORT) e, por conseguinte, o estresse pode conduzir à morte após um período de jejum de 10 a 24 h, respectivamente.

Silva et al. (2011) conseguiram avaliar o prejuízo em abatedouro no Oeste do Paraná através dos valores de DOA. Os autores observaram que em um abate diário de 300.000 aves, os índices de mortalidade verificados no verão (0,16%-0,27%) representaram perda mínima de 360 e máxima de 810 frangos diários. O custo apresentado foi de R\$ 1,75 para cada kg de frango vivo, estes valores significaram um prejuízo de R\$ 1.701,00/dia e máximo de R\$ 3.827,50/dia ao abatedouro. Concluem afirmando que devido aos números exorbitantes obtidos na pesquisa, em avicultura de corte, é necessário investimento em práticas de manejo que reduzam a DOA, como o banho sobre as aves no verão e que distâncias maiores de transporte aumentam a mortalidade dos frangos.

2.6 ALTERAÇÕES NA ESTRUTURA MUSCULAR PROMOVIDAS PELO MANEJO

A compreensão das relações entre as propriedades da estrutura do músculo e seu emprego como carne, é essencial para o conhecimento dos vários exemplos da influência do estado de contração das miofibrilas ou da magnitude da degradação das estruturas sobre os parâmetros de qualidade da carne (Cassens, 1994).

Segundo McVeigh & Tarrant (1982) a alimentação imediatamente antes do abate e o jejum *ante mortem* influencia na concentração de glicogênio muscular que, para Olivo & Shimokomaki (2001), estará disponível para produção de ATP que influenciará na glicólise e na produção de ácido láctico, e, como consequência, na velocidade de instalação do *rigor mortis*.

Animais com desenvolvimento muscular acelerado sofrem de alterações na velocidade da glicólise, acarretando em modificações nas características de qualidade da carne (Sandercock et al., 2001).

Os fatores relacionados ao bem-estar animal e manejo pré-abate que envolvem estresse e esforço realizado pelos animais durante o embarque, transporte, desembarque, e descanso pós-transporte, incidem na qualidade da carne, pois interferem no grau em que o músculo foi exercitado e fatigado (Devine et al. 2006).

Komiyama et al. (2005) analisaram o efeito de diferentes tempos de jejum sobre a qualidade da carne. Os autores constataram que tempos muito curtos de jejum (até 4 horas) promovem perdas nas características de cor, pH, capacidade de retenção de água (CRA) e força de cisalhamento (FC). O jejum pode atuar diminuindo a velocidade de instalação do *rigor mortis*, determinando variações indesejáveis na qualidade final da carne (Bressan & Beraquet, 2002).

Para Ludtke et al. (2008) com a elevação do tempo de jejum, eleva o pH do papo, possibilitando a proliferação de *Salmonella sp.* que, associado à ingestão de cama devido à longa privação de alimento, a carga bacteriana no papo aumenta, possibilitando o rompimento durante o processamento que contamina toda a carcaça.

Segundo Alvarado & Sams (2000) e Aberle et al. (2001) o declínio do pH é uma das principais características das alterações *post-mortem* durante a conversão do músculo em carne, sendo ainda, proporcional ao acúmulo de ácido láctico e, inversamente proporcional à reserva de glicogênio da musculatura animal, esta apresentando pH final de 6,9 a 7,2 e reduções crescentes nas concentrações de ATP e fosfocreatina.

Wheeler et. al. (1994) analisaram o tempo *post-mortem* ao comprimento do sarcômero na carne de cordeiros. Os autores observaram que após o abate, o comprimento do sarcômero foi de 2,24 μm e a força de cisalhamento de 5,07 kgf e, após 24 h, o sarcômero reduziu para 1,69 micrômetros, ocasionando um aumento de 60% no valor da força de cisalhamento.

Para O'Halloran et al. (1997) a desestruturação da Banda-I é ocasionada pelo deslocamento da actina do complexo actomiosina ocorrendo paralelamente o enfraquecimento dos vínculos das proteínas contráteis. Quali (1992) destaca que a desmina forma estruturas nos sarcômeros sofrendo degradação pelas calpaínas, ocasionando, conseqüentemente a deterioração da linha Z, que segundo Slinde & Kryvi (1986) estas linhas Z's sofrem alterações, sendo fragmentadas tanto longitudinalmente quanto transversalmente, passando por sucessivas quebras, desintegrando gradualmente a organização dos sarcômeros.

Conforme Prates (2000) e Christensen et al. (2004) a taxa de redução da temperatura e do pH, bem como seus dados finais são fatores importantes que influenciam o processo de *rigor mortis*. Modificações de pH correspondem à formação de ácido láctico resultante da glicólise anaeróbia posteriormente da aquisição e de transporte de oxigênio e glicose devido a sangria do animal, culminando para o valor final. Com a redução do pH inicia-se os sistemas proteases cálcio-dependentes (calpaínas) e lisossomais (catepsinas) na conversão do músculo em carne, interferindo na qualidade sensorial e microbiológica.

A falta de energia disponível promove uma alteração do metabolismo aeróbio para anaeróbio que beneficia a produção de ácido láctico, resultando em diminuição do pH para aproximadamente 5,4-5,8. A força iônica é parcialmente elevada devido ao não funcionamento da bomba de ATP dependente de Ca^{2+} , Na^+ e K^+ e uma crescente insuficiência da célula de manter as condições de redução, repercutindo em várias proteínas na célula muscular, principalmente em um dos sistemas de enzimas proteolíticas (calpaínas), que tem expressiva significância no amaciamento que ocorre durante a maturação *post-mortem* (Lonergan et al., 2010).

A produção de ácido láctico se dá com a glicólise *post-mortem*, promovendo o declínio do pH e a interação entre actina e miosina que causam alterações nas cargas elétricas e nas características das proteínas musculares (Pardi et al., 2001). O baixo pH faz com que a actina e miosina se interajam irreversivelmente resultando na actomiosina no *rigor mortis*, caracterizado pelo encurtamento definitivo dos sarcômeros, ficando a carne menos macia pela perda da extensibilidade (Price e Schweigert, 1994).

Conforme Costa et al. (2006) a velocidade das modificações bioquímicas que ocorrem no *post-mortem* é influenciada pela temperatura e pela estimulação elétrica, sendo a velocidade, um importante interferente nas características sensoriais da carne.

Lesiak et al. (1996) analisaram as alterações *post-mortem* na coxa e no peito de perus. Obtiveram pH inicial de 6,44 (coxa) e 6,27 (peito) e pH final de 5,65 e 5,50, respectivamente. Os autores concluíram que a temperatura e o tempo de armazenamento incidiram significativamente a redução do pH *post-mortem*. Em pesquisa sobre as alterações *post-mortem* no músculo (*Pectoralis major*) de 15 perus, Molette et al. (2003) verificaram que a temperatura de armazenamento não surtiu efeito sobre as modificações de pH. Koczak et al. (2003) afirmaram que a estrutura dos sarcômeros sofre alterações que progredem com o armazenamento, ocorrendo um aumento da Faixa I acompanhada por desaparecimento parcial da linha M e degradação do disco Z e, conseqüente formação de fragmentos de miofibrilas. Esses processos podem variar dependendo de fatores como espécie e raça, estrutura e atividades fisiológicas dos músculos e a atividade proteolítica das enzimas.

Honikel et al. (1980) analisaram a glicólise através de medidas de metabólitos com os músculos do pescoço de bovinos. Os autores observaram, após 15 horas de abate, uma queda no pH do músculo de 6,6 para valores menores que 6, com uma fase estacionária próxima de 5,6. Observaram, ainda, uma alta concentração de glicogênio no momento do abate, e uma baixa concentração após 15-20 horas pós-abate associado a um baixo valor de pH (aproximadamente 5,7).

2.6.1 A Carne Pálida, Flácida e Exudativa (PSE)

Um dos maiores problemas encontrados na indústria processadora é a carne PSE, cujo termo tem origem das palavras inglesas *pale, soft and exudative*, que significam carne pálida, flácida e exsudativa (Dirinck et al., 1996).

O fenômeno PSE está relacionado diretamente com o bem-estar animal e qualidade de carnes; sendo que sua mensuração tem sido utilizada como modelo para a medida da intensidade do estresse em diferentes situações (Olivo & Shimokomaki, 2006; Simões et al., 2010; Carvalho et al., 2014).

A sua ocorrência data do final da década de 70, com publicações como a de Froning et al. (1978) que demonstraram que perus submetidos ao estresse pré-abate, apresentavam uma redução acelerada no pH. Kijowski & Niewiarowicz (1978) sugeriram que o pH indicativo de carne PSE em frangos seria de 5,7 no tempo de 15 minutos *post-mortem*.

Segundo Cheah et al., (1984) as características de carnes PSE, foram inicialmente caracterizadas em suínos procedentes da manifestação da síndrome de *Porcine Stress Syndrome* (PSS) ou Hipertermia Maligna (HM) (Fujii et al., 1991). A PSS é ocasionada por fatores de estresse ambientais e/ou fisiológicos, como alterações na temperatura ambiente, excitação, transporte e exercícios, que podem ocasionar à morte inesperada dos animais (Cheah et al., 1984).

Solomon et al. (1998) e Sosnicki et al. (1998) afirmaram que o desenvolvimento de carnes PSE em aves apresenta semelhanças com as de suínos, contudo, ainda não está elucidado se existe uma relação entre as linhagens de frango e a condição PSE.

A carne PSE compromete as propriedades funcionais devido à rápida glicólise *post-mortem*, a qual acelera a diminuição de pH muscular enquanto a temperatura da

carcaça ainda está elevada (Barbut, 1997; Fernandez et al., 2002), ocasionando à desnaturação de proteínas musculares (Molette et al., 2003). Conforme Dransfield & Sosnicki (1999) durante o declínio de pH, um aumento de 10°C aumenta a desnaturação de proteínas musculares em 20 vezes.

A rápida redução de pH e a alta temperatura da carcaça, inativa o sistema calpaína e reduz o amaciamento *post-mortem* da carne (Dransfield & Sosnicki, 1999).

Devido à grande concentração de cálcio durante a formação de carne PSE em aves, ocorre aumento da atividade das proteases, que compromete a integridade da estrutura muscular, interferindo na funcionalidade da proteína da carne de frango (Wilhelm et al., 2010).

Para Shimokomaki et al. (2012) o diâmetro médio da célula de amostras PSE é aproximadamente 10,0% menor ($P < 0,001$) que as amostras de carnes normais. Os autores concluíram que este resultado, em adição aos obtidos da perda por gotejamento, sugeriu que existe uma perda da capacidade de retenção de água da carne, o que pode ser devido à desnaturação proteica. Van Laack et al. (2000) analisando a caracterização da carne de frangos PSE, selecionaram peitos pálidos e normais em uma planta de abate comercial, e relataram em seus resultados que o comprimento dos sarcômeros das carnes PSE e normal não diferiram significativamente ($P < 0,05$), não confirmando a relação com a CRA. Conforme Shimokomaki et al. (2012) a água se move a partir de compartimentos miofibrilar para compartimentos interfibrilar e em seguida para o extracelular, assim o gotejamento é formado na superfície da carne dando a aparência aquosa nas amostras de carne PSE.

Os sarcômeros são de igual comprimento e largura, mas as linhas Z e M degradadas indicam que existe alguma atividade de protease dentro do músculo. A concentração excessiva de íons Ca^{2+} durante a instalação de carne PSE favorece o

aumento da atividade de enzimas cálcio-dependente, como a fosfolipase A2 (PLA2) (Cheah et al., 1995; Soares et al., 2003) e calpaínas (Santos et al., 2008; Wilhelm et al., 2010). A fosfolipase A2 citosólica (cPLA2), que conforme Cheah e Cheah (1981) e Cheah et al. (1995) é a enzima chave na formação de carnes PSE em suínos e frangos (Soares et al., 2003), é ativada pelo Ca^{2+} , hidrolisando os fosfolipídios da membrana e permitindo que os ácidos graxos insaturados de cadeia longa induzam o retículo sarcoplasmático a liberar mais íons Ca^{2+} , gerando a perda de controle da glicólise e a formação elevada de ácido láctico.

Rouet-Mayer et al. (1995) e Murakami & Kudo (2002) afirmaram que através da atividade enzimática da fosfolipase A2 (PLA2), é possível determinar a incidência de carne PSE. Os autores definem a PLA2 como uma enzima lipolítica que catalisa a hidrólise da posição sn-2 dos glicerofosfolipídios das membranas que liberam ácidos graxos, lisofosfolipídios, diacilglicerol e/ou ácido fosfatídico. Soares et al. (2003) realizaram pesquisa sobre a verificação da atividade da fosfolipase A2 em aves de corte estressadas pelo calor e, observaram que a ativação da PLA2 foi desencadeada em frangos com estresse, sugerindo que o aumento relativo dessa atividade ao ambiente sarcoplasmático de maior concentração de Ca^{2+} seria o precursor dos sintomas do PSE, indicando a possibilidade de que assim como nos suínos possa existir o *Avian Stress Syndrome* similar ao PSS. Segundo Fujii et al. (1991) e Mickelson & Louis (1996) o surgimento da carne PSE em suíno ocorre quando uma mutação na posição 1843 da base C (citosina) para base T (timina), promovendo a substituição de um resíduo de arginina na posição 615 da sequência normal da proteína receptora de rianodina (RyR1) do retículo sarcoplasmático, para um resíduo de cisteína na sequência da proteína mutante e resultando na disfunção da proteína RyR. Esta disfunção causa uma contração

muscular intensa e uma aceleração da glicólise *post-mortem*, o que reduz rapidamente o pH do tecido muscular e resulta no desenvolvimento de carne PSE.

Uma deformidade no receptor RyR acarreta na manutenção do canal aberto, e portanto um efluxo de cálcio no sarcoplasma (Mickelson & Louis, 1996). Como o canal é mantido aberto, dificulta-se a retirada do cálcio do sarcoplasma acarretando na contratura muscular, hipermetabolismo e hipertemia (Fujii et al., 1991).

Oda et al. (2009) avaliaram a expressão do gene RYR das isoformas α e β nas células musculares da carne de peito de frango de corte PSE e da carne não-PSE. Os autores não encontraram diferenças na expressão α RYR em nenhuma linhagem. No entanto, uma diminuição na expressão β RYR foi observada na carne PSE para ambas linhagens. Estes resultados forneceram a primeira evidência de que a carne de frango PSE pode resultar de um excesso de Ca^{2+} citosólico causada pela expressão diferencial das proteínas RYR (Oda et al., 2009).

Em perus, foram identificadas algumas variantes de RYR, porém, não estavam relacionados com mudanças no DNA RYR ou para a ocorrência de carnes PSE. Assim, as sequências de genes envolvidos na formação de carne PSE, especialmente o gene RYR, estão sendo avaliadas para identificar mutações que explicariam uma origem genética semelhante em carne de aves, assim como em PSE, ou para identificar um marcador molecular para a formação de carne PSE. Tal informação pode levar ao desenvolvimento de uma ferramenta de diagnóstico molecular que poderia ser utilizada para prever o desenvolvimento anormal de carne de frango de corte (Paião et al., 2013).

Olivo et al. (2001) afirmaram em sua pesquisa, que a vitamina E adicionada à alimentação dos frangos, promove um aumento no tempo da glicólise, elevando a estabilidade das membranas mitocondriais, impossibilitando a liberação dos íons de Ca^{2+} . Isto, devido à vitamina E possuir um efeito endógeno na carne elevando a

concentração de α -tocoferol nos fluidos e a preservação da membrana, inibindo o desenvolvimento da anomalia PSE e conseqüentemente, o melhoramento das características funcionais da carne.

De acordo com Olivo et al. (2001), quanto maior o grau de desnaturação proteica, menor luminosidade é incidida nas fibras, promovendo maior dispersão da luz, o que origina palidez à carne (Figura 6).

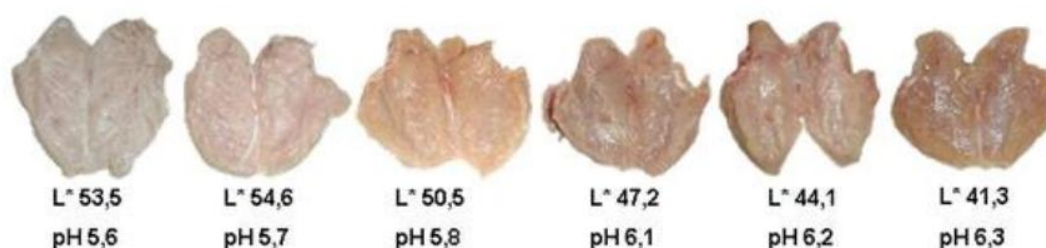


Figura 6 - Coloração na superfície da carne relacionado com a desnaturação das proteínas, promovida pelo declínio do pH.

Fonte: Oda et al. (2003).

O fenômeno PSE, deste modo, é prognosticado pela combinação de pH, cor e capacidade de retenção de água nos músculos do peito (Swatland, 1995). Segundo Lara et al. (2002), o fenômeno PSE em frangos pode ser constatado pela combinação dos valores de pH (< 5,8) e cor ($L^* > 52,0$) aferidos em 24 horas após o abate. Alguns pesquisadores propuseram a utilização de valores de L^* 24h *post-mortem* (sistema CIELAB ou Hunter) para classificar carnes de aves em PSE e normal, sendo que Barbut (1997) sugeriu valores de $L^* \geq 49$ para carnes de frango PSE. Vários autores, dentre eles Qiao et al. (2001), Soares et al. (2002) e Oda et al. (2003) sugeriram, para carnes de

frango PSE, valor de $L^* > 53,0$, para carnes de frango DFD, valor de $L^* < 44,0$ e para carnes de frango normal, valor de $L^* > 44,0$ e $< 53,0$.

Estima-se que carnes PSE representam de 5 a 40% de toda a carne de aves utilizada na indústria (Barbut, 1996; Owens et al., 2000). No Brasil, segundo Soares et al. (2003), as estatísticas de incidência de PSE foram de 22%, numa produção nacional anual de 4,03 trilhões de frangos, 800 mil toneladas foram carnes com a anomalia. Para Oda et al. (2003) em termos econômicos, o prejuízo poderia alcançar o montante de US\$ 9 milhões anuais.

2.6.2 A Carne Escura, Firme e Seca (DFD)

O aumento da atividade metabólica promovido pelo estresse faz com que o sangue distribua inadequadamente os nutrientes e o oxigênio para os músculos. Desta forma, o glicogênio armazenado se hidrolisa. Conseqüentemente, o glicogênio que é necessário para modificações pós-mortem é esgotado, não se obtém uma carcaça de boa qualidade (Arslan, 2002). Conforme Immonen et al. (2000, 2000a), apresenta vida de prateleira reduzida, pouco sabor e a cor vermelha escura indesejável, sendo que a causa do pH elevado é a baixa concentração de glicogênio muscular durante o *post-mortem*.

As proteínas miofibrilares tornam-se ionizadas devido saírem da zona do ponto isoelétrico, potencializando a sua capacidade de reter molécula de água. A superfície da carne, se torna seca e a presença da água intracelular desenvolve a cor avermelhada. Similar à carne PSE, a incidência da carne DFD depende do manejo pré-abate, sendo que a utilização do banho e da ventilação podem aumentar a sua ocorrência (Oda et al., 2003).

O fenômeno DFD promove o escurecimento da carne que, conforme Swatland (1995), devido o elevado pH, as proteínas miofibrilares apresentam alta capacidade de retenção de água, absorve mais luz do que o normal; são firmes devido as fibras estarem intumescidas pelo preenchimento com fluidos sarcoplasmáticos e, seca porque a água endógena da carne está fortemente ligada às proteínas, não permitindo fluir para a superfície (Olivo & Olivo, 2006). Segundo Miller (2007) na anomalia DFD, a água é retida na carne deixando-a mais escura, isto, devido a luz incidente penetrar mais na carne, sendo em seguida, absorvida pelos seus diversos componentes e, conseqüentemente, menos refletida.

Várias pesquisas sobre carne DFD em peito de frangos de corte têm sido desenvolvidas (Barbut, 1997; Qiao et al., 2001; Woelfel et al., 2002). A carne DFD apresenta fibras musculares dispostas de maneira compacta em comparação com carne normal (Barbut et al., 2005).

De acordo com Warriss et al. (1988), aves que são privadas de alimentação por período de 6 h antes do abate possuíam o glicogênio reduzido no fígado ($< 1,0$ mg/g) e pH final elevado no músculo *Biceps femoris*. Patos com mais de 8 horas de jejum e que foram forçados a se movimentarem por aproximadamente 10 minutos antes do abate apresentaram características de carne DFD (Chen et al., 1991).

Vários autores sugerem valores de 6,1 ou superior em relação ao ponto de corte ou *cutoff* para pH final de carne com características DFD (Barbut, 1997; Qiao et al., 2001; Woelfel et al., 2002; Barbut et al., 2005). Allen et al. (1998), apontaram que filés de frango escuros proporcionam maior susceptibilidade ao desenvolvimento bacteriano do que os filés mais claros.

Qiao et al. (2002) após observarem diferenças significativas entre os teores de proteínas, cinzas, e ácidos graxos livres de três grupos de carnes: muito pálida ($L^* > 53$), normal ($48 < L^* < 51$) e muito escura ($L^* < 46$), afirmaram que o desenvolvimento de carnes DFD em frangos pode ser devido à predisposição genética ou fatores de estresse *ante mortem*.

Boulianne & King (1998) encontraram correlação entre pH alto e cor escura e, diferença significativa para as concentrações do total dos pigmentos de cor, de hemoglobina e de ferro.

Qiao et al. (2001) encontraram significativa correlação entre peitos de frangos de coloração mais escura e melhores propriedades funcionais, medidas pela CRA e pela capacidade de emulsificação. Mallia et al. (2000) relataram que carne de frango DFD apresentaram maior CRA, menor perda no cozimento e maior força de gel.

De acordo com Oda et al. (2003) a elevada incidência de casos de carnes DFD pode ser devido às condições de manejo pré-abate, possuindo como fatores de riscos: baixas temperaturas ambientais; privação da ração e o tempo de transporte das aves.

3. OBJETIVOS

3.1 GERAL

- Estimar o bem-estar de frangos de corte durante o manejo pré-abate através da medida da incidência de carnes PSE (Pale, Soft, Exudative) e DFD (Dark, Firm, Dry) em frigorífico situado na Região Nordeste do Brasil nas estações seca e chuvosa.

3.2 ESPECÍFICOS

- Investigar, nas estações seca e chuvosa, a ocorrência de PSE e DFD em filés de peito de frango (*Pectoralis major*) em abatedouro comercial;
- Caracterizar as condições de transporte, da granja ao abatedouro, na região Nordeste associando com a ocorrência de carnes PSE e DFD e morte na chegada, ou *Dead on Arrival* (DOA).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 ANIMAIS

4.1.1 Da Incidência

Um universo de 2.800 amostras de frango comercial, linhagem *Cobb*, genero misto, pesando $3,03 \pm 0,23$ kg, e idade entre 42-47 dias, foram coletados durante as estações chuvosa (n = 1.400, de Maio a Julho/2014) e seca (n = 1.400, de Agosto a Novembro/2015). As condições climáticas no abatedouro foram caracterizadas pelas temperaturas e umidades mínimas e máximas em cada estação, obtidas em um medidor de estresse térmico (homis termômetro IBGTU-globo).

4.1.2 Do Transporte

Para análise do transporte foram coletadas aleatoriamente ainda na granja 1.400 aves na estação chuvosa (Maio a Julho de 2014), sendo as condições ambientais, caracterizadas pela temperatura mínima de $21,2^{\circ}\text{C}$ e máxima de $26,1^{\circ}\text{C}$, e umidade relativa mínima de 78,4% e máxima de 89,7%. As aves passaram pelo jejum hídrico e alimentício de $9:00 \pm 0:30$ h antes do transporte.

4.2 A GRANJA

A granja (Fig. 7A), com aproximadamente 500 m^2 , tem capacidade para alojar 32.000 frangos. O barracão é construído de alvenaria, cobertura de telha de amianto e

piso de chão batido. Dotado de nebulizador e ventilação (Fig. 7B), cortina externa plástica (Fig. 7C), sistema automático para controle de temperatura e umidade (Fig. 7D) e sistema de alimentação automatizado. Na estação chuvosa, apresentou temperatura interna de 22° a 26°C e umidade relativa de 76 a 79%.



Figura 7. **A.** Barracão com as aves alojadas. **B.** Ventiladores utilizados no barracão. **C.** Parede lateral com a cortina plástica. **D.** Sistema de controle automático de temperatura e umidade relativa do barracão.

4.3 TRANSPORTE DOS FRANGOS DA GRANJA AO ABATEDOURO

As aves foram transportadas das granjas localizadas no município de Touros-RN para uma planta de processamento comercial em Guarabira-PB inspecionada pelo S.I.F

(Serviço de Inspeção Federal) a uma distância de 289 km, com duração do percurso de 350 minutos. A capacidade de cada gaiola foi de 8 frangos e, a máxima de cada caminhão de 560 gaiolas contendo 4.480 frangos. No presente trabalho foram utilizados 3 caminhões carregados com 560 gaiolas cada, totalizando 13.440 frangos transportados.

A velocidade média do caminhão durante o percurso variou de 20 a 75 km/h. A estrada foi mista, constituída por trechos de terra, piçarra e barro, sendo grande parte do trajeto em estrada de asfalto (Estradas Estaduais RN-003, 023, 93, 120, 203 e PB-081 e 073).

O registro de acompanhamento dos lotes da apanha na granja até o final do abate foi obtido por meio do preenchimento de uma ficha (Apêndice A) contendo as seguintes informações: data da coleta, proprietário, identificação do lote, linhagem, idade, número de aves do lote, número de aves por caminhão e gaiola, horário da retirada da ração, horário da apanha, distância percorrida da granja até o abatedouro, tempo de transporte, temperatura ambiente no momento do carregamento, tempo de banho de aspersão com ventilação forçada no galpão de espera, recebimento de jato de água na granja, percentual de mortalidade, condições climáticas, horário do início do abate e observações complementares. Este registro foi utilizado para subsidiar a análise dos dados.

Para o acompanhamento do microambiente dos caminhões durante o transporte foram obtidos os valores de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), umidade relativa do ar (%), ventilação (m/s) e a sensação térmica (*heat index*) ($^{\circ}\text{C}$) (NOAA, 2016) (calculada com base na relação entre temperatura do bulbo seco e umidade relativa) utilizando aparelhos registradores (termohigroanemômetros marca Nielsen-Kellerman, modelo Kestrel 4000) configurados para salvar um registro a cada 30 segundos. Os equipamentos foram

inseridos nas caixas posicionadas em seis pontos diferentes do caminhão (Figura 8): frontal, mediana e traseira, tendo em cada região dois registradores.



Figura 8 – Localização dos aparelhos registradores: Superior Frontal (SF); Inferior Frontal (IF); Superior Meio (SM); Inferior Meio (IM); Superior Traseiro (SR); e Inferior Traseiro (IR).

4.4 ESPERA PARA ABATE

Após a chegada ao abatedouro, os animais foram submetidos ao banho em chuveiros de aspersão ligados em série, por aproximadamente 5 minutos. Posteriormente, os caminhões foram para o galpão de espera para abate contendo ventiladores, por um tempo médio de 5 h.

4.5 PROCESSO DE ABATE

A prática padrão da indústria seguiu a sequência da apanha, insensibilização elétrica, sangria, escaldagem, evisceração, resfriamento da carcaça através de um *chiller*, desossa, e, retirada de amostras de peito (*Pectoralis major*). As amostras foram coletadas e refrigeradas a $4,0 \pm 1,0$ °C durante 24 h para posterior análise da cor, pH e capacidade de retenção de água (CRA).

4.6 TAXA DE MORTALIDADE

A taxa de mortalidade (%), ou *Dead on Arrival* (DOA) foi calculada pela razão entre o número de aves mortas na chegada ao abatedouro e a densidade inicial multiplicado por 100.

Procedeu-se também ao registro da mortalidade total ocorrida em cada carregamento avaliado, obtidos com apoio da equipe do abatedouro, na área de pendura.

4.7 CLASSIFICAÇÃO DA CARNE PSE E DFD

4.7.1 Medida da Cor e pH da Carne

Foi realizada a análise da cor (L^* , a^* , b^*) utilizando-se um colorímetro portátil Minolta (Konica Minolta Sensing Inc., Osaka, Japan) modelo CR400 no sistema CIELAB, com área de medição de 8 mm de diâmetro, ângulo de observação de 10° e iluminante D65. As medidas de luminosidade foram realizadas na face ventral do filé com 24h *post-mortem*, tomando três pontos diferentes de leitura por amostra (Soares et al., 2003) com adaptação. Para classificação os valores da cor foram determinados como

$L^* \geq 51,0$ para carnes PSE, $L^* \leq 45,0$ para carnes DFD, e $45,0 < L^* < 51,0$ para carnes normais.

Para determinação do pH, introduziu-se os eletrodos na parte cranial ventral dos filés usando o pH meter system (Testo 205, Lenzkirch, Germany) segundo a metodologia de Olivo et al. (2001) com adaptação. Os valores de pH foram definidos como $\text{pH} \leq 5,9$ para PSE, $\text{pH} \geq 6,2$ para DFD e $5,9 < \text{pH} < 6,2$, para grupos normais.

4.8 CAPACIDADE DE RETENÇÃO DE ÁGUA (CRA)

A medida de CRA foi realizada em triplicata nos filés (PSE, DFD e Normal), coletados com 24 horas *post-mortem* de acordo com o método descrito por Hamm (1960).

4.9 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Para as análises estatísticas foi utilizado o software Statistica, versão 7.0 (Statsoft Inc, 2004), sendo os resultados das análises submetidos às análises estatísticas descritivas (média e desvio padrão), de variância (ANOVA), correlação de Pearson ($P < 0,01$), Teste de Tukey ($P < 0,05$) e Test t de Student ($P < 0,05$).

REFERÊNCIAS

ABERLE, E. D.; FORREST, J. C.; GERRARD, D. E.; EDWAR, W. M. **Principles of meat science**. 4 ed. Iowa: Kendall/Hunt Pub. Co., 2001. 354 p.

ABPA. Associação Brasileira de Proteína Animal. **Relatório Anual 2015**. Disponível em: <http://abpa-br.com.br/files/RelatorioAnual_UBABEF_2015_DIGITAL.pdf>
Acessado em: 01 de junho de 2016.

ABPA. Associação Brasileira de Proteína Animal. **Relatório Anual 2016**. Disponível em: <http://abpa-br.com.br/storage/files/versao_final_para_envio_digital_1925a_final_abpa_relatorio_anual_2016_portugues_web1.pdf>. Acessado em: 28 de maio de 2016.

AKŞIT, M.; YALÇIN, S.; ÖZKAN, S.; METIN, K.; OZDEMIR, D. Effects of temperature during rearing and crating on stress parameters and meat quality or broilers. **Poultry Science**, v. 85, p. 1867-1874, 2006.

ALBINO, L.F.T.; TAVERNARI, F.C. **Produção e manejo de frangos de corte**. Série didática. Viçosa: Editora UFV, 2008. 88 p.

ALLEN, C. D.; FLETCHER, D. L.; NORTHCUTT, J. K.; RUSSELL, S. M. The relationship of broiler breast color to meat quality and shelf-life. **Poultry Science**, v. 77, n. 2, p. 361-366, 1998.

ALVARADO, C. Z.; SAMS, A. Rigor mortis development in turkey breast muscle and the effect of electrical stunning. **Poultry Science**, v. 79, p. 1694-1698, 2000.

ANUALPEC. **Anuário da pecuária brasileira**. 13.ed. São Paulo: Instituto FNP, 2006. 369 p.

ARSLAN, A. **Et muayenesi ve et ürünleri teknolojisi**. Malatya, Turkey: Medipress. p. 344-353, 2002.

BARBOSA FILHO, J. A. D.; VIEIRA, F. M. C.; SILVA, I. J. O.; GARCIA, D. B.; SILVA, M. A. N.; FONSECA, B. H. F. Transporte de frangos: caracterização do microclima na carga durante o inverno. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, p. 2442-2446, 2009.

BARBUT, S. Estimates and detection of the PSE problem in young turkey breast meat. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 76, p. 455-457, 1996.

BARBUT, S. Problem of pale soft exsudative meat in broiler chickens. **British Poultry Science**, Roslin, v. 38, p. 355- 358, 1997.

BARBUT, S.; ZHANG, L.; MARCONE, M. Effects of pale, normal, and dark chicken breast meat on microstructure, extractable proteins, and cooking of marinated fillets. **Poultry Science**, v. 84, p. 797–802, 2005.

BARBUT, S.; SOSNICKI, A. A.; LONERGAN, S. M.; KNAPP, T.; CIOBANU, D. C.; GATCLIFFE, L. J.; HUFF-LONERGAN, E.; WILSON, E. W. Progress in reducing the pale, soft and exudative (PSE) problem in pork and poultry meat. **Meat Science**, 79, 46-63, 2008.

BAYLISS, P. A.; HINTON, M. H. Transportation of broilers with special reference to mortality rates. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 28, p. 93-118, 1990.

BELUSSO, D.; HESPANHOL, A. N. evolução da avicultura industrial brasileira e seus efeitos territoriais. **Revista Percurso**, v. 2, n. 1, p. 25-51, 2010.

BOULIANNE, M.; KING, A. J. Meat color and biochemical characteristics of unacceptable dark-colored broiler chicken carcasses. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 63, n. 3, p. 759-762, 1998.

BRANCO, J.A.D. Manejo pré-abate e perdas decorrentes do processamento de frango de corte. In: CONFERÊNCIA APINCO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AVÍCOLAS, 2004, Santos, SP. **Anais...** Campinas: FACTA, 2004. V.2, p.129-142.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Aves**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/portal/page/portal/Internet-MAPA/pagina-inicial/animal/especies/aves>>. Acesso em: 21/05/2016.

BRESSAN, M. C. **Efeito dos fatores pré e pós-abate sobre a qualidade da carne de peito de frango**. 1998. 201 p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP.

BRESSAN, M. C.; BERAQUET, N. J. Efeito de fatores pré-abate sobre a qualidade da carne de peito de frango. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 26, n. 5, p. 1049-1059, 2002.

CARLISLE, A. J.; MITCHELL, M. A.; HUNTER, R. R.; DUGGAN, J. A.; RANDALL, J. M. Physiological responses of broiler chickens to the vibrations experienced during road transportation. **British Poultry Science**, v. 39, p. 48-49, 1998.

CARVALHO, R. H., SOARES, A. L., HONORATO, D. C., GUARNIERI, P. D., PEDRÃO, M. R., PAIÃO, F. G.; SHIMOKOMAKI, M. The incidence of pale, soft, and exudative (PSE) turkey meat at a Brazilian commercial plant and the functional properties in its meat product. **LWT - Food Science and Technology**, v. 59, n. 2, p. 883- 888, 2014.

CASSENS, R. G. La estructura del músculo. In: PRICE, J. F.; SCHWEIGERT, B. S. **Ciencia de la carne y de los productos carnicos**. 2 ed. Zaragoza: Acribia, p. 11- 48, 1994.

CHEAH, K. S.; CHEAH, A. M. Skeletal muscle mitochondrial phospholipase A2 and the interaction of mitochondrial and sarcoplasmic reticulum in porcine malignant hyperthermia. **Biochimica Biophysica Acta**, v. 638, p.40-49, 1981.

CHEAH, K. S.; CHEAH, A. M.; CROSLAND, A. R.; CASEY, J. C.; WEBB, A. J. Relationship between Ca^{++} release, sarcoplasmic Ca^{++} , glycolysis and meat quality in halothane-sensitive and halothane-insensitive pigs. **Meat Science**, v. 10, p. 117-130, 1984.

CHEAH, K.S.; CHEAH, A.M.; KRAUSGRILLE, D.I. Effect of dietary supplementation of vitamin E on pig meat quality. **Meat Science**, v. 39, p. 255-264, 1995.

CHEN, M. T.; LIN, S. S.; LIN, L. C. Effect of stresses before slaughter on changes to the physiological biochemical and physical characteristics of duck muscle. **British Poultry Science**, Edinburgh, v. 32, n. 5, p. 997-1004, 1991.

CHRISTENSEN, M.; LARSEN, L. M.; ERTBJERG, P.; PURSLOW, P. P. Effect of proteolytic enzyme activity and heating on the mechanical properties of bovine single muscle fibres. **Meat Science**, v. 66, n. 2, p. 361-369, 2004.

COSTA, F.; SILVA, T. J. P.; FREITAS, M. Q.; TORTELLY, R.; JARDIM, G. J. Caracterização do processo de rigor mortis nos músculos Gastrocnemius e Pectoralis de perus (*Meleagris gallopavo*) e maciez da carne. **Revista Brasileira de Ciência Veterinária**, v. 13, n. 3, p. 165-169, 2006.

COSTA, L. S.; GARCIA, L. A. F.; BRENE, P. N. A. **Panorama do setor de frango de corte no Brasil e a participação da indústria avícola paranaense no complexo dado seu alto grau de competitividade.** Anais do IV Simpósio Internacional de Gestão de Projetos, Inovação e Sustentabilidade, 2015, São Paulo. Disponível em: <<http://www.singep.org.br/4singep/resultado/209.pdf>>. Acessado em: 03 set 2016.

DANTAS, A. F.; PEREIRA FILHO, J. M.; SILVA, A. M. A.; SANTOS, E. M.; SOUSA, B. B.; CÉZAR, M. F. Características da carcaça de ovinos Santa Inês terminados em pastejo e submetidos a diferentes níveis de suplementação. **Ciência e Agrotecnologia**, v.32, n. 4, p.1280-1286, 2008.

DEVINE, C. E.; LOWE, T. E.; WELLS, R. W.; EDWARDS, N. J.; HOCKING EDWARDS, J. E.; STARBUCK, T. J.; SPECK, P. A. Pre-slaughter stress arising from handling and its interactions with electrical stimulation on tenderness of lambs. **Meat science**, v. 73, n. 2, p. 304-312, 2006.

DIRINCK, P.; DE WINNE, A.; CASTEELS, M.; FRIGG, M. Studies on vitamin E and meat quality. 1. Effect of feeding high vitamin E levels on time-related pork quality. **Journal Agricultural Food Chemistry**, v. 44, p.65-68, 1996.

DRANSFIELD, E.; SOSNICKI, A. A. Relationship between muscle growth and poultry meat quality. **Poultry Science**, Savoy, v. 78, p. 743-746, 1999.

DROVAL, A. A. **Carnes PSE (Pale, Soft, Exudative) em frango: Avaliação de parâmetros físicos e sensoriais e análise de polimorfismos em regiões específicas do gene α RyR.** 2011. 162 p. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, PR.

ESPÍNDOLA, C. J. Trajetórias do progresso técnico na cadeia produtiva de carne de frango do Brasil. **Geosul**, v. 27, n. 53, p 89-113, 2012.

EVANGELISTA, F. R.; NOGUEIRA FILHO, A.; OLIVEIRA, A. A. P. A avicultura industrial de corte no Nordeste: aspectos econômicos e organizacionais. In: **Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural**, Acre. 46, 2008, 21 p.

FERNANDEZ, X.; SANTÉ, V.; BAEZA, E.; LEBIHAN-DUVAL, E.; BERRI, C.; RÉMIGNON, H.; BABILÉ, R.; LE POTTIER, G. LE; ASTRUC, T. Effects of the rate of muscle *postmortem* pH fall on the technological quality of turkey meat. **British Poultry Science**, Roslin, v. 43, p. 245-252, 2002.

FREITAS, A. S.; MADRUGA, M. S.; PEDRÃO, M. R.; SOARES, A. L.; SHIMOKOMAKI, M. Diagnósticos de condenações que afetam a produtividade da carne de frangos brasileira: a Região Nordeste. **Revista Nacional da Carne**, v. 449, p. 75-82, 2014.

FREITAS BRASIL, D.; BARBOSA FILHO, J. A. D. **A avicultura e a ambiência na região Nordeste do Brasil**. Núcleo de Estudos em Ambiência Agrícola e Bem-Estar Animal – NEAMBE – Universidade Federal do Ceará, 2012. Disponível em: <<http://www.diadecampo.com.br/zpublisher/materias/Materia.asp?secao=Colunas%20e%20Artigos&id=26143>>. Acesso em: 2 set. 2016.

FRONING, G. W.; BABJI, A. S.; MATHER, F. B. The effect of preslaughter temperature, stress, struggle and anesthetization on color and textural characteristics of turkey muscle. **Poultry Science**, v. 57, n. 3, p. 630–633. 1978. (DOI: 10.3382/ps.0570630).

FUJII, J.; OTSU, K.; ZORZATO, F.; LEON, S.; KHANNA, V. K.; WHEELER, J. E.; O'BRIEN, P. J.; MACLENNAN, D. H. Identification of mutation in porcine ryanodine receptor associated with malignant hyperthermia. **Science**, v. 253, p. 448-451, 1991.

GEBRESENBET, G.; ARADOM, S.; BULITTA, F. S.; HJERPE, E. Vibration levels and frequencies on vehicle and animals during transport. **Biosystems Engineering**, v. 110, p. 10-19, 2011.

GRANDIN, T. Objective scoring on animal handling and stunning practices in slaughter plants. **Journal of The American Veterinary Medical Association**, v.212, p.36-39, 1998.

GREGORY, N.G.; AUSTIN, S.D.; WILKINS, L.J. Relationship between wing flapping at shackling and red wingtips in chicken carcasses. **Veterinary Record**, v.25, n.3, p. 124 -162, 1989.

GUARNIERI, P. D.; SOARES, A. L.; OLIVO, R.; SCHNEIDER, J. P.; MACEDO, R. M.; IDA, E. I.; SHIMOKOMAKI, M. Pre-slaughter handling with water shower spray inhibits PSE (pale, soft, exudative) broiler breast meat in a commercial plant. Biochemical and ultrastructural observations. **Journal of Food Biochemistry**, v. 28, p. 269-277, 2004.

HAMM, R. Biochemistry of meat hydration: advances in food research. **Cleveland**, v. 10, n. 2, p. 335-443, 1960.

HILDEBRAND, A. **Perdas produtivas nas operações pré-abate de frango de corte em relação ao tempo de espera em abatedouros: efeito das estações do ano.** Núcleo de pesquisas em ambiência. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, p. 1, 2006.

HONIKEL, K.O.; FISCHER, C.; HAMM, R. Characteristics and utilization of pre rigor meat. **Annales de Technologie Agricole**, v. 29, n. 4, p. 589-602, 1980.

HUNTER, R. R. Physiological responses of broilers to pré-slaughter lairage: effects of the thermal micro-environment? **British Poultry Science**, v. 39, n. 5, suppl. 1, p. 53-54, 1998.

HUNTER, R.R.; MITCHELL, M.A.; MATHEU, C. Mortality of broiler chicken in transit – correlation with the thermal micro-environment. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM, 6. 2001. **Proceedings...** 21-23 May 2001, Louisville, Kentucky, USA). 2001. p. 542-549.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Banco de Dados por Estado**. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br/estadosat>>. Acessado em: 02 de abril de 2016.

IMMONEN, K.; SCHAEFER, D.M.; PUOLANNE, E.; KAUFFMAN, R.G.; NORDHEIM E.V. The relative effect of dietary energy density on repleted and resting muscle glycogen concentrations. **Meat Science**, v. 54, p. 155-162, 2000.

IMMONEN, K.; KAUFFMAN, R.G.; SCHAEFER, D.M.; PUOLANNE, E. Glycogen concentrations in bovine longissimus dorsi muscle. **Meat Science**, v. 54, p. 163-167, 2000a.

IPARDES. **Análise da competitividade da cadeia agroindustrial da carne suína no estado do Paraná**. Curitiba: Paraná Tecnologia, 2002. 256 p. Disponível em: <http://www.ipardes.gov.br/biblioteca/docs/cadeia_agroindustrial_suina_relatorio.pdf>. Acessado em: 03 de maio de 2016.

JORGE, S.P. **Avaliação do bem-estar animal durante o pré-abate e abate e condição sanitária de diferentes segmentos avícolas.** 2008. 107 p. Tese (Doutorado em Medicina Veterinária) - Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho, Jaboticabal, SP. Disponível em: <<http://www.fcav.unesp.br/download/pgtrabs/mvp/d/401.pdf>>. Acesso em: 11 maio, 2010.

KANNAN, G; HEATH, J. L.; WABECK, C. J.; SOUZA, M. C.; HOWE, J. C.; MENCH, J. A. Effects of crating and transport on stress and meat quality characteristics in broilers. **Poultry Science**, v. 76, p. 523-529, 1997.

KETTLEWELL, P.J.; MITCHELL, M.A.; MEEHAN, A. The distribution of thermal loads within poultry transport vehicles. **Agricultural Engineer**, v.48, p.26-30, 1993.

KETTLEWELL, P.J.; MITCHELL, M.A. The thermal environment on poultry transport vehicles. COLLINS, E. ;BOON, C. (Eds.). In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM, 4., 1993, St. Joseph. **Proceedings...** St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 1993. p. 345-389.

KETTLEWELL, P.J.; HOXEY, R.P.; MITCHELL, M.A. Heat produced by broiler chickens in a commercial transport vehicle. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 75, p. 315-326, 2000.

KIJOWSKI, J.; NIEWIAROWICZ, A. Emulsifying properties of proteins end meat from broiler breast muscles as affect by their initial pH values. **Journal of Food Technology**, Oxford, v. 13, n. 5, p. 451-459, 1978.

KNOWLES, T. G. Handling and transport of spent hens. **World's Poultry Science Journal**, v. 50, p. 60-61, 1994.

KNOWLES, T. G.; WARRISS, P. D.; BROWN, S. N.; EDWARDS, J. E.; MITCHELL, M. A. Responses of broilers to deprivation of food and water for 24 hours. **British Veterinary Journal**, v. 151, p. 197–202, 1995.

KOCZAK, T.; POSPIECH, E.; PALKA, K. LACHIA, J. Changes in structure of *Psoas major* and *minor semitendinosus* muscles of calves, heifers and cows during post-mortem ageing. **Meat Science**, v. 64, n. 1, p. 77-83, 2003.

KOMIYAMA, C. M.; MENDES, A. A.; TAKAHASHI, S. E.; MOREIRA, J.; GARCIA, R. G.; PAZ, I. C. L. A.; SOUZA, H. B. A.; LEONEL, F. R. Efeito do tempo de jejum e do banho de aspersão sobre as características de qualidade de carne de frangos de corte. In: **Conferência APINCO 2005 de Ciência e Tecnologia Avícola**, Campinas: FACTA, p. 173-173, 2005.

LANGER, R. O. S.; SIMÕES, G. S.; SOARES, A. L.; OBA, A.; ROSSA, A.; SHIMOKOMAKI, M.; IDA, E. I. Broiler transportation conditions in a brazilian commercial line and the occurrence of breast PSE (Pale, Soft, Exudative) meat and DFD-like (Dark, Firm, Dry) meat. **Brazilian Archives Biology and Technology**, Curitiba, v. 53, n. 5, p. 1161-1167, 2010.

LARA, J.A.F.; NINOV, K.; BONASSI, C.A.; LEDUR, M.C.; NEPOMUCENO, A.L.; SHIMOKOMAKI, M. Estresse térmico e incidência de carne PSE em frangos. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, n.4, p.15, 2002.

LESIK, M.T.; OLSON, D.G.; LESIAK, C.A.; AHN, D.U.; KROPF, D.H Effects of post mortem temperature and time on the water-holding capacity of hot-boned turkey breast and thigh muscle. **Meat Science**, v. 43, p. 51-60, 1996.

LIMA, K. B.; SILVA, R. A.; ALBUQUERQUE NETO, F. A.; OLIVEIRA, A. V. B.; COSTA, E. R. C. Avaliação do sistema de produção da avicultura industrial nas regiões de Pombal e Catolé do Rocha - PB. **Revista Verde**, v. 8, n. 2, p. 224-239, 2013.

LONERGAN, E. H.; ZHANG, W.; LONERGAN, S. M. Biochemistry of *Postmortem* Muscle – Lessons on Mechanisms of Meat Tenderization. **Meat Science**, v. 86, n.1, p. 184-195, 2010.

LUDTKE, C.; SILVEIRA, E. T. F.; KOMIYAMA, C. Promovendo a qualidade da carne: manejo pré-abate de aves e seus efeitos no bem-estar e qualidade da carcaça e carne. **Avicultura industrial**, v. 1143, n. 3, p. 36-48, 2006.

LUDTKE, C. B.; GREGORY, N.; DALLA COSTA, O. A. Principais problemas e soluções durante o manejo pré-abate das aves. In: CONFERÊNCIA APINCO 2008 DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AVÍCOLAS, 2008, Santos. **Anais** [do] Simpósio sobre Bem-Estar de Frangos e Perus e Palestras do temário geral. Campinas: FACTA, p. 109-128, 2008.

MALLIA, J. G., BARBUT, S., VAILLANCOURT, J. P., MARTIN, S. W., McEWEN, S.A. A dark, firm dry-like condition in turkeys condemned for cyanosis. **Poultry Science**, v. 79, p. 281-285, 2000.

McVEIGH, J. M.; TARRANT, P. V. Glycogen content and repletion rates in beef muscle, effect of feeding and fasting. **Journal of Nutrition**, v. 112, n. 7, p. 1306-1314, 1982.

MICKELSON, J. R.; LOUIS, C. F. Malignant Hyperthermia: Excitation-contraction coupling, Ca^{2+} release channel and cell Ca^{2+} regulation defects. **Physiological Reviews**, v. 76, p. 537-592, 1996.

MILLER, M. **Dark, firm and dry beef**. Beef Facts: Product Enhancement. Texas Tech University, 2007.

MITCHELL, M.A.; KETTLEWELL, P.J.; HUNTER, R.R.; CARLISLE, A.J. Physiological stress response modeling – application to the broiler transport thermal environment. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM, 6., 2001. Louisville, **Proceedings...** 21-23 May 2001, Louisville, 2001. p. 550-555, Livestock Environment, 6.

MITCHELL, M. A.; KETTLEWELL, P. J.; MAXWELL M. H. Indicators of physiological stress in broiler chickens during road transportation. **Animal Welfare**, v. 1, p. 91-103, 1992.

MITCHELL, M. A.; KETTLEWELL, P. J. Physiological stress and welfare of broiler chickens in transit: solutions not problems! **Poultry Science**, v. 77, p. 1803-1814, 1998.

MOLETTE, C.; REMIGNON, H.; MARIUS, R. Effect of rate of pH fall on turkey breast meat quality. **British Poultry Science**, Roslin, v. 44, n. 5, p. 787-788, 2003.

MURAKAMI, M. KUDO, I. Phospholipase A_2 . **Journal of Biochemistry**, v. 131, p. 285-292, 2002.

NÄÄS, I. A.; SILVA, I. J. O.; GOUVEIA, R. P. Avaliação de sistemas de resfriamento no ambiente de espera em caixas transportadoras de frango de corte utilizando a ventilação e nebulização. **Revista de Engenharia Rural**, v. 9, n. 1, p. 50-55, 1998.

NAZARENO, A. C. **Ambiência pré-porteira: Avaliação das condições bioclimáticas e das operações pré-eclosão na qualidade de pintos de corte.** 2012. 208 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” /USP, Piracicaba, 2012.

NIJDAM, E.; ARENS, P.; LAMBOOIJ, E.; DECUYPERE, E.; STEGEMAN, J. A. Factors influencing bruises and mortality of broilers during catching, transport, and lairage. **Poultry Science**, v. 83 1610-1615, 2004.

NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). **NWS Heat Index.** Disponível em: <http://www.nws.noaa.gov/om/heat/heat_index.shtml>. Acessado em 26.10.2016.

ODA, S. H. I.; SCHNEIDER, J.; SOARES, A. L.; BARBOSA, D. M. L.; IDA, I. I.; OLIVO, R.; SHIMOKOMAKI, M. Detecção de cor em filés de peito de frango. **Revista Nacional da Carne**, São Paulo, n. 321, p. 30-34, 2003.

ODA, S. H. I.; NEPOMUCENO, A. L.; LEDUR, M. C.; OLIVEIRA, M. C. N.; MARIN, S. S. R.; IDA, E. I.; SHIMOKOMAKI, M. Quantitative differential expression of alpha and beta ryanodine receptor genes in PSE (Pale, Soft, Exudative) meat from two chicken lines: broiler and layer. **Brazilian Archives of Biology and Technology**. v. 52, n. 6, p. 1519-1525, 2009.

O’HALLORAN, G. R.; TROY, D. J.; BUCKLEY, D. J. The relationship between early *postmortem* pH and the tenderization of beef muscles. **Meat Science**, v. 45, n. 2, p. 239-251, 1997.

OLIVO, R.; SHIMOKOMAKI, M. **Carnes: No caminho da Pesquisa.** Cocal do Sul: Imprint, p. 155, 2001.

OLIVO, R.; SOARES, A.L.; IDA, E.I.; SHIMOKOMAKI, M. Dietary vitamin E inhibits poultry PSE and improves meat function proprieties. **Journal Food Biochemistry**, v.25, p.271-283, 2001.

OLIVO, R.; OLIVO, N. **O mundo das carnes: ciência, tecnologia & mercado**. 3 ed. Criciúma: Ed. do autor, 2006. 209 p.

OLIVO, R.; SHIMOKOMAKI, M. **Carnes PSE em frangos**. In: Shimokomaki et al., ed. Varela, São Paulo, 2006, 85-104.

OWENS, C. M.; HIRSCHLER, E. M.; McKEE, S. R.; MARTINEZ-DAWSON, R.; SAMS, A. R. The characterization and incidence of pale, soft, exudative turkey meat in a commercial plant. **Poultry Science**, v. 79, p. 553–558, 2000.

PAIÃO, F. G.; ARISITIDES, L. G. A.; MURATE, L. S.; VILAS-BOAS, G. T.; VILAS-BOAS, L. A.; SHIMOKOMAKI, M. Detection of *Salmonella spp*, *Salmonella enteritidis* and *Typhimurium* in naturally infected broiler chickens by a multiplex PCR-based assay. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 44, p. 37-41, 2013.

PARDI, M. C.; SANTOS, I. F.; SOUZA, E. R.; PARDI, H. S. **Ciência, higiene e tecnologia da carne**. v. 1. Goiânia: UFG, 2001. 623 p.

PEÑUELA, M. H. R.; VALENCIA, J. A. S.; MORA, J. F. M. evaluación de la mortalidad y de las lesiones traumáticas en pollo de engorde bajo condiciones de sacrificio comercial. **Revista Biosalud**, n. 13, p. 30-36, 2014.

PETRACCI, M.; BETTI, M.; BIANCHI, M.; CAVANI, C. Color variation and characterization of broiler breast meat during processing in Italy. **Poultry Science**, v. 83, n. 12, p. 2086-2092, 2004. DOI: 10.1093/ps/83.12.2086.

PRATES, J. M. M. Maturação da carne dos mamíferos: 1. Caracterização geral e modificações físicas. **Revista Portuguesa de Ciências Veterinárias**, v. XCV, n. 533, p. 34-41, 2000.

PRICE, J. F.; SCHWEIGERT, B. S. **Ciencia de la carne y de los productos cárnicos**. Zaragoza: Acribia, 1994. 219 p.

QIAO, M.; FLETCHER, D. L.; SMITH, D. P.; NORTHCUTT, J. K. The effect of broiler breast meat color on pH, moisture, water-holding capacity, and emulsification capacity. **Poultry Science**, Champaign, v. 80, n. 5, p. 676-680, 2001.

QUALI, A. Proteolytic and physicochemical mechanisms involved in meat texture development. **Biochimie**, v. 74, n. 3, p. 251–265, 1992.

QUINN, A. D.; KETTLEWELL, P. J.; MITCHELL, M. A.; KNOWLES, T. Air movement and the thermal microclimates observed in poultry lairages. **British Poultry Science**, Edinburg, v. 39, n. 4, p. 469-476, 1998.

RITZ, C.W.; WEBSTER, A.B.; CZARICK, M. Evaluation of Hot Weather Thermal Environment and incidence of Mortality Associated with Broiler Live Haul. **Journal of Poultry Research**, London, v. 14, p. 594-602, 2005.

ROUET-MAYER, M. A.; VALENTOVA, O.; SIMOND-CÔTE, E.; DAUSSANT, J.; THÉVENOT, C. Critical analysis of phospholipid hydrolyzing activities in reopening tomato fruit. Study by spectrofluorimetry and high-performance liquid chromatography. **Lipids**, v. 30, n. 8, p. 739-746, 1995.

SANDERCOCK, D. A.; HUNTER, R. R.; NUTE, G. R.; MITCHELL, M. A.; HOCKING, P. M. Acute heat stress-induced alterations in blood acid-base status and

skeletal muscle membrane integrity in broiler chickens at two ages: Implications for meat quality. **Poultry Science**, Ithaca, v.80, p. 418-425, 2001.

SANTOS, C. C.; DELGADO, E. F.; MENTEN, J. F. M.; PEDREIRA, A. C. M.; CASTILHO, C. J. C.; MOURÃO, G. B.; BROSSI, C.; SILVA, I. J. O. Sarcoplasmatic and myofibrillar protein changes caused by acute heat stress in broiler chicken. **Scientia Agricola**, v. 65, n. 5 p. 453-458, 2008.

SANTOS, G. B. **Estudo bioclimático do Estado de Sergipe para a avicultura**. 2012. 71 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristovão, SE, 2012.

SARCINELLI, M. F.; VENTURINI, K. S.; SILVA, L. C. Produção de frango de corte. **Boletim Técnico da Universidade Federal do Espírito Santo**: PIE-UFES:00107, editado em 25/05/2007.

SARMENTO, L.G.V.; DANTAS, R. T.; FURTADO, D. A.; NASCIMENTO, J.W.B.; SILVA, J.H.V. Efeito da pintura externa do telhado sobre o ambiente climático e o desempenho de frangos de corte. **Agropecuária Técnica**, v. 26, n. 2, p. 117-122, 2005.

SCHNEIDER, J. P. **Carne DFD em frangos**. 2004. 61p. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Alimentos) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas - Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2004.

SCOTT, T. R.; SATTERLEE, D. G.; JACOBS-PERRY, L. A. Circulating corticosterone responses of feed and water deprived broilers and Japanese quail. **Poultry Science**, v. 62, p. 290–297, 1993.

SHIMOKOMAKI, M.; OLIVO, R.; TERRA, N. N.; FRANCO, B. D. C. M. **Atualidades em ciência e tecnologia de carnes**. Editora Varela, São Paulo, 2006. 236 p.

SHIMOKOMAKI, M.; IDA, E. I.; KATO, T.; PEDRÃO, M. R.; CORÓ, F. A. G.; HERNÁNDEZ-BLASQUEZ, F. J. **Meat and meat products microstructure and their eating quality**. Current Microscopy Contributions to Advances in Science and Technology. 5 ed. Badajoz: Formatex Research Center, v. 1 p. 486-495, 2012. Disponível em: < <http://www.formatex.info/microscopy5/book/486-495.pdf>>. Acesso em 07 jun 2016.

SILVA, I. J. O.; LAGATTA, D.; PEDROSO, D. S.; VENERO, J. T. R.; PIEDADE, S. M. S.; NAAS, I. A. Análise das condições de conforto em caminhões em abatedouro. In: CONFERÊNCIA APINCO 1997 DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AVÍCOLAS, 1997, São Paulo. **Resumos...** Campinas: Fundação Apinco de Ciência e Tecnologia Avícolas, p. 1, 1997.

SILVA, N. A. M.; BARBOSA FILHO, J. A. D.; SILVA, C. J. M.; ROSÁRIO, M. F.; SILVA, I. J. O.; COELHO, A. A. D. SAVINO, V. J. M. Avaliação do estresse térmico em condição simulada de transporte de frangos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, n. 4, p. 1126-1130, 2007.

SILVA, J. A. O.; SIMÕES, G. S.; ROSSA, A.; OBA, A.; MATSUO, T.; SHIMOKOMAKI, M.; IDA, E. I. Manejo pré-abate de transporte e banho sobre a incidência de mortalidade de frangos de corte. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 2, p. 795-800, 2011.

SILVA, I.J.O.; VIEIRA, F.M.C. Ambiência animal e as perdas produtivas no manejo pré-abate: o caso da avicultura de corte brasileira. **Archivos de Zootecnia**, v. 59, p. 113-131, 2010.

SIMÕES, G. S.; OBA, A.; MATSUO, T.; ROSSA, A.; SHIMOKOMAKI, M.; IDA, E. I. Vehicle thermal microclimate evaluation during brazilian Summer broiler transport and the occurrence of PSE (Pale, Soft, Exudative) meat. **Brazilian Archives Biology and Technology**, Curitiba, v. 52, p. 195-204, 2009 a. Special number.

SIMÕES, G. S.; ROSSA, A.; OBA, A.; MATSUO, T.; SHIMOKOMAKI, M.; IDA, E. I. Transporte e ocorrência de PSE (*Pale, Soft, Exudative*) e a-DFD (*Dark, Firm, Dry*) em filés de peito de frango durante o Inverno. **Revista Nacional da Carne**, São Paulo, v. 23, n. 383, p. 20-30, 2009 b.

SIMÕES, G. S.; ARISTIDES, L. G. A.; BAMPI, V.; SOARES, A. L.; OBA, A.; IDA, E. I.; SHIMOKOMAKI, M. Estratégias para controle de perdas na indústria da carne de frango. **Avicultura Industrial**, p. 40-51, 2010.

SOARES, A. L.; LARA, J. A. F.; IDA, E. I.; GUARNIERI, P. D.; OLIVO, R.; SHIMOKOMAKI, M. Variation in the Color of Brazilian Broiler Breast Fillet. **Proceedings of International Congress of Meat Science and Technology**, v. 48, p. 540-541, 2002.

SOARES, A. L.; IDA, E. I.; MIYAMOTO, S.; HERNÁNDEZ-BLAZQUEZ, F. J.; OLIVO, R.; PINHEIRO, J. W.; SHIMOKOMAKI, M. Phospholipase A2 activity in poultry PSE- pale, soft, exudative, meat. **Journal of Food Biochemistry**, v. 27, n. 4, p. 309–320, 2003. DOI: 10.1111/j.1745-4514.2003.tb00285.x.

SLINDE, E.; KRYVI, H. Z-disc digestion of isolated bovine myofibrils by an endogenous calcium activated neutral proteinase. **Meat Science**, v. 16, n. 1, p. 45-55, 1986.

SOLOMON, M. B.; VAN LAACK, R. L. J. M.; EASTRIDGE, J. S. Biophysical basis of pale soft exudative (PSE) pork and poultry muscle: a review. **Journal Muscle**, v. 9, p. 1- 11, 1998.

SOSNICKI, A. A.; GREASER, M. L.; PIETRZAK, M.; POSPIECH, E.; SANTE, V. PSE-like syndrome in breast muscle of domestic turkeys: a review. **Journal Muscle Foods**, v. 9, p. 13-23, 1998.

SPURIO, R. S.; SOARES, A. L.; CARVALHO, R. H.; SILVEIRA JR., V.; GRESPAN, M.; OBA, A.; SHIMOKOMAKI, M.. Improving transport container design to reduce broiler chicken PSE (Pale, Soft, Exudative) meat in Brazil. **Animal Science Journal**, v. 87, p. 277-283, 2016.

STRASBURG, G.M.; CHIANG, W. Pale, Soft, exudative turkey – The role of ryanodine receptor variation in meat quality. **Poultry Science**, v. 88, p. 1497-1505, 2009.

SWATLAND, H. J. **On line evaluation of meat**. Lancaster: Technomic, 1995. 343 p.

TABBAA, M.J.; ALSHAWABKEH, K. Some factors affecting preslaughtering mortality and damage to broilers and interaction during transportation to processing plants. **Dirasat, Agriculture Science**, v. 27, p.375-384, 2000.

UBABEF. União Brasileira de Avicultura. **Relatório Anual 2010**. Brazilian Chicken.

Disponível

em:

<<http://abpa->

br.com.br/files/publicacoes/bf03265d81def3449cc962c36dabdd8d.pdf>. Acesso em: 02 jun 2016.

VAN LAACK, R. L. J. M.; LIU, C. H.; SMITH, M. O.; LOVEDAY, H. D. Characteristics of pale, soft, exudative broiler breast meat. **Poultry Science**, Champaign, v. 79, p. 1057-1061, 2000.

VIEIRA, F. M. C.; BARBOSA FILHO, J. A. D.; VIEIRA, A. M. C.; GARCIA, D. B.; HILDEBRAND, A.; SILVA, I. J. O. Influência do tempo de espera pré-abate na temperatura retal de frangos de corte. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 44., 2007, Jaboticabal. **Anais...** Viçosa: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2007. CD-ROM.

VIEIRA, F. M. C.; SILVA, I. J. O.; BARBOSA FILHO, J. A. D.; VIEIRA, A. M. C. Influência das condições térmicas do galpão de espera climatizado na mortalidade pré-abate de frangos de corte. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 68, p. 475-482, 2016.

VOILÀ, M.; TRICHES, D. **A cadeia de carne de frango: uma análise dos mercados brasileiro e mundial de 2002 a 2010.** Disponível em: <https://www.ucs.br/site/midia/arquivos/TD_44_JAN_2013_1.pdf>. Acessado em: 02 de abril de 2014.

VOSLÁŘOVÁ, E.; HYTYCHOVÁ, T.; VEČEREK, V.; NENADOVIC, K.; BEDÁŇOVÁ, I. Transport-induced mortality in Pekin ducks transported for slaughter in the Czech Republic. **Acta Veterinaria Brno**, v. 85, p. 205-212, 2016. doi:10.2754/avb201685020205

WARRISS, P. D.; KESTIN, S. C.; BROWN, S. N. ; BEVIS, E. A. Depletion of glycogen reserves in fasting broiler chickens. **British Poultry Science**, Edinburgh, v. 29, p. 149-154, 1988.

WARRISS, P.D.; BEVIS, E.A.; BROWN, S.N.; EDWARDS, J.E. Longer Journeys to processing plants are associated with higher mortality in broiler chickens. **British Poultry Science**, London, v. 33, p. 201-206, 1992.

WARRISS, P.D.; PAGA ZAURTUNDA, A.; BRWON, S.N. Relationship between maximum daily temperature and mortality of broiler chickens during transport e lairage. **British Poultry Science**, v. 46, p. 647-651, 2005.

WEEKS, C.A. Poultry handling and transport. In: GRANDIN, T. (Ed.) **Livestock handling and transport**. 4ed. Colorado: Cabi, p. 174-192, 2014.

WHEELER, T. L.; KOOHMARAIE. Prerigor and Postrigor Changes in Tenderness of Ovine Longissimus Muscle. **Journal of Animal Science**, v. 72, p. 1232-1238, 1994.

WILHELM, A. E.; MAGANHINI, M. B.; HERNÁNDEZ-BLAZQUEZ, F. J.; IDA, E. I.; SHIMOKOMAKI, M. Protease activity and the ultrastructure of broiler chicken PSE (pale, soft, exudative) meat. **Food Chemistry**, v. 119, p. 1201-1204, 2010. DOI: 10.1016/j.foodchem.2009.08.034.

WOELFEL, R. L.; OWENS, C. M.; HIRSCHLER, E. M.; MARTINEZ-DAWSON, R.; SAMS, A. R. The characterization and incidence of pale, soft and exudative broiler meat in a commercial processing plant. **Poultry Science**, v. 81, p. 579-584, 2002.

ZUFFO, E. **Mortalidade de frangos de corte no pré-abate**. 2012. 58f. Monografia (Especialização em Gestão da Cadeia Avícola) – Universidade Tuiuti do Paraná, Cascavel, 2012.

ARTIGO A
(Em submissão)



**Broiler thermal stress measured by meat colour abnormalities in a tropical climate region
commercial slaughterhouse**

O artigo encontra-se conforme as normas do International Journal of Food Science.

Endereço: <https://www.hindawi.com/journals/ijfs/guidelines/>

Broiler thermal stress measured by meat colour abnormalities in a tropical climate region commercial slaughterhouse

FREITAS Arlan Silva^{1,2}, CARVALHO Leila Moreira³, SOARES Adriana Lourenço⁴, MADRUGA Marta Suely³, CARVALHO Rafael Humberto⁴, IDA Elza Iouko⁴, SHIMOKOMAKI Massami^{1*}

¹*Graduate Program in Animal Science, Department of Animal Science, Agricultural Sciences Center, Londrina State University, Londrina, Paraná, Brazil.*

²*Federal Institute of Maranhão, São Luis, Maranhão, Brazil.*

³*Paraíba Federal University, João Pessoa, Paraíba, Brazil.*

⁴*Department of Food Science and Technology, Londrina State University, Londrina, Brazil.*

**Corresponding author: Massami Shimokomaki; E-mail: mshimo@uel.br*

Abstract

The Brazilian poultry industry has difficulties in maintaining meat quality as the country presents tropical and subtropical zones. Brazil is the major broiler meat exporting country, however, Northeast region (NE) produces 2.07% of national gross production, and there is a need to increase chicken meat production in the region. This aims to quantify the incidence of Pale, Soft and Exudative (PSE) and Dark, Firm and Dry (DFD) meat in broiler chicken breast in a commercial processing plant in the dry and rainy seasons in a tropical climate as the NE region. PSE meat is caused by heat stress conditions, and DFD is the result of depleted muscle glycogen reserves prior to slaughter. In this study, a total of 2,800 breast samples were collected during the dry (n=1,400) and rainy (n=1,400) periods. The incidence of PSE meat was 43.53% and 10.46% in dry and rainy season, respectively. Additionally, 3.3% of DFD meat as a result of wet weather conditions, which affect the bird muscle physiology in the rainy season. The high frequency of PSE- and DFD meat suggests the need to control broiler pre- and post-slaughter handling in order to maintain the meat quality preventing thus economic losses due these abnormalities.

Key words: climate conditions, DFD meat, heat stress, PSE meat.

1. Introduction

A recent review by Freitas [1] estimated that in 2010, the consumption of broiler meat was 3.0 kg/capita in the Northeast (NE) region, which is below of 45 kg/capita within the country. This figure does not represent the actual consumption by the NE population as broiler meat is routinely distributed at the commercial level as “hot chicken meat” as at the purchase location, the bird is slaughtered and plucked at real-time in front of the consumer without any food inspection thus affecting the food safety system. Consequently there is no official estimation of the actual quantity of meat consumed locally.

This finding suggests there is an urgent need to create a public official environment to establish a broiler chicken productive chain in this tropical climate region. Currently, Bahia (BA), Paraíba (PB), and Pernambuco (PE) are the States with slaughterhouses under federal inspection [1]. Moreover,

appropriate management systems are necessary to promote poultry welfare and prevent stressful conditions leading eventually to heat stress and development of meat colour abnormalities such as PSE meat [2,3,4].

The conditions of tropical zone present a unique opportunity to study animal welfare and its consequences on meat quality. Pale, Soft and Exudative (PSE) meat occurs when the animal is under heat stress, which promotes accelerated muscle glycolysis. The stress conditions cause the meat proteins to denature and consequently lose their water holding capacity (WHC). As a result, the meat becomes wet and pale at its surface and has a soft appearance [5]. Conversely, Dark, Firm, Dry (DFD) meat is the consequence of depleted muscle glycogen and it is a post-rigor condition resulting in a relatively higher ultimate pH. Under these circumstances, the myofibril proteins present higher WHC, and the meat surface is dry, which results in dark colour and a firm appearance [6, 7].

Similar experiments were performed in other areas of Brazil including the southern [8], south western [9] and central west [10] regions. Thus, the aim of this study was to examine the broiler chicken welfare by characterization and determining the incidence of broiler breast PSE and DFD meat in a commercial slaughterhouse located in a tropical climate region.

2. Materials and Methods

2.1. Commercial farm location

This study was conducted during the rainy season from May to July 2015 and the dry period from September to November 2015 in Guarabira city area, Paraiba (PB), located within Brazil tropical climate region [11]. The experiment was performed in a commercial processing plant of a cooperative integrated system. The average environmental temperatures were 24.00 and 31.08 °C and the relative humidity levels were 82.16 and 63.30% in the rainy and dry seasons, respectively. The values were measured using a thermal stress meter (thermometer IBUTG Globe, Homis, Model TGD 1000, São Paulo, Brazil).

2.2. Animals

In this study, we analysed 1,400 birds in each period (dry and rainy). They were both genders, weighing 3.03 ± 0.23 kg, 42-47 days of age and collected from a commercial processing plant. The animals were transported from the farm located in Touros City, Rio Grande do Norte (RN) state to the processing plant in PB, in a distance of 289 km. The average journey took 6 h. The birds were fasted, caught, and transported before killing. The animals were then processed using the following sequence of standard industry practices: suspension, electrical stunning, bleeding, scalding, evisceration, carcass cooling through chillers, deboning, and the removal of breast samples (*Pectoralis major* m.). The breast meat samples were randomly collected and refrigerated at 4 °C for 24 h for the subsequent colour, pH, and WHC analyses.

2.3. pH and colour determinations

The ultimate pH (pHu) values were obtained by inserting electrodes into the ventral cranial part of the filet using a contact pH meter system (Testo 205, Lenzkirch, Germany). The analyses were performed in triplicate 24 h *postmortem* as previously described by Olivo [5]. A Minolta CR400 colorimeter (Konica Minolta Sensing Inc., Osaka, Japan) was used to evaluate the colour L* (lightness), a* (redness), and b* (yellowness) (CIELAB colour system) at the dorsal surface of the intact skinless breast muscles. The L*, a*, and b* values were measured at 3 sites in the same sample; the proximal extremity of the muscle, the distal extremity, and the medial side halfway between the proximal and the distal extremity [12].

2.4. Water holding capacity (WHC) measurement

The WHC determination was based on the technique reported by Hamm [13] described in Wilhelm et al. [8]. At 24 h the *post-mortem* samples were collected from the cranial side of the breast fillets and cut into cubes 2.0 ± 0.10 g. A total of 1,050 samples were analysed in duplicate. The samples were carefully placed between two pieces of filter paper (Whatman n. 2) in acrylic plates and then compressed under a 10 kg weight for 5 min. The samples were weighed and then the WHC was

determined using the exuded water weight and the following equation: $100 - [(W_i - W_f / W_i) \times 100]$, where W_i and W_f are the initial and final weights of the sample, respectively.

2.5. Statistical analysis

The Statistica 7.0 software (StatSoft, Tulsa, USA) was used. We used Student's t test with a 5% probability ($P < 0.05$) to compare the differences and Pearson's correlation coefficient ($P < 0.01$) to verify correlations between pH, colour parameters, and WHC.

3. Results

3.1. PSE- and DFD-meat incidence and classification

Each processing plant has its own cut-off values in order to determine the L^* and pHu for evaluating PSE- and DFD-meat. This specific value depends on pre- and post-slaughter management [14, 15, 16]. Therefore, an experiment was conducted to determine the cutoff L^* value under these commercial slaughterhouse conditions.

The values for L^* and pH for the colour variation determination are shown in Figure 1A. The L^* values varied from 38.0 (dark) to 68.0 (pale), and the average result was 53.1. The pHu value variation data are shown in Figure 1B. The results varied from 5.5 to 6.5, and the average result was 5.9.

Table 1 shows that there was a significant ($P < 0.01$) negative Pearson correlation (-0.58) between the L^* and pHu values. This finding indicates a lower pHu value is associated with higher L^* . As a result, less moisture is retained within the muscle, and there low WHC. We also found there was a negative Pearson correlation of -0.38 between the L^* and WHC values.

The results shown in the histograms of Figures 1A and 1B and the correlations described in Table 1 allowed us to determine a convenient cutoff value (L^* and pHu) for detecting quantitatively values of normal, PSE- and DFD-meat in broiler breast filets under the conditions of our experiment. We calculated the following cutoff values:

- PSE = $L^* \geq 51.0$ and pH ≤ 5.9 ;

- Normal = $5.9 < \text{pH} < 6.2$ and $45.0 < L^* < 51.0$;
- DFD = $L^* \leq 45.0$ and $\text{pH} \geq 6.2$.

3.2. *Broiler breast meat abnormalities incidence by season*

The data in Table 3 show the mean values of L^* , a^* , b^* , pH, and WHC for the dry and rainy seasons. The broilers slaughtered during dry season had colour values that were significantly ($P < 0.05$) paler (L^*), lower red (a^*), and higher yellow (b^*) than the samples processed during the rainy season. We also observed there was greater variation in the dry season because the L^* value was 13.77% higher, and the pH value was 2.16% lower. Furthermore, the WHC value was 3.13% lower relative to samples collected during the rainy season. The value of a^* in the rainy season was 68.69% higher than the dry period. The results obtained for b^* in the dry period were 31.83% higher than the values of the rainy season.

4. Discussion

Table 2 shows further comparative values of PSE- and DFD- meat obtained by other authors in different countries relative to results reported herein. The L^* values described in this study were higher than the values reported in the USA [17], Italy [15], and Southern Brazil [12].

In Canada, Barbut [19] analysed the incidence of PSE broiler meat using parameters such as L^* , a^* , b^* , pH, and WHC. The authors found L^* values ranged from 38.0 to 57.0, and the average was 46.3. These findings suggested the cutoff value of $L^* > 50$ had acceptable correlations for L^* and pH values (-0.79), in addition to pH and WHC (0.85). Our present study also found a significant correlation between L^* and pH (-0.58) and L^* and WHC (-0.36). The experiments conducted in China demonstrated L^* values varied from 42.70 to 58.37 and had an average of 51.34, which is less than the cutoff value of $L^* > 53$. The occurrence of PSE meat was 23.39%. The DFD cutoff value of $L^* \leq 48$ led to 7.46% DFD meat [20].

The occurrence of PSE meat found in the summer or dry season in this work was higher than data reported by Soares et al. [18]. The authors reported the incidence of 15.86% in the same season in the

South of Brazil. The authors also found during the same season that the DFD meat incidence of 5.86%, which is higher than our result of 3.34%. Mallia et al. [6] reported the occurrence of DFD meat is higher during the winter season because the cold stress can deplete muscle glycogen used to maintain the normal bird corporal temperature. It is noteworthy that birds are sensitive to temperature being a homeothermic animal [16, 21]. It is reasonable to state that during both seasons, dry and rainy, animals suffer corporal hyperthermia and hypothermia that lead to the development of PSE and DFD meat, respectively.

We estimated the incidence of PSE meat samples as 43.53% in the dry season and 10.46% in the rainy season, based on our results (Figure 1, Table 1 and 2) as shown in Figure 2. These results were in accordance with experiments reported by McCurdy et al. [21] and Barbut [19] with turkeys. The authors reported the incidence of PSE meat is higher in the summer in USA and Canada, respectively, corroborating the assumption that during the warm season there was higher level of paler meat because of the heat stress in birds regardless of bird's species.

In conclusion, the region tropical climate conditions affect broiler chicken welfare by promoting corporal hyperthermia and hypothermia during dry and rainy seasons causing PSE and DFD meat, respectively. There is a need to set *ante-mortem* strategic management procedures to maintain animal welfare.

Acknowledgments

This project was funded by CNPq Process N° 483047/2013-9. ASF holds a CAPES scholarship at the Maranhão Federal Institute for Education, Science and Technology (IFMA)/ Londrina State University (UEL) – DINTER/CAPES graduate program. RHC holds a Pos Doctor scholarship from CNPq Proc 150408/2016-1. MSM and EII are CNPq Research Fellows.

References

- 1- Freitas AS, Madruga MS, Pedrão MR, Soares AL, Shimokomaki M (2014) Diagnósticos de condenações que afetam a produtividade da carne de frangos brasileira: a Região Nordeste. *Revista Nacional da Carne*, 449, 75-82.
- 2- Guarnieri PD, Soares AL, Olivo R, Schnider JPR, Macedo M, Ida EI, Shimokomaki M (2004) Preslaughter handling with water shower spray inhibits PSE (pale, soft, exudative) broiler breast meat in a commercial plant. Biochemical and ultrastructural observations, *Journal of Food Biochemistry*, 28, 269-277. DOI: 10.1111/j.1745-4514.2004.tb00071.x
- 3- Simões GS, Oba A, Matsuo T, Rossa A, Shimokomaki M, Ida EI (2009) Vehicle thermal microclimate evaluation during brazilian summer broiler transport and the occurrence of PSE (Pale, Soft, Exudative) meat. *Brazilian Archives Biology and Technology*, 52, 195-204. Available at: <http://www.scielo.br/pdf/babt/v52nspe/a25v52nspe.pdf>. Last accessed 06.07.2016.
- 4- Langer ROS, Simões GS, Soares AL, Oba A, Rossa A, Shimokomaki M, Ida EI (2010) Broiler transportation conditions in a Brazilian commercial line and the occurrence of breast PSE (Pale, Soft, Exudative) meat and DFD-like (Dark, Firm, Dry) meat. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 53, 1161-1167. Available at: <http://www.scielo.br/pdf/babt/v53n5/v53n5a21.pdf>. Last accessed 10.07.2016.
- 5- Olivo R, Soares AL, Ida EI, Shimokomaki M (2001) Dietary vitamin E inhibits poultry PSE and improves meat functional properties. *Journal of Food Biochemistry*, 25, 271-283. DOI: 10.1111/j.1745-4514.2001.tb00740.x
- 6- Mallia JG, Barbut S, Vaillancourt JP, Martin SW, McEwen SA (2000) A dark, firm dry-like condition in turkeys condemned for cyanosis. *Poultry Science*, 79, 281-285. DOI: 10.1093/ps/79.2.281
- 7- Schnider JP, Oda SHI, Guarnieri PD, Olivo R, Shimokomaki M (2006) Carnes DFD em frangos. In: Franco, B.D.G., Terra, N.N. & Shimokomaki, M. (Eds). *Atualidades em Ciência e Tecnologia de Carnes*, Vilela, São Paulo, SP. pp. 105-113.

- 8- Wilhelm AE, Maganhini MB, Hernández-Blazquez FJ, Ida EI, Shimokomaki M (2010) Protease activity and the ultrastructure of broiler chicken PSE (pale, soft, exudative) meat. *Food Chemistry*, 119, 1201-1204. DOI: 10.1016/j.foodchem.2009.08.034
- 9- Komiyama CM, Mendes AA, Takahashi SE, Moreira J, Roça RO, Borba HS, Leonel FR, Paz ICLA, Balog Neto A (2008) Avaliação da ocorrência de carne pálida em peitos de frangos de corte em abatedouros do estado de São Paulo. *PUBVET*, 2. Available at: <http://docplayer.com.br/12050499-Pubvet-publicacoes-em-medicina-veterinaria-e-zootecnia-disponivel-em-http-www-pubvet-com-br-texto-php-id-241.html>. Last accessed 06.07.2016.
- 10- Kissel C. The effect of electrical stunning on the stress and Incidence of broiler chicken breast PSE (Pale, Soft, Exudative) meat. 2013. 89 p. Thesis (Doctorate in Food Science) - Londrina State University, Londrina, Paraná, Brazil. Available in: < <http://www.bibliotecadigital.uel.br/document/?code=vtls000185879>>. Last accessed 08.07.2016.
- 11- Freitas AS, Carvalho LM, Soares AL, Neto A, Madruga MS, Carvalho RH, Ida EI, Shimokomaki M (2016) Simultaneous occurrence of broiler chicken hyper- and hypothermia in-transit and lairage and DOA (Dead on Arrival) index under tropical climate. Submitted.
- 12- Soares AL, Ida EI, Miyamoto S, Hernández-Blazquez FJ, Olivo R, Pinheiro JW, Shimokomaki M (2003) Phospholipase A₂ activity in poultry PSE- pale, soft, exudative, meat. *Journal of Food Biochemistry*, 27, 309-320. DOI: 10.1111/j.1745-4514.2003.tb00285.x
- 13- Hamm R (1960) Biochemistry of meat hydration. *Advances in Food Research*, 10, 355-362.
- 14- Barbut S (1997) Problem of pale soft exudative meat in broiler chickens. *British Poultry Science*, 38, 355-358. DOI: 10.1080/00071669708418002
- 15- Petracci M, Betti M, Bianchi M, Cavani C (2004) Color variation and characterization of broiler breast meat during processing in Italy. *Poultry Science*, 83, 2086-2092. Available at: <http://ps.oxfordjournals.org/content/83/12/2086.full.pdf>. Last accessed 06.07.2016.

- 16- Carvalho RH, Soares AL, Grespan M, Spurio SR, Coró FA, Oba A, Shimokomaki M (2015) The effects of the dark house system on the growth, performance and meat quality of broiler chicken. *Animal Science Journal*, 86, 189-193. DOI: 10.1111/asj.12262
- 17- Allen CD, Fletcher DL, Northcutt JK, Russell SM (1998) The relationship of broiler breast color to meat quality and shelf-life. *Poultry Science*, 77, 361-366. DOI: 10.1093/ps/77.2.361
- 18- Soares AL, Lara JAF, Ida AI, Guarnieri PD, Olivo R, Shimokomaki M (2002) Variation in the colour of Brazilian broiler breast fillet. In: *International Congress of Meat Science and Technology, 2002, Proceedings, Roma* 48, 540-541.
- 19- Barbut S (1998) Estimating the magnitude of the PSE problem in poultry. *Journal Muscle Foods*, 9, 35-49. DOI:10.1111/j.1745-4573.1998.tb00642.x
- 20- Zhu XS, Xu XL, Min HH, Zhou GH (2012) Occurrence and characterization of pale, soft, exudative-like broiler muscle commercially produced in China. *Journal of Integrative Agriculture*, 11, 1384-1390. DOI: 10.1016/S2095-3119(12)60137-3
- 21- McCurdy RD, Barbut S, Quinton M (2001) Seasonal effect on pale soft exudative (PSE) occurrence in young turkey breast meat. *Food Research International*, 29, 363-366. DOI:10.1016/0963-9969(96)00020-8

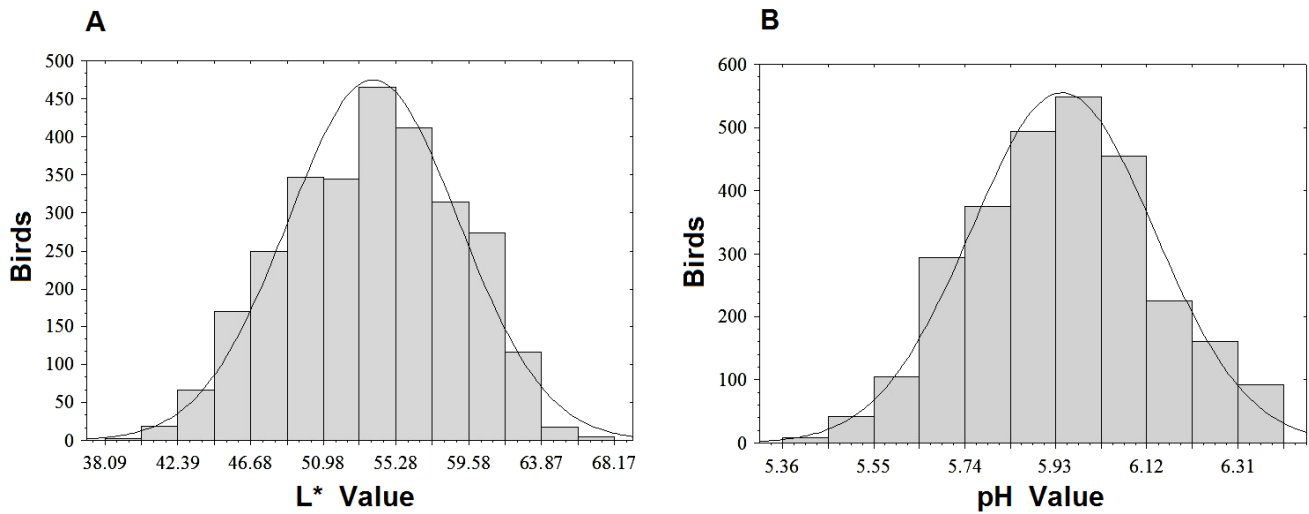


Figure 1. Histograms of distribution of L* 24 h (**A**) and pH 24 h (**B**) in chicken breast meat analysed in the dry (n= 1,400) and rainy (n=1,400) seasons.

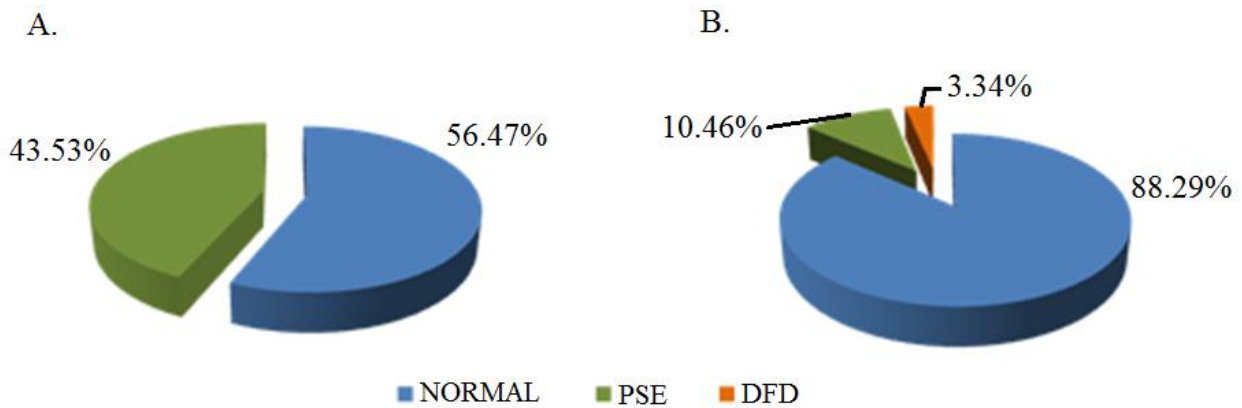


Figure 2. Occurrence of PSE meat in broiler breast meat during the dry season (**A**) (n = 1,400) and the rainy season (**B**) (n = 1,400) of tropical zone. The DFD meat sample occurrence was observed only in the rainy season.

Table 1. Correlation coefficients for measurements of broiler breast meat samples (n=2,800) in the dry and rainy seasons in the tropical zone.

	L*	a*	b*	pHu	Means	SD
L*	-				53.14	5.18
a*	-0.52*	-			1.49	1.29
b*	0.61*	-0.45*	-		6.31	2.14
pHu	-0.58*	0.25*	-0.27*	-	5.97	0.24
WHC	-0.36*	0.08*	-0.16*	0.31*	70.75	1.71

*Values significant at $P < 0.01$.

Table 2. Comparative values of PSE and DFD chicken broiler breast meat obtained in different countries in relation to the results described in this work.

	Allen [17]	Petracci [15]	Soares [18]	Present Work (2016)
Country	USA	Italy	Southern Brazil (subtropical zone)	Northeastern Brazil (tropical zone)
Sample number	760	6,997	353	2,800
L* Range	43.0 to 51.0	40.0 to 66.0	38.57 to 58.50	38.0 to 68.0
PSE L* cutoff	> 50	> 56	> 53	> 51
DFD L* cutoff	< 45	< 50	< 44	< 45

Table 3. Averages of L*, a*, b*, pHu and WHC in *Pectoralis major* obtained during dry and rainy seasons in the tropical zone.

	Season	
	Dry	Rainy
L*	57.31 ± 3.09 ^a	49.42±2.93 ^b
a*	0.67 ± 0.86 ^b	2.14±1.03 ^a
b*	7.54 ± 2.31 ^a	5.14±1.51 ^b
pHu	5.88 ±0.18 ^b	6.01±0.19 ^a
WHC (%)	69.61 ± 1.48 ^b	71.86 ±1.18 ^a

Different letters in the same row indicate significant differences (Student's t test, P<0.05); the results are expressed as the mean ± SD. (n=2,800)

ARTIGO B**Aceito para publicação****Simultaneous Occurrence of Broiler Chicken Hyper- and Hypothermia In-Transit
and Lairage and DOA (Dead on Arrival) Index under Geographical Tropical Climate**

O artigo encontra-se conforme as normas do International Journal of Poultry Sciences.

Endereço: <http://www.ansinet.com/guide2.php?id=13&issn=1682-8356>

23 **ABSTRACT**

24 **Background**

25 The pre-slaughter management conditions and transport of poultry from the farm to the
26 slaughterhouse represent significant economic losses due to damages that compromise the quality
27 of the meat. Studies on journey of poultry and climates conditions in geographical climate zone
28 of the Brazilian northeast region is minimal. The objective of this work was to evaluate the
29 influence of broiler microclimates formed in a lorry container during journey from farm to the
30 slaughterhouse associated to lairage under commercial conditions on breast-meat quality in a
31 tropical environment. Also, DOA, dead on arrival index was determined.

32 **Materials and Methods**

33 The broilers of 47-day-old (n= 1,400) were monitored from farm to slaughterhouse over a
34 distance of 289 km under rainy conditions and 5 h of lairage. Anemometers were placed at 3
35 lorry container positions: front, middle and rear to measure temperature (T), air velocity (AV),
36 relative humidity (RH) and heat index (HI) throughout the journey and lairage. Hyper- and
37 hypothermia were evaluated by determining the occurrence of PSE (pale, soft, exudative) and
38 DFD (dark, firm, dry) meat. Hyper- and hypothermia were evaluated by determining the
39 occurrence of PSE and DFD meat. The mortality of chickens was quantified at the time the birds
40 were hung on the receiving platform. The Tukey's test ($P \leq 0.05$) was applied to compare means
41 of micro-environmental data, PSE, DFD and DOA.

42 **Results**

43 The recorded air velocity was highest in the front, and the other variables also varied depending
44 on the container compartment. The RH values were also highest at the rear and lowest at the front
45 throughout the experiment. The rainfall occurred throughout in every journey, which might have
46 influenced the variables, as the lorries had open roofs. The results were 10.14% and 3.59%, PSE
47 and DFD, respectively, and the DOA index was 0.45%. The development of DFD and PSE meat
48 indicates that in a tropical climate, birds in transit and lairage are placed under cold and hot
49 stress. This situation led to a high DOA index, the highest so far evaluated in this country.

50 **Conclusions**

51 The presence of PSE- and DFD- meat samples suggests that the birds were micro-
52 environmentally exposed to heat and cold stress, respectively, leading to a relatively high DOA
53 index. All of these factors are controllable, and it is advisable to encourage poultry-processing
54 plant companies to follow good pre-slaughter management practices in order to preserve animal
55 welfare and thus meat quality.

56 **Keywords:** Animal Welfare, PSE, DFD, Microclimatic Profile

57

58 INTRODUCTION

59 Brazil ranks as the world's largest exporter (4.304 mil ton.) and the second-largest producer of
60 broiler chicken meat (13.146 mil ton.), after the USA (17.966 mil ton.). From the total quantity of
61 chicken produced, 67.3% was designated for domestic consumption and 32.7% for export,
62 according to the ABPA¹. This position has been made possible by the sophisticate technology
63 applied throughout the broiler meat production chain. However, the poultry industry in Brazil
64 involves several factors that can be detrimental to maintaining the meat quality, especially in
65 tropical and subtropical zones under several variety of weather conditions faced during transport.
66 Appropriate management systems are necessary to be adopted in order to promote the welfare of
67 these birds preventing stressful conditions which are able to the development of meat-colour
68 abnormalities therefore becoming a major problem in the poultry industry^{2,3,4,5} leading eventually
69 to DOA (dead on arrival)^{6,7}.

70 PSE (pale, soft, exudative) meat is caused by a rapid decline in pH while the muscle is still
71 warm during the completion of glycolysis promoting a denaturation of myofibril proteins and
72 compromising their functional properties. PSE meat is pale in colour, soft, and exudative^{3,7} while
73 DFD (dark, firm, dry) defect results from stress prior to slaughter that causes depletion of muscle
74 glycogen⁴. This phenomenon results in higher *post-mortem* muscle pH because full glycolysis is
75 prevented through elimination of its substrate. DFD meat is dark in colour, firm in texture and
76 has a dry appearance or high water-holding capacity⁸.

77 PSE meat is estimated to generate costs in the poultry industry of over US\$ 200 million in the
78 USA⁹ and over US\$ 55 million in Brazil⁷. Detailed evaluations by our own research group in a
79 subtropical climate in southern Brazil have revealed that with few exceptions, every management
80 activity step in the production of broiler meat presents a potential for thermal or physiological
81 stress to the birds. Stress was observed on the farm in the housing systems⁵, in the water shower

82 before leaving the farm², in transit^{3,4,6,7}, at the processing plant during lairage under nebulisation²
83 and finally during and after slaughter, including the carcass management^{8,10}.

84 Stress is a common term for a set of physiological reactions to situational physical,
85 psychological or other types of stimuli capable of disturbing homeostasis¹¹. Thermal stress is one
86 of the most important of these factors, and there is evidence that the more intense the thermal
87 stress is, the higher the DOA index. Transportation conditions thereby influence the development
88 of PSE abnormalities and thus the DOA index⁶. Moreover, appropriate management systems are
89 needed to promote poultry welfare and thus preventing the heat stress that leads to the
90 development of meat-colour abnormalities in PSE meat^{2,3,4}. This point is particularly important
91 because the Brazilian north-eastern region, located within a tropical zone, has only dry and rainy
92 seasons thus resulting in a unique problem for animal welfare therefore for meat quality. In
93 lorries in which the birds receive less ventilation and/or longer exposure to harmful conditions
94 during transport, the animals show signs of stress, as seen in the increase in PSE meat^{3,6,7}.

95 DOA index obviously measures directly the animal welfare and most studies focused on the
96 effect of one particular processing step, such as catching^{12,13}, transport^{14,15}, on-farm
97 characteristics^{16,17} or even the effect of the season¹⁸.

98 We report in this work, the effect of in-transit and lairage periods under commercial
99 conditions over broiler breast meat quality and DOA index in geographical tropical zone as the
100 north-eastern region in Brazil during the rainy season.

101

102 **MATERIALS AND METHODS**

103

104 **Commercial farm location**

105 This experiment was carried out in Brazilian north-eastern region. The broiler industry is a
106 cooperative integrated system located around Guarabira Municipality, Paraíba State, subjected to
107 Federal Veterinary inspection. The farm is located in Touros municipality, Rio Grande do Norte
108 State, within 289 km of the processing plant, or approximately 6 h driving time. Figure 1 shows
109 the map of the region with the main motorway transport route. The experiments were carried out
110 during the rainy season (from May to July) in May 2015 to observe the effect of transportation
111 conditions from the farm to the processing plant (Fig. 2) on the birds' welfare thereby on meat
112 quality. Birds were handled in accordance with the principles and procedures outlined by the
113 Londrina State University Animal Care and Use Ethical Committee (n° 021/2014).

114

115 -- FIGURE 1 –

116

117 -- FIGURE 2 –

118

119 **Assessment of container microenvironments**

120 A total of 13,440 broiler chickens was transported in three lorries and 1,400 birds were
121 separated for analysis from each vehicle. Six portable weather meters with bidirectional Kestrel
122 anemometers and data logging were placed in the container front, middle and rear positions to
123 take measurements of temperature (T), air velocity (AV), relative humidity (RH) and heat index
124 (HI) at 30-second intervals throughout the journey, as shown in Figure 3⁷. The weather
125 conditions in this region were characterized by an average temperature of 25.5°C and a relative
126 humidity of 80.43%, as measured using a Kestrel 4000 Series Weather & Environmental Meters
127 instrument (Nielsen Kellerman Chester, PA). Moreover, the rain fell during most of the three

128 journeys and the experiment was conducted at night (from 00:00 to 06:00 h) and treated with a
129 bath shower just before leaving the farm.

130

131 -- FIGURE 3 --

132

133 Upon arrival at the slaughterhouse, the animals were left under nebulisation for
134 approximately 5 min (Fig. 4A) and left for 300 min as lairage under forced ventilation before
135 sacrificing (Fig. 4B). The birds were slaughtered according to the standard industry practices
136 which consisted in sequence on hanging, electrically stunning, bleeding, scalding, defeathering,
137 evisceration, water chilling and deboning⁷. Subsequently, the breast meat (*Pectoralis major m.*)
138 samples were collected, and pH, colour, and water holding capacity were measured for PSE,
139 DFD and Normal samples classification after 24 h *post-mortem* and stored at $2 \pm 2^{\circ}\text{C}$.

140

141 -- FIGURE 4 --

142

143 **PSE, DFD and Normal meat samples classification**

144 The meat samples were classified according to pH and L* values based in Soares *et al.*¹⁹ and
145 Langer *et al.*⁴ as PSE meat with $\text{pH} < 5.8$ and $\text{L}^* \geq 51.0$, DFD meat with $\text{pH} > 6.2$ and $\text{L}^* \leq 45.0$
146 and Normal meat with $5.9 < \text{pH} < 6.2$ and $45.0 < \text{L}^* < 51.0$. The pH was measured (in duplicate)
147 by inserting electrodes into the *Pectoralis major m.* The colour was evaluated using a Minolta
148 CR-400 colorimeter, taking five different reading points per sample for colour determination (L*,
149 a* and b*).

150

151 **Water holding capacity (WHC) measurement**

152 WHC was determined based on a technique described by Hamm²⁰. After 24 h *post-mortem*,
153 samples were collected from the cranial side of the breast fillets and cut into cubes 2.0 ± 0.10 g.
154 They were carefully placed between two pieces of filter paper (Whatman n. 2) on acrylic plates
155 and then left under a 10-kg weight for 5 min and analysed in duplicate. The samples were
156 weighed and WHC was determined by the exudated water weight via the following formula: $[(W_i$
157 $- W_f / W_i) \times 100] - 100$, where W_i and W_f are the initial and final sample weights.

158

159 **Dead on arrival (DOA)**

160 The mortality of chickens was quantified at the time the birds were hung on the receiving
161 platform and designated DOA (dead on arrival)⁷.

162

163 **Statistical Analysis**

164 The Tukey's test ($P \leq 0.05$) was performed using the statistical software Statistica 7.0
165 (StatSoft, Tulsa, USA) and was applied to compare means of micro-environmental data, PSE,
166 DFD and DOA.

167

168 **RESULTS**

169

170 **Evaluation of microenvironments in the lorry container**

171 Table 1 shows AV, T, HI and RH throughout the 6-h journey and also during lairage for a
172 further 5 h at the slaughterhouse and commercial plant. The microclimate data were significantly
173 different ($P \leq 0.05$) among the three compartments (front, middle and rear). The front
174 compartment has a significantly lower T compared to the middle and rear compartments,

175 respectively (1.7°C and 4.1°C), RH (4.85% and 8.76%) and HI (2.8°C and 5.9°C). Figure 5
176 shows the details of variations in these variables throughout the journey from the farm to the
177 slaughterhouse and during lairage.

178

179 -- TABLE 1 --

180

181 -- FIGURE 5 --

182

183 **Evaluation of meat quality**

184 Table 2 shows the values of L*, a*, b*, pH and characterizing the meat-colour abnormalities
185 corroborating by the WHC (%) results. Table 3 shows the occurrence (%) of PSE and DFD and
186 Normal samples in the breast meat.

187

188 -- TABLE 2 --

189

190 -- TABLE 3 --

191

192 **DOA Index**

193 The DOA index determined was 0.45%. The simultaneous detection of PSE and DFD meat of
194 10.14% and 3.59%, respectively (Table 3), reveals that the birds were under heat and cold stress,
195 depending on their location in the lorry container. These results were unexpected because only
196 heat stress would be expected in a tropical zone. In fact, this relatively high DOA value found
197 suggested that the animals were under heat stress (middle and rear) or cold stress (front)
198 depending on their location in the container as observed in Figure 5B.

199

200 **DISCUSSION**

201 There were significant variations in the microclimate during transport; T, RH and HI values
202 increased gradually from the front to the rear as the result of decreasing the air velocity. The
203 average AV value in the front was approximately 3- and 5-fold higher than those in the middle
204 and rear, respectively.

205 Figure 5 clearly shows the influence of AV (5A) on the T (5B), HI (5C) and RH (5D) values
206 at these three different locations within the lorry during approximately 11 h of routine activity
207 before slaughtering. Because of the rough conditions of the farm roads, in the first 150 min of
208 the journey, the vehicle velocity barely reached 10-20 km/h and the AV was approximately 1-2
209 m/s at the front, 0.6-1.0 m/s at the middle and 0.5-0.3 m/s at the rear compartments and the T,
210 RH, HI values were relatively constant. Upon reaching the asphalt road, the average lorry speed
211 was approximately 68 km/h, with a strong wind blowing at the front of the vehicle and increasing
212 AV in every compartment: front (≈ 4.5 m/s), middle (≈ 1.6 m/s) and rear (≈ 0.9 m/s). The
213 recorded AV was highest at the front, and the other variables also varied depending on the
214 container compartment. Similar conditions were obtained after the lorry arrived at the processing
215 plant under the immediate water nebulisation (Fig. 4A) and forced ventilation (Fig. 4B) for 5 h.
216 During lairage, the AV dropped down gradually but irregularly at the front and at other
217 compartments, it remained constant despite the forced ventilation.

218 After approximately 3 h of lairage, the T values dropped from 30 to 20 °C at the rear,
219 followed by the middle compartment remaining constant at the front compartment (Fig. 5B). The
220 RH values were also the highest at the rear and the lowest at the front throughout the experiment
221 (Fig. 5D). During this 5-6 h journey, there were other sources of variation; for example, the three
222 to four lorry stops caused the AV to reach minimum values, as depicted in Figure 5A. In addition,

223 rainfall occurred throughout every journey, which might have influenced the variables, as the
224 lorries had open roofs. Therefore, under these conditions, the recorded RH values were irregular,
225 although they still followed the rear > middle > front pattern (Fig. 5D). Thus, the resultant HI
226 (Fig. 5C), which is the actual temperature experienced by the birds was high at those located at
227 the rear of the container. This fact is particularly important as the birds with the highest HI values
228 were subjected to heat stress, resulting in the highest PSE values being detected in samples from
229 birds transported at the rear (Table 3). The T values followed similarly the pattern of HI as seen
230 in Fig 5B and 5C, respectively.

231 These results were expected as lower on-board temperatures were recorded at the front and
232 middle, where the birds were exposed air circulation and rain, besides the feathers might not
233 exercise the thermal insulating function because they were wet. Thus, birds located at these
234 regions were exposed to the most wet and cold weather conditions, while birds at the rear were
235 exposed to higher heat values (Fig. 5B), subjecting them to different welfare conditions. The
236 results of this harsh thermal treatment included the development of DFD meat in samples from
237 the front (under hypothermia) and PSE meat from birds at the rear (under hyperthermia) as
238 observed previously in other experiment within Brazilian subtropical zone⁴ and other temperate
239 countries²¹.

240 As expected, WHC presented the significantly lower value in PSE (Table 2) about 5-6 % in
241 relation to Normal and DFD samples as a consequence of the protein denaturation promoted by
242 warm conditions and relatively low pH and higher value was from birds located at the rear.
243 Corroborating this result, the Table 2 also shows the highest b* value because a yellow colour is
244 predominant in PSE meat, typical from heat-stressed animals²². As observed in Table 3, the total
245 occurrence of PSE meat was relatively lower and conversely, the occurrence of DFD was higher

246 both in relation the results previously obtained by our group in the sub tropical climate of
247 southern region of the country⁴.

248 As birds do not have sweat glands, the conditions of high T and RH may severely affected
249 their heat exchange systems therefore, the best way for heat dissipation used by birds is
250 evaporation by hyperventilation (increased respiratory rate), and such exchange is impaired by
251 high values of relative humidity. The risk of heat stress was increased when RH rose at the centre
252 towards rear planes of the vehicle. The reduced air circulation, increase in respiratory rate, and
253 heat generated from the birds and from the voided faeces, apparently, increased the moisture
254 content at those locations giving rise to the heat stress development. Similar heterogeneous
255 thermal conditions have been reported during transportation of broilers during winter in
256 temperate countries^{21,23,24}.

257 The RH values recorded at the end of the journey and beginning of the lairage were higher
258 than the ideal ambient temperature values of 18–28°C and RH values of 50–70% established for
259 birds in the tropical zone²⁵ and may have severely affected the birds' heat exchange system. This
260 situation has the potential to become catastrophic, as birds are homoeothermic they increase their
261 respiratory rate to dissipate the heat. The reduced air circulation (Table 1, Fig 5A) made to
262 increase this respiratory rate, and heat generated from the birds increased the RH values,
263 especially at the rear area (Table 1, Fig 5D) corroborated by the resulting highest value of HI
264 (Table 1, Fig 5D).

265 Physiologically, the birds are strongly affected by the variables observed in this experiment,
266 especially over long-distance journeys and long periods in lairage without food. It is therefore
267 possible that hidden effects influence the animal welfare and hence the meat qualities. The
268 relative high value of DOA indicated these dramatic conditions. As observed previously by⁷,
269 DOA seems not to be closely related to heat stress; in this experiment, the rate of PSE, which is

270 associated with heat stress, was lower than is normally observed in southern Brazil^{3,4,7}. Under
271 conditions similar to those reported herein, the DOA index value found in the south was 0.20,
272 much lower than the 0.45% reported herein. Similarly heterogeneous on-board thermal conditions
273 have been reported during transportation of broilers in other temperate^{21,26} and tropical
274 climates²⁷.

275 The development of DFD and PSE meat indicates that in a tropical climate, birds in transit
276 and lairage are placed under cold and hot stress. This situation led to a high DOA index, the
277 highest so far evaluated in this country. Several potential causes were identified, including the
278 relatively long period on a rough farm road, as there was virtually no AV, increasing the heat
279 stress on-board and inducing PSE. Once the lorry reached the asphalt road and the chickens were
280 exposed to wind and rain, the cold and wet conditions produced DFD meat. All of these
281 abnormalities were exacerbated during lairage, and in both situations, heat and cold, along with
282 elevated RH, resulted in an increase in the DOA index. Nevertheless, all of these factors are
283 controllable, and it is advisable to encourage poultry-processing plant companies to follow good
284 pre-slaughter management practices in order to preserve animal welfare and thus meat quality.

285

286 REFERENCES

- 287 [1] ABPA. Brazilian Association of Animal Protein. Annual Report 2016., 2016. Available from:
288 <[http://abpa-](http://abpa-br.com.br/storage/files/versao_final_para_envio_digital_1925a_final_abpa_relatorio_anual_2016_portugues_web1.pdf)
289 [br.com.br/storage/files/versao_final_para_envio_digital_1925a_final_abpa_relatorio_anual_](http://abpa-br.com.br/storage/files/versao_final_para_envio_digital_1925a_final_abpa_relatorio_anual_2016_portugues_web1.pdf)
290 [2016_portugues_web1.pdf](http://abpa-br.com.br/storage/files/versao_final_para_envio_digital_1925a_final_abpa_relatorio_anual_2016_portugues_web1.pdf)>. [Accessed 28 may 2016].
- 291 [2] Guarnieri, P.D., A.L. Soares, R. Olivo, J.P.R. Schnider, M. Macedo, E.I. Ida and M.
292 Shimokomaki, 2004. Preslaughter handling with water shower spray inhibits PSE (pale, soft,

293 exudative) broiler breast meat in a commercial plant. Biochemical and ultrastructural
294 observations. *J. Food Biochem.*, 28: 269-277.

295 [³] Simões, G.S., A. Oba, T. Matsuo, A. Rossa, M. Shimokomaki and E.I. Ida, 2009. Vehicle
296 thermal microclimate evaluation during brazilian summer broiler transport and the
297 occurrence of PSE (Pale, Soft, Exudative) meat. *Braz. Arch. Biol. Technol.*, 52: 195-204.

298 [⁴] Langer, R.O.S., G.S. Simões, A.L. Soares, A. Oba, A. Rossa, M. Shimokomaki and E.I. Ida,
299 2010. Broiler transportation conditions in a Brazilian commercial line and the occurrence of
300 breast PSE (Pale, Soft, Exudative) meat and DFD-like (Dark, Firm, Dry) meat. *Braz. Arch.*
301 *Biol. Technol.*, 53: 1161-1167.

302 [⁵] Carvalho, R.H., A.L. Soares, M. Grespan, S.R. Spurio, F.A. Coró, A. Oba and M.
303 Shimokomaki, 2015. The effects of the dark house system on the growth, performance and
304 meat quality of broiler chicken. *Animal Sci. J.*, 86: 189-193.

305 [⁶] Oba, A., M. Almeida, J.W. Pinheiro, E.I. Ida, D.F. Marchi, A.L. Soares and M.
306 Shimokomaki, 2009. The effect of management of transport and lairage conditions on broiler
307 chicken breast meat quality and DOA (Death on Arrival). *Braz. Arch. Biol. Technol.* 52:
308 205-211.

309 [⁷] Spurio, R.S., A.L. Soares, R.H. Carvalho, V. Silveira-Junior, M. Grespan, A. Oba and M.
310 Shimokomaki, 2016. Improving transport container design to reduce broiler chicken PSE
311 (pale, soft, exudative) meat in Brazil. *Anim. Sci. J.*, 87: 277-83.

312 [⁸] Kissel, C., A.L. Soares, A. Oba and M. Shimokomaki, 2015. Effect of electrical water bath
313 stunning of broilers on stress and meat quality. *J. Poult. Sci.*, 52: 74-80.

314 [⁹] Owens, C.M., C.Z. Alvarado and Sams, A.R., 2009. Research developments in pale, soft, and
315 exudative turkey meat in North America. *Poult. Sci.*, 88: 1513-1517.

316

- 317 [10] Pedrão, M.R., T. Kato, A.L. Soares, E.I. Ida, F.A.G. Coró, M. Grespan, F.G. Paião and M.
318 Shimokomaki, 2015. Influence of cooling in glycolysis rate and development of PSE (pale,
319 soft, exudative) meat. *Braz. Arch. Biol. Technol.* 58: 272-277.
- 320 [11] Mitchell, M.A. and Kettlewell, P.J., 1998. Physiological stress and welfare of broiler
321 chickens in transit: solutions not problem! *Poult. Sci.*, 77: 1803-1814.
- 322 [12] Knierim, U. and Gocke, A., 2003. Effect of catching broilers by hand or machine on rates of
323 injuries and dead-on-arrivals. *Anim. Welf.*, 12: 63–73.
- 324 [13] Nijdam, E., E. Delezie, E. Lambooi, M.J.A. Nabuurs, E. Decuypere and J.A. Stegeman,
325 2005. Comparison of bruises and mortality, stress parameters, and meat quality in manually
326 and mechanically caught broilers. *Poult. Sci.*, 84: 467–474.
- 327 [14] Nijdam, E., P. Arens, E. Lambooi, E. Decuypere and J.A. Stegeman, 2004. Factors
328 influencing bruises and mortality of broilers during catching, transport, and lairage. *Poult.*
329 *Sci.*, 83: 1610–1615.
- 330 [15] Vecerek, K., S. Grbalova, E. Voslarova, B. Janackova and M. Malena, 2006. Effects of travel
331 distance and the season of the year on death rates of broilers transported to poultry
332 processing plants. *Poult. Sci.*, 85: 1881–1884.
- 333 [18] Petracci, M., M. Bianchi, C. Cavani, P. Gaspari and A. Lavazza, 2006. Preslaughter mortality
334 in broiler chickens, turkeys, and spent hens under commercial slaughtering. *Poult. Sci.* 85:
335 1660–1664.
- 336 [19] Soares, A.L., J.A.F. Lara, E.I. Ida, P.D. Guarnieri, R. Olivo and M. Shimokomaki, 2002.
337 Variation in the colour of Brazilian broiler breast fillet. In: *International Congress of Meat*
338 *Science and Technology*, 2002. *Proceedings. Roma* 48: 540-541.
- 339 [20] Hamm, R., 1960. Biochemistry of meat hydration. *Adv. Food Res.*, 10: 355-362.

- 340 [21] Knezacek, T.D., A.A. Olkowski, P.J. Kettlewell, M.A. Mitchell, H.L. Classen, 2010.
341 Temperature gradients in trailers and changes in broiler rectal and core body temperature
342 during winter transportation in Saskatchewan. *Can. J. Anim. Sci.*, 90: 321–330.
- 343 [22] Olivo, R., A.L. Soares, E.I. Ida and M. Shimokomaki, 2001. Dietary vitamin E inhibits
344 poultry PSE and improves meat functional properties. *J. Food Biochem.*, 25: 271-283.
- 345 [23] Strawford, M. L., J. M. Watts, T. G. Crowe, H. L. Classen, and P. J. Shand., 2011. The effect
346 of simulated cold weather transport on core body temperature and behavior of broilers. *Poult.*
347 *Sci.*, 90: 2415–2424.
- 348 [24] Burlingquette N.A., M.L. Strawford, J.M. Watts, H.L. Classen, P.J. Shand and T.G. Crowe,
349 2011. Broiler trailer thermal conditions during cold climate transport. *Can. J. Ani. Sci.*, 92:
350 109–122.
- 351 [25] Donkoh, A., 1989. Ambient temperature: a factor affecting performance and physiological
352 response of broiler chickens. *Int. J. Biometeor.*, 33: 259-265.
- 353 [26] Dadgar, S., E.S. Lee, T.V.L. Leer, N. Burlingquette, H.L. Classen, T.G. Crowe and P.J. Shand,
354 2010. Effect of microclimate temperature during transportation of broiler chickens on quality
355 of the pectoralis major muscle. *Poult. Sci.*, 89: 1033-1041.
- 356 [27] Minka, N.S. and Ayo, J.O., 2010. Physiological responses of food animals to road
357 transportation stress. *Afr. J. Biotechn.*, 9: 6601-6613.

358

359 **FIGURES LEGENDS**

360 **Figure 1.** (A) Map of tropical north-eastern Brazil, Paraíba (PB) and Rio Grande do Norte (RN)
361 States, where the experiment was carried out. (B) The main highway on which the birds were
362 transported over a distance of 289 km from the farm to the commercial processing plant.

363

364 **Figure 2.** Flowchart of broiler handling for transportation from farm to processing plant (Langer
365 *et al.*⁴).

366

367 **Figure 3.** Side and back views of the lorry container. A) Side view showing the positions of the
368 data loggers (dark-grey crates): horizontally at 1.5 m, 5.4 m and 9.2 m (2nd, 7th and 12th crate
369 columns, respectively), from the front, and vertically at 0.84 m and 2.24 m (3rd and 8th crate,
370 respectively) from the lorry floor. B) Back view showing the position of data loggers (dark grey)
371 in the two central lanes and a 20-cm empty space, as described by Spurio *et al.*⁷.

372

373 **Figure 4.** A) Birds under a 5-min shower just after arrival at the commercial precinct
374 slaughterhouse and processing plant. B) Birds under forced ventilation.

375

376 **Figure 5.** Variations in air ventilation (A), temperature (B), heat index (C) and relative humidity
377 (D) at the front, middle and rear of the lorry container during a transport (TRP) journey of 350
378 min (T) and lairage (LG) of 300 min at the slaughterhouse holding space (n = 3 journeys).

379

380 **Table 1** Mean values of air ventilation (AV), temperature (T), relative humidity (RH) and heat
 381 index (HI) performed in a 289 km journey and at lairage for 5 h before birds slaughtering
 382 measured at the lorry container front, middle and rear positions.

TREATMENTS	AV (m/s)	T (°C)	RH (%)	HI (°C)
Front	2.69 ± 1.20 a	22.32 ± 1.26 c	84.77 ± 3.29 c	26.27 ± 2.05 c
Middle	0.91 ± 0.33 b	24.77 ± 2.74 b	88.68 ± 4.11 b	29.45 ± 3.39 b
Rear	0.51 ± 0.16 c	26.47 ± 3.20 a	93.53 ± 3.28 a	32.26 ± 4.24 a

383 Means ± standard deviation on the same column with no common superscripts are significantly
 384 different by Tukey's Test ($P \leq 0.05$).

385

386 **Table 2** Values of L*, a*, b*, pH and WHC (water holding capacity) of breast fillets classified as
 387 Normal, PSE and DFD meat.

PARAMETERS	NORMAL	PSE	DFD
L*	49.63 ± 2.61 b	55.49 ± 1.35 a	42.68 ± 0.89 c
a*	1.73 ± 0.70 a	1.73 ± 0.68 a	1.79 ± 0.57 a
b*	4.67 ± 1.34 b	5.95 ± 1.46 a	2.25 ± 0.91 c
pH	6.09 ± 3.1 a	5.70 ± 0.07 a	6.15 ± 0.13 a
WHC (%)	71.46 ± 3.04 a	69.47 ± 2.79 b	73.88 ± 2.03 a

388 Means ± standard deviation on the same line with no common superscripts are significantly
 389 different by Tukey's test (P < 0.05).

390

391 **Table 3.** Occurrence (%) of PSE and DFD abnormalities and Normal breast meat samples taken
 392 from birds located in lorry container positions of front, middle and rear after 6 h journey and 5 h
 393 lairage.

Meat Classification	Front	Middle	Rear
Normal	96.60 ± 0.45 a	95.20 ± 0.15 b	94.16 ± 0.84 b
PSE	2.75 ± 0.38 b	4.40 ± 0.18 a	5.62 ± 1.17 a
DFD	0.65 ± 0.08 a	0.41 ± 0.08 b	0.22 ± 0.09 b

394 Means ± standard deviation on the same line with no common superscripts are significantly
 395 different by Tukey's test ($P < 0.05$).

Figura 1.

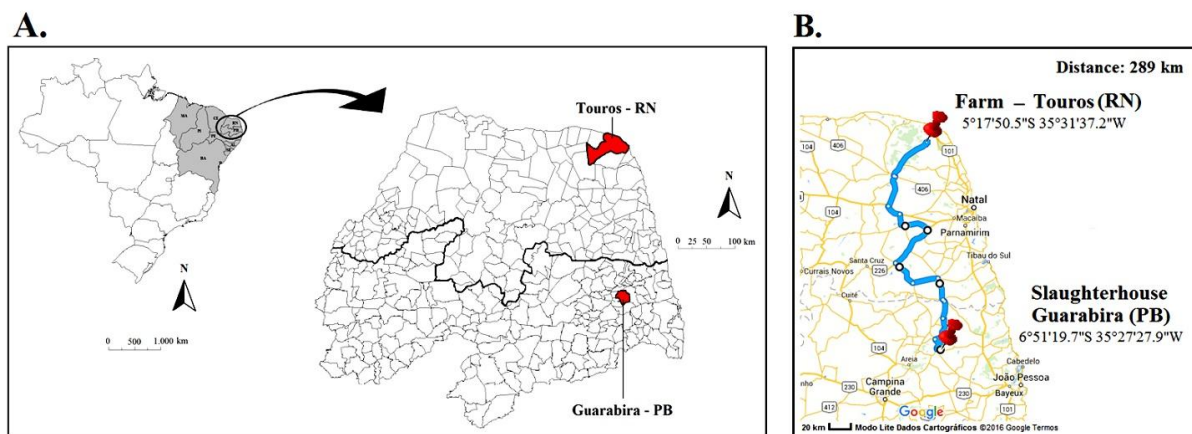


Figura 2.

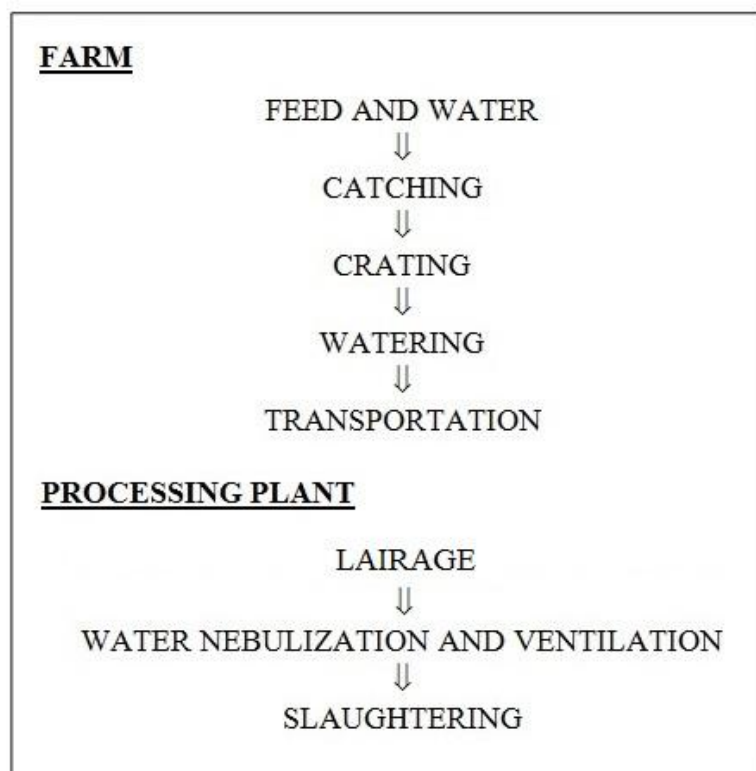


Figura 3.

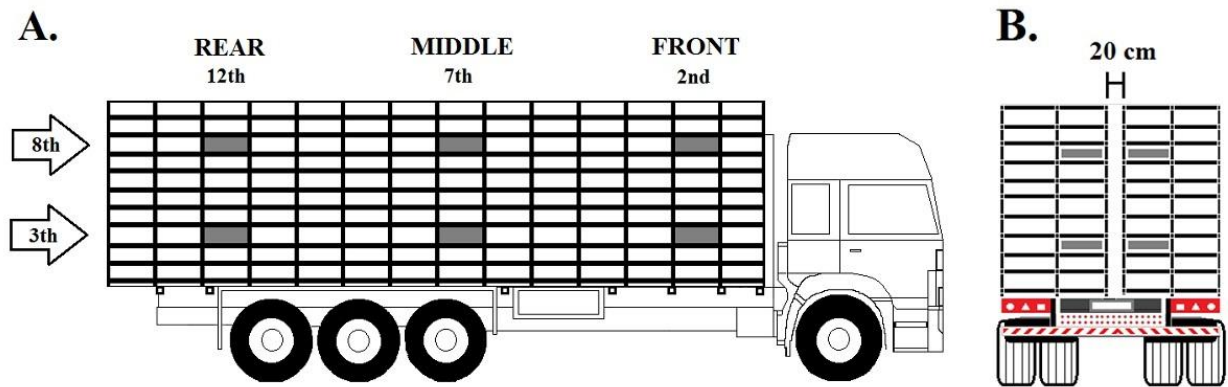


Figura 4.

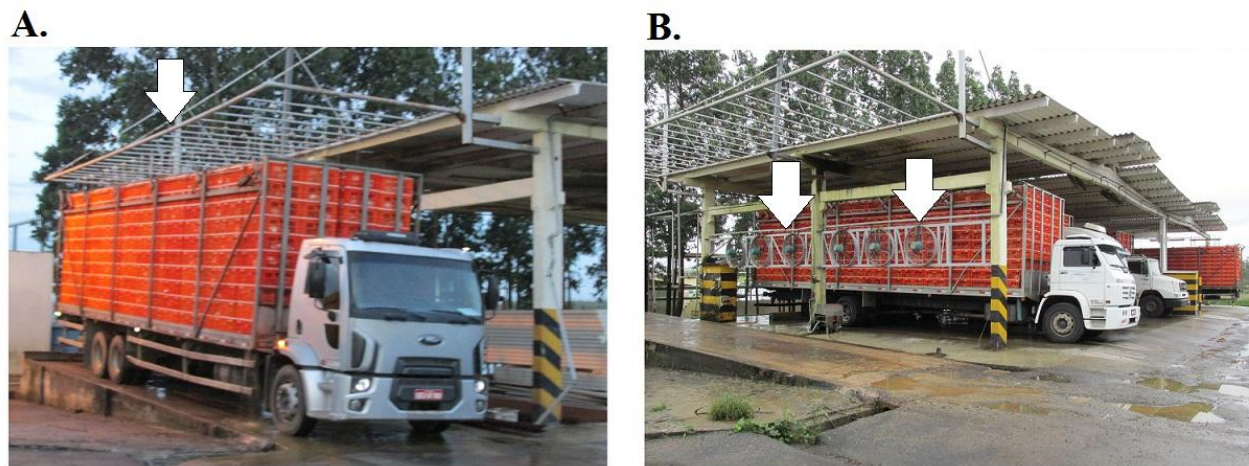
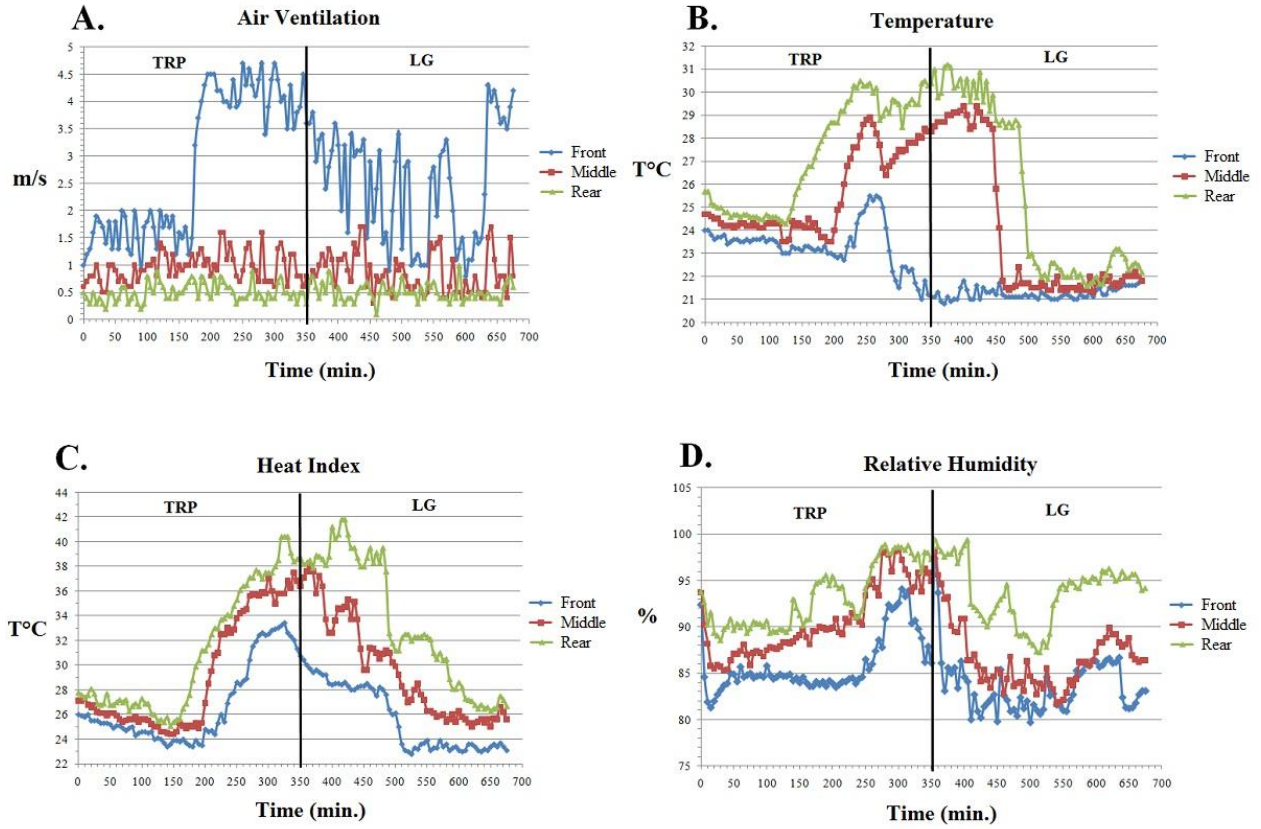


Figura 5.



I have the following similar manuscripts already published from this project:

Not applicable

For quick understanding about the importance of the project following are the significant findings of my submitted article?

Further to our research related to broiler chicken in-transit and animal welfare, we carried out this experiment in a unique environment as tropical climate in a Brazilian north-eastern region where the seasons are divided into dry and rainy season. In the present study, we described the occurrence of Pale, Soft, Exudative meat (PSE) broiler breast meat, Dark, Firm, Dry meat (DFD), and Dead on Arrival (DOA) at the slaughterhouse plant after journey by lorry and during lairage and we believe that the results should be useful not only to Brazil but also in every tropical country around the world. The article was submitted for English language reviewed by American Journal Experts (AJE).

How findings of this research work are unique in their nature?

Broiler transport is one of the most important items to be controlled in order to avoid thermal stress thus maintaining the animal welfare consequently the meat quality. By having a continental size, Brazil presents tropical and subtropical geographical climate zones. Despite of being an important meat producer and exporter country, a vast majority of broiler meat is produced at the subtropical region and the results reported herein are the first to be communicated if not within the tropical world. Thus they are not only useful to the Brazilian farmers/consumers but also throughout the world in order to keep the animal welfare.

A paragraph explaining why your manuscript is appropriate for the selected journal

The broiler chicken behavior submitted to harsh conditions faced in-transit under different microclimate environments within the lorry container and its influence on the meat qualities.



AMERICAN JOURNAL EXPERTS

EDITORIAL CERTIFICATE

This document certifies that the manuscript listed below was edited for proper English language, grammar, punctuation, spelling, and overall style by one or more of the highly qualified native English speaking editors at American Journal Experts.

Manuscript title:

Simultaneous occurrence of broiler chicken hyper- and hypothermia in-transit and lairage and DOA (Dead on Arrival) index under tropical climate

Authors:

Arlan S. Freitas, Leila M. Carvalho, Adriana L. Soares⁴, Arnoud Neto⁵, Marta S. Madruga, Rafael H. Carvalho, Elza I. Ida, Massami Shimokomaki

Date Issued:

August 15, 2016

Certificate Verification Key:

99CF-E521-29EE-FBBE-B2FF



This certificate may be verified at www.aje.com/certificate. This document certifies that the manuscript listed above was edited for proper English language, grammar, punctuation, spelling, and overall style by one or more of the highly qualified native English speaking editors at American Journal Experts. Neither the research content nor the authors' intentions were altered in any way during the editing process. Documents receiving this certification should be English-ready for publication; however, the author has the ability to accept or reject our suggestions and changes. To verify the final AJE edited version, please visit our verification page. If you have any questions or concerns about this edited document, please contact American Journal Experts at support@aje.com.

American Journal Experts provides a range of editing, translation and manuscript services for researchers and publishers around the world. Our top-quality PhD editors are all native English speakers from America's top universities. Our editors come from nearly every research field and possess the highest qualifications to edit research manuscripts written by non-native English speakers. For more information about our company, services and partner discounts, please visit www.aje.com.

07/11/2016

Acceptance Letter

SCIENCE ALERT

www.scialert.com

P.O.Box 126208 Deira Dubai, UAE.

Nov 07, 2016

Dr. Massami Shimokomaki,
Rua Amador Bueno 351 apt 302
Vila Ipiranga
Londrina, PR
CEP 86010620

Subject: Acceptance Letter for Article No. 80839-IJPS-ANSI

It's a great pleasure for us to inform you that below mentioned manuscript has been accepted for publication in International Journal of Poultry Science as Research Article on the recommendation of the reviewers.

Title: Simultaneous Occurrence of Broiler Chicken Hyper- and Hypothermia In-Transit and Lairage and DOA (Dead on Arrival) Index under Tropical Climate

Author's Name: Arlan Silva Freitas, Leila Moreira Carvalho, Adriana Lourenço Soares, Arnoud Net, Marta Suely Madruga, Rafael Humberto de Carvalho, Elza Iouko Ida and Massami Shimokomaki

Receiving Date: October 13, 2016

Revised on: November 01, 2016

Regards



M. Imran Pasha
Publication Manager

CONCLUSÕES

Durante as estações seca e chuvosa é necessário planejamento estratégico para promover o bem estar animal, minimizando deste modo ocorrência de carnes PSE e DFD ocasionadas por hipertermia e hipotermia, respectivamente.

O tempo de exposição e a condição de alta temperatura e umidade relativa durante o transporte da granja ao abatedouro e o tempo de espera para abate das aves, influenciaram negativamente os parâmetros fisiológicos e a qualidade da carne, comprovando o consequente efeito do estresse térmico no metabolismo e no equilíbrio térmico corporal das aves.

Além dos fatores climáticos etapas cruciais do manejo ante-abate como apanha, banho, transporte, nebulização, tempo de espera devem ser monitorados e padronizados para minimizar consequências como as anormalidades (PSE e DFD) e DOA gerados.

APÊNDICE

APÊNDICE A

FICHA DE REGISTRO DE ACOMPANHAMENTO DO LOTE

MUNICÍPIO: _____ ESTADO: _____

DATA DA COLETA		
PROPRIETÁRIO		
IDENTIFICAÇÃO DO LOTE		
LINHAGEM		
IDADE		
Nº DE AVES DO LOTE		
Nº DE AVES/POR CAMINHÃO/GAIOLA		
HORÁRIO DA RETIRADA DA RAÇÃO		
HORÁRIO DA APANHA		
DISTÂNCIA PERCORRIDA	INICIAL	FINAL
Km FINAL		
HORÁRIO DO TRANSPORTE	INÍCIO	FINAL
TEMPO DE TRANSPORTE		
TEMPERATURA AMBIENTAL INTERNA	HORÁRIO	T °C
		UR (%)
TEMPERATURA AMBIENTAL EXTERNA	HORÁRIO	T °C
		UR (%)
HORÁRIO DO BANHO NA GRANJA	INÍCIO	FINAL
HORÁRIO DO INICIO DO ABATE	DESCARREGAMENTO	
	INÍCIO	FINAL
% DE MORTALIDADE	GRANJA GAIOLAS ANALISADAS	
NEBULIZAÇÃO NO AVIARIO	SIM	NÃO
TEMPO DE BANHO NO ABATEDOURO		
CONDIÇÕES CLIMATICAS NA REGIAO DO ABATEDOURO		
DIA/HORÁRIO DA MEDIDA DE pH/COR/CRA		
OBSERVAÇÕES COMPLEMENTARES		