



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**NÍTALO ANDRÉ FARIAS MACHADO**

**TRANSPORTE DE SUÍNOS EM CLIMA TROPICAL: BEM-ESTAR ANIMAL,  
ESTRESSE TÉRMICO E VENTILAÇÃO NA CARGA**

**FORTALEZA**

**2020**

NÍTALO ANDRÉ FARIAS MACHADO

TRANSPORTE DE SUÍNOS EM CLIMA TROPICAL: BEM-ESTAR ANIMAL,  
ESTRESSE TÉRMICO E VENTILAÇÃO NA CARGA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Engenharia de Sistemas Agrícolas.

Orientador: Prof. Dr. José Antonio Delfino  
Barbosa Filho

FORTALEZA

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

M132t Machado, Nítalo André Farias.

Transporte de suínos em clima tropical: bem-estar animal, estresse térmico e ventilação na carga /  
Nítalo André Farias Machado. – 2020.

113 f. : il. color.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-  
Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2020.

Orientação: Prof. Dr. José Antonio Delfino Barbosa-Filho.

1. Bioclimatologia. 2. Simulação computacional. 3. Pré-abate. 4. Zootecnia de precisão. I. Título.  
CDD 630

---

NÍTALO ANDRÉ FARIAS MACHADO

TRANSPORTE DE SUÍNOS EM CLIMA TROPICAL: BEM-ESTAR ANIMAL,  
ESTRESSE TÉRMICO E VENTILAÇÃO NA CARGA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Engenharia de Sistemas Agrícolas.

Aprovada em \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. José Antonio Delfino Barbosa Filho (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Iran José Oliveira da Silva  
Universidade de São Paulo (ESALQ/USP)

---

Prof<sup>a</sup>. Dra. Carla Renata Figueiredo Gadelha  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Héilton Pandorfi  
Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)

---

Prof. Dr. Geraldo Luís Bezerra Ramalho  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

A toda minha família, especialmente aos meus pais, *Nivaldo e Natalice*, a quem eu devo respeito e a educação que tenho hoje. Amo vocês! A *Hosana Andrade* pelo seu companheirismo, respeito e amor, que tornaram os dias aflitos mais fáceis.

Dedico!

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por todo amor, graça, misericórdia, e por me conceder capacidade física, racional e emocional nessa jornada!

À Universidade Federal do Ceará, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola pela oportunidade de crescimento pessoal e profissional.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoa de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro durante o curso de doutorado.

Ao Prof. Dr. José Antonio Delfino Barbosa Filho pela orientação, conselhos, paciência e esforços para fazer deste trabalho algo concreto. Todo meu respeito e gratidão pela confiança de poder realizar o curso de doutorado.

Ao Prof. Dr. Daniel Gurgel Pinheiro pelas valiosas contribuições para realização deste trabalho.

Ao Dr. Tiago Andrade pelo apoio incondicional para realização dos ensaios em campo desta pesquisa.

A todo o Núcleo de Estudos em Ambiente e Bem-Estar Animal (NEAMBE) pela dedicação na exaustiva rotina de coleta de dados do período experimental, e pela amizade que se firmou durante o curso de doutorado, em especial ao Kenio, Beijamim, Ana Beatriz, Karol e Simone.

Aos amigos por sua presença, ajuda e conselhos que foram de real importância para a realização desse trabalho: Tony Pascual, Marta Andrade, Carlos Machado, Ana Riva, Kenya Nunes, Geovanne Barbosa, Daniel Santos, George Bruno, Wilson Filho, Felipe Pimenta, Marcos Leite, Karlyene Rocha e vários outros (as). Obrigado!

Aos familiares que sempre disponibilizam afago, carinho e apoio incondicional, em especial ao meu irmão Ítalo Tiago e a minha Tia Nirã. Obrigado, porque sem vocês nada disso seria possível!!

Ao professor Celso Kawabata (*In memoriam*) e a professora Michele Parente pelas valiosas contribuições em minha jornada acadêmica na UFMA, especialmente pelo apoio, incentivo e inestimáveis ensinamentos científicos. Meu reconhecimento e gratidão eterna!

Aos Docentes e Funcionários lotados no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará.

Os rios não bebem sua própria água; às árvores não comem seus próprios frutos. O sol não brilha para si mesmo; e as flores não espalham sua fragrância para si. Viver para os outros é uma regra da natureza [...]. A vida é boa quando você está feliz; mas a vida é muito melhor quando os outros estão felizes por sua causa. (Papa Francisco).

## RESUMO

Dividida em três capítulos, esta tese aborda os aspectos do bem-estar animal e da ambiência no transporte de suínos. No capítulo I, objetivou-se identificar as zonas de calor da carga e avaliar sua relação com o estresse térmico dos suínos. Foram monitoradas 4 cargas comerciais em viagens de 170 km, sendo amostrados 192 suínos (48 por carga e 4 por compartimento) para coleta de indicadores fisiológicos de estresse térmico. Aplicou-se técnicas da geoestatística e da dinâmica de fluídos computacionais (CFD) para compreender a dinâmica das zonas de calor e os padrões de fluxo de vento no interior da carga. Foi possível verificar, durante o transporte, a formação de zonas de calor com diferentes magnitudes ao longo da carga, devido a dinâmica da ventilação. Um núcleo térmico (bolsão de calor) também foi detectado na região frontal da carga, associado aos maiores valores de frequências respiratórias e cortisol salivar dos suínos. No capítulo II objetivou-se avaliar os efeitos individuais e combinados das distâncias (30 e 170 km) e dos turnos (manhã, tarde e noite) de transporte nas perdas pré-abate e bem-estar animal. Foram utilizados 684 suínos, provenientes de 19 viagens e subsequente registro do perfil de entalpia da carga, respostas fisiológicas e perdas produtivas. O transporte realizado no turno da tarde foi mais prejudicial ao bem-estar dos suínos e mais suscetível à ocorrência de perdas, principalmente em curtas distâncias. Portanto, pôde-se constatar que a relação entre o estresse dos suínos com a distância de transporte não se comportou de forma linear. No capítulo III, testou-se a hipótese de que o uso de dispositivos para direcionar o fluxo de vento para o interior da carroceria do caminhão poderia reduzir o calor e o acúmulo de umidade da carga. Para isso, dois dispositivos foram desenvolvidos (aerofólio e defletor). Técnicas de CFD e de modelagem 3D foram aplicadas para avaliar o desempenho dos dispositivos. O uso do aerofólio aumentou o fluxo de vento na carga e reduziu a entalpia (-3,9%) e a umidade (-6,0%) dos compartimentos (ambos,  $P < 0,001$ ). O uso do defletor reduziu a entalpia (-3,04%), mas resultou na translocação do núcleo térmico para os compartimentos da região frontal do andar superior da carga. Os dispositivos desenvolvidos otimizaram a ventilação no interior da carga. O uso do aerofólio apresentou melhor desempenho nesse processo, porém, tal efeito foi potencializado pela associação com o defletor na lateral da carroceria do caminhão.

**Palavras-chave:** Bioclimatologia. Simulação computacional. Pré-abate. Zootecnia de precisão.

## ABSTRACT

Divided into three chapters, this thesis addresses the aspects of animal welfare and ambience in pig transport. In Chapter I, the objective was to identify the heat zones of the load and to evaluate its relationship with the thermal stress of pigs. Four commercial loads were monitored in journeys of 170 km, with 192 pigs sampled (48 per load and 4 per compartment) to collect physiological indicators of heat stress. Geostatistics and computational fluid dynamics (CFD) techniques were applied to understand the dynamics of heat zones and the patterns of wind flow within the load. It was possible to verify, during transport, the formation of heat zones with different magnitudes along the load, due to the dynamics of ventilation. A thermal core was also detected in the frontal region of the trailer, associated with the highest values of respiratory frequencies and salivary cortisol of the pigs. In Chapter II, the objective was to evaluate the individual and combined effects of distances (30 and 170 km) and shifts (morning, afternoon and night) of transport in pre-slaughter losses and in the welfare of pigs. 684 pigs were used, from 19 journeys and subsequent registration of the load enthalpy profile, physiological responses and production losses. The transport in the afternoon shift was more detrimental to the welfare of the pigs and more susceptible to the occurrence of losses, especially over short distances. Therefore, it was found that the relationship between the stress of the pigs and the transport distance did not behave in a linear way. In chapter III, the hypothesis was tested that the use of devices to direct the wind flow into the load could reduce the thermal energy and the accumulation of moisture contained in the load compartments. For this, two prototypes were developed (airfoil and deflector). The CFD and 3D modeling techniques were applied to evaluate the performance of the prototypes. The use of the airfoil increased the wind flow of the load and reduced the thermal energy (-3.9%) and humidity (-6.0%) of the compartments (both,  $P < 0.001$ ). The use of deflector reduced the thermal energy (-3.04%), but resulted in the translocation of thermal core to the frontal region of the upper deck of the load. The results of the simulations showed that both devices optimized the ventilation of the load. The use of the airfoil performed better in this process; however, this effect was enhanced by the association with the use of the deflector on the side of the trailer.

**Keywords:** Bioclimatology. Computational simulation. Pre-slaughter. Precision animal production.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Princípios das cinco liberdades para o bem-estar animal.....	18
Figura 2 – Representação da zona de termoneutralidade.....	19
Figura 3 – Representação espacial de um voxel.....	29
Figura 4 – Modelo virtual do veículo com carroceria utilizado para o transporte dos suínos.....	48
Figura 5 – Mapas 2D da entalpia no andar superior (A) e inferior (B) da carroceria. Mapa 3D da entalpia da carga durante o transporte de suínos.....	51
Figura 6 – Simulação do fluxo de vento ao longo da carga durante o transporte de suínos nas condições de contorno estabelecidas na Tabela 1.....	52
Figura 7 – Dissimilaridade multivariada entre os compartimentos da carga.....	56
Figura 8 – Esquema dos tratamentos investigados.....	65
Figura 9 – Variação da Temperatura e Umidade Relativa (A), e do Entalpia e Índice de Temperatura e Umidade (B) do ambiente externo durante as viagens.....	69
Figura 10 – Médias ( $\pm$ SE) de Entalpia (A) e Índice de Temperatura e Umidade (B) da carga.....	70
Figura 11 – Médias ( $\pm$ SE) do tempo de transporte (A) e velocidade média do caminhão (B).....	74
Figura 12 – Visão geral com explosão (A) e sem explosão das peças nas vistas traseira (B) e frontal (C) do aerofólio.....	81
Figura 13 – Visão geral com explosão (A) e sem explosão das peças nas vistas frontal (B), lateral (C) e auxiliar (D) do defletor.....	82
Figura 14 – Modelos virtuais avaliados.....	83
Figura 15 – Modelos virtuais com o defletor acoplado na carroceria do caminhão em diferentes posições: dianteira (A), central (B) e traseira (C).....	84
Figura 16 – Fluxo de vento do modelo virtual da carga com o aerofólio.....	86
Figura 17 – Mapas 3D da entalpia da carga modelo virtual usando o aerofólio (A), o defletor (B), com ambos (C) e com aerofólio e defletor na zona traseira da carga (D).....	86
Figura 18 – Fluxo de vento do modelo virtual da carga com o defletor.....	88

Figura 19 – Fluxo de vento do modelo virtual da carga com o conjunto aerofólio e o defletor.....	88
Figura 20 – Fluxo de vento do modelo virtual com aerofólio associado ao defletor instalado na região traseira da carroceira.....	90

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Condições de Contorno.....	49
Tabela 2 –	Médias ( $\pm$ SE) da temperatura corporal (TC), temperatura retal (TR), frequência respiratória (FR), cortisol salivar e concentração de lactato dos suínos transportados.....	53
Tabela 3 –	Coefficientes canônicos padronizados para amostra total e variação total explicada por cada variável canônica (Can).....	55
Tabela 4 –	Descrição dos parâmetros relacionados às perdas produtivas das cargas.....	68
Tabela 5 –	Médias ( $\pm$ SE) dos parâmetros fisiológicos dos suínos transportados nos diferentes turnos e distâncias.....	71
Tabela 6 –	Médias ( $\pm$ SE) do percentual de suínos incapacitados não machucados (NANI). incapacitados machucados ou feridos (NAI). mortes na chegada (DOA) e perda produtiva total (PPT) das cargas monitoradas.....	73
Tabela 7 –	Médias ( $\pm$ SE) do tempo de carregamento e descarregamento dos suínos.....	75
Tabela 8 –	Médias ( $\pm$ SE) da temperatura (TA), umidade relativa (UR) e entalpia da carga dos modelos virtuais e da carga real.....	87

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CFD	Dinâmica de Fluidos Computacional
CONTRAN	Conselho Nacional de Trânsito
DOA	Mortes na Chegada
DFD	Carne Escura, Dura e Seca
EU	União Europeia
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAWC	Comitê de Bem-Estar dos Animais de Fazenda do Reino Unido
FR	Frequência Respiratória
H	Horas
INF	Andar Inferior da Carga
IoT	Internet das Coisas
ITU	Índice de Temperatura e Umidade
Km	Quilômetro
Min	Minutos
NAI	Animais Machucados
NANI	Animais Fadigados
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
PET	Politereftalato de Etila
PSE	Carne Pálida, Macia e Exsudativa
pH	Potencial Hidrogeniônico
s	Segundos
SAS	<i>Software</i> de Análise Estatística
SDK	Kit de Desenvolvimento de <i>Software</i>
SUP	Andar Superior da Carga
TC	Temperatura Corporal
TR	Temperatura Retal
USDA	Departamento de Agricultura dos Estados Unidos

## LISTA DE SÍMBOLOS

\$	Dólar
%	Porcentagem
®	Marca Registrada
ε	Emissividade

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	16
2	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	18
2.1	<b>Bem-Estar animal e ambiência</b> .....	18
2.2	<b>A operação de transporte dos suínos</b> .....	21
2.2.1	<i>Jejum</i> .....	22
2.2.2	<i>Etapas de Carregamentos e Descarregamento</i> .....	23
2.2.3	<i>Etapa de transporte</i> .....	24
2.3	<b>Zootecnia de Precisão</b> .....	28
2.3.1	<i>Geoestatística</i> .....	29
2.3.2	<i>Dinâmica de fluidos computacional (CFD)</i> .....	31
3	<b>CAPÍTULO I - ZONAS DE CALOR NA CARGA E SUA RELAÇÃO COM O ESTRESSE DOS SUÍNOS DURANTE O TRANSPORTE</b> .....	45
4	<b>CAPÍTULO II – EFEITO DA DISTÂNCIA E DOS TURNOS DE TRANSPORTE SOBRE O BEM-ESTAR DE SUÍNOS E PERDAS PRODUTIVAS DA CARGA</b> .....	64
5	<b>CAPÍTULO III – PROPOSTAS DE DISPOSITIVOS PARA REDUÇÃO DA TEMPERATURA E UMIDADE NO INTERIOR DA CARGA</b> .....	82
6	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	97
7	<b>CONCLUSÕES</b> .....	99
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	100
	<b>APÊNDICE A – FLUXO DE VENTO COM DEFLETOR</b> .....	113
	<b>APÊNDICE B – ESTIMATIVAS DE PERDAS POR MORTALIDADE</b> .....	114
	<b>APÊNDICE C – MOLHAMENTO DA CARGA</b> .....	115

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

A suinocultura é um dos principais segmentos do agronegócio brasileiro, contribuindo significativamente para o desenvolvimento social, especialmente em decorrência da geração de empregos e renda no campo. Estima-se uma produção nacional de 3,97 milhões de toneladas de carne suína, sendo 646 mil destinadas à exportação (USDA, 2019). Alguns elementos, como a disponibilidade de território, disponibilidade de ingredientes que consistem a base da dieta, acesso à tecnologia e mão de obra especializada, fornecem condições adequadas para melhorar os índices produtivos e a competitividade no rigoroso mercado internacional.

Mundialmente, a preocupação pública com o bem-estar dos animais está mudando substancialmente a maneira de produção e comercialização da indústria de carne. Uma questão de bem-estar animal que está recebendo considerável atenção nas investigações de apoio à indústria da carne suína é o transporte. Esta operação representa um elevado risco ao bem-estar e a sobrevivência dos animais, convergindo em perdas econômicas causadas por mortes na chegada (DOA), animais fadigados (NANI), animais machucados (NAI), além da incidência de carne pálida, mole e exsudativa (PSE), carne seco, dura e escura (DFD) e salpicamento nas carcaças.

As perdas econômicas também estão intimamente associadas aos impactos ao bem-estar animal durante o transporte. Em um estudo sobre o impacto econômico causado por perdas relacionadas ao transporte de suínos, Ritter *et al.* (2009) relataram um prejuízo de 46 milhões US\$/ano à indústria de suínos dos EUA. No Brasil, as perdas anuais no pré-abate foram estimadas em 160 mil US\$ por abatedouro, sendo o transporte o principal responsável (DOS REIS *et al.*, 2014). Esse valor pode aumentar substancialmente se analisarmos o impacto em toda a cadeia produtiva da indústria de suínos do Brasil.

De fato, sabe-se que os suínos são submetidos a vários fatores estressantes durante o transporte, como por exemplo: condições ambientais extremas, mistura de lotes, privação de alimentação e água, mudanças abruptas do ambiente, vibrações e ruído intenso na viagem (MOTA-ROJAS *et al.*, 2014). Todas com o potencial de causar estresse fisiológico (dor) e psicológico (medo) (FAUCITANO; LAMBOOIJ, 2019). No entanto, durante o transporte o perfil micrometeorológico dentro da carga é um dos principais contribuintes para as perdas produtivas, sobretudo pelo aumento das taxas de DOA's e NANI (NANNONI *et al.*, 2016).

Sendo assim, compreender as condições micrometeorológicas experimentadas pelos suínos durante o transporte nas diversas condições e combinações de distâncias, horários e tempos de transporte é essencial para elucidar os efeitos deletérios do estresse térmico e perdas

que podem ocorrer durante este processo. Entretanto, a maioria dos estudos existentes dentro desta mesma temática provem de países de clima temperado. Partindo destes argumentos, a suinocultura brasileira precisa inovar os seus processos produtivos e de estudos com resultados nacionais sobre as operações de transporte realizadas em condições de clima tropical.

Nessa perspectiva, este estudo testou três hipóteses: (i): há zonas térmicas de calor com diferentes magnitudes ao longo da carga de suínos, e elas são formadas pela dinâmica da ventilação durante o transporte e acúmulo de umidade relativa nos compartimentos da carroceria do caminhão; (ii): o transporte realizado em horários mais quentes do dia reduz o bem-estar dos animais durante a viagem e aumenta as perdas produtivas da carga, e (iii): em viagens com maiores distâncias os animais estarão adaptados (equilíbrio) com as condições sociais e físicas do transporte. Assim, esta pesquisa teve como objetivos:

- 1) Identificar as zonas térmicas de calor da carga e avaliar sua relação com o estresse dos suínos durante o transporte;
- 2) Avaliar os efeitos das distâncias e dos turnos de transporte nas perdas produtivas da carga e no bem-estar dos suínos transportados;
- 3) Propor dispositivos de arrefecimento da carga durante o transporte de suínos.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Bem-estar animal e ambiência

A ciência do bem-estar animal nasceu na Europa a partir da publicação do livro *Animal Machines, The New Factory Farming Industry* (HARRISON, 1964). Esta obra questionou e condenou, explicitamente, as práticas realizadas com os animais de interesse zootécnico nas fazendas da Inglaterra. Essas reivindicações criaram um cenário que culminou na criação do Comitê Brambell, responsável pelas primeiras legislações de bem-estar animal, que impactaram imediatamente o resto da Europa e o mundo (RUSHEN, 2008).

Hughes (1976) definiu o bem estar animal como um estado de completa saúde física e mental, em que o animal está em harmonia com o ambiente. No entanto, a aplicação deste conceito restringe-se aos cenários com boas condições em termos de qualidade de vida dos animais. Por isso, Broom (1986) conceituou o bem-estar animal como a capacidade do animal em se adaptar ao ambiente, sendo mais aceito por incluir todas as possíveis situações que o animal pode enfrentar.

De acordo com Fraser (1999), a maioria das tentativas de conceituação do bem-estar animal pode ser sintetizada em três pilares básicos:

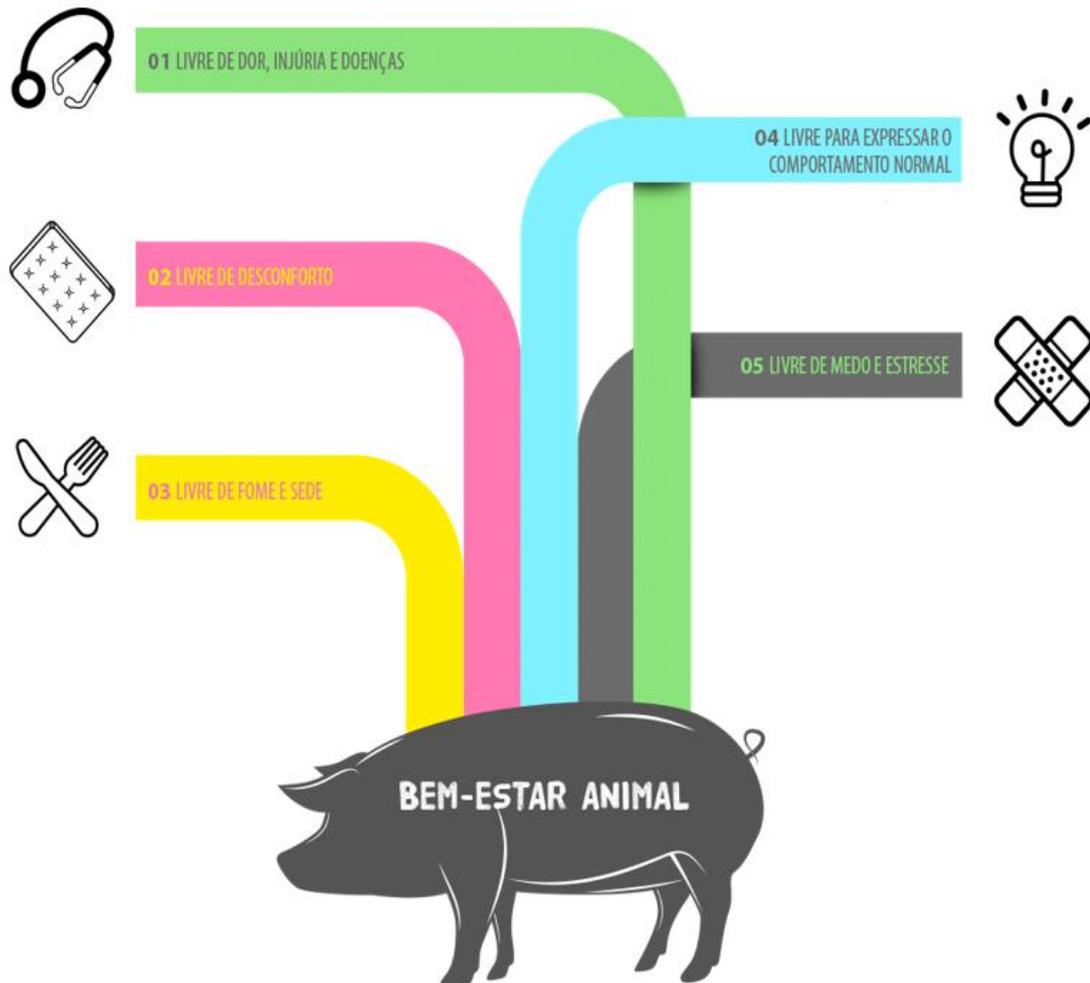
- 1) Os animais devem sentir-se bem, ou seja, não serem submetidos ao medo, à dor ou estados desagradáveis;
- 2) Devem expressar um bom funcionamento, no aspecto da saúde, crescimento e desempenho comportamental e fisiológico dentro da normalidade;
- 3) Devem levar vida natural através do desenvolvimento e do uso de suas próprias adaptações.

Entretanto, a definição de bem-estar animal persiste em amplo debate pela comunidade científica. A linha de consenso considera como o bem estar animal como ciência com enfoque multidimensional, abrangendo as emoções, funcionamento biológico e comportamento natural dos animais (CARENZI; VERGA, 2009), envolve as dimensões científicas, éticas, econômicas, culturais, sociais, religiosas e políticas (OIE, 2015).

Ressalta-se que, o bem-estar é uma qualidade inerente aos animais, e, portanto, ninguém é capaz de oferecer bem-estar a um animal, mas sim condições para que ele possa se adaptar ao ambiente (BROOM; MOLENTO, 2004). As condições são descritas em protocolos de avaliação e um dos mais famosos protocolos é o princípio das cinco liberdades publicado

pelo Comitê de Bem-estar de Animais Agrícolas do Reino Unido (FAWC, 1993), como mostra a Figura 1.

Figura 1 – Princípios das cinco liberdades para o bem-estar animal



Fonte: adaptado de mais carne suína (2020).

Uma das maneiras de avaliar o bem-estar dos animais de forma mais interativa é utilizando o modelo dos “cinco domínios”, que abrange a concepção de interligação existente entre os domínios que contemplam os estados internos ou físicos-funcionais do organismo animal; são eles: nutrição (1), ambiente (2), saúde (3), comportamento (4) e estados mentais (5), ou seja, como os animais se sentem em determinadas situações e sob diferentes estímulos (FRAZER, 2008).

O clima é um dos fatores mais importantes a ser considerado na criação de animais. As adversidades climáticas alteram suas condições fisiológicas e comportamentais, resultando

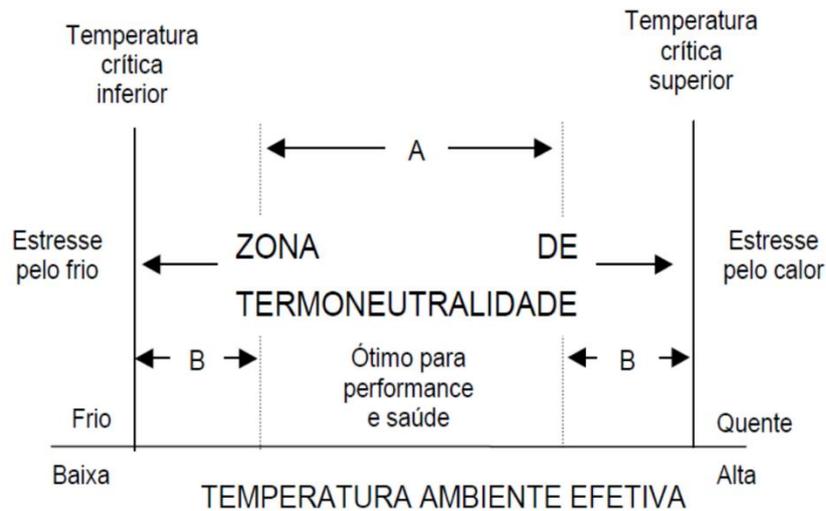
em um declínio na produção (GRANT; ALBRIGHT, 1995). As altas temperaturas, associadas a umidade do ar também elevada, afetam negativa e significativamente a temperatura retal e a frequência respiratória, entre outros, podendo causar estresse nos animais (BAPTISTA; BERTANI; BARBOSA, 2001; MANTECA *et al.*, 2013).

O estresse é uma resposta biológica do organismo a alguma ameaça à sua homeostase (MOBERG, 2000). Como o clima causa estresse, é fácil perceber que uma das dimensões do bem-estar animal está relacionada com a ambiência animal, em face da necessidade de se avaliar os impactos que as condições climáticas trazem para a produção animal (ambiência térmica). No entanto, a concepção da ambiência abrange todo espaço físico e social no qual o animal vive e tudo o que nele se encontra incluído, inclusive sua relação com o homem (SILVA, 2008).

Os suínos são animais homeotérmicos, e, portanto, possuem a capacidade de manter a temperatura do núcleo corporal constante, com a variação da temperatura. Essa capacidade é atribuída ao sistema de termorregulação dos animais, que se baseia em mecanismos fisiológicos (ex: vasoconstrição e vasodilatação) e comportamentais (ex: aglomeração ou dispersão) para o ajuste da produção ou dissipação do calor (OLIVEIRA *et al.*, 2017).

Segundo Berton (2013) citado por Oliveira *et al.* (2017), o intervalo de temperaturas da zona de conforto térmico (ZCT) para suínos em terminação é de 12 a 18 °C (região ótima), sendo que a temperatura crítica inferior (TCI) é de 4°C e a temperatura efetiva crítica superior (TCS), de 26°C. A umidade relativa ideal é de 70% (FOX *et al.*, 2014). Na ZCT o gasto de energia dos animais com o sistema de termorregulação é mínimo, a retenção de energia da dieta é máxima, a temperatura do núcleo corporal é normal, fazendo com que seja possível alcançar um ótimo nível de produção (Figura 2).

Figura 2 – Representação da zona de termoneutralidade



Fonte: adaptado de Hafez (1973).

No entanto, os suínos possuem mecanismos limitados para dissipar calor, especialmente porque os suínos não suam (BLIGH, 1985) e, por isso, são suscetíveis ao estresse térmico por calor (HUYNH *et al.*, 2007). A elevação da umidade relativa de 45 para 90% a uma temperatura de 21 °C, é responsável pela redução em até 8% das perdas de calor, sendo que o ideal para suínos em condições satisfatórias de temperatura é de uma umidade relativa entre 60 e 70% (NIENABER *et al.*, 1987).

Uma das formas de quantificar o desconforto térmico dos animais é através de índices de conforto térmico, baseados nas propriedades termodinâmicas do ar predominantes no local, como por exemplo a entalpia específica, (CASTRO-JÚNIOR; SILVA 2020). Além disso, as alterações fisiológicas associadas ao estresse podem ser mensuradas considerando a premissa de que, se o estresse aumenta, o bem-estar diminui (PANDORFI, 2005), como a temperatura retal e a frequência respiratória (BAPTISTA; BERTANI; BARBOSA 2001).

## 2.2 A operação de transporte dos suínos

O transporte é uma prática comum durante o ciclo de produção dos suínos, desse modo, os animais podem ser submetidos mais de uma vez a esse tipo de processo no decorrer da sua vida produtiva (JOHNSON *et al.*, 2018). O transporte dos suínos é composto pelas etapas de carregamento, transporte e descarregamento dos animais, sendo considerado uma operação complexa pelo enredo multifatorial e dinâmico, podendo ocorrer nas mais variadas condições

e combinações de distâncias, horários, tempos de operação e estações do ano (FAUCITANO; GOUMON, 2018).

Muitas variáveis podem causar estresse durante a viagem, como: a variação micrometeorológica da carga (NANNONI *et al.*, 2016), as mudanças do ambiente social, o ruído intenso (MOTA-ROJAS *et al.*, 2014) e as vibrações da carga (PEETERS *et al.*, 2008). Também existem fatores relacionados ao manejo da fazenda que podem potencializar o estresse, a dor, o medo e as perdas econômicas ocorridas durante o transporte, como por exemplo: o jejum (FAUCITANO; CHEVILLON; ELLIS, 2010), o manejo de carregamento (GOUMON; FAUCITANO, 2017), a densidade de transporte (RIOJA-LANG *et al.*, 2019) e o “molhamento da carga” (PINHEIRO; BARBOSA-FILHO; MACHADO, 2020).

### 2.2.1 *Jejum*

O jejum consiste na retirada de alimentos (jejum alimentar) e água (jejum hídrico) dos animais. Entende-se aqui, que o tempo de jejum alimentar e/ou hídrico deve ser considerado desde de o momento da retirada de alimentos e/ou água na fazenda antes do carregamento até o momento de abate no frigorífico, ou seja, passando por todo manejo pré-abate; carregamento, transporte, descarregamento e o tempo de espera no abatedouro.

Normas de bem-estar animal e estudos científicos recomendam o fornecimento de água aos animais durante toda a viagem (NATIONAL FARM ANIMAL CARE COUNCIL, 2014). Essa prática claramente reduz o estresse dos suínos, bem como a desidratação (MACHADO *et al.*, 2016) e as perdas por DOA's (AVERÓS *et al.*, 2010). Entretanto, no Brasil, em alguns casos, os suínos são submetidos ao transporte sob jejum hídrico, especialmente em jornadas de curtas distâncias, que podem ser mais estressantes e prejudiciais à sobrevivência dos suínos (HALEY *et al.*, 2008a).

Ao contrário do jejum hídrico, a privação de alimentos é uma prática recomendada pela indústria. O jejum alimentar adequado pode reduzir perdas por DOA (AVERÓS *et al.* 2008) e o risco de contaminação da carcaça por espécies *Escherichia coli*, *Campylobacter* e diversas espécies de *Salmonella* durante a evisceração (FAUCITANO; CHEVILLON; ELLIS, 2010). Warris (1994) relata que a pressão do estômago cheio na veia cava, pode ser a principal razão para a relação do jejum alimentar com as DOA's, porque pode diminuir a eficiência do fluxo sanguíneo.

Rabaste *et al.* (2007) relataram menores taxas de enjoos e vômitos (-36%) durante o transporte nos suínos submetidos ao jejum alimentar 3 horas antes do carregamento, em

comparação com os suínos sem jejum alimentar. Os autores associaram esse resultado como um dos motivos que levaram a menor taxa de DOA's nas cargas com suínos submetidos ao jejum alimentar. As épocas mais quentes do ano ou os períodos mais quentes do dia podem aumentar estas taxas por conta do estresse térmico (FAUCITANO; GOUMON, 2018).

O jejum alimentar também é importante porque pode reduzir potenciais impactos na qualidade de carne, como por exemplo a incidência da carne pálida, mole e exsudativa (carne PSE) (CORREA *et al.*, 2013; WESCHENFELDER *et al.*, 2013; GIL *et al.*, 2015). Isso ocorre, porque o jejum alimentar proporciona redução do nível de energia das células do músculo dos suínos, reduzindo, assim, a velocidade da queda do pH *post mortem* (PANELLA-RIERA *et al.*, 2012; DALLA COSTA *et al.*, 2016).

Os efeitos da retirada da ração antes do abate sobre a qualidade da carcaça e da carne em suínos foi investigado por Faucitano; Chevillon e Ellis, (2010). Os autores constataram que o jejum alimentar pode ser uma abordagem valiosa para reduzir as mortes durante o transporte melhorando a qualidade e a segurança da carne suína. No entanto, fatores como o tempo da última alimentação, regime de alimentação e tipo de alimento podem limitar a eficiência deste procedimento.

Portanto, o jejum é uma prática que exige bastante cuidado e requer um planejamento prévio, devido à possível perda de peso e redução do rendimento de carcaça pela desidratação ou lesões ocasionadas por brigas ou acidentes durante as operações pré-abate (RIOJA-LANG *et al.*, 2019). Normalmente, maiores perdas ocorrem em períodos prolongados de jejum alimentar (> 30 horas). Segundo Dalla Costa *et al.* (2016) a taxa de perda de peso da carcaça triplica a partir de 24 horas de jejum alimentar, diminuindo consideravelmente o rendimento da carcaça.

Foi sugerido um tempo de jejum alimentar entre 16 e 24 horas (da retirada de alimentos da fazenda até o abate) como um período aceitável, de modo a garantir o bem-estar dos animais durante a operação de transporte, a segurança e qualidade alimentar e evitando possíveis acidentes que possam prejudicar a logística do abatedouro (EIKELENBOOM *et al.*, 1991; STEWART *et al.*, 2008). No entanto, apesar das vantagens potenciais relacionadas a prática do jejum alimentar é normalmente negligenciada, pois a comercialização dos suínos é baseada no peso animal, assim a restrição de alimentos para os animais ocorre apenas quando os mesmos saem da fazenda para o abatedouro (AALHUS *et al.*, 1992).

### ***2.2.2 Etapas de Carregamento e Descarregamento***

As operações de carregamento e descarregamento dos suínos requerem cuidados específicos e planejamento prévio sistemático (GOUMON; FAUCITANO, 2017). Fatores importantes como: condição corporal (peso), características comportamentais (lentidão e distração), forma de condução dos suínos até a carroceria do caminhão e embarque (carregamento), bem como do caminhão até os currais de descanso (descarregamento) no abatedouro, (ISON *et al.*, 2018; GOURSOT *et al.*, 2019), poderão resultar em estresse e potenciais acidentes que associados ou isolados, podem comprometer o bem-estar animal e a qualidade de carne (RITTER *et al.*, 2006, RITTER *et al.*, 2008; TASSE; MOLENTO, 2019).

Brown *et al.* (2005) avaliaram as respostas fisiológicas de suínos submetidos em três sistemas de embarque e desembarque (rampa com 18° de inclinação, sistema modular e elevador hidráulico). Os autores verificaram que as rampas causaram aumento da temperatura corporal e da frequência cardíaca, resultando uma maior relutância por parte dos animais em deixar o caminhão, em comparação com os outros dois sistemas. No entanto, os suínos apresentaram maior facilidade para descer (desembarque) e menores respostas fisiológicas associadas.

Neste estudo, Brown *et al.* (2005) relataram que o sistema modular resultou no aumento da concentração de cortisol dos suínos durante o carregamento, descarregamento e espera no abatedouro. Sendo que, não foram encontradas diferenças significativas entre os sistemas avaliados (elevador hidráulico e rampa). O aumento de cortisol foi atribuído a dificuldade dos animais para se instalar no módulo, gerando sobreposição e fortes interações físicas, resultando em um pequeno grau de estresse, o que pode se tornar um problema maior durante o transporte.

O manejo de condução dos suínos deve ser realizado com calma e cuidado, recomenda-se lotes pequenos de até 4 animais para evitar aglomerações e dispersão durante o processo (VAN DE PERRE *et al.*, 2010; GRANDIN, 2016). O uso de chocalho de remo ou chocalhos confeccionados com garrafas de politereftalato de etileno (PET) são mais apropriadas, devido ao som característico que estimula a movimentação dos suínos. Isso pode reduzir o estresse, lesões e a produção de carne suína PSE causados pelo uso de ferrões e bastões elétricos no processo “forçado” de condução (GUÀRDIA *et al.*, 2004; CORREA *et al.*, 2010).

### ***2.2.3 Etapa de Transporte***

São vários parâmetros que podem causar estresse aos animais e perdas produtivas durante o transporte, incluindo a densidade (RITTER *et al.*, 2006), tempo da viagem (CORREA *et al.*, 2013), distância do percurso (VOSLAROVA *et al.*, 2017), *layout* da carroceria do caminhão (SOMMAVILLA *et al.*, 2017), variação micrometeorológica da carga (XIONG; GATES; GREEN-MILLER, 2018), estação do ano (CONTE *et al.*, 2015) e vibração da carga (PEETERS *et al.*, 2008). No entanto, o micrometeorológica no interior da carga é um dos maiores contribuintes para a ocorrência das DOA's (AVERÓS *et al.*, 2010; NONNANI *et al.*, 2016).

Frequentemente, o transporte ocorre sob condições microclimáticas fora dos limites de conforto térmico dos suínos (FOX *et al.*, 2014). Tornando está prática ainda mais complexa, porque os suínos apresentam limitação na dissipação de energia por meio evaporativo, a partir da sudorese (HUYNH *et al.*, 2007), e, portanto, são altamente suscetíveis ao estresse térmico. Mesmo com pequenos desvios das zonas de conforto térmico dos suínos (por exemplo, aumento acima de 16-17°C) mostraram aumentar a DOA's (WARRISS; BROWN, 1994; HALEY *et al.*, 2008), bem como a frequência respiratória e descoloração da pele devido ao estresse térmico por calor (RITTER *et al.*, 2008).

A aplicação de nebulização por 5 minutos antes do transporte e 5 minutos antes do descarregamento no abatedouro pode reduzir o estresse térmico dos suínos (FOX *et al.*, 2014). Entretanto, uma estratégia amplamente difundida em regiões tropicais consiste no “molhamento da carga” (RUI; SOUZA; SILVA, 2011). Essa prática consiste em molhar a carga usando uma mangueira, a partir do carregamento completo do andar inferior (PINHEIRO; BARBOSA-FILHO, MACHADO, 2020).

Estudos específicos sobre o molhamento da carga de suínos são escassos até onde o conhecimento alcança. No entanto, a eficiência do “molhamento da carga” é questionável, especialmente devido à falta de padronização (tempo e uniformidade). Esse cenário pode, em alguns casos, resultar no acúmulo de umidade na carga, reduzindo a capacidade dos animais em dissipar calor (RIOJA-LANG *et al.*, 2019). Pinheiro, Barbosa-Filho, Machado (2020) relataram um efeito momentâneo do “molhamento da carga” durante o carregamento (10 minutos), com aumento da UR média (+ 28,2%) e a entalpia média (+ 10,97 kJ/kg de ar seco) da carga, bem como a região de letalidade “núcleos térmicos”, em comparação as cargas sem molhamento no transporte de frangos de corte.

O estresse fisiológico dos suínos causado pelo estresse térmico por calor já foi mostrado em estudos anteriores. Somnavilla *et al.* (2017) relataram maiores concentrações de cortisol no sangue em suínos submetidos ao transporte no verão canadense (36,60 ng/mL), em

comparação aos transportados no inverno (27,10 ng/mL). Os autores atribuíram o aumento do cortisol como resposta ao estresse térmico, com base nas correlações ( $r$ ) positivas com a TA da carroceria ( $r=0,53$ ), a temperatura gastrointestinal ( $r=0,31$ ) e comportamento “deitado” dos suínos durante o transporte ( $r=0,41$ ).

Vecerek *et al.* (2006) investigaram as taxas de mortalidade entre suínos transportados para abate na República Tcheca no período de 1997 a 2006. Os autores relataram as maiores perdas nos meses de verão, quando a temperatura ambiente era mais alta (superior a 15°C). Em seu estudo, Dewey *et al.* (2009) relataram que conforme a temperatura interna da carroceria do caminhão aumenta, a taxa de DOA também aumenta, demonstrando um risco importante para o bem-estar, bem como perdas de produção associadas. Neste estudo, a temperatura interna estimada aumentou aproximadamente entre 0,99 °C e 0,11 °C à medida que a temperatura do ar e a umidade relativa aumentaram 1°C e 1%, respectivamente.

Em seu estudo, Averós *et al.* (2010) analisaram os possíveis fatores que afetam as taxas de DOA's de suínos durante o transporte comercial na Europa. Os autores utilizaram um banco de dados constituído de 109 viagens, envolvendo 58.682 suínos. Foi relatado uma taxa de 0,07% de DOA's, observada em 13,8% das cargas monitoras. Neste estudo, os autores constataram que os fatores tempo da viagem e a alta temperatura ambiental foram os que mais influenciaram no aumento da taxa de DOA's. Altas temperaturas também podem aumentar a perda de peso por desidratação (MACHADO *et al.*, 2016), bem como o tempo de recuperação pós transporte (JOHNSON *et al.*, 2018).

A localização do animal dentro da carga durante o transporte também tem impacto no bem-estar porque alguns compartimentos estão sujeitos a temperaturas mais elevadas. Em seu estudo, Torrey *et al.* (2013a) avaliaram os efeitos da estação do ano e da localização dos suínos na carroceria do caminhão em jornadas de oito horas no Canadá. Os autores perceberam que a localização na carroceria afetou o comportamento dos suínos, com o aumento da frequência do comportamento de latência dos animais.

Estudos mostraram substanciais variações na umidade relativa ao longo dos compartimentos da carroceria do caminhão, com considerável heterogeneidade da temperatura do ar, que supera em até 8 °C a temperatura externa (CORREA *et al.*, 2013; FOX *et al.*, 2014; PEREIRA *et al.*, 2018). Os compartimentos frontais tendem a ser mais quentes. Em seu estudo, Brown *et al.* (2011) relataram temperaturas mais altas nos compartimentos dianteiros durante o inverno (+ 10,3°C) e verão (+ 2,1°C) em carroceria *pot-belly*, enquanto os compartimentos superiores apresentaram temperaturas mais baixas e menor risco associado ao estresse por calor no transporte de suínos

Conte *et al.* (2015) mostraram que em carrocerias *pot-belly*, os compartimentos localizados nas regiões frontal superior e traseira inferior proporcionaram maior esforço físico aos suínos devido o embarque com rampas internas mais íngremes (até 32°). Os suínos transportados nesses compartimentos aumentaram a temperatura do trato gastrointestinal após o carregamento e durante o transporte em comparação com outros compartimentos, o que foi associado ao maior esforço muscular, devido as maiores concentrações sanguíneas de creatina quinase e lactato em animais transportados nessas áreas.

Em um outro estudo, Pereira *et al.* (2018) observaram que os compartimentos com as piores condições de microclima (maior ITU) correspondem aos locais com maior temperatura do trato gastrointestinal dos suínos, indicando uma relação direta entre o ambiente térmico da carga com o estresse térmico dos animais, durante o transporte. Além disso, o estresse térmico por calor pode provocar a redução na qualidade de carne, como menores teores de vitaminas A e E, creatina e carnosina, redução do pH às 24 e 48 horas *post mortem*, além de aumentos significativos na força de cisalhamento e da perda por gotejamento (SIMONETTI *et al.*, 2018).

Os tempos e as distâncias mais curtas de transporte (até 1 hora; 60 km) parecem ser mais prejudiciais ao bem-estar e as perdas por DOA's em comparação com maiores tempos e longas distâncias de transporte, pois os suínos devem ter tempo para se recuperar do estresse durante o carregamento e se aclimatar ao estresse do transporte (BRADSHAW *et al.*, 1996a, b; SUTHERLAND *et al.*, 2009). Haley *et al.* (2008) relataram que para cada aumento de 50 km na distância, pode-se esperar que o DOA diminua cerca de 0,81 vezes e relatou uma diminuição do risco das taxas de DOA's em viagens com distâncias acima de 134 km.

Da mesma forma, Perez *et al.* (2002) concluíram que, em condições comerciais normais da Espanha, os suínos submetidos a viagens mais curtas (15 minutos) mostraram uma resposta ao estresse mais intensa (aumentos de 19,02 mg/mL e 29,46 ng/mL do lactato e cortisol no sangue, respectivamente) e pior qualidade da carne (redução de 0,09 e 0,17 do pH do *Longissimusthoracis* e *Semimembranosus* e descoloração), em comparação com os suínos submetidos a viagens mais longas (3 horas), quando foram imediatamente submetidos ao abate na chegada ao abatedouro.

Em pesquisas realizadas durante o transporte de suínos nos EUA, as DOA's reduziram após 4 horas de transporte, junto com a porcentagem de suínos NANI, ou seja, classificados como fadigados (SUTHERLAND *et al.*, 2009; MCGLONE *et al.*, 2014). Entretanto, Voslarova *et al.* (2017) relataram que a probabilidade de perdas por DOA's durante

o transporte de suínos aumenta com maiores distâncias de transporte. A taxa de DOA's relacionada ao transporte variou de 0,049% em suínos transportados em distâncias inferiores a 50 km a 0,145% em suínos submetidos ao transporte em distâncias superiores a 300 km.

Em seu estudo, Gade *et al.* (2007) também observaram maiores taxas de DOA's com o aumento da distância durante o transporte de suínos na Dinamarca. Da mesma forma, Warriss (1998) relatou maior mortalidade após viagens mais longas. No entanto, esses resultados são mais prováveis devido aos efeitos aditivos e associados da duração do jejum alimentar, mistura de lotes, condições ambientais e genética dos animais do que ao tempo ou distância de transporte em si (SALMI *et al.*, 2012; SCHEEREN *et al.*, 2014; BRANDT; AASLYNG, 2015).

A densidade da carga também está relacionada aos danos a carcaça e carne, especialmente provocadas pelas brigas e maior produção de calor (maior estresse térmico por calor), resultando em maiores lesões e no desenvolvimento da carne PSE (BENCH; SCHAEFER; FAUCITANO, 2008). Rioja-Lang *et al.* (2019) relataram que a densidade da carga deve ser expressa em kg/m<sup>2</sup>. A União Europeia estabeleceu que a densidade não deve ser superior a 270 kg/m<sup>2</sup>. Acima disso, os suínos são privados de movimentos e não conseguem se deitar (LAMBOOIJ *et al.*, 1985; LAMBOOIJ, 2014).

Guàrdia *et al.* (2005) relataram que o aumento da densidade da carga (200 kg/m<sup>2</sup> para 270kg/m<sup>2</sup>) resultou na maior incidência de carne DFD (aumento de 11%), causado pela menor exaustão de glicogênio muscular relacionada à fadiga. A densidade da carga é uma variável complexa, uma alta densidade da carga pode causar acidentes e estresse físico pelas vibrações da carga e/ou movimentos bruscos do caminhão (trepidação), ou até mesmo por causa das brigas devido a maior liberdade de movimentos (GADE; CHRISTENSEN, 1998).

### **2.3 Zootecnia de Precisão**

A zootecnia de precisão é um conceito que nasce a partir da ampliação da agricultura de precisão. Portanto, sua concepção consiste na aplicação de um conjunto de tecnologias visando otimizar os processos envolvidos em todo sistema de produção animal (LACA, 2009). Lovarelli; Bacenetti e Guarino, (2020) enfatizaram que a zootecnia de precisão está se estendendo por todo mundo, em razão do desenvolvimento tecnológico e por suas aplicações em fazendas, em ambos os sistemas, tanto intensivos como os extensivos.

A efetiva contribuição da zootecnia de precisão para o produtor rural consiste em apresentar ferramentas para o monitoramento completo do sistema produtivo, gerando, assim,

informações que possibilitam à tomada de decisão correta, um manejo adequado e a obtenção de altos índices produtivos (PANDORFI; ALMEIDA; GUISELINI, 2012).

Entretanto, o uso das tecnologias incorporadas a produção animal pela zootecnia de precisão também tem auxiliado estudos sobre as condições de bem-estar animal durante o transporte, por exemplo: o uso de sensores para monitoramento *full time* da temperatura gastrointestinal (PEREIRA *et al.*, 2018); e frequência cardíaca (CUI *et al.*, 2019) dos animais e para o monitoramento em tempo real do microclima da carga (NAZARENO *et al.*, 2020).

Pode-se citar várias tecnologias incorporados a produção animal; como a termografia de infravermelho (SOUZA-JÚNIOR *et al.*, 2019), o uso de sistemas inteligentes (PANDORFI *et al.*, 2007); técnicas de análise de imagens e vídeos (BARBOSA-FILHO *et al.*, 2007; TORREY *et al.*, 2013b), técnicas de modelagem e câmeras 3D (FERNANDES *et al.*, 2020), uso de microeletrônica, sensores e IoT (CUI *et al.*, 2019), aplicação de softwares especialistas (BORGES *et al.*, 2020) e simulação computacional (TABASE *et al.*, 2020).

Esta revisão destaca a utilização de técnicas da geoestatística (modelagem 2D e 3D) e dinâmica de fluidos computacional, que foram as ferramentas utilizadas para alcançar os objetivos propostos nesta pesquisa.

### **2.3.1 Geoestatística**

A geoestatística é uma poderosa ferramenta da zootecnia de precisão, que utiliza o conceito de variáveis regionalizadas para avaliar a variabilidade espacial de parâmetros por meio da extração e organização espacial dos dados disponíveis de acordo com a semelhança entre pontos vizinhos amostrados (GREGO; OLIVEIRA; VIEIRA, 2014).

Essa técnica possui grande aplicabilidade como mecanismo de interpolação de dados e análise de sua variabilidade espacial dentro da produção animal (PEIXOTO *et al.*, 2019; LOPES *et al.*, 2020). O processo de interpolação espacial dos dados baseia-se em métodos de regressões, denominado como krigagem (MATHERON, 1963). Os tipos de krigagem mais difundidos em trabalhos nas ciências agrárias são a krigagem ordinária (MATHERON, 1963), a krigagem indicatriz (JOURNEL, 1982) e a cokrigagem (WACKERNAGEL, 2003).

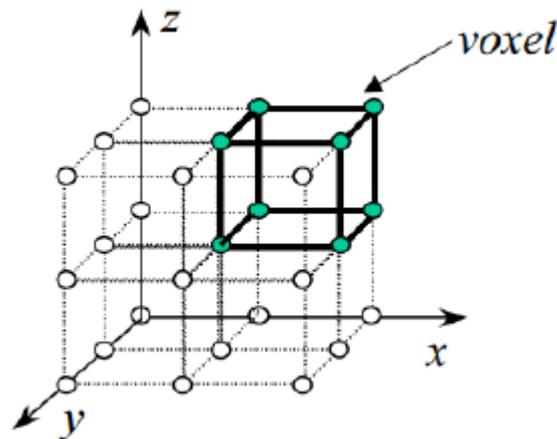
A geoestatística também utiliza o estudo da função semivariograma. O cálculo da função semivariograma serve basicamente para determinar a estrutura de variabilidade espacial, bem como, entender o grau de dependência espacial entre as amostras, em outras palavras, a distância máxima na qual os valores ainda apresentam correlação, a variância se estabelece após

certa distância (VILELA; CATANEO, 2009). Isso significa que, mesmo com o aumento da distância, a semivariância irá oscilar entorno do patamar (variância máxima).

Portanto, o semivariograma e a krigagem são ferramentas advindas dos métodos geoestatísticos, usados no estudo do comportamento das variáveis regionalizadas. Na abordagem geoestatística tradicional não se considera a coordenada z, pois assumem que todos os dados estão dispostos na camada 2D (REMY; BOUCHER; WU 2009). No entanto, em alguns casos a exploração das características internas do objeto de estudo torna-se necessária, como por exemplo da variação 3D dos atribuídos químicos e físicos dos frutos de um pomar de laranja (GASPARIN *et al.*, 2017).

Nesses casos, os processos computacionais de interpolação dos dados 3D ocorrem semelhantes às técnicas da geoestatística 2D, usando os métodos da krigagem e semivariância (REMY; BOUCHER; WU 2009). No entanto, o desenvolvimento da grade computacional baseia-se em dados volumétricos (cubos), sendo assim os processos computacionais consideram a malha como uma matriz de elementos 3D, denominada voxel (PAIVA; SEIXAS; GATTAS, 1999), como mostra a Figura 3.

Figura 3 – Representação espacial de um voxel



Fonte: adaptado de Paiva, Seixas e Gattas (1999).

Barbosa Filho *et al.* (2014), aplicaram o uso da geoestatística para caracterizar o perfil microclimático da carga de frangos de corte. Os autores perceberam que a região central e traseira da carga apresentaram as piores condições microclimáticas, sendo mais suscetíveis à ocorrência de perdas durante o transporte. Xiong; Gates e Green-Miller (2018) estudaram o perfil do índice de temperatura e umidade (ITU) durante o transporte de suínos nos EUA, em

carrocerias com sistema de nebulização. Os autores constaram que as condições eram mais uniformes em toda a carga, indicando ventilação suficiente para limitar o aumento da temperatura.

Santos *et al.* (2020) estudaram o efeito das distâncias de transporte, estações e microclima da caixa nas perdas durante o transporte de frangos de corte. O uso da técnica de geoestatística permitiu observar zonas de maior letalidade da carga (maior entalpia). Peixoto *et al.* (2019) realizaram um estudo da termorregulação de vacas leiteiras confinadas em sistema *Compost barn*. Usando a geoestatística, os autores constataram grande variação na temperatura da cama, sendo os pontos mais críticos associados com indicadores fisiológicos de estresse térmico por calor mais elevados.

### 2.3.2 Dinâmica de fluidos computacional (CFD)

A dinâmica de fluidos computacional, *Computational Fluid Dynamics* (CFD) pode ser descrita como conjunto de técnicas matemáticas, numéricas e computacionais utilizadas para obter, visualizar e interpretar soluções computacionais para as equações de conservação de grandezas físicas de interesse em um dado escoamento (BRUNETTI, 2008). Portanto, pode-se inferir que a CFD é um conjunto de técnicas de simulação computacional usadas para prever os fenômenos físicos que ocorrem em escoamentos.

A CFD tem como princípio a aplicação do método dos volumes finitos a problemas de dinâmica dos fluidos e transmissão de calor (NORTON; KETTLEWELL; MITCHELL, 2013; AMBEKAR *et al.*, 2016). O método dos volumes finitos consiste na resolução computacional das equações de conservação (massa (1), momento (2), energia (3), turbulência (4 e 5) juntamente com equações de estado (6 e 7) para se chegar a um sistema de equações lineares que descreva o escoamento de um determinado problema (WEHMANN *et al.*, 2017).

Continuidade (massa):

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0 \quad (1)$$

Momento:

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i u_k) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \mu \frac{\partial u_k}{\partial x_i} \right) - \frac{\partial P}{\partial x_i} \quad (2)$$

Energia:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i t) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \frac{\partial t}{\partial x_i} \frac{k}{C_p} \right) \quad (3)$$

Energia cinética turbulenta:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i k) + \frac{\partial \rho k}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \left( \mu \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right) - S_k \quad (4)$$

Energia de dissipação turbulenta:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i \varepsilon) + \frac{\partial \rho \varepsilon}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \left( \mu \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right) - S_\varepsilon \quad (5)$$

Onde os termos de origem  $S_k$  e  $S_\varepsilon$  são definidos como:

$$S_k = \tau_{ij}^R \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \rho \varepsilon + \mu_t P_B$$

$$S_\varepsilon = C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} \left( f_1 \tau_{ij}^R \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \mu_t C_B P_B \right) - C_{\varepsilon 2} f_2 \frac{\rho \varepsilon^2}{k}$$

Onde  $P_B$  representa a geração turbulenta devido às forças de empuxo e pode ser escrito como:

$$P_B = \frac{g_i}{\sigma_B} \frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x_i}$$

Onde  $g_i$  é o componente da aceleração gravitacional na direção  $x_i$ , a constante  $\sigma_B = 0,9$ ; e a constante  $C_B$  é definida como:  $C_B = 1$  quando  $P_B > 0$ , e 0 caso contrário;

$$f_1 = 1 + \left( \frac{0,05}{f_\mu} \right)^3$$

$$f_1 = 1 - \exp(-R^2_T)$$

As constantes  $C_\mu$ ,  $C_{\varepsilon 1}$ ,  $C_{\varepsilon 2}$ ,  $\sigma_k$ ,  $\sigma_\varepsilon$  são definidas empiricamente. No *Flow Simulation* do SolidWork® ver. 2020, os seguintes valores típicos são usados:  $C_\mu = 0,09$ ,  $C_{\varepsilon 1} = 1,44$ ,  $C_{\varepsilon 2} = 1,92$ ,  $\sigma_k = 1$ ,  $\sigma_\varepsilon = 1,3$ . O fluxo de calor difuso é definido como:

$$q_i = \left( \frac{\mu}{P_r} + \frac{\mu_r}{\sigma_c} \right) \frac{\partial h}{\partial x_i}, \quad i=1,2,3.$$

Onde a constante  $\sigma_c = 0,9$ ;  $P_r$  é o número de Prandtl, e  $h$  é a entalpia térmica.

$$pv = RT \quad (6)$$

Onde:  $R$  é uma constante que depende do peso molecular do gás,  $R = \frac{\bar{R}}{MW}$ ,  $\bar{R} = 8314\text{J/kmolK}$

$$h=h(T,P) \quad (7)$$

Onde:  $h$  é a entalpia,  $T$  é a temperatura e  $P$  é a pressão

O uso de CFD em projetos ou análise de problemas tem crescido, principalmente devido à redução de custos, ao aumento do desempenho do processador e avanços em softwares de simulação computacional, que resultaram em boa acurácia nos resultados (WEHMANN *et al.*, 2017). A CFD é cada vez mais usada para estudar o fluxo de ar ao redor de edifícios e de animais, além de desenvolver tecnologias para mitigar as emissões e prever a dispersão de contaminantes em sistemas de confinamento (RONG *et al.*, 2016; LI; RONG; ZHANG, 2016; SEEDORF; SCHMIDT, 2017; SOUSA-JÚNIOR, *et al.*, 2018; TABASE *et al.* 2020).

Na avicultura de corte a CFD foi utilizada por Bustamante *et al.* (2015), que avaliaram um sistema de ventilação mecânica cruzada em galpões, avaliando problema de baixo fluxo de vento durante a época mais quente do ano. Rahman, Chu e Kumaresen (2014), estudaram modificações de galpões de frangos ventilados com uso de lanternim utilizando a CFD. Os autores observaram que a taxa de ventilação aumentou entre 60 a 90% comparado ao galpão com design convencional.

No transporte rodoviário de animais, as pesquisas foram iniciadas com o transporte de cavalos, buscando compreender a ventilação passiva na carga (PURSEWELL *et al.*, 2005) e, posteriormente, o efeito da aerodinâmica no transporte de suínos e ovinos (GILKESON *et al.*, 2009; GILKESON *et al.*, 2016), assim como no transporte marítimo de animais (NORTON; KETTLEWELL; MITCHELL, 2013) e na elucidação das condições de emissão de gases durante o transporte de animais (SEEDORF; SCHMIDT, 2017).

## Referências

ALHUS J.L.; MURRAY A.C.; JONES S.D.M.; TONG, A.K.W. Environmental conditions for swine during marketing for slaughter: a national review. Ottawa: Research Branch: Agriculture. Disponível em: <https://archive.org/details/environmentalcon19926aalh/page/n5/mode/2up>. Acesso em: 08 ago. 2019.

AMBEKAR, A.S.; SIVAKUMAR, R.; ANANTHARAMAN, N.; VIVEKENANDAN, M. CFD simulation study of shell and tube heat exchangers with different baffle segment configurations. **Applied Thermal Engineering**, Oxford, v. 108, p. 999–1007, 2016.

AVERÓS, X.; KNOWLES, T. G.; BROWN, S. N.; WARRISS, P.D.; GOSÁLVEZ, L.F. 2010. Factors affecting the mortality of weaned piglets during commercial transport between farms. **Veterinary Record**, Londres, v. 167, p. 815-819, 2010.

AVERÓS, X.; KNOWLES, T.G.; BROWN, S.N.; WARRISS, P.D.; GOSÁLVEZ, L.F. Factors affecting the mortality of pigs being transported to slaughter. **Veterinary Record**, Londres, v. 163, p. 386-390, 2008.

BAPTISTA, R. I. A.; BERTANI, G. R.; BARBOSA, C. N. Welfare indicators in swine. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 10, p. 1823-1830. 2011.

BARBOSA-FILHO, J. A. D.; QUEIROZ, M. L. V.; BRASIL, F. D.; VIEIRA, F. M. C.; SILVA, I. J. Transport of broilers: load microclimate during Brazilian summer. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 34, p. 405-412, 2014.

BARBOSA-FILHO, J. A. D.; SILVA, I. J. O.; SILVA, M. A. N.; SILVA, C. J. M. Avaliação dos comportamentos de aves poedeiras utilizando sequência de imagens. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, p. 93-99, 2007.

BARTON-GADE, P.; CHRISTENSEN, L. Effect of different loading densities during transport on welfare and meat quality in Danish slaughter pigs. **Meat Science**, Barking, v. 48, p. 237-247, 1998.

BENCH, C.; SCHAEFER, A. L.; FAUCITANO, L. The welfare of pigs during transport. *In*: FAUCITANO, L.; SCHAEFER, A.L. (org.). **The Welfare of Pigs - from Birth to Slaughter**. Wageningen: Academic Publishing: The Netherlands, 2008. p. 161-195.

BLIGH J. **Temperature regulation in mammals and other vertebrates**. Boca Raton: CRC Press Inc, 1985.

BORGES, L. F.; BAZZI, C. L.; SOUZA, E. G.; MAGALHÃES, P. S. G.; MICHELON, G. K. Web software to create thematic maps for precision agriculture. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 55, ed. 735, 2020.

BRADSCHAW, R. H.; HALL, S. J. G.; BROOM, D. M. Behavioural and cortisol response of pigs and sheep during transport. **The Veterinary Journal**, Londres, v. 138, p. 233-234, 1996a.

BRADSHAW, R.H.; PARROTT, R.F.; FORSLING, M.L.; GOODE, J.A.; LLOYD, D.M.; RODWAY, R.G.; BROOM, D.M. Stress and travel sickness in pigs: effects of road transport on plasma concentrations of cortisol, beta-endorphin and lysine vasopressin. **Animal Science**, Penicuik, v. 63, p. 507-516, 1996b.

BRANDT, P.; AASLYNG, M.D. Welfare measurements of finishing pigs on the day of slaughter: a review. **Meat Science**, Barking, v. 103, p. 13-23, 2015.

BROOM, D. M. Indicators of poor welfare. **British Veterinary Journal**, Londres, v. 142, p. 524-526, 1986.

BROOM, D. M.; MOLENTO, C. F. M. Bem-estar animal: conceitos e questões relacionadas – Revisão. **Archives of Veterinary Science**, Curitiba, v. 9, n. 2, p. 1-11, 2004.

BROWN, S.N.; KNOWLES, T.G.; WILKINS, L.J.; CHADD, S.A.; WARRISS, P.D. The response of pigs being loaded or unloaded onto commercial animal transporters using three systems. **The Veterinary Journal**, Londres, v. 170, p. 91-100, 2005.

BROWN. J. A.; SAMARAKONE. S.; CROWE. T.; BERGERON. T. R.; WIDOWSKI. T.; CORREA. J. A.; FAUCITANO. L.; TORREY. S.; GONYOU. H. W. Temperature and humidity conditions in trucks transporting pigs in two seasons in eastern and western Canada. **Transactions of the ASABE**, [s. l.], v. 54, p. 2311-2318, 2011.

BRUNETTI, F. **Mecânica dos fluidos**. São Paulo: Pearson 2. ed. Pearson Prentice Hall, 2008.

BUSTAMANTE, E.; GARCÍA-DIEGO, F-J.; CALVET, S.; TORRES, A. G.; HOSPITALER, A. Measurement and numerical simulation of Air velocity in a tunnel-ventilated broiler house. **Sustainability**, Basel, v. 7, n. 2, p. 2066-2085, 2015.

CARENZI, C.; VERGA, M. Animal welfare: review of the scientific concept and definition. **Italian Journal of Animal Science**, Bologna, v. 8, p. 21-30, 2009.

CASTRO-JÚNIOR, S. L.; SILVA, I. J. O. The specific enthalpy of air as an indicator of heat stress in livestock animals. **International Journal of Biometeorology**, Lisse, 2020.  
Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00484-020-02022-8>. Acesso em: 05 out. 2020.

CONTE, S.; FAUCITANO, L.; BERGERON, R.; TORREY, S.; GONYOU, H.W.; CROWE, T.; TOTH TAMMINGA, E.; WIDOWSKI, T.M. Effects of season, truck type, and location within truck on gastrointestinal tract temperature of market-weight pigs during transport. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 93, p. 5840-5848, 2015.

CORREA, J. A.; GONYOU, H. W.; TORREY, S.; WIDOWSKI, T.; BERGERON, R.; CROWE, T.G.; LAFOREST, J.P.; FAUCITANO, L. Welfare and carcass and meat quality of

pigs being transported for two hours using two vehicle types during two seasons of the year. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v. 93, p. 43-55, 2013.

CORREA, J. A.; TORREY, S.; DEVILLERS, N.; LAFOREST, J. P.; GONYOU, H. W.; FAUCITANO, L. Effects of different moving devices at loading on stress response and meat quality in pigs. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 88, p. 4086-4093, 2010.

CUI, Y.; ZHANG, M.; LI, H.; ZHANG, X.; FU, Z. WSMS: Wearable Stress Monitoring System Based on IoT Multi Sensor Platform for Living Sheep Transportation. **Electronics**, Basel, v. 8, p. 441- 459, 2019.

DALLA COSTA, F. A.; DEVILLERS, N.; PARANHOS DA COSTA, M. J. R.; FAUCITANO, L. Effects of applying preslaughter feed withdrawal at the abattoir on behaviour, blood parameters and meat quality in pigs. **Meat Science**, Barking, v. 119, p. 89-94, 2016.

DEWEY, C.; HALEY, C.; WIDOWSKI, T.; POLJAK, Z.; FRIENDSHIP, R. Factors associated with in-transit losses of fattening pigs. **Animal Welfare**, [s. l.], v. 18, p. 355-361, 2009.

DOS REIS, J. G. M.; MACHADO, S. T.; SANTOS, R.; NÄÄS, I. A.; OLIVEIRA, R. V. Financial losses in pork supply chain: a study of the pre-slaughter handling impacts. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 35, p. 163-170, 2015.

EIKELENBOOM, G.; BOLINK, A.H.; SYBESMA, W. 1991. Effects of feed withdrawal before delivery on pork quality and carcass yield. **Meat Science**, Barking, v. 29, p. 25-30, 1991.

FAUCITANO, L.; CHEVILLON, P.; ELLIS, M. Effects of feed withdrawal prior to slaughter and nutrition on stomach weight, and carcass and meat quality in pigs. **Livestock Science**, [s. l.], v. 127, p. 110–114, 2010.

FAUCITANO, L.; GOUMON, S. Transport of pigs to slaughter and associated handling. *In*: ŠPINKA, M.; CAMERLINK, I. (org.). **Advances in Pig Welfare**. Sawston: Woodhead Publishing, 2018.

FAWC. 1993. **Second report on priorities for research and development in farm animal welfare**. Farm Animal Welfare Council. MAFF Tolworth, U.K.

FERNANDES, A. F. A.; DÓREA, J. R. R.; VALENTE, B. D.; FITZGERALD, R.; HERRING, W.; ROSA, G. J. M. Comparison of data analytics strategies in computer vision systems to predict pig body composition traits from 3D images. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 98, n. 8, p. 1-23, 2020.

FOX, J.; WIDOWSKI, T.; TORREY, S.; NANNONI, E.; BERGERON, R.; GONYOU, H. W.; BROWN, J. A.; CROWE, T.; MAINAU, E.; FAUCITANO, L. Water sprinkling market pigs in a stationary trailer. 1. Effects on pig behaviour, gastrointestinal tract temperature and trailer micro-climate. **Livestock Science**, [s. l.], v. 160, p. 113–123, 2014.

- FRASER, D. Animal ethics and animal welfare science: bridging the two cultures. **Applied Animal Behavior Science**, Amsterdam, v. 65, n.1, p. 1771-189, 1999.
- FRASER, D. Understanding animal welfare. **Acta Veterinaria Scandinavica**, Copenhagen, v. 50, p. 1-7, 2008.
- GADE, P.B.; CHRISTENSEN, L.; BALTZER, M.; PETERSEN, J.V. Causes of pre-slaughter mortality in Danish slaughter pigs with special emphasis on transport. **Animal Welfare**, [s. l.], v. 16, p. 459-70, 2007.
- GASPARIN, E.; SOUZA, E. G.; URIBE-OPAZO, M. A.; SANTOS, R. N.; BIER, V. A.; ROCHA, D. M. 3D thematic maps of the chemical parameters of orange fruits. **Acta Scientiarum-Technology**, Maringá, v. 39, p. 417-423, 2017.
- GIL, M.; FAUCITANO, L.; TALBOT, G.; DEVILLERS, N.; GUAY, F.; SAUCIER, L. Pre-slaughter strategies to improve pork carcass microbial quality. **Meat Science**, Barking, v. 99, p. 153-160, 2015.
- GILKESON, C.A.; THOMPSON, H. M.; WILSON, M. C. T.; GASKELL, P.H.; BARNARD, R. H. An experimental and computational study of the aerodynamic and passive ventilation characteristics of small livestock trailers. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, Amsterdam, v. 97, n. 9, p. 415-425, 2009.
- GILKESON, C.A.; THOMPSON, H. M.; WILSON, M. C.; GASKELL, P. H. Quantifying passive ventilation within small livestock trailers using Computational Fluid Dynamics. **Computers and electronics in Agriculture**, Nova Iorque, v. 124, p. 84-99, 2016.
- GOUMON, S.; FAUCITANO, L. Influence of loading handling and facilities on the subsequent response to pre-slaughter stress in pigs. **Livestock Science**, [s. l.], v. 200, p. 6-13, 2017.
- GOURSOT, C.; DÜPJAN, S.; TUCHSCHERER, A.; PUPPE, B.; LELIVELD, L. M. C. Visual laterality in pigs: monocular viewing influences emotional reactions in pigs. **Animal Behaviour**, Londres, v. 154, p. 183–192, 2019.
- GRANDIN, T. Transport fitness of cull sows and boars: A comparison of different guidelines on fitness for transport. **Animals**, Basel, v. 6, n. 12, p. 1-9, 2016.
- GRANT, R. J.; ALBRIGHT, J. L. Feeding behavior and management factors during the transition period in dairy cattle. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 73, p. 2791-2803, 1995.
- GREGO, C.R.; OLIVEIRA, R. P.; VIEIRA, S. R. Geoestatística aplicada a Agricultura de Precisão. In: BERNARDI, A. C. de C.; NAIME, J. de M.; RESENDE, A. V. de; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (org.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília: Embrapa, 2014.

GUÀRDIA, M.D.; ESTANY, J.; BALASH, S.; OLIVER, M.A.; GISPERT, M.; DIESTRE, A. Risk assessment of DFD meat due to pre-slaughter conditions in pigs. **Meat Science**, Barking, v. 70, p. 709-716, 2005.

HAFEZ, E. S. E. **Adaptacion de los animales domésticos**. Barcelona: Labor, 1973.  
HALEY, C.; DEWEY, C.E.; WIDOWSKI, T.; POLJAK, Z.; FRIENDSHIP.; R. Factors associated with in-transit losses of market hogs in Ontario in 2001. **Canadian Journal of Veterinary Research**, Ottawa, v. 72, p. 377-384, 2008.

HARRISON, R. **Animal Machines: the new factory farming industry**. London: Vincent Stuart Publishers LTD, 1964.

HUGHES, B.O. Behaviour as an index of welfare. *In: Proceedings of the Fifth European Poultry Conference*, Malta: Welfare, 1976.

HUYNH, T. T. T.; AARNINK. A. J. A.; HEETKAMP. M. J. W.; VERSTEGEN, M. W. A.; KEMP, B. Evaporative heat loss from group-housed growing pigs at high ambient temperatures. **Journal of Thermal Biology** Oxford, v. 32, p. 293-299, 2007.

ISON, S.H.; BATES, R.O.; ERNST, C.W.; STEIBEL, J.P.; SIEGFORD, J.M. Housing, ease of handling and minimizing inter-pig aggression at mixing for nursery to finishing pigs as reported in a survey of North American pork producers. **Applied Animal Behaviour Science**, Amsterdam, v. 205, p. 159-166, 2018.

JOHNSON, J. S.; AARDSMA, M. A.; DUTTLINGER, A. W.; KPODO, K. R. Early life thermal stress: Impact on future thermotolerance, stress response, behavior, and intestinal morphology in piglets exposed to a heat stress challenge during simulated transport. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 96, p. 1640–1653, 2018.

JOURNEL, A. G. The indicator approach to estimation of spatial distributions. *In: Proceedings of the 17<sup>th</sup> APCOM*, Colorado: SME-AIME, 1982.

LACA, E. Precision livestock production: tools and concepts. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 38, p. 123-132, 2009.

LAMBOOIJ, E. Transport of pigs. *In: GRANDIN, T. (org.). Livestock Handling and Transport*, Wallingford: CABI Publishing. 2014. p. 280–297.

LAMBOOIJ, E.; GARSSSEN, G. J.; WALSTRA, P.; MATEMAN, F.; MERKUS, G. S. M. Transport of pigs by car for two days: some aspects of watering and loading density. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 13, p. 289-299, 1985.

LI, H.; Rong, L.; Zhang, G. Study on convective heat transfer from pig models by CFD in a virtual wind tunnel. **Computers and Electronics in Agriculture**, Nova Iorque, v. 123, p. 203-210, 2016.

LOPES, I.; SILVA, M. V.; MELO, J. M. M.; MONTENEGRO, A. A. A.; PANDORFI, H. Geostatistics applied to the environmental mapping of aviaries. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 24, p. 409-414, 2020.

LOVARELLI, D.; BACENETTI, J.; GUARINO, M. A review on dairy cattle farming: Is precision livestock farming the compromise for an environmental, economic and social sustainable production?. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 262, p. 1-13, 2020.

MACHADO, S. T.; NÄÄS, I. A.; NETO, M. M.; VENDRAMETTO, O.; DOS REIS, J. G. M. Effect of transportation distance on weight losses in pigs from dehydration. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 36, p. 1229-1238, 2016.

MAIS CARNE SUÍNA. As cinco liberdades do bem-estar animal. 2020. Disponível em: <<http://www.maiscarnesuina.com.br/>>. Acesso: 03 out. 2020.

MANTECA, X.; SILVA, C. A.; BRIDI, A. M.; DIAS, C. P. Bem-estar animal: conceitos e formas práticas de avaliação dos sistemas de produção de suínos. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 6, p. 4213-4229, 2013.

MATHERON, G. Principles of geostatistics. **Economic Geology**, v. 58, p. 1246-1266, 1963. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.2113/gsecongeo.58.8.1246>. Acesso em: 17 mar. 2019.

MCGLONE, J.J.; JOHNSON, A.K.; SAPKOTA, A.; KEPHART, R.K. Transport of market pigs: improvements in welfare and economics. *In*: GRANDIN, T.A. (org.). **Livestock Handling and Transport**. Wallingford: CABI Publications, 2014.

MOBERG, G. P. Biological response to stress: implications for animal welfare. *In*: MOBERG, G.; MENCH, J.; MEANCH, J. A. (org.). **The biology of animal stress: basic principles and implications for animal welfare**. Wallingford: CABI Publishing, 2005.

MOTA-ROJAS, D.; SANTIAGO-ROLDÁN, P.; PEDRAZA, E. P.; RODRÍGUEZ, R. M.; HERNÁNDEZ-TRUJILLO, L.; ORTGEA, M. E. T. Stress factors in weaned piglet. **Veterinaria México**, México, v. 45, p. 37-51, 2014.

NANNONI, E.; WIDOWSKI, T.; TORREY, S.; FOX, J.; ROCHA, L. M.; GONYOU H. W.; WESCHENFELDER, A. V.; CROWE T.; FAUCITANO, L. Water sprinkling market pigs in a stationary trailer. 2. Effects on selected exsanguination blood parameters and carcass and meat quality variation. **Livestock Science**, [s. l.], v. 160, p. 124-131, 2014.

NFACC. National Farm Animal Care Council, 2014. Code of Practice for the Care and Handling of Pigs: Review of Scientific Research on Priority Issues. Disponível em: [https://www.nfacc.ca/pdfs/codes/pig\\_code\\_of\\_practice.pdf](https://www.nfacc.ca/pdfs/codes/pig_code_of_practice.pdf). Acesso em: 06 jan. 2020

NAZARENO, A. C.; SILVA, I. J. O.; NUNES, E. F.; SOBRINHO, O. G.; MARÉ, R. M.; CUGNASCA, C. E. Real-time web-based microclimate monitoring of broiler chicken trucks on different shifts. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 24, n.8, p. 554-559, 2020.

NIENABER, J. A.; HAHN, L. G.; YEN, J. T. Thermal environment effects on growing-finishing swine, Part I-Growth, feed intake and heat production. **Transaction of the ASAE** [s. l.], v. 30, n. 6, p. 1772-1775, 1987.

NORTON, T.; KETTLEWELL, P.; MITCHELL, M. A. Computational analysis of a fully-stocked dual-mode ventilated livestock vehicle during ferry transportation. **Computers and Electronics in Agriculture**, Nova Iorque, v. 93: p. 217-228, 2013.

OIE. World Organization for Animal Health. Disponível em: <https://www.oie.int/en/animal-welfare/animal-welfare-at-a-glance>. Acesso em: 04 ago. 2020.

OLIVEIRA, N. C.; VIEIRA, M. L.; ROSA, W. B.; SANTOS, W. B. R.; PEDROSO, L. B.; RIBEIRO, J. C.; CEZÁRIO, A. S.; OLIVEIRA, E. M. B.; SOUZA, C. M. Influência da temperatura na produção e bem-estar de suínos. **Colloquium Agrariae**, [s.l.], v. 13, n. 2, p. 254-264, 2017.

PAIVA, A. C.; SEIXAS, R. B.; GATTAS, M. **Introdução à visualização volumétrica**. PUC-Rio. Inf. MCC 03/99. Rio de Janeiro, 1999.

PANDORFI, H. **Comportamento bioclimático de matrizes suínas em gestação e uso de sistemas inteligentes na caracterização do ambiente produtivo: zootecnia de precisão**. 2005. 137 f. Tese (Doutorado em Física do Ambiente Agrícola) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

PANDORFI, H.; ALMEIDA, G. L. P.; GUISELINI, C. Zootecnia de precisão: princípios básicos e atualidades na suinocultura. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 13, n. 2, p. 558-568, 2012.

PANDORFI, H.; SILVA, I. J. O.; GUISELINI, C.; PIEDADE, S. M. S. Uso da lógica *fuzzy* na caracterização do ambiente produtivo para matrizes gestantes. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, p. 93-92, 2007.

PANELLA-RIERA, N.; GISPERT, M.; SOLER, J.; TIBAU., J.; OLIVER, M. A.; VELARDE, A.; FÀBREGA, E. Effect of feed deprivation and lairage time on carcass and meat quality traits on pigs under minimal stressful conditions. **Livestock Science**, [s. l.], v. 146, n. 1, p. 29-37, 2012.

PEETERS, E.; DEPREZ, K.; BECKERS, F.; D. E.; BAERDEMAEKER, J.; AUBERT A. E.; GEERS, R. Effect of driver and driving style on the stress responses of pigs during a short journey by trailer. **Animal Welfare**, [s. l.], v. 17, p. 189-196, 2008.

PEIXOTO, M. S. M.; BARBOSA-FILHO, J.A.D.; MACHADO, N. A. F.; VIANA, V. S. S.; COSTA, J. F. M. Thermoregulatory behavior of dairy cows submitted to bedding temperature variations in Compost barn systems. **Biological Rhythm Research**, Lisse, v. 1, p. 1-10, 2019.

PEREIRA, T.L.; TITTO, E.A.L.; CONTE, S.; DEVILLERS, N.; SOMMAVILLA, R.; DIESEL, T.; DALLA COSTA, F.A.; GUAY, F.; FRIENDSHIP, R.; CROWE, T.; FAUCITANO, L. Application of a ventilation fan-misting bank on pigs kept in a stationary

trailer before unloading: Effects on trailer microclimate, and pig behaviour and physiological response. **Livestock Science**, [s. l.], v. 216, p. 67-74, 2018.

PEREZ, M. P.; PALACIO, J.; SANTOLARIA, M. P.; ACEÑA, M. C.; CHACÓN, G.; GASCÓN, M.; CALVO, J. H.; ZARAGOZA, P.; BELTRAN, J. A.; GARCÍA-BELENGUER, S. Effect of transport time on welfare and meat quality in pigs. **Meat Science**, Barking, v. 61, p. 425-33, 2002.

PINHEIRO, D. G.; BARBOSA-FILHO, J. A. D.; MACHADO, N. A. F. Effect of wetting method on the broiler transport in Brazilian Northeast. **Journal of Animal Behaviour and Biometeorology**, Mossoró, v. 8, p. 168-173, 2020.

PURSWELL, J. L.; GATES, R. S.; LAWRENCE, L. M.; STOMBAUGH, T. S.; COLEMAN, R. J.; ADAM, W. C. Air exchange rate in a horse trailer during transport. *In*: INTERNATIONAL SYMPOSIUM: LIVESTOCK ENVIRONMENT VII, 5., 2005. Beijing. **Anais [...]**. Beijing: Livestock Environment VII: 2005, p. 13-20.

RABASTE, C.; FAUCITANO, L.; SAUCIER, L.; MORMÉDE, P.; CORREA, J. A.; GIGUÈRE, A.; BERGERON, R. The effects of handling and group size on welfare of pigs in lairage and their influence on stomach weight, carcass microbial contamination and meat quality. **Canadian Journal of Veterinary Research**, Ottawa, v. 87, p. 3-12, 2007.

RAHMAN, M. M.; CHU, C. M.; KUMARESEN, S. Evaluation of the Modified Chimney Performance to Replace Mechanical Ventilation System for Livestock Housing. **Procedia Engineering**, Bangladesh, v. 90, p. 245-248, 2014.

REMY, N.; BOUCHER, A.; WU, J. **Applied geostatistics with SGeMS: a user's guSCI**. Cambridge, Cambridge University Press, 2009.

RIOJA-LANG, F. C.; BROWN, J. A.; BROCKHOFF, E. J.; FAUCITANO, L. A review of swine transportation research on priority welfare issues: A canadian perspective. **Frontiers in Veterinary Science**, Lausanne, v. 6, p. 1-12, 2019.

RITTER, M.J.; ELLIS, M.; BERRY, N. L.; CURTIS, S. E.; ANIL, L.; BERG, E.; BENJAMIN, M.; BUTLER, D.; DEWEY, C.; DRIESSEN, B.; DUBOIS, P.; HILL, J. D.; MARCHANT-FORDE, J. N.; MATZAT, P.; MCGLONE, J.; MORMEDE, P.; MOYER, T.; PFALZGRAF, K.; SALAK-JOHNSON J.; SIEMENS, M.; STERLE, J.; STULL, C.; WHITING, T.; WOLTER, B.; NIEKAMP, S. R.; JOHNSON, A. K. Review: Transport Losses in Market Weight Pigs: I. A Review of Definitions, Incidence, and Economic Impact. **The Professional Animal Scientist**, [s. l.], v. 25, p. 404–414, 2009.

RITTER, M.J.; ELLIS, M.; BRINKMANN, J.; DEDECKER, J.M.; KEFFABER, K.K.; KOCHER, M.E.; PETERSON, B.A.; SCHLIPF, J.M.; WOLTER, B.F. Effect of floor space during transport of market-weight pigs on the incidence of transport losses at the packing plant and the relationships between transport conditions and losses. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 84, p. 2856-2864, 2006.

RONG, L.; NIELSEN, P. V.; BJERG, B.; ZHANG, G. Summary of best guidelines and validation of CFD modeling in livestock buildings to ensure prediction quality. **Computers and Electronics in Agriculture**, Nova Iorque, v. 121, n. 3, p. 180-190, 2016.

RUI, B. R.; DE SOUZA, R. A. D.; DA SILVA, M. A. A. Pontos críticos no manejo pré-abate de frango de corte: jejum, captura, carregamento, transporte e tempo de espera no abatedouro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 7, p. 1290–1296, 2011.

RUSHEN, J. Farm animal welfare since the Brambell report. **Applied Animal Behaviour Science**, Amsterdam, v. 113, p. 277-278, 2008.

SALMI, B.; TREFAN, L.; BÜNINGER, L.; DOESCHL-WILSON, A.; BIDANEL, J.P.; TERLOUW, C.; LARZUL, C. Bayesian meta-analysis of the effect of fasting, transport and lairage times on four attributes of pork meat quality. **Meat Science**, Barking, v. 90, p. 584-598, 2012.

SANTOS, V. M.; DALLAGO, B. S. L.; RACANICCI, A. M. C.; SANTANA, A. P.; CUE, R. I.; BERNAL, F. E. M. Effect of transportation distances, seasons and crate microclimate on broiler chicken production losses. **PLoS One**, [s. l.], v. 15, p. 1-22, 2020.

SCHEEREN, M. B.; GONYOU, H. W.; BROWN, J.; WESCHENFELDER, A. V.; FAUCITANO, L. Effects of transport time and location within truck on skin bruises and meat quality of market weight pigs in two seasons **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v. 94, p. 71-78, 2014.

SEEDORF, J.; SCHMIDT, R.G. The simulated air flow pattern around a moving animal transport vehicle as the basis for a prospective biosecurity risk assessment. **Heliyon**, Maryland Heights, v. 3, n. 8, p. 1-18, 2017.

SILVA, R. G. **Biofísica Ambiental: os animais e seu ambiente**. São Paulo: Nobel, 2008.

SIMIONETTI, A.; PENNA, A.; GIUDICE, R.; CAPPUCCIO, A.; GAMBACORTA, E. The effect of high pré-slaughter environmental temperature on meat quality traits of Italian autochthonous pig Suino Nero Lucano. **Animal Science Journal**, Tokyo, v. 7, p. 1-7, 2018.

SOMMAVILLA, R.; FAUCITANO, L.; GONYOU, H.; SEDDON, Y.; BERGERON, R.; WIDOWSKI, T.; CROWE, T.; CONNOR, L.; SCHEEREN, M. B.; GOUMON, S.; BROWN, J. Season, transport duration and trailer compartment effects on blood stress indicators in pigs: Relationship to environmental, behavioral and other physiological factors, and pork quality traits. **Animals**, Basel, v. 7, p. 1-12, 2017.

SOUSA-JÚNIOR, V. R.; SABINO, L. A.; MOURA, D. J.; NUNHEZ, J. R.; SONODA, L. T.; SILVA, A. O.; PADRA, R. J. Application of computational fluid dynamics on a study in swine facilities with mechanical ventilation system. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 75, n. 3, p. 173-183, 2018.

- SOUZA-JUNIOR, J. B. F.; EL-SABROUT, K.; DE ARRUDA, A. M. V.; COSTA, L. L. DE M. Estimating sensible heat loss in laying hens through thermal imaging. **Computers Electronics in Agriculture**, Nova Iorque, v.166, p.105038, 2019.
- STEWART, G.; RITTER, M.J.; CULBERTSON, M.; MANN, G.; WOFFORD, R. **Effects of previous handling and feed withdrawal prior to loading on transport losses in market weight pigs**. *In*: Proceedings of the 2008 American Association of Swine Veterinarians, San Diego, CA, 2008, p. 359-362.
- SUTHERLAND, M.A.; MCDONALD, A.; MCGLONE, J.J. Effects of variations in the environment, length of journey and type of trailer on the mortality and morbidity of pigs being transported to slaughter. **The Veterinary Record**, Londres, v. 165, p. 13-18, 2009.
- TABASE, R. K.; LINDEN, V. V.; BAGCI, O.; PAEPE, M.; AARNINK, A.J.A.; DEMEYER, P. CFD simulation of airflows and ammonia emissions in a pig compartment with underfloor air distribution system: Model validation at different ventilation rates. **Computers and electronics in Agriculture**, Nova Iorque, v. 171, p. 105297, 2020.
- TASSE, M. E.; MOLENTO, C. F. M. Injury and condemnation data of pigs at slaughterhouses with federal inspection in the state of Paraná, Brazil, as indicators of welfare during transportation. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 49, p. 1-8, 2019.
- TORREY, S.; BERGERON, R.; FAUCITANO, L.; WIDOWSKI, T.; LEWIS, N.; CROWE, T.; CORREA, J. A.; BROWN, J.; HAYNE.; GONYOU, H. W. Transportation of market-weight pigs: II. Effect of season and location within truck on behavior with an eight-hour transport. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 91, n. 6, p. 2872-2878, 2013b.
- TORREY, S.; BERGERON, R.; WIDOWSKI, T.; LEWIS, N.; CROWE, T.; CORREA, J. A.; GONYOU, H. W.; FAUCITANO, L. Transportation of market-weight pigs: I. Effect of season, truck type, and location within truck on behavior with a two-hour transport. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 91, n. 6, p. 2863-2871, 2013a.
- USDA. United States Department Agriculture. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/advQuery>. Acesso em: 03 nov. 2017.
- VAN DE PERRE, V.; PERMETIER, L.; DE BIE, S.; VERBEKE, G.; GEERS, R. Effect of unloading, lairage, pig handling, stunning and season on pH of pork. **Meat Science**, Barking, v. 86, n. 4, p. 931-937, 2010.
- VECEREK, V.; MALENA, M.; MALENA JR.; M., VOŠLAROVA, E.; CHLOUPEK, P. The impact of the transport distance and season on losses of fattened pigs during transport to the slaughterhouse in the Czech Republic in the period from 1997 to 2004. **Veterinární medicína**, Praga, v. 51, p. 21-28, 2006.
- VILELA, L. C.; CATANEO, A. Análise do método de interpolação de krigagem ordinária aplicado à pesquisa agrônômica. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 24, n. 1, p. 85-104, 2009.

VOSLAROVA, E.; VECEREK, V.; PASSANTINO, A.; CHLOUPEK, P.; BEDANOVA, I. Transport losses in finisher pigs: Impact of transport distance and season of the year. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, [s. l.], v. 30, p. 119-124, 2017.

WACKERNAGEL, H. **Multivariate Goestatistics: na introduction with aplications**. 2. Ed. Berlim: Springer-Verlag, 2003.

WARRISS, P. D.; BROWN, S. N. A survey of mortality in slaughter pigs during transport and lairage. **The Veterinary Record**, Londres, v. 134, n. 20, p. 513- 515, 1995.

WARRISS, P. D. Antemortem handling of pigs. *In*: COLE, D.J.A.; WISEMAN, T.J.; VARLEY, M.A. (org.). **Principles of Pig Science**. Nottingham: University Press, 1994.

WEHMANN, C. F.; ROCHA, P. A. C.; SILVA, M. E. V.; ARAÚJO, F. A. A.; CORREIA, D. L. Study and application of computational simulation in simple problems of mechanical two fluids and heat transfer - Part II: Classic problems of heat transmission. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 40, p. ed. 2313-2- ed. 2313-9, 2017.

WESCHENFELDER, A. V.; TORREY, S.; DEVILLERS, N.; BASSOLS, A.; SACO, Y.; PIÑEIRO, M.; SAUCIER, L.; FAUCITANO, L. Effects of trailer design on animal welfare parameters and carcass and meat quality of three Pietrain crosses being transported over a short distance. **Livestock Science**, [s. l.], v. 157, n. 1, p. 234-244, 2013.

XIONG, Y.; GATES, R. S.; GREEN-MILLER, A. R. Factors affecting trailer thermal environment experienced by market pigs transported in the us. **Animals**, Basel, v. 8, p. 1-20, 2018.

### 3 CAPÍTULO I - ZONAS DE CALOR NA CARGA E SUA RELAÇÃO COM O ESTRESSE DOS SUÍNOS DURANTE O TRANSPORTE

**Resumo:** objetivou-se com este estudo avaliar a dinâmica das zonas de calor na carga e sua relação com o estresse de suínos durante o transporte. Foram monitoradas 4 viagens comerciais, com percurso de transporte de 170 km. As variáveis fisiológicas registadas nos animais foram a temperatura retal (TR, °C), temperatura da corporal (TC, °C), frequência respiratória (FR, respirações/min), concentrações do lactato sanguíneo (mg/dL) e cortisol salivar (ng/mL), de um total de 192 animais (48 por viagem). O estudo da dinâmica das zonas de calor e padrões de ventilação foi possível com a caracterização da variabilidade espacial da entalpia (geoestatística), por meio do registro da temperatura e umidade relativa do ar, obtidos por *dataloggers* instalados nos compartimentos da carga e da Dinâmica de Fluido Computacional (CFD). Durante o transporte, observou-se a formação de zonas de calor ao longo da carga com diferentes magnitudes e a formação de um núcleo térmico (bolsão de calor) na região frontal da carga, que se estendia pelos andares inferior (INF) e superior (SUP). Os suínos transportados no INF apresentaram as maiores médias de FR (SUP=89 e INF=94 respirações/min) e cortisol salivar (SUP=33,84 e INF=34,92 ng/mL). Os suínos transportados no SUP apresentaram as maiores ( $P<0.05$ ) médias de TC (SUP=38,9 e INF=38,1°C) e lactato (SUP=61,63 e INF=58,26 mg/dL). O impacto do estresse térmico dos suínos durante o transporte está relacionado à intensidade e a localização das zonas de calor, sendo que os suínos transportados no andar inferior da carga ficaram mais suscetíveis ao estresse térmico, enquanto os suínos transportados no andar superior e apresentaram maior estresse físico e exaustão muscular.

#### Introdução

O manejo de pré-abate, formado pelas etapas de carregamento, transporte, descarregamento e espera dos suínos no abatedouro, quando associado a práticas inadequadas, pode comprometer o estado de bem-estar, sobrevivência e qualidade da carne dos suínos (FAUCITANO, 2018; RIOJA-LANG *et al.*, 2019). Estima-se que as perdas alcancem cerca 160 mil US\$/ano por abatedouro no Brasil, identificadas principalmente na etapa de transporte dos animais (DOS REIS *et al.*, 2015).

Durante o transporte, os suínos são submetidos a vários fatores estressantes, tais como; a mistura de lotes, privação de alimentação e água, mudanças do ambiente, vibrações da

carga e ruído intenso (MOTA-ROJAS *et al.*, 2014). No entanto, o ambiente térmico é considerado um dos principais responsáveis pelo aumento da taxa de morte de animais na chegada (DOA) (AVERÓS *et al.*, 2010), especialmente pelo fato dos suínos apresentarem limitação na dissipação de energia por meio evaporativo, a partir da sudorese (BLIGH, 1985; HUYNH *et al.*, 2007) o que os tornam mais suscetíveis a perdas durante o transporte (RIOJALANG *et al.*, 2019).

A compreensão dos efeitos dos elementos meteorológicos que atuam como agentes estressores e ampliam o desafio imposto aos suínos durante o transporte, em clima tropical, é essencial para elucidar os potenciais efeitos deletérios do estresse térmico e perdas que podem ocorrer durante esse processo.

Além disso, estudos indicam que o embarque dos suínos em certos comportamentos da carroceria associado aos impactos causados pela vibração da carga ao longo da viagem pode causar um cenário de maior susceptibilidade ao estresse físico e exaustão muscular nos suínos transportados em certas regiões da carga, em razão do maior esforço proporcionado aos animais durante o manejo de carregamento e transporte (PEETERS *et al.*, 2008; CONTE *et al.*, 2015).

Estudos demonstraram substanciais variações na umidade relativa ao longo do compartimento de transporte do caminhão, com considerável heterogeneidade da temperatura do ar, que supera em até 8 °C a temperatura externa (CORREA *et al.*, 2013; FOX *et al.*, 2014; PEREIRA *et al.*, 2018).

A avicultura de corte apresenta problema similar relacionado ao fluxo de massa e energia e o efeito do estresse térmico nos veículos de transporte. Estudos comprovaram que a distribuição das aves mortas ao longo da carga durante o transporte não é aleatória; os pontos com maior taxa de DOA's correspondem as zonas térmicas com maior conteúdo de energia, conhecido como núcleos térmicos (MITCHELL; KETTLEWELL 1998; KETTLEWELL *et al.*, 1993; KETTLEWELL *et al.*, 2001; BARBOSA-FILHO *et al.*, 2009).

Nesse contexto, objetivou-se avaliar a dinâmica das zonas de calor da carga (bolsões de calor) e sua relação com o estresse de suínos durante a etapa de transporte.

## **Material e Métodos**

### **Localização e período experimental**

Foram monitoradas 4 viagens no turno da tarde (14h:30min a 17h:40min) com percurso de 170 km no período de 16 a 28 de fevereiro de 2020, entre uma fazenda localizada

em Maracanaú – CE, Brasil (3°54'46.4"S 38°39'19.2"W e 43 m de altitude) e o abatedouro da cidade de Morada Nova – CE, Brasil (5° 06' 24" S 38° 22' 21" W e 52 m de altitude). Segundo dados fornecidos pelas estações 82397 – Fortaleza (3°49'12" S 38°32'24" W e 29,89 m de altitude) e 82588 – Morada Nova (5°8'24"S 38°21'36"W e 45,02 m de altitude) do Instituto Nacional de Meteorologia do Brasil (INMET), a variação da radiação solar no decorrer do período de transporte foi de 412 a 520 kJ/m<sup>2</sup>, da temperatura ambiental foi de 26,8 a 31,0°C e da umidade relativa do ar de 66 a 72%.

### Animais e Tratamentos

Um total de 384 suínos mestiços (Large White x Landrace x Duroc) com cerca de 165 dias de idade foram transportados. Uma subamostra de 192 animais (48 por viagem), com peso corporal médio de 124,0±2,8 kg, foram selecionados por amostragem aleatória blocado por sexo (fêmea) e localização dentro do trailer (4 animais por compartimentos) identificados com marcações de tinta na região dorsal e auricular na baía da fazenda 80±15 min antes do carregamento, para receber o protocolo de registro das variáveis fisiológicas.

O delineamento adotado foi em blocos casualizados, sendo o fator de blocagem o dia de viagem. Os fatores de variação investigados foram os compartimentos da carroceria, a fim de entender o efeito do fluxo de vento e energia sua relação com o estresse térmico nos suínos em todas as localizações dentro da carga. Todos os procedimentos foram aprovados e realizados seguindo as orientações do Comitê de Ética no Uso de Animais do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará (Processo número 9871250719).

### Infraestrutura e Manejo dos Animais

As viagens foram realizadas em rodovias pavimentadas, com densidade da carga de 290 kg/m<sup>2</sup>. O transporte foi realizado em um caminhão Ford® modelo cargo 1519, com carroceria modelo Triel® – HT com dois andares fixos contendo 6 compartimentos, totalizando 12 compartimentos e capacidade de carga de 13 toneladas. A alimentação foi suspensa 120±20 min antes do início do carregamento.

Os animais foram guiados durante o embarque com o auxílio de bandeiras. Foram utilizadas rampas de carregamento pré-moldadas com inclinação 30° e uma rampa metálica (~

3 m, inclinação 58° para embarque no andar superior da carga) tanto para o embarque quanto para o desembarque dos suínos.

Durante o carregamento, a carga de suínos foi molhada por um funcionário o usando uma mangueira. Trata-se de uma prática padrão em regiões tropicais e visa reduzir os impactos do estresse térmico (PINHEIRO; BARBOSA- FILHO; MACHADO, 2020). O molhamento da carga é realizado aleatoriamente ao longo da carroceria. Neste estudo, com base na vazão e no tempo de operação estimou-se um consumo médio de água ( $\pm$  SE) de 2.710 $\pm$ 258 litros/carga.

### Monitoramento Ambiental da Carga

A temperatura (TA, °C) e a umidade relativa do ar (UR, %) dentro da carga foram mensuradas a cada 10 min, por meio de doze *dataloggers* (Onset, U23-001 HOBO Pro v2), com precisão de TA $\pm$ 0,2°C e UR $\pm$ 2,5%, instalados no centro de cada compartimento da carroceria, na altura dos animais. A caracterização térmica da carga foi realizada com base na entalpia específica (H, kJ/kg de ar seco), conforme proposto por (RODRIGUES *et al.*, 2011) pela equação 8.

$$H = 1.006 \cdot TA + \frac{UR}{Pb} \cdot 10^{7.5TA(237.3 + TA)^{-1}} \cdot (71.28 + 0.052 \cdot TA) \quad (8)$$

Onde: TA é a temperatura do ar em ° C, UR é a umidade relativa, em % e Pb é a pressão barométrica local em mmHg.

### Simulação da Ventilação

Um modelo virtual em escala real do caminhão e carroceria foi desenvolvido no software Solid Edge ST10 (Figura 4). Definido o plano geométrico e utilizando o modelo virtual para as simulações computacionais.

Figura 4 – Modelo virtual do veículo com carroceria utilizado para o transporte dos suínos



Fonte: Elaborado pelo autor.

O software empregado para o estudo da dinâmica de fluidos computacional (CFD) foi o SolidWorks *Flow Simulation*, ver.2020. Em que, uma geração de malha adaptativa foi usada no processo de adaptação da malha computacional. Neste estudo, foi utilizado o gerador automático de malhas do *software*, utilizando células hexaédricas estruturadas na maior parte do domínio, exceto ao redor do caminhão, onde foram utilizadas células tetraédricas com refinamento nas camadas ao longo da superfície do caminhão. O número de células na malha foi de 10.339, resultando em uma qualidade ortogonal máxima de 79,60%. As condições de contorno foram projetadas para simular as condições reais de fluxo durante o transporte (Tabela 1). Essas condições foram estabelecidas com os dados reais, registrados nas jornadas de transporte monitoradas.

Tabela 1 – Condições de Contorno

Variáveis	Valores de referência adotados
Velocidade prescrita	18,00 m/s (64,8 km/h)
Temperatura do ar	27,50 °C
Umidade relativa do ar	68,00%
Radiação	460,00 kJ/m <sup>2</sup>
Pressão Atmosférica	760,00 mmHg

Fonte: Elaborado pelo autor.

#### Caracterização das zonas de calor

A exploração da variabilidade espacial da entalpia ao longo da carga foi realizada por meio de técnicas da geoestatística, com a construção de mapas temáticos 2D no Surfer®

V.10 (Golden Software, Inc.) e 3D usando o software SGeMS® (REMY; BOUCHER; WU 2009). A malha de pontos utilizada foi constituída por 36 pontos, sendo 12 pontos gerados a partir dos *dataloggers* durante o transporte e 24 pontos de TA e UR exportados após a simulação CFD. E subsequente cálculo da entalpia específica.

O SGeMS® é um programa gratuito especializado na visualização de dados volumétricos em projeções 3D, em cortes nos eixos x, y e z, pela construção da malha em três dimensões, voxels (cubos) (REMY; BOUCHER; WU 2009; GASPARIN *et al.*, 2017). O método da interpolação na construção dos mapas temáticos foi a krigagem ordinária (9) e a estrutura e a dependência espacial estabelecida pelo semivariograma (10).

$$\bar{Z}(S_o) = \sum_{i=1}^n \lambda_i * Z(S_i) \quad (9)$$

Onde:  $Z(S_o)$  é o valor interpolado na posição  $S_o$ ;  $\lambda_i$  é o peso atribuído ao  $i$ -ésimo valor amostrado na posição  $S_i$ ;  $Z(S_i)$  é o valor atribuído amostrado;  $n$  é o número de localidades vizinhas empregadas para interpolação do ponto; e o somatório dos pesos  $\lambda_i$  deve ser igual a 1 e  $0 \leq \lambda_i \leq 1$ .

$$\bar{\gamma}(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{N(k)} [Z(x_i) - Z(S_i+h)]^2 \quad (10)$$

Onde:  $\bar{\gamma}(h)$  é o semivariograma;  $h$  é a distância de separação entre as medidas,  $N(k)$  é o número de pares experimentais de dados medidos de  $Z(x_i)$  e  $Z(S_i+h)$ ,  $Z(S_i)$  é o valor da variável para posição  $S_i$  não estimado (verdadeiro) considerada como uma variável aleatória, função da posição da amostragem  $x$ ,  $Z(S_i+h)$  é o valor da mesma variável na posição  $S_i+h$  em qualquer direção.

Os valores da entalpia foram organizados no Excel® no padrão GSLIB (*Geostatistics Software Library*). O arquivo GSLIB foi inserido no SGeMS® usando a opção “*Load Objectict*” e “*point sed*”. Os semivariogramas foram construídos na seção “*Algorithms-Estimation*” e a opção “*krigagem*” foi selecionada. O processo de interpolação é efetuado pela complementação de pontos que definem a imagem a partir de pontos conhecidos, ou seja, semelhante aos processos computacionais de mapas bidimensionais, porém no SGeMS® ocorre em uma perspectiva 3D pela construção da malha em três dimensões, chamadas *voxels* (cubos).

O mapa tridimensional da entalpia foi gerado usando a opção “*Run Algorithm*”, e a visualização na seção “*Volume explorer*”.

### Parâmetros fisiológicos

Os indicadores utilizados no protocolo de registro de dados fisiológicos dos suínos foram a temperatura retal (TR, °C), a temperatura da corporal (TC, °C), a frequência respiratória (FR, respirações/min) e, as concentrações de lactato sanguíneo (mg/dL) e de cortisol salivar (ng/mL). Neste estudo, mensurou-se os parâmetros fisiológicos 45±12 min antes do carregamento e 25±15 min após o descarregamento dos animais, na baia de espera do abatedouro.

O registro da FR e da TC foi realizada antes da contenção dos suínos, sem interferência física. Em seguida, os suínos foram contidos leve e brevemente (máximo 2 minutos) em uma posição supina para o registro da TR, cortisol salivar e concentração de lactato sanguíneo. Todas as amostras foram retiradas de cada animal em 3±1 min.

A TR foi mensurada com auxílio de um termômetro tipo espeto com precisão ± 0.5°C (-10 a 100°C, AK05, AKSO), inserido diretamente no reto do animal, a uma profundidade que o bulbo tivesse em contato com a mucosa retal. A FR foi medida por dois especialistas treinados, observando o movimento dos flancos dos animais por 30 s (MACHADO *et al.*, 2020).

A TC foi obtida por meio de imagens térmicas, a partir de uma câmera termográfica (TiS10, Fluke, resolução de 4.800 pixels) corrigidas pelo software *SmartView* 4.3, pelo ajuste da temperatura ambiental no momento do registro da imagem, emissividade dos tecidos biológicos  $\epsilon = 0,98$  e distância fixa de 0,50 m entre o observador e o animal (SOERENSEN *et al.*, 2014).

O lactato foi determinado pelo analisador portátil Lactate Scout 4, EKF Diagnostic GmbH, conforme Rocha *et al.* (2015). As amostras de sangue na veia marginal da orelha dos suínos foram coletadas por um médico veterinário, usando uma agulha retrátil (25G x 16 mm). Esse procedimento foi seguido pela hemostasia, para evitar qualquer tipo de sequelas. Em seguida, utilizou-se uma gota de sangue em uma tira de amostra (duas réplicas por animal) e inserida no analisador portátil, obtendo os resultados após 15 s.

O cortisol salivar foi determinado por meio do kit Elisa Salimetrics, NeogenCorp. Lexington, KY, USA, conforme descrito por Dalla-Costa *et al.* (2009). Inicialmente a saliva foi coletada com o auxílio de um *swab* plástico com meio *stuart* estéril e inserida em tubo

Eppendorf. As amostras foram armazenadas em freezer com temperatura de  $-20^{\circ}\text{C}$  por cerca de 50 min até a análise em um laboratório particular.

### Análises Estatísticas

As variáveis fisiológicas foram analisadas como medida repetida no tempo pelo procedimento MIXED do SAS (SAS Institute Inc. 2012), de acordo com o modelo estatístico:  $Y = \mu + B_i + C_j + e_{ij} + T_k + C_jT_k + e_{ijk}$ , em que:  $\mu$  = média geral;  $B_i$  = efeito aleatório do bloco;  $C_j$  = efeito fixo do compartimento do reboque;  $e_{ij}$  = erro aleatório;  $T_k$  = efeito fixo do tempo;  $C_iT_k$  = efeito fixo da interação do compartimento do reboque x tempo e  $e_{ijk}$  = erro aleatório no nível do tempo. As médias foram comparadas pelo teste Tukey ( $P < 0,05$ ).

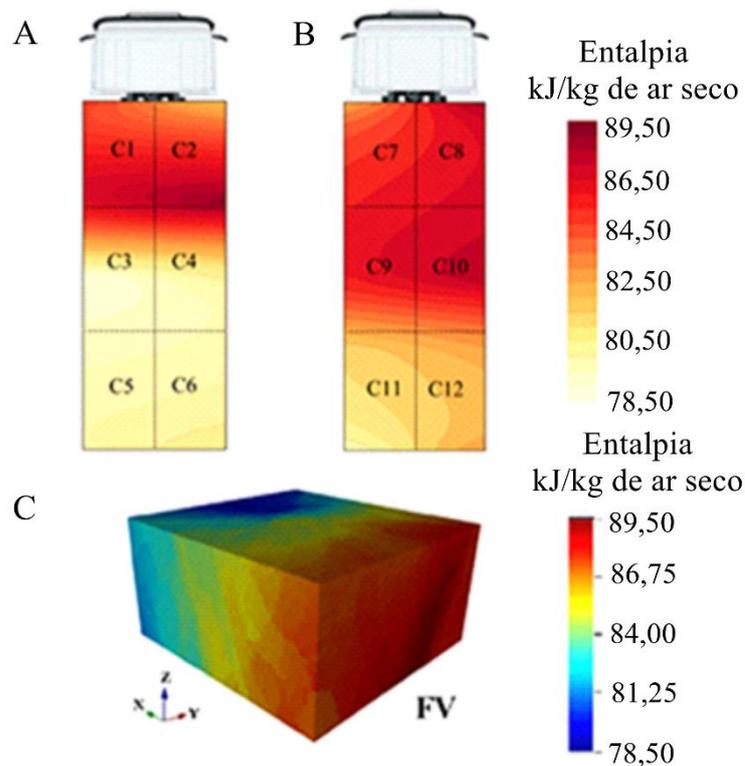
A ventilação e a entalpia foram exploradas com geoestatística e com a dinâmica de fluido computacional (CFD). Os valores médios das variáveis fisiológicas dos suínos transportados nos compartimentos do andar superior (SUP) e inferior (INF) da carroceria foram submetidos à ANOVA e comparados pelo teste F ( $P < 0,05$ ).

Uma análise multivariada discriminante canônica foi realizada usando o procedimento CANDISC do SAS, para entender o grau de similaridade multivariada entre os compartimentos da carroceria, associada a representação gráfica que evidenciou as elipses de confiança de 95% dos vetores médios dos tratamentos foi elaborado usando o Rbio (BHERING, 2017).

## Resultados e Discussão

As condições ambientais mais propícias aos suínos ocorreram nos compartimentos da região traseira da carga. Existe uma maior quantidade de calor nos compartimentos localizados na região frontal da carga, especialmente no andar inferior, Figura 5. Esse comportamento pode ser visualizado de forma mais clara na Figura 5C, onde nota-se uma grande quantidade de calor existente na região dianteira da carga, com valores de entalpia entre 86,60 e 89,50 kJ/kg de ar seco.

Figura 5 – Mapas 2D da entalpia no andar superior (A) e inferior (B) da carroceria. Mapa 3D da entalpia da carga durante o transporte de suínos (C). FV = Frente do Veículo

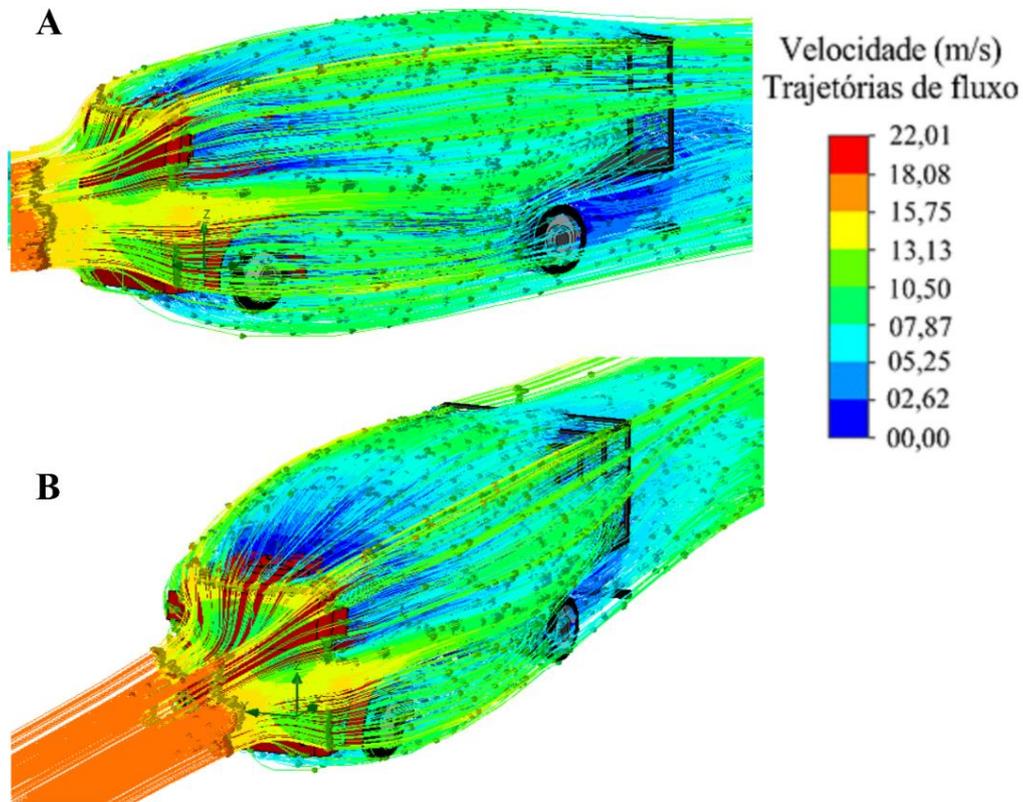


Fonte: Elaborado pelo autor.

Valores de entalpia entre 89,50 e 86,50 kJ/kg de ar seco (núcleo térmico), proporcionam condições favoráveis para a ocorrência do estresse térmico nos suínos, entalpia > 80 kJ/kg de ar seco (SILVA-MIRANDA *et al.*, 2012). No entanto, nota-se que a intensidade da entalpia ao longo da carga é substancialmente reduzida ( $\sim 11 \pm 1,2$  kJ/kg de ar seco) no sentido dianteiro-traseiro (Figura 5C).

Esse perfil térmico pode ser explicado pelo padrão de ventilação, que ocorre no sentido inverso (Figura 6). Sendo assim, a intensidade e a localização das zonas de calor estão relacionadas a dinâmica da ventilação no interior da carga durante o transporte. Neste estudo, observou-se por meio da simulação dos dados uma redução na velocidade do fluxo de vento ( $\sim 32\%$ ) na região da cabine do caminhão (Figura 6A), sendo o vento direcionado para o topo e região traseira do veículo, indicando assim que há uma maior ventilação do andar superior e na zona traseira da carga (Figura 6B).

Figura 6 – Simulação do fluxo de vento ao longo da carga durante transporte de suínos baseando-se nas condições de contorno estabelecidas na Tabela 1



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os suínos transportados no SUP apresentaram maiores médias de temperatura corporal ( $P=0,022$ ) e concentração de lactato sanguíneo ( $P<0,001$ ) em comparação com os transportados no INF. Por sua vez, os suínos transportados no INF apresentaram valores médios de temperatura retal ( $P<0,001$ ) e frequência respiratória mais elevadas ( $P<0,004$ ), bem como maiores concentrações de cortisol salivar ( $P=0,001$ ), com mostra a Tabela 2.

Na região frontal (C1 e C2) do SUP ocorreram as maiores ( $P<0,05$ ) médias de lactato nos suínos. Além disso, os animais transportados nos compartimentos C7 e C8 do INF apresentaram os maiores ( $P<0,05$ ) valores médios de cortisol salivar e frequência respiratória, quando comparados aos demais compartimentos do INF (Tabela 2).

Tabela 2 – Médias ( $\pm$ SE) da temperatura corporal (TC), temperatura retal (TR), frequência respiratória (FR), cortisol salivar e concentração de lactato dos suínos transportados

Compartimento	TC (°C)	TR (°C)	FR (respirações/min)	Cortisol Salivar (ng/mL)	Lactato (mg/dL)
<i>Andar Superior da Carroceira (SUP)</i>					
C1	38,83 $\pm$ 0,36 <sup>abc</sup>	39,09 $\pm$ 0,42 <sup>ab</sup>	90,00 $\pm$ 1,20 <sup>cd</sup>	33,33 $\pm$ 0,79 <sup>b</sup>	63,81 $\pm$ 1,20 <sup>a</sup>
C2	39,04 $\pm$ 0,31 <sup>abc</sup>	38,91 $\pm$ 0,36 <sup>ab</sup>	93,00 $\pm$ 0,90 <sup>bc</sup>	35,06 $\pm$ 0,60 <sup>ab</sup>	64,04 $\pm$ 0,87 <sup>a</sup>
C3	39,94 $\pm$ 0,25 <sup>a</sup>	38,74 $\pm$ 0,40 <sup>ab</sup>	92,00 $\pm$ 1,10 <sup>bcd</sup>	32,62 $\pm$ 0,52 <sup>b</sup>	62,26 $\pm$ 1,10 <sup>abc</sup>
C4	39,90 $\pm$ 0,12 <sup>a</sup>	38,07 $\pm$ 0,60 <sup>b</sup>	92,00 $\pm$ 1,00 <sup>bcd</sup>	32,27 $\pm$ 0,39 <sup>b</sup>	61,28 $\pm$ 0,68 <sup>abc</sup>
C5	38,62 $\pm$ 0,10 <sup>abc</sup>	39,09 $\pm$ 0,42 <sup>ab</sup>	84,00 $\pm$ 1,30 <sup>e</sup>	35,65 $\pm$ 0,36 <sup>ab</sup>	60,04 $\pm$ 1,16 <sup>abc</sup>
C6	38,18 $\pm$ 0,26 <sup>bc</sup>	39,59 $\pm$ 0,39 <sup>ab</sup>	86,00 $\pm$ 2,00 <sup>de</sup>	34,10 $\pm$ 0,65 <sup>b</sup>	58,36 $\pm$ 1,63 <sup>bc</sup>
<i>Andar inferior da Carroceira (INF)</i>					
C7	38,77 $\pm$ 0,40 <sup>abc</sup>	40,57 $\pm$ 0,56 <sup>a</sup>	100,00 $\pm$ 1,50 <sup>a</sup>	37,70 $\pm$ 0,80 <sup>a</sup>	59,28 $\pm$ 0,78 <sup>abc</sup>
C8	38,93 $\pm$ 0,42 <sup>abc</sup>	40,48 $\pm$ 0,54 <sup>a</sup>	102,00 $\pm$ 1,20 <sup>a</sup>	37,76 $\pm$ 0,88 <sup>a</sup>	59,43 $\pm$ 0,86 <sup>abc</sup>
C9	37,80 $\pm$ 0,29 <sup>bc</sup>	39,97 $\pm$ 0,55 <sup>ab</sup>	89,00 $\pm$ 1,00 <sup>cde</sup>	33,52 $\pm$ 0,68 <sup>b</sup>	57,23 $\pm$ 1,06 <sup>c</sup>
C10	37,98 $\pm$ 0,31 <sup>bc</sup>	39,83 $\pm$ 0,38 <sup>ab</sup>	96,00 $\pm$ 1,40 <sup>b</sup>	33,44 $\pm$ 0,84 <sup>b</sup>	58,53 $\pm$ 1,10 <sup>bc</sup>
C11	37,54 $\pm$ 0,28 <sup>c</sup>	38,63 $\pm$ 0,47 <sup>ab</sup>	90,00 $\pm$ 1,50 <sup>cd</sup>	33,24 $\pm$ 1,12 <sup>b</sup>	57,84 $\pm$ 0,96 <sup>bc</sup>
C12	37,85 $\pm$ 0,30 <sup>bc</sup>	38,83 $\pm$ 0,35 <sup>ab</sup>	88,00 $\pm$ 1,20 <sup>cde</sup>	33,87 $\pm$ 1,20 <sup>b</sup>	57,26 $\pm$ 0,80 <sup>c</sup>
CV (%)	3,66	4,97	9,06	8,79	7,45
P valor	0,022	<0,001	0,004	0,001	<0,001
Média SUP	38,98 $\pm$ 0,23 <sup>A</sup>	38,92 $\pm$ 0,43 <sup>B</sup>	90,00 $\pm$ 1,25 <sup>B</sup>	33,84 $\pm$ 0,55 <sup>B</sup>	61,63 $\pm$ 1,10 <sup>A</sup>
Média INF	38,15 $\pm$ 0,33 <sup>B</sup>	39,72 $\pm$ 0,47 <sup>A</sup>	94,00 $\pm$ 1,30 <sup>A</sup>	34,92 $\pm$ 0,92 <sup>A</sup>	58,26 $\pm$ 0,92 <sup>B</sup>

As médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas/minúsculas (vertical) não diferem entre si de acordo com os testes F e Tukey, respectivamente ( $P < 0,05$ ). CV = coeficiente de variação.

Fonte: Elaborado pelo autor.

O aumento dos níveis de cortisol está relacionado ao aumento da atividade adrenocortical, característica ligada à ativação do sistema nervoso autônomo provocado pelo estresse (ROCHA *et al.*, 2019). Não obstante, uma elevação da frequência respiratória (ou seja, respiração ofegante), sugere maior demanda por mecanismos fisiológicos para manter a temperatura do núcleo corporal (ZHOA *et al.*, 2016; SOMMAVILLA *et al.*, 2017; ROCHA *et al.*, 2019).

Esse efeito foi verificado nos suínos transportados nos compartimentos do INF, especialmente no C7 e C8 (Tabela 2), indicando uma resposta aos efeitos deletérios do estresse térmico (hipertermia) sobre os suínos localizados nessas áreas. Isso ocorreu devido a formação do núcleo térmico (Figura 5) pelo desenvolvimento de um vácuo (pressão manométrica negativa) na área em questão (KETTLEWELL *et al.*, 2001), resultando assim em uma taxa reduzida de remoção de calor nessa região da carga (Figura 6), e culminando na formação do chamado “bolsão de calor” (Figura 5C).

Os resultados do presente estudo indicam que a localização do animal na carga durante o transporte tem impacto direto no seu bem-estar, porque alguns compartimentos dentro da carroceria estão sujeitos a temperaturas (calor) mais elevadas (Figura 7). Brown *et al.* (2011) relataram temperaturas mais altas nos compartimentos dianteiros da carga durante o inverno (+10,3°C) e verão (+2,1°C) em carroceria tipo *pot-belly*, enquanto os compartimentos superiores apresentaram temperaturas mais baixas e menor risco associado ao estresse por calor no transporte de suínos.

Essa preocupação não se restringe aos suínos, uma série de outros estudos mostraram heterogeneidade da temperatura e umidade relativa na carga durante o transporte de frangos de corte, com o maior risco observado para as aves transportadas no centro da carga, onde a dissipação de calor é mais difícil (KETTEWELL; MITCHELL 1993, MITCHELL; KETTLEWELL, 1998; BARBOSA-FILHO *et al.*, 2009). De forma semelhante, a presença de um “núcleo térmico” na região frontal da carga foi verificada neste estudo, com o potencial de redução da dissipação do calor dos suínos (Figura 5C).

Os compartimentos do SUP da carroceria apresentam condições mais favoráveis aos suínos durante o transporte, devido à maior ventilação nessa região da carga (Figura 7). Entretanto, os resultados indicam que os suínos são mais susceptíveis ao estresse físico em viagens nos compartimentos do SUP. Isso pode estar relacionado a exposição direta à radiação solar durante o transporte (carroceria sem cobertura), maior esforço durante o embarque, em razão das rampas mais íngremes (58°) em comparação com o INF (30°) e pela maior vibração da carroceria durante a viagem (PEETERS *et al.*, 2008).

Esse cenário pode ter causado exaustão muscular e maior demanda de oxigênio e, com isso glicólise anaeróbica, gerando aumento na concentração sérica de lactato dos suínos transportados no SUP (Tabela 2) (ROLDAN-SANTIAGO *et al.*, 2013; MOTA-ROJAS *et al.*, 2014). O aumento do lactato sanguíneo de suínos é costumeiramente relacionado à exaustão muscular (MOTA-ROJAS *et al.*, 2012; ROLDAN-SANTIAGO *et al.*, 2013; MARTÍNEZ-RODRÍGUEZ *et al.*, 2015).

Conte *et al.* (2015) mostraram que em carrocerias tipo *pot-belly*, os compartimentos localizados nas regiões frontal superior e traseira inferior proporcionaram maior esforço físico aos suínos devido o embarque com rampas internas mais íngremes (até 32°). Foi relatado pelos autores um aumento da temperatura do trato gastrointestinal dos suínos após o carregamento e durante o transporte, em comparação com animais transportados em outros compartimentos da carroceria do caminhão.

A Tabela 3 mostra os coeficientes canônicos padronizados da amostra total e a variação total explicada por cada variável canônica. A primeira variável canônica (Can 1), ou função discriminante linear de Fisher, explicou 63,04% da variação total dos compartimentos da carroceria do caminhão, o que pode ser considerado razoável e o Can 2 explicou 15,90% da variação total. Observou-se maior ponderação da entalpia, umidade relativa, temperatura retal e cortisol salivar no processo de extração do Can 1, bem como maior ponderação da temperatura superficial e do lactato sanguíneo para a extração da Can 2, sugerindo uma variação relacionada ao estresse térmico por calor (Can 1) e ao estresse físico (Can 2).

Tabela 3 – Coeficientes canônicos padronizados para amostra total e variação total explicada por cada variável canônica (Can)

Variável Resposta	Variáveis Canônicas	
	Can1	Can2
Temperatura do ar	0,58	0,05
Umidade Relativa do ar	-1,54*	- 0,08
Entalpia	-3,45*	0,13
Temperatura Corporal	-0,07	71,08*
Temperatura Retal	-15,30*	0,57
Frequência Respiratória	-0,50	-0,01
Cortisol Salivar	-84,09*	0,07
Lactato	0,41	103,57*
Variação (%)	63,04	15,90
Variação Acumulada (%)	63,04	78,94

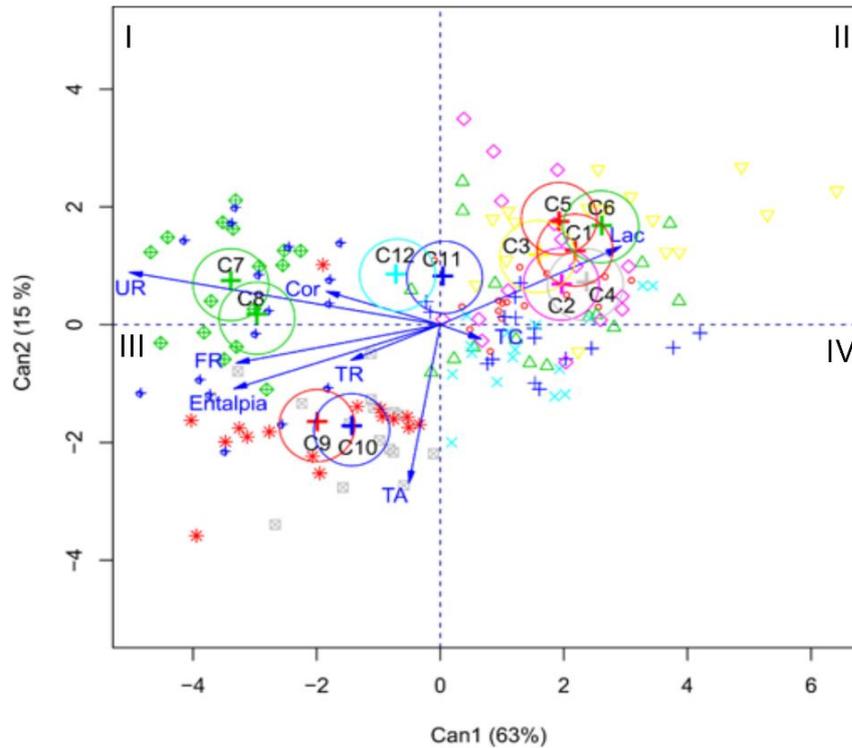
\*Escore com alta ponderação na construção de Can > 1.0

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em uma perspectiva multivariada, os resultados ratificam a hipótese atribuída para explicar os parâmetros fisiológicos dos suínos transportados (Tabela 2). A análise discriminante permitiu uma discriminação clara entre os andares SUP e INF da carga, os compartimentos do SUP da carga foram deslocados ao quadrante II pelo eixo Can 2 no sentido positivo, sendo sobrepostos pelos vetores médios da temperatura corporal e lactato (Figura 7).

Por outro lado, os compartimentos do INF foram deslocados aos quadrantes I e III pelo eixo Can 1 no sentido negativo, sendo sobrepostos pelos vetores médios dos indicadores de estresse térmico por calor (por exemplo: cortisol, temperatura retal e entalpia), exceto os compartimentos C11 e C12 do INF que permaneceram próximos ao centroide, evidenciando um padrão de moderado equilíbrio entre Can1 e Can2 (Figura 7).

Figura 7 – Dissimilaridade multivariada entre compartimentos da carga



TA = temperatura do ar; UR = umidade relativa do ar; TC = temperatura corporal; TR = temperatura retal; FR = frequência respiratória; Cor = cortisol salivar e Lac = lactato sanguíneo.

Fonte: Elaborado pelo autor.

É importante ressaltar que, a zona mais prejudicial ao bem-estar dos animais da carroceria do caminhão localizava-se na região frontal do INF (C7 e C8). Entretanto, os resultados apresentados ocorrem pelo efeito aditivo do estresse fisiológico e físico causado pelo estresse térmico, mas também pela vibração da carga (PEETERS *et al.*, 2008), pelo manuseio de carregamento/descarregamento (BROWN *et al.*, 2005; GOUMON; FAUCITANO, 2017) e pela ordem de carregamento (CONTE *et al.*, 2015; GOUMON; FAUCITANO, 2017).

O manejo e a mistura de lotes também podem ter um impacto prejudicial no bem-estar (ISON *et al.*, 2018) e podem ser identificados em parâmetros sanguíneos, embora a confiabilidade de alguns parâmetros seja questionável, dado o contexto e a capacidade de amostragem dentro de uma janela apropriada pós “tratamento” (CARRESRAS *et al.*, 2017).

Portanto, os indicadores fisiológicos médios, registrados nos suínos transportados nessas áreas da carga, podem ser confundidos com os efeitos do manejo, vibração e ordem de carregamento. No entanto, como todas as práticas pré e pós-transporte foram idênticas, existe

um efeito genuíno relacionado as zonas de calor na carga e ao estresse térmico causado aos animais entre os suínos dispostos nos compartimentos e localização dos andares da carroceria.

A prática de molhamento da carga durante o carregamento, comum em regiões tropicais, pode ter contribuído negativamente na eficiência de dissipação do calor dos suínos durante o transporte, sabe-se que o molhamento pode proporcionar o acúmulo de água na carroceria do caminhão (PINHEIRO; BARBOSA-FILHO; MACHADO, 2020), ampliando o conteúdo de vapor d'água na parcela de ar próximo aos animais, especialmente nos compartimentos das regiões frontal (C7 e C8) e central (C9 e C10) do INF, em decorrência da maior deficiência de ventilação nessas áreas.

Esse cenário, além de reduzir a capacidade de termorregulação dos suínos, uma vez que a dissipação de calor pela ofegação torna-se ineficiente (NARDONE *et al.*, 2010), pode provocar um alto custo energético e resultar em perda excessiva de CO<sub>2</sub> (MOTA-ROJAS *et al.*, 2012), causando queda na pressão parcial e na concentração de ácido carbônico e hidrogênio, o que pode aumentar a taxa de DOA (TASSE; MOLENTO 2019), desidratação (MACHADO *et al.*, 2016) e o tempo de recuperação pós-transporte dos animais (JOHNSON *et al.*, 2018).

## Conclusões

Durante o transporte, observou-se a formação de zonas de calor ao longo da carga com diferentes magnitudes devido à dinâmica da ventilação. Os suínos transportados em compartimentos localizados no andar inferior da carroceria do caminhão foram mais suscetíveis ao estresse térmico (hipertermia), enquanto que os suínos submetidos ao transporte nos compartimentos no andar superior foram mais suscetíveis ao estresse físico e exaustão muscular.

## Referências

AVERÓS, X.; KNOWLES, T. G.; BROWN, S. N.; WARRISS, P. D.; GOSÁLVEZ, L. F. Factors affecting the mortality of weaned piglets during commercial transport between farms. **Veterinary Record**, Londres, v. 167, p. 815–819, 2010.

BARBOSA-FILHO, J. A. D.; VIEIRA, F. M. C.; SILVA, I. J. O.; GARCIA, D. B.; SILVA MAN, FONSECA, B. H. F. Poultry transport: microclimate characterization of the truck during the winter. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 3598, p. 2442–2446, 2009.

BHERING, L. L. Rbio: A tool for biometric and statistical analysis using the R platform. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, [s. l.], v. 17, p. 187-190, 2017.

BLIGH, J. **Temperature regulation in mammals and other vertebrates**. CRC Press Inc, Boca Raton, 1985.

BROWN, J. A.; SAMARAKONE, S.; CROWE, T.; BERGERON, T. R.; WIDOWSKI, T.; CORREA, J. A.; FAUCITANO, L.; TORREY, S.; GONYOU, H. W. Temperature and humidity conditions in trucks transporting pigs in two seasons in eastern and western Canada. **Transactions of the ASABE**, [s. l.], v. 54, p. 2311-2318, 2011.

BROWN, S. N.; KNOWLES, T. G.; WILKINS, S. A.; CHADD, P. D.; WARRISS, P. D. The response of pigs to being loaded or unloaded onto commercial animal transported using three systems. **The Veterinary Journal**, Londres, v. 170, p. 91-100, 2005.

CARRERAS, R.; ARROYO, L.; MAINAU, E.; VALENT, D.; BASSOLS, A.; DALMAU, A.; FAUCITANO, L.; MANTECA, X.; VELARDE, A. Can the way pigs are handled alter behavioural and physiological measures of affective state?. **Behavioural Processes**, Amsterdam, v. 142, p. 91-98, 2017.

CONTE, S.; FAUCITANO, L.; BERGERON, R.; TORREY, S.; GONYOU, H. W.; CROWE, T.; TAMMINGA, E. T.; WIDOWSKI, T. M. Effects of season, truck type, and location within truck on gastrointestinal tract temperature of market-weight pigs during transport. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 93, p. 5840–5848, 2015.

CORREA, J. A.; GONYOU, H. W.; TORREY, S.; WIDOWSKI, T.; BERGERON, R.; CROWE, T. G.; LAFOREST, J. P.; FAUCITANO, L. Welfare and carcass and meat quality of pigs being transported for two hours using two vehicle types during two seasons of the year Canadian **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 93, p. 43–55, 2013.

DALLA-COSTA, O. A.; LUDKE, J. V.; COLBELLE, A.; KICH, K. D.; COSTA, M. P. R. P.; FAUCITANO, L.; PELOSO, J. V.; ROZA, D. D. Efeito do manejo pré-abate sobre alguns parâmetros fisiológicos em fêmeas suínas pesadas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, p. 852-858, 2009.

DOS REIS, J. G. M.; MACHADO, S. T.; SANTOS, R.; NÄÄS, I. A.; OLIVEIRA, R. V. Financial losses in pork supply chain: a study of the pre-slaughter handling impacts. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 35, p. 163-170, 2015.

FAUCITANO, L. Preslaughter handling practices and their effects on animal welfare and pork quality. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 96, p. 728-738, 2018.

FOX, J.; WIDOWSKI, T.; TORREY, S.; NANNONI, E.; BERGERON, R.; GONYOU, H. W.; BROWN, J. A.; CROWE, T.; MAINAU, E.; FAUCITANO, L. Water sprinkling market pigs in a stationary trailer. 1. Effects on pig behaviour, gastrointestinal tract temperature and trailer micro-climate. **Livestock Science**, [s. l.], v. 160, p. 113-123, 2014.

GASPARIN, E.; SOUZA, E. G.; URIBE-OPAZO, M. A.; SANTOS, R. N.; BIER, V. A.; ROCHA, D. M. 3D thematic maps of the chemical parameters of orange fruits. **Acta Scientiarum Technology**, Maringá, v. 39, p. 417-423, 2017.

GOUMON, S.; FAUCITANO, L. Influence of loading handling and facilities on the subsequent response to pre-slaughter stress in pigs. **Livestock Science**, [s. l.], v. 200, p. 6-13, 2017.

HUYNH, T. T. T.; AARNINK, A. J. A.; HEETKAMP, M. J. W.; VERSTEGEN, M. W. A.; KEMP, B. Evaporative heat loss from group-housed growing pigs at high ambient temperatures. **Journal of Thermal Biology**, Oxford, v. 32, p. 293-299, 2007.

ISON, S. H.; BATES, R. O.; ERNST, C. W.; STEIBEL, J. P.; SIEGFORD, J. M. Housing, ease of handling and minimizing inter-pig aggression at mixing for nursery to finishing pigs as reported in a survey of North American pork producers. **Applied Animal Behaviour Science**, Amsterdam, v. 205, p. 159-166, 2018.

JOHNSON, J. S.; AARDSMA, M. A.; DUTTLINGER, A. W.; KPODO, K. R. Early life thermal stress: Impact on future thermotolerance, stress response, behavior, and intestinal morphology in piglets exposed to a heat stress challenge during simulated transport. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 96, p. 1640-1653, 2018.

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

KETTLEWELL, P. J.; HOXEY, R. P.; HAMPSON, C. J.; GREEN, N. R.; VEALE, B. M.; MITCHELL, M. A. AP-Animal production technology: design and operation of a prototype mechanical ventilation system for livestock transport vehicles, **Journal of agricultural engineering research**, Londres, v. 79, p. 429-439, 2001.

MACHADO, N. A. F.; PARENTE, M. O. M.; PARENTE, H. N.; ZANINE, A. M.; MOREIRA-FILHO, M. A.; CUNHA, I. C. L.; SOUSA, J. M. S.; ANJOS, L. F.; FERREIRA, D. J.; ARAÚJO, J. S. The physiological response, feeding behaviour and water intake of feedlot lambs supplemented with babassu oil or buriti oil. **Biological Rhythm Research**, Lisse, v. 51, p. 213-224, 2020.

MACHADO, S. T.; NÄÄS, I. A.; NETO, M. M.; VENDRAMETTO, O.; DOS REIS, J. G. M. Effect of transportation distance on weight losses in pigs from dehydration. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 36, p. 1229-1238, 2016.

MARTÍNEZ-RODRÍGUEZ, R.; ROLDAN-SANTIAGO, P.; OROZCO-GREGORIO, H.; TRUJILLO-ORTEGA, M.; MORA-MEDINA, P.; GONZÁLEZ-LOZANO, M.; SÁNCHEZ-HERNÁNDEZ, M.; BONILLA-JAIME, H.; GARCÍA-HERRERA, R.; HERNÁNDEZ-TRUJILLO, E.; MOTA-ROJAS, D. Physiological responses and blood gas exchange following long-distance transport of piglets weaned at different ages over unpaved or paved roads. **Livestock Science**, [s. l.], 172: 69-78, 2015.

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

MOTA-ROJAS, D.; BECERRIL-HERRERA, M.; ROLDAN-SANTIAGO, P.; ALONSO-SPILSBURY, M.; FLORES-PEINADO, S.; RAMÍREZ-NECOECHEA, R.; RAMÍREZ-

TELLES, J. A.; MORA-MEDINA, P.; PÉREZ M, MOLINA E, SONÍ E, TRUJILLO-ORTEGA ME. Effects of long-distance transportation and CO<sub>2</sub> stunning on critical blood values in pigs. **Meat Science**, Barking, v. 90, p. 893-898, 2012.

MOTA-ROJAS, D.; SANTIAGO-ROLDÁN, P.; PEDRAZA, E. P.; RODRÍGUEZ, R. M.; HERNÁNDEZ-TRUJILLO, L.; ORTGEA, M. E. T. Stress factors in weaned piglet. **Veterinaria México**, México, v. 45, p. 37-51, 2014.

NARDONE, A.; RONCHI, B.; LACETERA, N.; RANIERI, M. S.; BERNABUCCI, U. Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. **Livestock Science**, [s. l.], v. 130, p. 57-69, 2010.

PEETERS, E.; DEPREZ, K.; BECKERS, F.; D. E.; BAERDEMAEKER, J.; AUBERT A. E.; GEERS, R. Effect of driver and driving style on the stress responses of pigs during a short journey by trailer. **Animal Welfare**, [s. l.], v. 17, p. 189-196, 2008.

PEREIRA, T.L.; TITTO, E.A.L.; CONTE, S.; DEVILLERS, N.; SOMMAVILLA, R.; DIESEL, T.; DALLA COSTA, F.A.; GUAY, F.; FRIENDSHIP, R.; CROWE, T.; FAUCITANO, L. Application of a ventilation fan-misting bank on pigs kept in a stationary trailer before unloading: Effects on trailer microclimate, and pig behaviour and physiological response. **Livestock. Science**, [s. l.], v. 216, p. 67-74, 2018.

PINHEIRO, D. G.; BARBOSA-FILHO, J. A. D.; MACHADO, N. A. F. Effect of wetting method on the broiler transport in Brazilian Northeast. **Journal of Animal Behaviour and Biometeorology**, Mossoró, v. 8, p. 168-173, 2020.

REMY, N.; BOUCHER, A.; WU, J. **Applied geostatistics with SGeMS: a user's guSCI**. Cambridge, Cambridge University Press, 2009.

RIOJA-LANG, F. C.; BROWN, J. A.; BROCKHOFF, E. J.; FAUCITANO, L. A review of swine transportation research on priority welfare issues: A canadian perspective. **Frontiers in Veterinary Science**, Lausanne, v. 6, p. 1-12, 2019.

ROCHA, L. M.; DEVILLERS, N.; MALDAGUE, X.; KABEMBA, F. Z.; FLEURET, J.; GUAY, F.; FAUCITANO, L. Validation of Anatomical Sites for the Measurement of Infrared Body Surface Temperature Variation in Response to Handling and Transport. **Animals**, Basel, v. 9, n. 7, p.425-433, 2019.

ROCHA, L. M.; DIONNE, A.; SAUCIER, L.; NANNONI, E.; FAUCITANO, L. Hand-held lactate analyzer as a tool for the real-time measurement of physical fatigue before slaughter and pork quality prediction. **Animal**, Cambridge, v. 24, p. 707-714, 2015.

RODRIGUES, V. C.; DA SILVA, I.; VIEIRA, F.; NASCIMENTO, S. A correct enthalpy relationship as thermal comfort index for livestock. **International Journal of Biometeorology**, Lisse, v. 55, p. 455-459, 2011.

ROLDAN-SANTIAGO, P.; MARTINEZ-RODRIGUEZ, R.; YANEZ-PIZANA, A.; TRUJILLO-ORTEGA, M. E.; SANCHEZ-HERNANDEZ, M.; PEREZ-PEDRAZA, E.;

MOTA-ROJAS, D. Stressor factors in the transport of weaned piglets: A review. **Veterinární Medicína**, Praga, v. 58, p. 241-251, 2013.

SAS. SAS/STAT® 9.3 **User's Guide**. Cary: SAS Institute Inc, 2012.

SILVA-MIRANDA, K. O.; BORGES, G.; MENEGALE, V. L. C.; SILVA, I. J. O. Effects of environmental conditions on sound level emitted by piglets. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, p. 435-455, 2012.

SOERENSEN, D. D.; CLAUSEN, S.; MERCER, J. B.; PEDERSEN, L. J. Determining the emissivity of pig skin for accurate infrared thermography. **Computers and Electronics in Agriculture**, Nova Iorque, v. 109, p. 52-58, 2014.

SOMMAVILLA, R.; FAUCITANO, L.; GONYOU, H.; SEDDON, Y.; BERGERON, R.; WIDOWSKI, T.; CROWE, T.; CONNOR, L.; SCHEEREN, M. B.; GOUMON, S.; BROWN, J. Season, transport duration and trailer compartment effects on blood stress indicators in pigs: Relationship to environmental, behavioral and other physiological factors, and pork quality traits. **Animals**, Basel, v. 7, p. 1-12, 2017.

TASSE, M. E.; MOLENTO, C. F. M. Injury and condemnation data of pigs at slaughterhouses with federal inspection in the state of Paraná, Brazil, as indicators of welfare during transportation. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 49, p. 1-8, 2019.

TORREY, S.; BERGERON, R.; WIDOWSKI, T.; LEWIS, N.; CROWE, T.; CORREA, J. A.; GONYOU, H. W.; FAUCITANO, L. Transportation of market-weight pigs: I. Effect of season, truck type, and location within truck on behavior with a two-hour transport. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 91, n. 6, p. 2863-2871, 2013a.

TORREY, S.; BERGERON, R.; FAUCITANO, L.; WIDOWSKI, T.; LEWIS, N.; CROWE, T.; CORREA, J. A.; BROWN, J.; HAYNE.; GONYOU, H. W. Transportation of market-weight pigs: II. Effect of season and location within truck on behavior with an eight-hour transport. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 91, n. 6, p. 2872-2878, 2013b.

ZHAO, Y.; XIN, H.; HARMON, J. D.; BASS, T. J. Mortality rate of weaned and feeder pigs as affected by ground transportation conditions. **Transactions of the ASABE**, [s. l.], v. 59, p. 943-948, 2016.

## 4 CAPÍTULO II – EFEITO DA DISTÂNCIA E DOS TURNOS DE TRANSPORTE SOBRE O BEM-ESTAR DE SUÍNOS E PERDAS PRODUTIVAS DA CARGA

**Resumo:** objetivou-se com este estudo avaliar os efeitos individuais e combinados da distância (30 km e 170 km) e dos turnos de transporte (manhã, tarde e noite) nas perdas pré-abate e no bem-estar dos suínos. Foram utilizados 684 animais com  $124,0 \pm 2,8$  kg de peso médio corporal, provenientes de 19 viagens (36 por viagem) e subsequente registro do perfil de entalpia da carga, respostas fisiológicas e perdas produtivas. No desembarque dos suínos foram quantificados a taxa de animais fadigados (NANI), machucados (NAI), mortos na chegada (DOA) e perdas produtivas totais. Os resultados mostraram que os suínos transportados à tarde por 30 km, apresentaram as maiores ( $P < 0,05$ ) médias da temperatura retal, temperatura corporal e cortisol salivar, o que também resultou na maior taxa de DOA ( $P = 0,017$ ), NANI ( $P = 0,006$ ) e da perda produtiva total ( $P = 0,011$ ). Os suínos transportados à tarde aumentaram a frequência respiratória e a concentração de lactato no sangue ( $P < 0,001$ ). O transporte à tarde foi mais suscetível à ocorrência de perdas, principalmente quando associado à curtas distâncias (30 km). O impacto do estresse dos suínos e as perdas produtivas causado pela distância de transporte não se comporta de forma linear. Recomenda-se assim, que o transporte seja planejado para acontecer preferencialmente no início da manhã ou à noite e que, em viagens mais curtas, os animais sejam submetidos a um período de descanso nos abatedouros.

### Introdução

O transporte é considerado um dos pontos mais críticos do bem-estar dos animais na suinocultura (TASSE; MOLENTO, 2019). Durante o transporte, os suínos são submetidos a vários fatores estressantes, como mistura de lotes, privação de alimentação e água, mudanças do ambiente, vibrações e ruído (MOTA-ROJAS *et al.*, 2014). Todas com o potencial de causar estresse fisiológico (por exemplo, dor) e psicológico (por exemplo, medo), bem como perdas produtivas (FAUCITANO; LAMBOOIJ, 2019).

Entretanto, o ambiente térmico da carga é considerado um dos principais problemas relacionados às perdas produtivas por mortos na chegada (DOA) e animais fadigados (NANI), (SUTHERLAND *et al.*, 2009; AVERÓS *et al.*, 2010; NANNONI *et al.*, 2016), o que pode repercutir na produção de metabólitos que depreciam a qualidade da carne, reduzindo a vida de prateleira, pelo aumento da incidência de carne pálida, mole e exsudativa (PSE) ou escura, dura e seca (DFD) (FAUCITANO, 2018).

No pré-abate, o transporte de suínos ocorre em diversas combinações de distâncias, horários e estações do ano. Durante o transporte, essas combinações podem influenciar o perfil térmico da carga, como observado para frangos de corte no Brasil (BARBOSA-FILHO *et al.*, 2009; 2014). Entretanto, estudos especificamente voltados ao transporte de suínos, concentram-se em países de clima temperado, como por exemplo o Canadá (TORREY *et al.*, 2013a,b; SOMMAVILLA *et al.*, 2017), os Estados Unidos (XIONG *et al.*, 2015; XIONG *et al.*, 2018) e países da União Europeia (AVERÓS *et al.*, 2010; VOGLAROVA *et al.*, 2017).

Dos Reis *et al.* (2015) relataram perdas de 3.079 kg de carne/mês em abatedouros brasileiros durante o pré-abate de suínos, sendo o transporte o principal responsável. Os autores estimaram um prejuízo de 160 mil dólares/ano. Nesse contexto, uma análise combinada dos efeitos das distâncias e turnos de transporte, fornecerá informações que podem auxiliar o planejamento do transporte de suínos no Brasil, reduzindo os impactos causados pelo estresse térmico, evitando possíveis perdas, sobretudo por DOA's (AVERÓS *et al.*, 2010) e desenvolvimento de carne PSE (SIMONETTI *et al.*, 2018).

Nessa perspectiva, considerando a carência de informações sobre o transporte de suínos em regiões tropicais, este estudo foi conduzido com o objetivo de analisar os efeitos individuais e combinados da distância (30km e 170 km) e dos turnos de transporte (manhã, tarde e noite) nas perdas pré-abate e no bem-estar dos suínos.

## **Material e Métodos**

Todos os procedimentos foram aprovados e realizados seguindo as orientações do Comitê de Ética no Uso de Animais do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará (Processo número 9871250719).

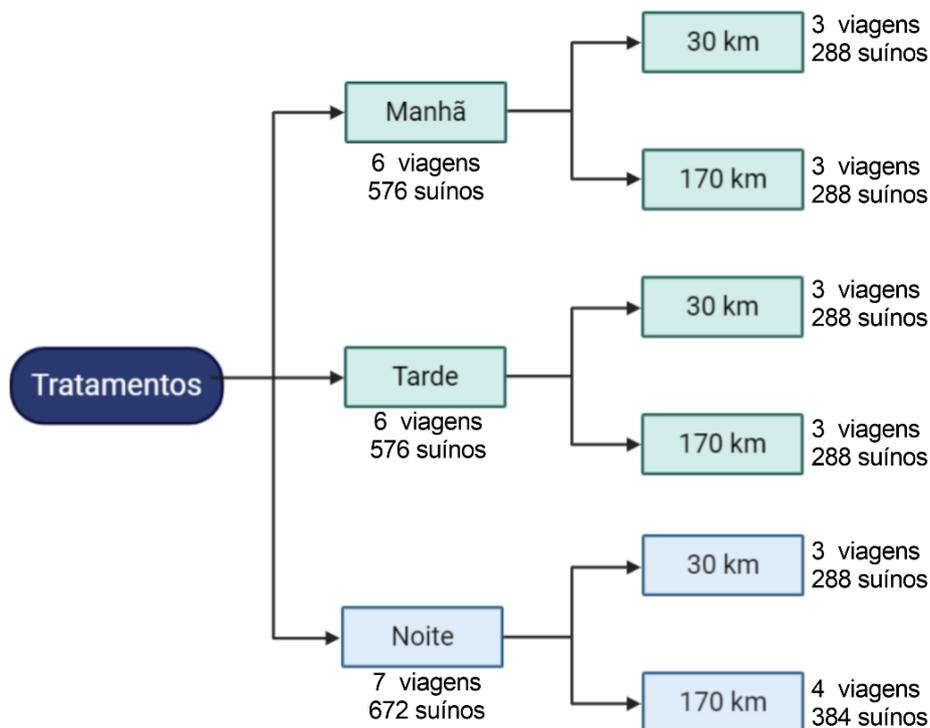
### **Animais e Tratamentos**

Este estudo envolveu um total de 1824 suínos mestiços (Large White x Landrace x Duroc) com 165 dias de idade. Os animais foram transportados da fazenda em Maracanaú, Ceará, Brasil (3°54'46.4"S 38°39'19.2"W e 43 m de altitude) para abatedouros em Caucaia (3°44'4" S 38° 39'23" W e 24m de altitude) e Morada Nova (5°06'24" S 38°22'21" W e 52 m de altitude). Dos 1824 suínos transportados, uma subamostra de 684 animais (36 por viagem), com peso corporal de 124,0±2,8 kg, foram selecionados por amostragem aleatória blocado por sexo (fêmea) e por localização na carga (3 por compartimento) e foram identificados com

marcações de tinta na região dorsal e auricular na baía da fazenda  $80\pm 15$  min antes do carregamento, para receber o protocolo de coleta dos parâmetros fisiológicos.

Os suínos foram transportados em 19 viagens; 9 com distância de 30 km (trajeto de Maracanaú à Caucaia) e 10 com distância de 170 km (trajeto de Maracanaú à Morada Nova). Os horários das viagens foram divididos em turnos: manhã (05h:00min a 11h:00min), tarde (12h:00min a 17h:00min) e noite (23h:00min a 04h:00min), resultando no esquema experimental apresentado na Figura 8.

Figura 8 – Esquema dos tratamentos investigados



Fonte: Elaborado pelo autor.

O transporte foi realizado em um caminhão Ford® modelo cargo 1519, com carroceria modelo Triel® – HT com dois andares fixos contendo 6 compartimentos, totalizando 12 compartimentos e capacidade de carga de 13 toneladas. O veículo não era equipado com sistema de climatização, e os compartimentos não continham nenhum tipo de cama ou sistema de abastecimento de água. A alimentação foi suspensa  $120\pm 20$  min antes do início do carregamento e a densidade da carga foi de  $290 \text{ kg/m}^2$ .

As viagens foram realizadas em rodovias asfaltadas e o embarque dos animais guiados com o auxílio de bandeiras, durante o embarque e desembarque foram utilizadas rampas de carregamento pré-moldadas com inclinação 30° e também uma rampa metálica (~ 3 m, inclinação 58° para embarque no andar superior da carga).

Durante o carregamento, ocorreu o “molhamento da carga”. Os suínos já alojados na carroceria do caminhão eram molhados por um funcionário, usando uma mangueira. Trata-se de uma prática padrão em regiões tropicais e visa reduzir os impactos do estresse térmico (PINHEIRO, BARBOSA-FILHO, MACHADO 2020). O molhamento da carga era feito de forma aleatória ao longo da carga, o consumo médio de água ( $\pm$  SE) foi 2.852 $\pm$ 210 litros/carga, com base na vazão e o tempo de operação.

### Avaliação Térmica

Os dados da temperatura (TA, °C) e umidade relativa do ar (UR, %) do ambiente externo durante o transporte foram fornecidas pelas estações 82397 – Fortaleza (3°49'12" S 38°32'24" W e 29,89 m de altitude) e 82588 – Morada Nova (5°8'24"S 38°21'36"W e 45,02 m de altitude) do Instituto Nacional de Meteorologia do Brasil (INMET). Os dados de TA e UR na carga foram registrados a cada 10 min por meio de *datalogger* (Onset, U23-001 HOBO Pro v2).

A caracterização térmica micrometeorológica da região e da carga foi realizada por meio da entalpia específica segundo Rodrigues *et al.* (2011) (H, kJ/kg de ar seco, equação 8) e do índice de temperatura e umidade (ITU, segundo WESCHENFELDER *al.*, 2013) conforme a equação 11. Neste estudo, o ITU foi utilizado para classificar as ocorrências do *Livestock Weather and Safety Index* (LWSI), que são divididas em quatro categorias: normal (ITU $\leq$ 74), alerta (75  $\leq$  ITU  $\leq$  78), perigo (79  $\leq$  ITU  $\leq$  83) e emergência (ITU  $\geq$  84) (HAHN *et al.*, 2009; XIONG *et al.*, 2015).

$$\text{ITU} = (1,8 \cdot \text{TA} + 32) - [(0,55 - 0,0055 \cdot \text{UR}) \times (1,8 \cdot \text{TA} - 26)] \quad (11)$$

Onde: TA é a temperatura do ar em ° C e UR é a umidade relativa (%).

### Parâmetros fisiológicos

Os indicadores utilizados no protocolo de variáveis fisiológicas coletadas dos animais foram temperatura retal (TR, °C), temperatura da corporal (TC, °C), frequência respiratória (FR, respirações/min), concentração sérica de lactato (mg/dL) e cortisol salivar (ng/mL). Todos foram medidos cerca de  $50 \pm 10$  min antes do carregamento e  $20 \pm 10$  min após o desembarque dos animais na baía de espera do abatedouro.

A coleta dos dados de FR e TC foi realizada previamente à contenção dos suínos, sem interferência física. Em seguida, os animais foram contidos leve e brevemente (máximo 2 min) em uma posição supina para a coleta da TR, cortisol salivar e concentração sérica de lactato. Todas as amostras foram retiradas de cada animal em  $3 \pm 1$  min.

A TR foi mensurada com auxílio de um termômetro tipo espeto com precisão  $\pm 0.5^\circ\text{C}$  ( $-10$  a  $100^\circ\text{C}$ ) (AK05, AKSO), colocado diretamente no reto do animal, a uma profundidade que o bulbo tivesse em contato com a mucosa retal. A FR foi medida por dois especialistas treinados, observando o movimento do flanco dos animais por 30 s (MACHADO *et al.*, 2020).

A TC foi obtida pelo software *smartView* 4.3 usando imagens térmicas geradas por termografia de infravermelho, obtidas por uma câmera termográfica (TiS10, Fluke, resolução de 4.800 pixels), calibrada à temperatura ambiente no momento da coleta, com emissividade dos tecidos biológicos  $\varepsilon = 0,98$  e adotando uma distância fixa de 0,50 m entre o observador e o animal (SOERENSEN *et al.*, 2014).

O lactato foi determinado usando um analisador portátil (*Lactate Scout* 4, EKF Diagnostic GmbH), conforme Rocha *et al.* (2015). As amostras de sangue na veia marginal da orelha dos suínos foram coletadas por um médico veterinário, usando uma agulha retrátil (25G x 16 mm). Esse procedimento foi seguido pela hemostasia, para evitar qualquer tipo de sequelas. Em seguida, utilizou-se uma gota de sangue em uma tira de amostra (duas réplicas por animal) e inserida no analisador portátil, obtendo os resultados após 15 s.

O cortisol salivar foi determinado usando um kit comercial (Elisa Salimetrics, NeogenCorp. Lexington, KY, USA) conforme descrito por Dalla-Costa *et al.* (2009). Inicialmente a saliva foi coletada com o auxílio de um *swab* plástico com meio stuart estéril e inserida em tubo Eppendorf. As amostras foram armazenadas em freezer com temperatura de  $-20^\circ\text{C}$  por cerca de 30 min até a análise.

Perdas produtivas

Durante o carregamento, um observador registrou o tempo necessário para a condução e embarque dos animais no caminhão. O tempo e a velocidade média do transporte também foram monitorados, considerou-se como tempo inicial a saída do caminhão da plataforma de embarque na fazenda, e o tempo final o início do descarregamento no abatedouro. No descarregamento, um observador registrou o tempo necessário para o desembarque e condução dos animais à baía de espera no abatedouro.

Um outro observador registrou o número de suínos classificados como incapacitados não machucados (NANI), incapacitados machucados ou feridos (NAI) e a ocorrência de mortes na chegada (DOA) das cargas (RITTER *et al.*, 2006, Tabela 1). A perda produtiva total (PPT) da carga foi estimada pelo somatório do percentual de suínos NANI, suínos NAI e DOA's (RITTER *et al.*, 2009).

Tabela 4 – Descrição dos parâmetros relacionados às perdas produtivas das cargas

NANI - incapacitados não machucados
Animais com respiração ofegante ou que se recusam a permanecer em pé, mas sem lesão, trauma ou doença evidente.
NAI - incapacitados machucados ou feridos
Animais feridos, que cessam seus movimentos ou têm a capacidade de locomoção comprometida
DOA - mortes na chegada
Animais mortos na chegada ao abatedouro

Fonte: Ritter *et al.* (2006).

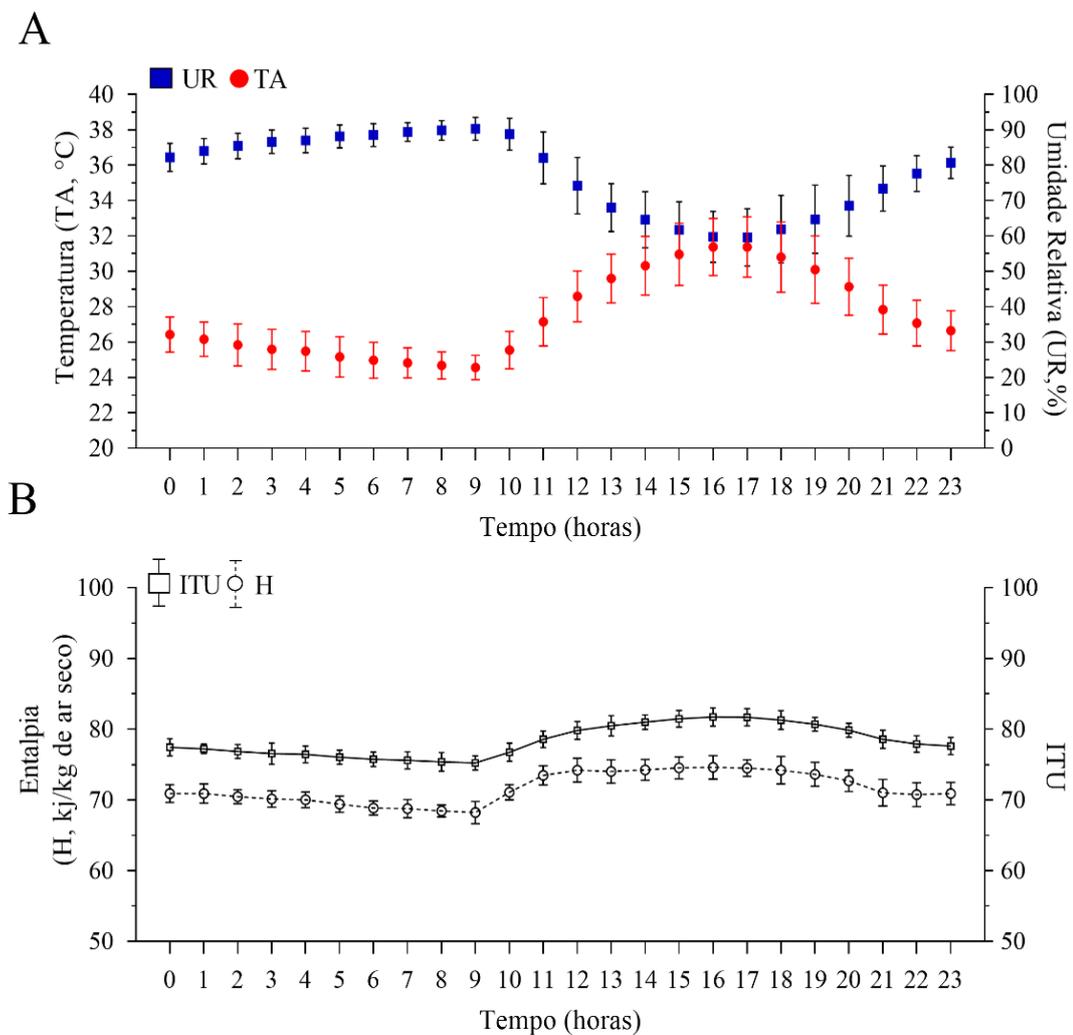
#### Análises Estatísticas

O experimento foi um planejamento fatorial, com distâncias e horários de transporte como fatores investigados. A unidade experimental para os dados fisiológicos foram os suínos amostrados por viagem (N=36). Os dados ambientais e fisiológicos foram analisados como medidas repetidas usando o PROC MIXED do SAS (SAS Inst. Inc., Cary, NC), com distância e horário como efeitos fixos e semana de coleta como efeito aleatório. Os dados foram ponderados para o número de suínos em cada tratamento com ajustes de Tukey-Kramer para comparar os valores médios. Os dados das perdas produtivas, tempos de carregamento, descarregamento e o tempo e velocidade de transporte foram comparados pelo teste de Kruskal Wallis. Um nível de  $P < 0,05$  foi adotado como limite de significância para todos os testes.

#### Resultados e Discussão

A temperatura do ar (TA °C) e a umidade relativa do ar (UR, %) do ambiente externo apresentaram médias de 27,5°C e 77% durante o dia das viagens, com amplitudes de 4°C e 15%, respectivamente (Figura 9A). O ITU alcançou 79 unidades às 11:00 horas e permaneceu elevado até às 21:00 horas. O ITU diário permaneceu entre 75,23 e 81,73; alinhando-se com o limiar de "perigo" e "emergência" para o conforto térmico dos animais (perigo - ITU entre 79 e 83 e; emergência - ITU > 83, conforme HAHN *et al.*, 2009; XIONG *et al.*, 2015). Variação diária similar foi observada para entalpia, com oscilação média entre 74,62 e 68,22 kJ/kg de ar seco (Figura 9B).

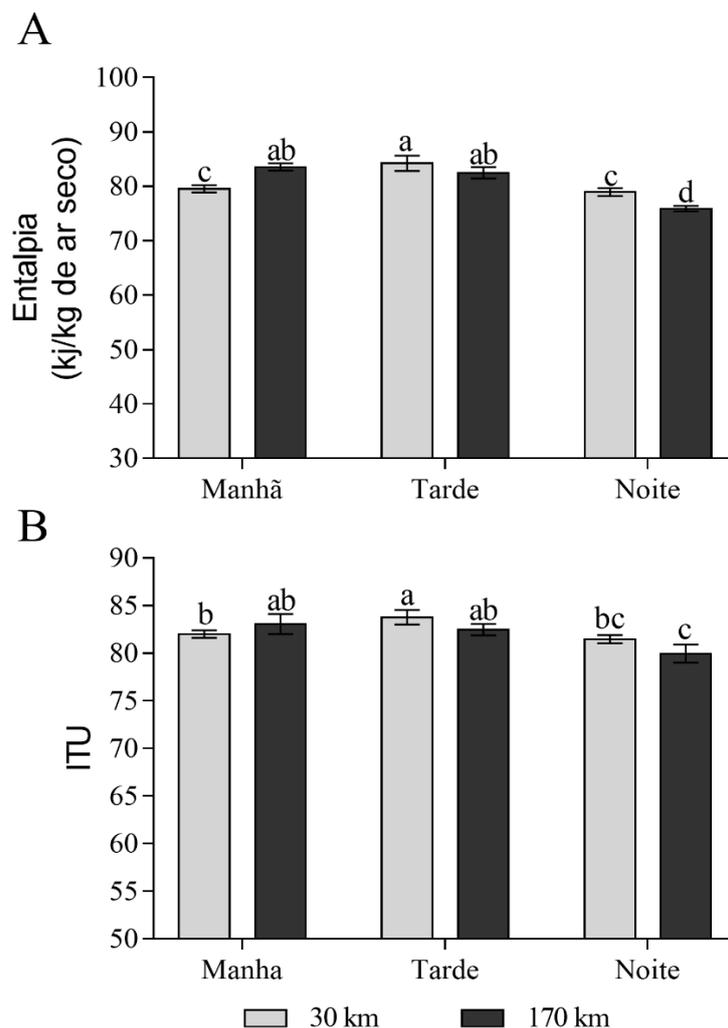
Figura 9 – Variação Média da Temperatura e Umidade Relativa (A) e da Entalpia e Índice de Temperatura e Umidade (B) do ambiente externo durante as viagens



Fonte: Elaborado pelo autor.

Observou-se efeito significativo da distância (D) e dos turnos de transporte (T) (ambos  $P < 0,001$ ), bem como da interação D x T ( $P = 0,003$ ) para a entalpia e o ITU da carga. As maiores médias de entalpia e ITU (ambos  $P < 0,001$ ) foram registradas durante as viagens no turno da tarde e pela manhã por 170 km (Figura 10). Adicionalmente, constatou-se redução (-5,94 kJ/kg de ar seco,  $P < 0,05$ ) da entalpia no interior da carga durante as viagens noturnas, quando comparado as viagens no turno da tarde (Figura 10A).

Figura 10 – Médias ( $\pm$ SE) de Entalpia (A) e Índice de Temperatura e Umidade (B) da carga



Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey-Kramer a  $P < 0,05$ .

Fonte: Elaborado pelo autor.

Neste estudo, constatou-se interação distância x turno de transporte significativa para as médias de TR ( $P = 0,035$ ), TC e cortisol salivar dos suínos transportados (ambos

P<0,001), como mostra a Tabela 5. Nota-se que, os animais submetidos as viagens à tarde por 30 km, apresentaram médias de TR (40,19 °C), TC (40,47 °C) e cortisol salivar (36,85 ng/mL) mais altas (P<0,05).

Além disso, as maiores concentrações sanguíneas de lactado foram verificadas nos suínos submetidos às viagens por 30 km (+ 4,39 mg/dL). A FR dos suínos foi maior (P<0,001) nas viagens à tarde (93 respirações/min), seguido da manhã (82 respirações/min) e noite (70 respirações/min), respectivamente. Os suínos transportados à tarde também mostraram aumento da concentração do lactato sanguíneo (+ 6,63mg/dL), quando comparados com os suínos transportados à noite (P<0,001).

Tabela 5 – Médias ( $\pm$ SE) dos parâmetros fisiológicos dos suínos transportados nos diferentes turnos e distâncias

Parâmetros	Distância	Turno de Transporte			Média
		Manhã	Tarde	Noite	
Temperatura Retal (°C)	30 km	39,31 $\pm$ 0,66 <sup>Ba</sup>	40,19 $\pm$ 0,27 <sup>Aa</sup>	38,97 $\pm$ 0,28 <sup>Ba</sup>	39,49 <sup>a</sup>
	170 km	39,25 $\pm$ 0,64 <sup>Aa</sup>	39,55 $\pm$ 0,23 <sup>Ab</sup>	38,60 $\pm$ 0,15 <sup>Bb</sup>	39,13 <sup>b</sup>
	Média	39,28 <sup>B</sup>	39,80 <sup>A</sup>	38,78 <sup>C</sup>	
Frequência Respiratória (Respirações/min)	30 km	84,00 $\pm$ 3,00	92,00 $\pm$ 3,00	68,00 $\pm$ 2,00	81,00
	170 km	80,00 $\pm$ 2,00	94,00 $\pm$ 2,50	72,00 $\pm$ 3,00	82,00
	Média	82,00 <sup>B</sup>	93,00 <sup>A</sup>	70,00 <sup>C</sup>	
Temperatura Corporal (°C)	30 km	39,24 $\pm$ 0,50 <sup>Ba</sup>	40,47 $\pm$ 0,90 <sup>Aa</sup>	39,09 $\pm$ 0,48 <sup>Ba</sup>	39,60 <sup>a</sup>
	170 km	39,31 $\pm$ 0,26 <sup>Aa</sup>	39,51 $\pm$ 0,57 <sup>Ab</sup>	38,66 $\pm$ 0,36 <sup>Ba</sup>	39,16 <sup>b</sup>
	Média	39,27 <sup>B</sup>	40,04 <sup>A</sup>	38,87 <sup>C</sup>	
Cortisol Salivar (ng/mL)	30 km	33,63 $\pm$ 0,69 <sup>Ba</sup>	36,85 $\pm$ 0,80 <sup>Aa</sup>	31,86 $\pm$ 1,12 <sup>Ca</sup>	34,11 <sup>a</sup>
	170 km	32,49 $\pm$ 0,85 <sup>Bb</sup>	33,80 $\pm$ 0,96 <sup>Ab</sup>	30,97 $\pm$ 0,68 <sup>Ca</sup>	32,42 <sup>b</sup>
	Média	33,06 <sup>B</sup>	35,32 <sup>A</sup>	31,41 <sup>C</sup>	
Lactato (mg/dL)	30 km	71,33 $\pm$ 0,86	75,25 $\pm$ 1,23	69,19 $\pm$ 1,00	71,92 <sup>a</sup>
	170 km	67,13 $\pm$ 1,26	71,33 $\pm$ 1,55	64,13 $\pm$ 1,30	67,53 <sup>b</sup>
	Média	69,23 <sup>AB</sup>	73,29 <sup>A</sup>	66,66 <sup>B</sup>	
Valor de P		Turno (T)	Distância (D)	T x D	CV <sup>1</sup> (%)
Temperatura Retal		< 0,001	< 0,001	0,035	3,84
Frequência Respiratória		< 0,001	0,823	0,081	14,20
Temperatura Corporal		< 0,001	< 0,001	< 0,001	4,34
Cortisol Salivar		< 0,001	< 0,001	< 0,001	6,80
Lactato		< 0,001	< 0,001	0,379	8,56

Médias seguidas de letras iguais (maiúsculas na horizontal e minúsculas na vertical) não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey-Kramer P<0,05. <sup>1</sup>CV = coeficiente de variação.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados indicam que transportes realizados durante o turno da tarde são mais danosos ao bem-estar dos animais; além disso, pode-se inferir que o estresse térmico por calor seja um dos principais fatores que expliquem tais resultados. Essa hipótese é sustentada pela elevação da concentração de cortisol salivar, que sugere maior atividade do sistema adrenocortical, diretamente ligado à ativação do sistema nervoso autônomo como resposta ao estresse térmico (ROCHA *et al.*, 2019).

Não obstante, os aumentos da TR, TC e FR sugerem maior demanda do sistema de termorregulação dos animais na tentativa de manter a homeostase (ZHOA *et al.*, 2016; ROCHA *et al.*, 2019). Adicionalmente, os níveis de lactato mais elevados em suínos transportados no turno da tarde, indicam aumento do metabolismo anaeróbico animal, sugerindo maior fadiga e exaustão muscular, bem como, maior demanda metabólica de oxigênio dos suínos (MOTA - ROJAS *et al.*, 2012; ROLDAN-SANTIAGO *et al.*, 2013; MOTA-ROJAS *et al.*, 2014).

O estresse fisiológico dos suínos causado pelo estresse por calor já foi mostrado em estudos anteriores. Somnavilla *et al.* (2017) relataram maiores concentrações de cortisol no sangue em suínos submetidos ao transporte no verão canadense (36,60 ng/mL), em comparação aos transportados no inverno (27,10 ng/mL). Os autores atribuíram o aumento do cortisol como resposta ao estresse térmico, com base nas correlações ( $r$ ) positivas com a TA da carroceria ( $r=0,53$ ), a temperatura gastro intestinal ( $r=0,31$ ) e comportamento “deitado” dos suínos durante o transporte ( $r=0,41$ ).

Em um outro estudo, Pereira *et al.* (2018) observaram que os compartimentos com as piores condições de microclima (maior ITU) correspondem aos locais com maior temperatura do trato gastrointestinal dos suínos, indicando uma relação direta entre o ambiente térmico da carga com o estresse térmico dos animais, durante o transporte. Além disso, os suínos transportados sob estresse térmico podem apresentar redução na qualidade de carne, como menores teores de vitaminas A e E, creatina e carnosina, redução do pH às 24 e 48 horas *post mortem*, além de aumentos significativos na força de cisalhamento e da perda de gotejamento (SIMONETTI *et al.*, 2018).

Foi observado que as viagens de 30 km realizadas à tarde apresentaram maiores taxas de DOA ( $P=0,017$ ), suínos NANI ( $P=0,006$ ), e PPT da carga ( $P=0,011$ ) (Tabela 6). Portanto, os resultados indicam que a probabilidade de perdas produtivas é reduzida com o aumento da distância. Esses resultados estão alinhados com os de Haley *et al.*, (2008a), que relataram que para cada aumento de 50 km na distância, pode-se esperar que o DOA diminua cerca de 0,81 vezes, além da diminuição do risco das taxas de DOA's em viagens com distâncias

acima de 134 km.

Tabela 6 – Médias ( $\pm$ SE) do percentual de suínos incapacitados não machucados (NANI), incapacitados machucados ou feridos (NAI), mortes na chegada (DOA) e perda produtiva total (PPT) das cargas monitoradas

Turno	Distância	NANI (%)	NAI (%)	DOA (%)	PPT (%)
Manhã	30 km	0,49 $\pm$ 0,10 <sup>bc</sup>	0,66 $\pm$ 0,10 <sup>a</sup>	0,06 $\pm$ 0,02 <sup>c</sup>	1,21 $\pm$ 0,06 <sup>bc</sup>
	Máximo	0,46	0,72	0,08	1,26
	Mínimo	0,32	0,34	0,00	0,66
Manhã	170 km	0,49 $\pm$ 0,09 <sup>bc</sup>	0,24 $\pm$ 0,05 <sup>b</sup>	0,27 $\pm$ 0,05 <sup>b</sup>	1,00 $\pm$ 0,05 <sup>bc</sup>
	Máximo	0,58	0,30	0,32	1,20
	Mínimo	0,35	0,19	0,06	0,60
Tarde	30 km	1,54 $\pm$ 0,14 <sup>a</sup>	0,32 $\pm$ 0,08 <sup>a</sup>	0,71 $\pm$ 0,05 <sup>a</sup>	2,57 $\pm$ 0,10 <sup>a</sup>
	Máximo	1,80	0,44	0,86	3,10
	Mínimo	0,62	0,12	0,28	1,02
Tarde	170 km	0,76 $\pm$ 0,09 <sup>b</sup>	0,68 $\pm$ 0,06 <sup>a</sup>	0,32 $\pm$ 0,02 <sup>ab</sup>	1,76 $\pm$ 0,04 <sup>b</sup>
	Máximo	0,82	0,78	0,36	1,96
	Mínimo	0,60	0,60	0,22	1,42
Noite	30 km	0,23 $\pm$ 0,05 <sup>c</sup>	0,71 $\pm$ 0,05 <sup>a</sup>	0,02 $\pm$ 0,01 <sup>c</sup>	1,03 $\pm$ 0,04 <sup>bc</sup>
	Máximo	0,26	0,78	0,03	1,05
	Mínimo	0,18	0,67	0,00	0,87
Noite	170 km	0,25 $\pm$ 0,04 <sup>c</sup>	0,24 $\pm$ 0,07 <sup>b</sup>	0,04 $\pm$ 0,03 <sup>c</sup>	0,63 $\pm$ 0,05 <sup>c</sup>
	Máximo	0,31	0,38	0,07	0,76
	Mínimo	0,22	0,26	0,00	0,42
	Valor de P	0,006	0,020	0,017	0,011

Médias seguidas de letras iguais (vertical) não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Kruskal Wallis a  $P < 0,05$ .

Fonte: Elaborado pelo autor.

Isso ocorre porque as viagens mais longas podem ter permitido que os suínos se adaptassem às condições do transporte, em razão do maior tempo de transporte (Figura 11), como por exemplo; o estresse térmico, verificado neste estudo, a privação de alimentação e água, as mudanças abruptas ambientais e sociais, vibrações da carga e ruído (PEETERS *et al.*, 2008; MOTA-ROJAS *et al.*, 2014; CONTE *et al.*, 2015; FAUCITANO; LAMBOOIJ, 2019), e, então, poderia atuar como um “período de descanso” com efeito semelhante a um tempo de espera no abatedouro.

Da mesma forma, Perez *et al.* (2002) concluíram que, em condições comerciais normais da Espanha, os suínos submetidos a viagens mais curtas (15 minutos) mostraram uma resposta ao estresse mais intensa (aumentos de 19,02 mg/mL e 29,46 ng/mL do lactato e cortisol no sangue, respectivamente) e pior qualidade da carne (redução de 0,09 e 0,17 do pH do

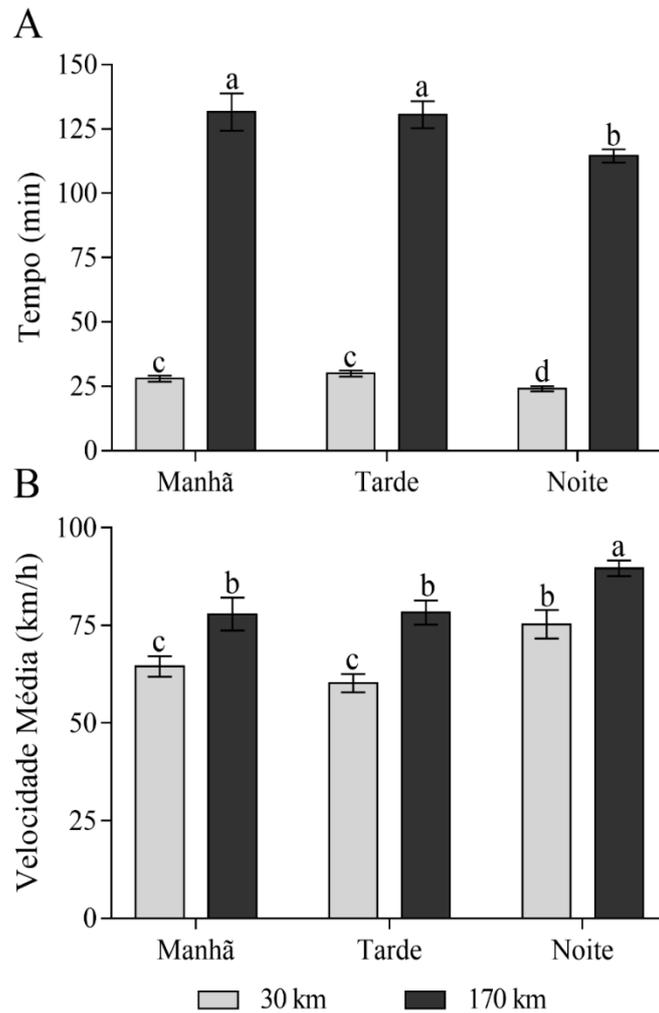
*Longissimus Thoracis* e *Semimembranosus* e descoloração), em comparação com os suínos submetidos a viagens mais longas (3 horas), quando foram imediatamente submetidos ao abate na chegada ao abatedouro.

O mesmo impacto negativo do estresse térmico sobre as DOA's foi relatado durante o inverno (BARBOSA-FILHO *et al.*, 2009) e verão brasileiro (BARBOSA-FILHO *et al.*, 2014) no transporte de frangos vivos realizados à tarde. No transporte de suínos, Haley *et al.* (2008b) e Correa *et al.* (2013) relataram maiores perdas produtivas durante o verão canadense, com as maiores taxas de DOA's sendo registradas durante o mês de agosto (0,40%) quando a temperatura ambiente máxima registrada foi 33,6 °C (HALEY *et al.*, 2008b).

Esse corpo de evidências referenciadas e documentadas no presente estudo, indicam, claramente, que o transporte de suínos no turno da tarde, onde as temperaturas ambientes tendem a ser mais elevadas em regiões de clima tropical, oferece risco adicional à operação, causando maior estresse fisiológico aos suínos e aumento nas perdas produtivas, que pode ser facilmente mitigado pelo planejamento do transporte em horários com temperaturas mais amenas (por exemplo, de manhã, na madrugada ou à noite).

O transporte realizado no turno da noite também possui vantagens interessantes para a granja relacionado a logística. Isso porque durante o turno da noite a estrada têm melhores condições de tráfego e, conseqüentemente o caminhão desloca-se sem alterações abruptas de velocidade, bem como, consegue manter maior velocidade ao longo do percurso, resultando em um menor tempo de transporte, como mostra a Figura 11.

Neste estudo, constatou-se aumento ( $P= 0,020$ ) da taxa de suínos NAI nas cargas que realizaram viagens de 30 km durante os turnos da manhã e noite (Tabela 6), provavelmente pelo menor tempo das etapas de carregamento e descarregamento dos animais (Tabela 7). A associação destes resultados sugere um manuseio com menos calma e, possivelmente, mais agressivo dos tratadores durante o carregamento e descarregamento dos animais, o que pode provocar maior taxa de acidentes e aumentar os níveis de estresse dos suínos (GOUMON; FAUCITANO, 2017; GOURSOT *et al.*, 2019). Os menores tempos das etapas de carregamento dos animais nas viagens mais curtas pode ser atribuído à tentativa da fazenda de otimizar número de viagens realizadas no dia, com o objetivo de reduzir as diárias destinadas a um único lote (Tabela 7).

Figura 11 – Médias ( $\pm$ SE) do tempo de transporte (A) e velocidade média do caminhão (B)

Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Kruskal Wallis a  $P < 0,05$ .

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 7 – Médias ( $\pm$ SE) do tempo de carregamento e descarregamento dos suínos

Turno	Distância	Carregamento			Descarregamento		
		Tempo (min)	Max	Min	Tempo (min)	Max	Min
Manhã	30 km	25,0 $\pm$ 3,5 <sup>c</sup>	33,0	21,0	20,0 $\pm$ 1,5 <sup>b</sup>	23,0	16,0
	170 km	50 $\pm$ 3,6 <sup>b</sup>	58,0	46,0	22,0 $\pm$ 1,4 <sup>b</sup>	25,0	18,0
Tarde	30 km	27,0 $\pm$ 3,1 <sup>c</sup>	33,0	23,0	23,0 $\pm$ 2,5 <sup>b</sup>	29,0	17,0
	170 km	55,0 $\pm$ 2,8 <sup>ab</sup>	63,0	46,0	20,0 $\pm$ 2,6 <sup>b</sup>	27,0	15,0
Noite	30 km	47,0 $\pm$ 2,4 <sup>b</sup>	54,0	39,0	30,0 $\pm$ 3,0 <sup>a</sup>	35,0	17,0
	170 km	65,0 $\pm$ 4,2 <sup>a</sup>	76,0	54,0	28,0 $\pm$ 3,8 <sup>a</sup>	33,0	19,0

Médias seguidas de letras iguais (vertical) não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Kruskal Wallis a  $P < 0,05$ .

Fonte: Elaborado pelo autor.

## Conclusões

O transporte realizado no turno da tarde foi nocivo ao bem-estar dos suínos e mais suscetível à ocorrência de perdas, especialmente quando associado a viagens de curta distância. Recomenda-se que a operação de transporte de suínos, em regiões de clima tropical, seja planejada para ocorrer nos horários do dia com temperaturas mais amenas (madrugada, manhã ou noite).

A relação entre o estresse dos suínos transportados com a distância de transporte não se comportou de forma linear, pois distâncias mais longas parecem possibilitar à adaptação dos suínos ao ambiente social e físico que são submetidos durante o transporte, como também reduzir o impacto associado ao estresse causado pelo manuseio no carregamento, especialmente durante embarque dos animais.

## Referências

- AVERÓS, X.; KNOWLES, T. G.; BROWN, S. N.; WARRISS, P. D.; GOSÁLVEZ, L. F. Factors affecting the mortality of weaned piglets during commercial transport between farms. **Veterinary Record**, Londres, v. 167, p. 815–819, 2010.
- BARBOSA-FILHO, J. A. D.; QUEIROZ, M. L. V.; BRASIL, F. D.; VIEIRA, F. M. C.; SILVA, I. J. Transport of broilers: load microclimate during Brazilian summer. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 34, p. 405-412, 2014.
- BARBOSA-FILHO, J. A. D.; VIEIRA, F. M. C.; SILVA, I. J. O.; GARCIA, D. B.; SILVA MAN, FONSECA, B. H. F. Poultry transport: microclimate characterization of the truck during the winter. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 3598, p. 2442–2446, 2009.
- CONTE, S.; FAUCITANO, L.; BERGERON, R.; TORREY, S.; GONYOU, H. W.; CROWE, T.; TAMMINGA, E. T.; WIDOWSKI, T. M. Effects of season, truck type, and location within truck on gastrointestinal tract temperature of market-weight pigs during transport. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 93, p. 5840–5848, 2015.
- DALLA-COSTA, O. A.; LUDKE, J. V.; COLBELLE, A.; KICH, K. D.; COSTA, M. P. R. P.; FAUCITANO, L.; PELOSO, J. V.; ROZA, D. D. Efeito do manejo pré-abate sobre alguns parâmetros fisiológicos em fêmeas suínas pesadas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, p. 852-858, 2009.
- DOS REIS, J. G. M.; MACHADO, S. T.; SANTOS, R.; NÄÄS, I. A.; OLIVEIRA, R. V. Financial losses in pork supply chain: a study of the pre-slaughter handling impacts. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 35, p. 163-170, 2015.
- FAUCITANO, L.; LAMBOOIJ, E. Transport of pigs. *In*: GRANDIN, Temple (org.).

**Livestock Handling and Transport.** Wallingford: CABI Publications, 2019.

FAUCITANO, L. Preslaughter handling practices and their effects on animal welfare and pork quality. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 96, p. 728-738, 2018.

GOUMON, S.; FAUCITANO, L. Influence of loading handling and facilities on the subsequent response to pre-slaughter stress in pigs. **Livestock Science**, [s. l.], v. 200, p.6–13, 2017.

GOURSOT, C.; DÜPJAN, S.; TUCHSCHERE, A.; PUPPE, B.; LELIVELD, L. M. C. Visual laterality in pigs: monocular viewing influences emotional reactions in pigs. **Animal Behaviour**, Londres, v. 154, p. 183-192, 2019.

HAHN, G. L.; GAUGHAN, J. B.; MADER, T. L.; EIGENBERG, R. A. Thermal indices and their applications for livestock environments. In DESHAZER, James (Org.). **Livestock Energetics and Thermal Environmental Management.** Joseph, ASABE: St, 2009.

HALEY, C.; DEWEY, C. E.; WIDOWSKI, T.; POLJAK, Z.; FRIENDSHIP, R. Factors associated with in-transit losses of market hogs in Ontario in 2001. **Canadian Journal of Veterinary Research**, Ottawa, v. 72, p. 377-384, 2008a.

HALEY, C.; DEWEY, C. E.; WIDOWSKI, T.; FRIENDSHIP, R. Association between in-transit losses, internal trailer temperature, and distance travelled by Ontario market hogs. **Canadian Journal of Veterinary Research**, Ottawa, v. 72, p. 385-389, 2008b.

MACHADO, N. A. F.; PARENTE, M. O. M.; PARENTE, H. N.; ZANINE, A. M.; MOREIRA-FILHO, M. A.; CUNHA, I. C. L.; SOUSA, J. M. S.; ANJOS, L. F.; FERREIRA, D. J.; ARAÚJO, J. S. The physiological response, feeding behaviour and water intake of feedlot lambs supplemented with babassu oil or buriti oil. **Biological Rhythm Research**, Lisse, v. 51, p. 213-224, 2020.

MOTA-ROJAS, D.; BECERRIL-HERRERA, M.; ROLDAN-SANTIAGO, P.; ALONSO-SPILSBURY, M.; FLORES-PEINADO, S.; RAMÍREZ-NECOECHEA, R.; RAMÍREZ-TELLES, J. A.; MORA-MEDINA, P.; PÉREZ M, MOLINA E, SONÍ E, TRUJILLO-ORTEGA ME. Effects of long-distance transportation and CO<sub>2</sub> stunning on critical blood values in pigs. **Meat Science**, Barking, v. 90, p. 893-898, 2012.

MOTA-ROJAS, D.; SANTIAGO-ROLDÁN, P.; PEDRAZA, E. P.; RODRÍGUEZ, R. M.; HERNÁNDEZ-TRUJILLO, L.; ORTGEA, M. E. T. Stress factors in weaned piglet. **Veterinaria México**, México, v. 45, p. 37-51, 2014.

NANNONI, E.; WIDOWSKI, T.; TORREY, S.; FOX, J.; ROCHA, L. M.; GONYOU H. W.; WESCHENFELDER, A. V.; CROWE T.; FAUCITANO, L. Water sprinkling market pigs in a stationary trailer. 2. Effects on selected exsanguination blood parameters and carcass and meat quality variation. **Livestock Science**, [s. l.], v. 160, p. 124-131, 2014.

PEETERS, E.; DEPREZ, K.; BECKERS, F.; D. E.; BAERDEMAEKER, J.; AUBERT A. E.; GEERS, R. Effect of driver and driving style on the stress responses of pigs during a short journey by trailer. **Animal Welfare**, [s. l.], v. 17, p. 189-196, 2008.

- PEREIRA, T.L.; TITTO, E.A.L.; CONTE, S.; DEVILLERS, N.; SOMMAVILLA, R.; DIESEL, T.; DALLA COSTA, F.A.; GUAY, F.; FRIENDSHIP, R.; CROWE, T.; FAUCITANO, L. Application of a ventilation fan-misting bank on pigs kept in a stationary trailer before unloading: Effects on trailer microclimate, and pig behaviour and physiological response. **Livestock Science**, [s. l.], v. 216, p. 67-74, 2018.
- PEREZ, M. P.; PALACIO, J.; SANTOLARIA, M. P.; ACEÑA, M. C.; CHACÓN, G.; GASCÓN, M.; CALVO, J. H.; ZARAGOZA, P.; BELTRAN, J. A.; GARCÍA-BELENGUER, S. Effect of transport time on welfare and meat quality in pigs. **Meat Science**, Barking, v. 61, p. 425-33, 2002.
- PINHEIRO, D. G.; BARBOSA-FILHO, J. A. D.; MACHADO, N. A. F. Effect of wetting method on the broiler transport in Brazilian Northeast. **Journal of Animal Behaviour and Biometeorology**, Mossoró, v. 8, p. 168-173, 2020.
- RIOJA-LANG, F. C.; BROWN, J. A.; BROCKHOFF, E. J.; FAUCITANO, L. A review of swine transportation research on priority welfare issues: A Canadian perspective. **Frontiers in Veterinary Science**, Lausanne, v. 6, p. 1-12, 2019.
- RITTER, M.J.; ELLIS, M.; BERRY, N. L.; CURTIS, S. E.; ANIL, L.; BERG, E.; BENJAMIN, M.; BUTLER, D.; DEWEY, C.; DRIESSEN, B.; DUBOIS, P.; HILL, J. D.; MARCHANT-FORDE, J. N.; MATZAT, P.; MCGLONE, J.; MORMEDE, P.; MOYER, T.; PFALZGRAF, K.; SALAK-JOHNSON J.; SIEMENS, M.; STERLE, J.; STULL, C.; WHITING, T.; WOLTER, B.; NIEKAMP, S. R.; JOHNSON, A. K. Review: Transport Losses in Market Weight Pigs: I. A Review of Definitions, Incidence, and Economic Impact. **The Professional Animal Scientist**, [s. l.], v. 25, p. 404–414, 2009.
- RITTER, M.J.; ELLIS, M.; BRINKMANN, J.; DEDECKER, J.M.; KEFFABER, K.K.; KOCHER, M.E.; PETERSON, B.A.; SCHLIPF, J.M.; WOLTER, B.F. Effect of floor space during transport of market-weight pigs on the incidence of transport losses at the packing plant and the relationships between transport conditions and losses. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 84, p. 2856-2864, 2006.
- ROCHA, L. M.; DEVILLERS, N.; MALDAGUE, X.; KABEMBA, F. Z.; FLEURET, J.; GUAY, F.; FAUCITANO, L. Validation of Anatomical Sites for the Measurement of Infrared Body Surface Temperature Variation in Response to Handling and Transport. **Animals**, Basel, v. 9, n. 7, p.425-433, 2019.
- ROCHA, L. M.; DIONNE, A.; SAUCIER, L.; NANNONI, E.; FAUCITANO, L. Hand-held lactate analyzer as a tool for the real-time measurement of physical fatigue before slaughter and pork quality prediction. **Animal**, Cambridge, v. 24, p. 707-714, 2015.
- RODRIGUES, V. C.; DA SILVA, I.; VIEIRA, F.; NASCIMENTO, S. A correct enthalpy relationship as thermal comfort index for livestock. **International Journal of Biometeorology**, Lisse, v. 55, p. 455-459, 2011.
- ROLDAN-SANTIAGO, P.; MARTINEZ-RODRIGUEZ, R.; YANEZ-PIZANA, A.; TRUJILLO-ORTEGA, M. E.; SANCHEZ-HERNANDEZ, M.; PEREZ-PEDRAZA, E.; MOTA-ROJAS, D. Stressor factors in the transport of weaned piglets: A review. **Veterinární Medicina**, Praga, v. 58, p. 241-251, 2013.

SAS. SAS/STAT® 9.3 **User's Guide**. Cary: SAS Institute Inc, 2012.

SILVA-MIRANDA, K. O.; BORGES, G.; MENEGALE, V. L. C.; SILVA, I. J. O. Effects of environmental conditions on sound level emitted by piglets. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, p. 435-455, 2012.

SIMIONETTI, A.; PENNA, A.; GIUDICE, R.; CAPPUCCIO, A.; GAMBACORTA, E. The effect of high pré-slaughter environmental temperature on meat quality traits of Italian autochthonous pig Suino Nero Lucano. **Animal Science Journal**, Tokyo, v. 7, p. 1-7, 2018.

SOERENSEN, D. D.; CLAUSEN, S.; MERCER, J. B.; PEDERSEN, L. J. Determining the emissivity of pig skin for accurate infrared thermography. **Computers and Electronics in Agriculture**, Nova Iorque, v. 109, p. 52-58, 2014.

SOMMAVILLA, R.; FAUCITANO, L.; GONYOU, H.; SEDDON, Y.; BERGERON, R.; WIDOWSKI, T.; CROWE, T.; CONNOR, L.; SCHEEREN, M. B.; GOUMON, S.; BROWN, J. Season, transport duration and trailer compartment effects on blood stress indicators in pigs: Relationship to environmental, behavioral and other physiological factors, and pork quality traits. **Animals**, Basel, v. 7, p. 1-12, 2017.

SUTHERLAND, M. A.; MCDONALD, A.; MCGLONE, J. J. Effects of variations in the environment, length of journey and type of trailer on the mortality and morbidity of pigs being transported to slaughter. **Veterinary Record**, Londres, v. 165, p. 13-18, 2009.

TASSE, M. E.; MOLENTO, C. F. M. Injury and condemnation data of pigs at slaughterhouses with federal inspection in the state of Paraná, Brazil, as indicators of welfare during transportation. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 49, p. 1-8, 2019.

TORREY, S.; BERGERON, R.; WIDOWSKI, T.; LEWIS, N.; CROWE, T.; CORREA, J. A.; GONYOU, H. W.; FAUCITANO, L. Transportation of market-weight pigs: I. Effect of season, truck type, and location within truck on behavior with a two-hour transport. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 91, n. 6, p. 2863-2871, 2013a.

TORREY, S.; BERGERON, R.; FAUCITANO, L.; WIDOWSKI, T.; LEWIS, N.; CROWE, T.; CORREA, J. A.; BROWN, J.; HAYNE.; GONYOU, H. W. Transportation of market-weight pigs: II. Effect of season and location within truck on behavior with an eight-hour transport. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 91, n. 6, p. 2872-2878, 2013b.

VOSLAROVA, E.; VECEREK, V.; PASSANTINO, A.; CHLOUPEK, P.; BEDANOVA, I. Transport losses in finisher pigs: Impact of transport distance and season of the year. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, [s. l.], v. 30, p. 119-124, 2017.

WESCHENFELDER, A. V.; TORREY, S.; DEVILLERS, N.; BASSOLS, A.; SACO, Y.; PIÑEIRO, M.; SAUCIER, L.; FAUCITANO, L. Effects of trailer design on animal welfare parameters and carcass and meat quality of three Pietrain crosses being transported over a short distance. **Livestock Science**, [s. l.], v. 157, n. 1, p. 234-244, 2013.

XIONG, Y.; GATES, R. S.; GREEN-MILLER, A. R. Factors affecting trailer thermal environment experienced by market pigs transported in the us. **Animals**, Basel, v. 8, p. 1-20, 2018.

XIONG, Y.; GREEN, A.; GATES, R. S. Characteristics of trailer thermal environment during commercial swine transport managed under U.S. industry guidelines. **Animals**, Basel, v. 5, p. 226-244, 2015.

ZHAO, Y.; XIN, H.; HARMON, J. D.; BASS, T. J. Mortality rate of weaned and feeder pigs as affected by ground transportation conditions. **Transactions of the ASABE**, [s. l.], v. 59, p. 943-948, 2016.

## 5 CAPÍTULO III – PROPOSTAS DE DISPOSITIVOS PARA REDUÇÃO DA TEMPERATURA E UMIDADE NO INTERIOR DA CARGA

**Resumo:** objetivou-se com este estudo avaliar a eficiência de dispositivos (aerofólio e defletor), para o arrefecimento da carga durante o transporte de suínos em regiões de clima tropical. O desempenho dos dispositivos foi testado usando simulações de dinâmica de fluidos computacional (CFD) e modelagem 3D do perfil da entalpia da carga. Os dados de temperatura, umidade e entalpia da carroceria do caminhão foram exportados a partir das simulações CFD realizadas e foram submetidos por uma ANOVA seguida por comparação das médias pelo teste Tukey ( $P < 0,05$ ). Os resultados mostraram que o uso do aerofólio aumentou o fluxo de vento dentro da carga e reduziu o calor (-3,94 %) e a umidade contida nos compartimentos (-6%). O uso do defletor também resultou na redução do calor (-3,04 %) e da umidade (-4%) da carga, mas proporcionou a translocação do núcleo térmico para a região frontal do andar superior da carroceria. Portanto, a sua utilização mostra-se mais eficiente se associada ao aerofólio. Em conclusão, os resultados obtidos com as simulações CFD mostraram que foi possível otimizar a ventilação no interior da carga usando os dispositivos de arrefecimento desenvolvidos.

### Introdução

O perfil micrometeorológico da carga durante o transporte é considerado um dos principais problemas relacionados ao bem-estar e a sobrevivência dos animais, bem como às perdas produtivas por mortos na chegada (DOAs) (AVERÓS *et al.*, 2010; VIEIRA *et al.*, 2019). Isso se deve à interação de múltiplas variáveis ambientais ao longo da carga durante a viagem, principalmente relacionados ao acúmulo de umidade relativa e deficiência de ventilação (MITCHELL; KETTLEWELL, 1994), resultando na produção de “núcleos térmicos” (BARBOSA-FILHO *et al.*, 2009; BARBOSA-FILHO *et al.*, 2014).

Ao contrário de uma carga inerte, o transporte de animais vivos é complexo pois os animais estão em constantes alterações metabólicas para a homeostase do organismo. Os suínos de 100 kg emitem cerca de 160W (KETTLEWELL *et al.*, 2001) e encontram-se em constantes adaptações fisiológicas (termorregulação) na tentativa de manter o equilíbrio térmico (HUYNH *et al.*, 2007). Não obstante, a principal via de dissipação do calor em suínos é a rota evaporativa (NORDONE *et al.*, 2010), que pode ser seriamente comprometida pela elevação da temperatura e acúmulo de umidade no ambiente em que está inserido (HUYNH *et al.*, 2007).

Partindo dos resultados obtidos nos capítulos anteriores desta pesquisa, pode-se afirmar que uma maior ventilação no interior da carga pode ser uma solução viável e eficiente para reduzir o acúmulo de vapor d'água e dissipar o calor da carroceria do caminhão durante o transporte de suínos. Nesse sentido, uma estratégia interessante seria o uso da ventilação resultante do próprio transporte do animal, pois o deslocamento da carga promove um fluxo de ar que pode ser direcionado para dentro da carga, reduzindo o impacto do estresse térmico dos animais (GILKESON *et al.*, 2016; SPURIO *et al.*, 2015).

Nesta perspectiva, no presente capítulo objetivou-se desenvolver dois dispositivos de mecanismos para direcionar o fluxo de vento para o interior da carga e assim propiciar o arrefecimento da mesma durante o transporte de suínos em regiões de clima tropical.

## **Material e Métodos**

### Coleta de dados em condições comerciais

Um banco de dados real sobre as informações técnicas e ambientais do transporte de frangos foi obtido com o monitoramento de 4 viagens no turno da tarde (14h:30min a 17h:40min) com percurso de 170 km no período de 16 a 28 de fevereiro de 2020, entre uma fazenda localizada em Maracanaú – CE, Brasil (3°54'46.4"S 38°39'19.2"W e 43 m de altitude) e o abatedouro da cidade de Morada Nova – CE, Brasil (5° 06' 24" S 38° 22' 21" W e 52 m de altitude). Segundo dados fornecidos pelas estações 82397 – Fortaleza (3°49'12" S 38°32'24" W e 29,89 m de altitude) e 82588 – Morada Nova (5°8'24"S 38°21'36"W e 45,02 m de altitude) do Instituto Nacional de Meteorologia do Brasil (INMET), a variação da radiação solar no decorrer do período de transporte foi de 412 a 520 kJ/m<sup>2</sup>, da temperatura ambiental foi de 26,8 a 31,0°C e da umidade relativa do ar de 66 a 72%.

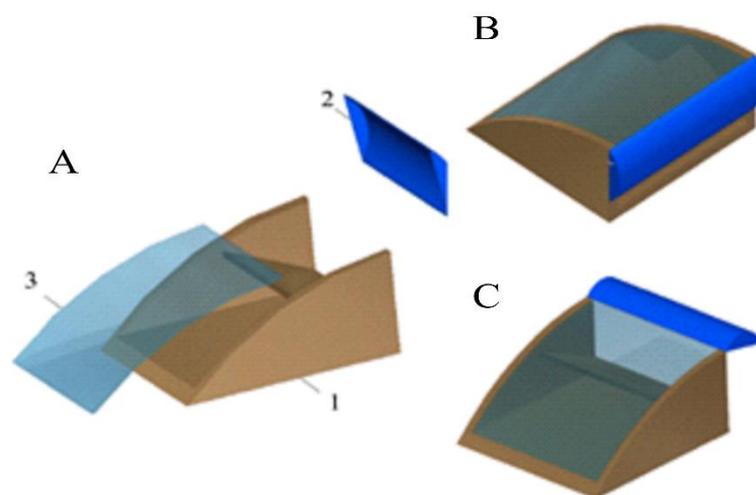
Um total de 384 suínos mestiços (Large White x Landrace x Duroc) com cerca de 165 dias de idade foram transportados. Todos os procedimentos foram aprovados e realizados seguindo as orientações do Comitê de Ética no Uso de Animais do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará (Processo número 9871250719). As viagens foram realizadas em rodovias pavimentadas, com densidade da carga de 290 kg/m<sup>2</sup>. O transporte foi realizado em um caminhão Ford® modelo cargo 1519, com carroceria modelo Triel® – HT com dois andares fixos contendo 6 compartimentos, totalizando 12 compartimentos e capacidade de carga de 13 toneladas. A alimentação foi suspensa 120±20 min antes do início do carregamento.

Os animais foram guiados durante o embarque com o auxílio de bandeiras. Foram utilizadas rampas de carregamento pré-moldadas com inclinação 30° e uma rampa metálica (~ 3 m, inclinação 58° para embarque no andar superior da carga) tanto para o embarque quanto para o desembarque dos suínos. Durante o carregamento, a carga de suínos foi molhada por um funcionário o usando uma mangueira. Trata-se de uma prática padrão em regiões tropicais e visa reduzir os impactos do estresse térmico (PINHEIRO; BARBOSA-FILHO; MACHADO, 2020). O molhamento da carga é realizado aleatoriamente ao longo da carroceria. Neste estudo, com base na vazão e no tempo de operação estimou-se um consumo médio de água ( $\pm$  SE) de 2.710 $\pm$ 258 litros/carga.

### Tratamentos

Neste estudo, testou-se os dois dispositivos para o arrefecimento da carga de suínos: o aerofólio e um defletor de ar. O aerofólio para arrefecimento da carga no transporte de suínos é um componente para ser acoplado na parte superior da cabine do caminhão. O mesmo é constituído por uma base de suporte (1), um dispositivo-tampa com formato semiesférico instalado na região traseira da base de suporte (2) e uma placa de fixação para a parte superior da base de suporte do aerofólio (3), como mostra a Figura 12A.

Figura 12 – Visão geral com explosão (A) e sem explosão das peças nas vistas traseira (B) e frontal (C) do aerofólio

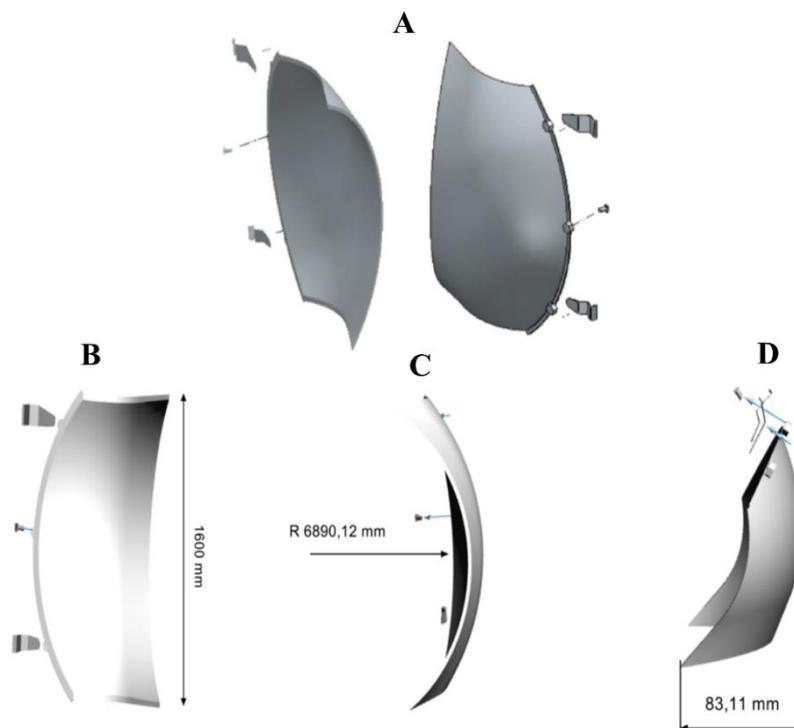


Fonte: Elaborado pelo autor.

O aerofólio é caracterizado pela sua base de suporte ser seccionada por um defletor de ar com ângulo de ataque de  $20^\circ$  (Figura 12A, 1), que permitirá o direcionamento do fluxo de vento para o interior da carga durante o trajeto da viagem no transporte de suínos, aumentando assim a circulação de ar ao longo dos compartimentos da carroceria do caminhão. Também possui uma placa de fixação (Figura 12A, 3) que poderá ser acoplada na parte superior da base de suporte (Figura 12A, 1), quando a carga não estiver com animais (carga vazia), a fim de obter as características de um aerofólio convencional, como mostra a Figura 12B e C.

Por outro lado, o defletor para arrefecimento da carga no transporte de suínos é um componente que poderá ser acoplado nas laterais da carroceria do caminhão, com objetivo de coletar e direcionar o ar que circula externamente nas laterais para o interior da carga. O mesmo é constituído por uma peça de geometria semiesférica e de duas presilhas para a conexão com a lateral da carroceria (A), possui altura de 1,60 m (B), concavidade com raio de aproximação de 6,8 m (C) e espessura de 8,3 cm (D), mostra a Figura 13.

Figura 13 – Visão geral com explosão (A), e sem explosão nas vistas frontal (B), lateral (C) e auxiliar (D) do defletor



Fonte: Elaborado pelo autor.

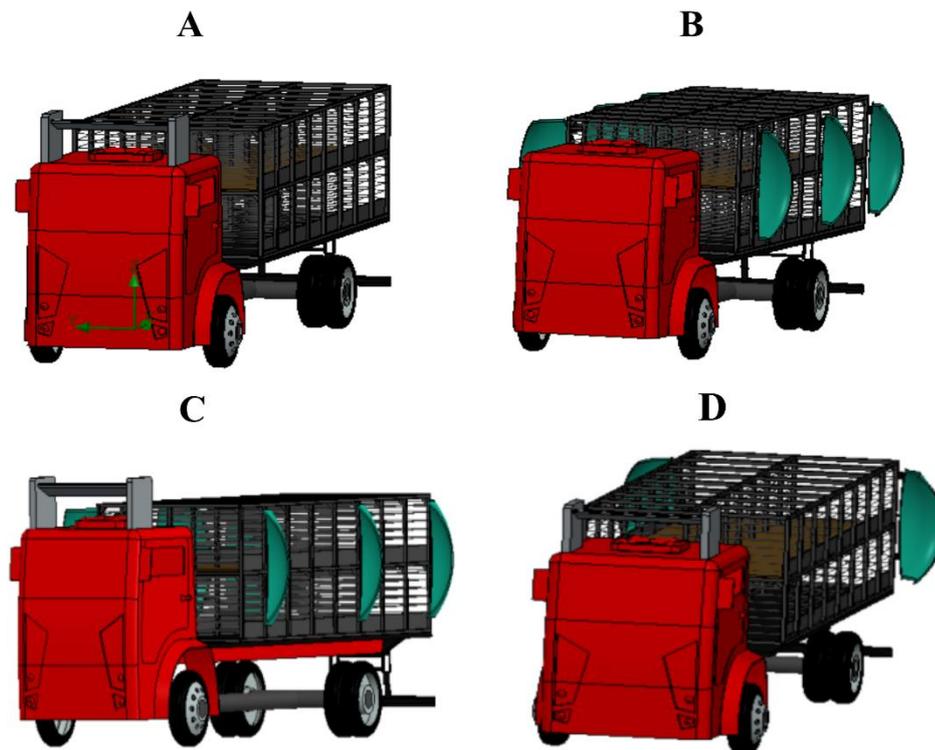
O defletor é caracterizado por uma geometria convexa no sentido da carga, o que permitirá o deslocamento do fluxo de ar concentrado na lateral do veículo para o interior da

carga, onde os animais estão alojados, com o objetivo de melhorar a circulação de ar e formar vórtices nos pontos mais críticos, denominados de núcleos térmicos de calor, favorecendo assim as trocas térmicas e o bem-estar dos animais durante a viagem.

### Avaliação de Desempenho

O desempenho dos dispositivos foi testado usando simulações numéricas. Foram realizados ensaios de dinâmica de fluídos computacional (CFD). O software empregado no estudo foi o SolidWorks *Flow Simulation*, ver.2020. Neste estudo, avaliou-se o desempenho do modelo virtual com aerofólio (A), modelo virtual com defletor (B), bem como do modelo virtual usando ambos os dispositivos dos mecanismos (C) e em um modelo virtual com aerofólio associado ao defletor posicionado na região traseira da carga (D), como mostra a Figura 14.

Figura 14 – Modelos virtuais avaliados

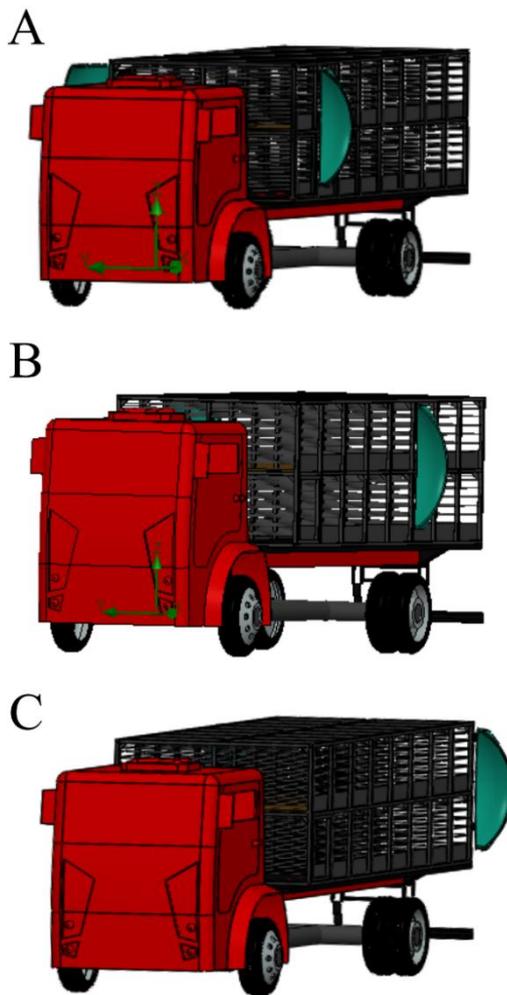


Fonte: Elaborado pelo autor.

No modelo virtual D, o posicionamento do defletor especificamente na região traseira da carroceria foi definido com base em testes iniciais de simulações de CFD. Estas

simulações avaliaram a eficiência do defletor acoplado na região dianteira (A), central (B) e traseira (C) da carroceria do caminhão (Figura 15). O posicionamento do defletor na região traseira da carroceria apresentou maior eficiência para direcionar o fluxo de vento para o interior da carga durante o transporte (APÊNDICE A).

Figura 15 – Modelos virtuais com o defletor acoplado na carroceria do caminhão em diferentes posições: dianteira (A), central (B) e traseira (C)



Fonte: Elaborado pelo autor.

Foi utilizado uma geração de malha adaptativa no processo de construção da malha computacional. Utilizou-se o gerador automático de malhas disponibilizado pelo *software* SolidWorks ver.2020, gerando uma malha computacional com células hexaédricas estruturadas na maior parte do domínio, exceto ao redor do caminhão, onde foram utilizadas células tetraédricas com refinamento nas camadas ao longo da superfície do caminhão.

No modelo A, o número de células da malha foi de 13.720, resultando em uma qualidade ortogonal máxima de 82,60%. O modelo B apresentou malha com 17.432 células e qualidade ortogonal máxima de 83,20%. No modelo C, o número de malha foi de 57.868 células, resultando em uma qualidade ortogonal de 89,30%. O modelo D apresentou malha com 24.646 células, indicando uma qualidade ortogonal de 85,36%.

O processamento das simulações foi efetuado em um laptop Dell®, Inspiron 15-3583-D5XP, com as seguintes especificações: processor Intel® Core™ i7-8565U Quad Core 1.8 GHz com Turbo Max até 4.6 GHz; memória RAM de 8 GB DDR4 2400 MHz; disco rígido de 2 TB SATA 5400 RPM e placa de vídeo integrada. Intel® UHD Graphics 620. As condições de contorno foram projetadas para simular as condições reais de fluxo de vento no transporte (Tabela 1, capítulo I).

As condições de contorno foram estabelecidas com o monitoramento do transporte comercial de suínos. Resumidamente, as condições descritas: velocidade de 18 m/s (~64 km/h), temperatura do ar de 27,5 °C, umidade relativa do ar de 68 %, radiação de 460 kJ/m<sup>2</sup> e pressão atmosférica de 760 mmHg. Após as simulações, foram exportados do SolidWorks *Flow Simulation* a trajetória do fluxo de vento dos modelos virtuais, bem como os dados da temperatura (TA) e umidade relativa (UR) da carga.

#### Análises estatísticas

Os dados da TA e UR foram utilizados para mensurar a entalpia da carga conforme Rodrigues *et al.* (2011), equação 8. A exploração da variabilidade espacial da entalpia ao longo da carga foi realizada por meio de técnicas da geoestatística, com a construção de mapas temáticos 3D usando o software SGeMS® (REMY; BOUCHER; WU 2009), um programa gratuito especializado na visualização de dados volumétricos em projeções 3D, em cortes nos eixos x, y e z, pela construção da malha em três dimensões, voxels (cubos) (REMY; BOUCHER; WU 2009; GASPARIN *et al.*, 2017).

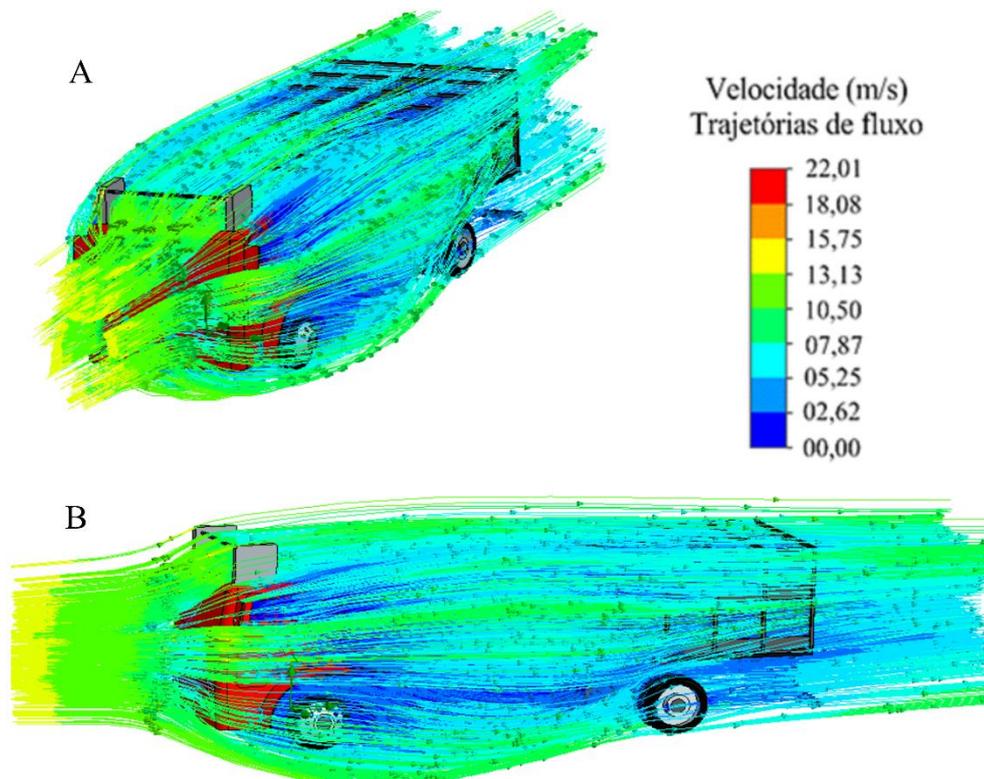
O método da interpolação na construção dos mapas temáticos foi a krigagem ordinária (equação 9) e a estrutura e a dependência espacial estabelecida pelo semivariograma (equação 10). Os valores da entalpia foram organizados no Excel® no padrão GSLIB (Geostatistics Software Library). O arquivo formato GSLIB foi inserido no SGeMS® usando a opção “Load Objectict” e “point sed”. Os semivariogramas foram construídos na seção “Algorithms-Estimation” e a opção “krigagem” foi selecionada. Detalhes da modelagem 3D são apresentadas no capítulo I.

Os dados de TA, UR e entalpia foram submetidos ao teste de Shapiro Wilk, a fim de testar a normalidade de distribuição. Após esse processo, os dados foram submetidos a ANOVA e as médias foram comparadas pelo teste Tukey. Um nível de 0,05 foi considerado como limite de significância em todos os testes.

## Resultados e Discussão

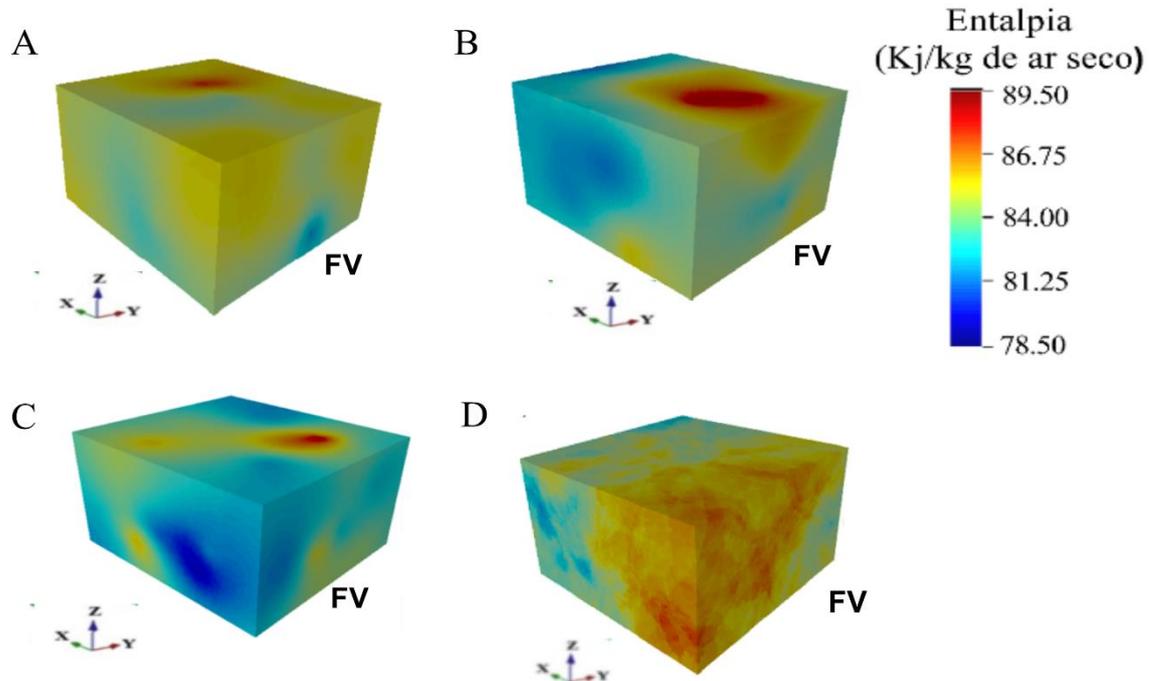
O uso do aerofólio aumentou a ventilação dentro da carga, principalmente na região frontal do SUP da carroceria (Figura 16). O aerofólio direcionou o fluxo de ar com velocidade média de 10,50 m/s da região superior da cabine do caminhão para o interior da carga, aumentando assim a circulação de ar ao longo dos compartimentos da mesma, o que resultou em uma redução significativa (-3,94 %) da entalpia (Tabela 8) e uma distribuição mais homogênea do calor (entalpia) ao longo da carga (Figura 17).

Figura 16 – Fluxo de vento do modelo virtual da carga com o aerofólio



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 17 – Mapas 3D da entalpia da carga modelo virtual usando o aerofólio (A), o defletor (B), com ambos (C) e com aerofólio e defletor na zona traseira da carga (D). FV = Frente do veículo



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 8 – Médias ( $\pm$ SE) da temperatura (TA), umidade relativa (UR) e entalpia da carga dos modelos virtuais testados e da carga real

Item	TA	UR	Entalpia
Modelo A	29,32 $\pm$ 0,70	79,00 $\pm$ 1,50 <sup>c</sup>	79,30 $\pm$ 1,20 <sup>c</sup>
Modelo B	29,06 $\pm$ 0,47	81,00 $\pm$ 2,00 <sup>b</sup>	80,05 $\pm$ 2,06 <sup>b</sup>
Modelo C	29,06 $\pm$ 0,82	75,00 $\pm$ 1,80 <sup>d</sup>	76,38 $\pm$ 1,67 <sup>d</sup>
Modelo D	29,08 $\pm$ 1,03	80,00 $\pm$ 1,00 <sup>b</sup>	79,40 $\pm$ 1,82 <sup>c</sup>
Carga real	29,20 $\pm$ 1,28	85,00 $\pm$ 2,50 <sup>a</sup>	82,56 $\pm$ 2,86 <sup>a</sup>
Valor de P	0,138	0,001	<0,001
CV (%)	5,12	6,62	6,73

CV = coeficiente de variação. Modelo A = carga com aerofólio; Modelo B = carga com defletor; Modelo C = carga com ambos dispositivos; Modelo D = carga com aerofólio e defletor posicionado na região traseira. Médias seguidas de letras iguais (vertical) não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a  $P < 0,05$ .

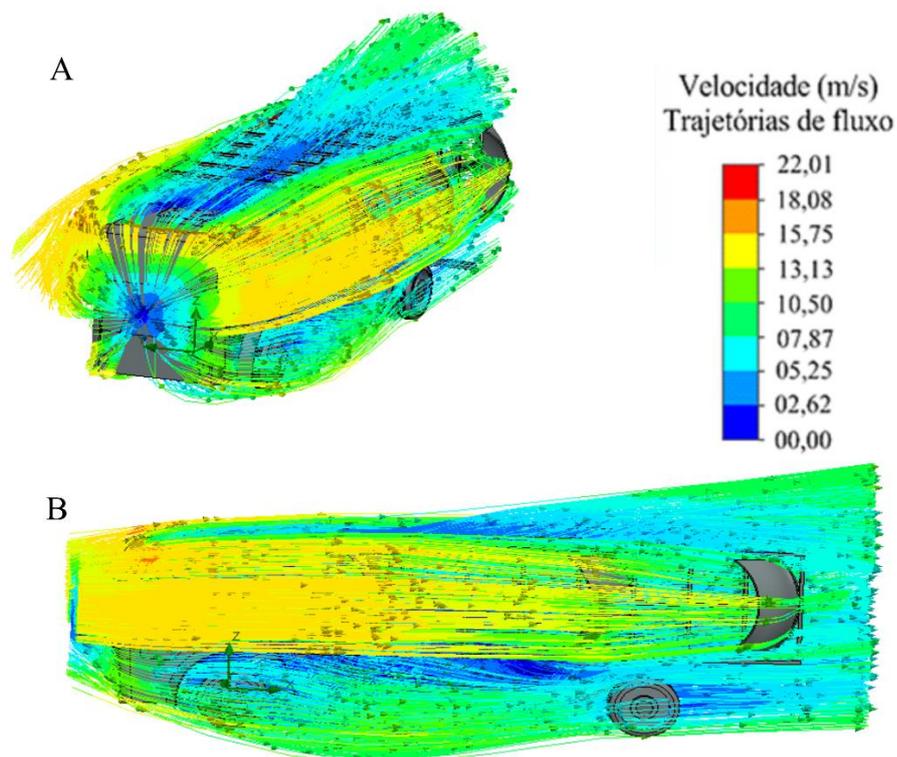
Fonte: Elaborado pelo autor.

O uso do aerofólio otimizou a homogeneidade da entalpia ao longo da carga. Por outro lado, Norton, Kettlewell e Mitchell (2013) estudaram o ITU da carga de um veículo usado pra transportar ovinos durante o transporte de balsa. Os autores usaram CFD para comparar o sistema de ventilação mecânica com o natural. O veículo com ventilação natural era mais quente

e mais úmido. No entanto, as variáveis ambientais eram muito mais uniformes ao longo da carga em comparação com o veículo com sistema de ventilação mecânica.

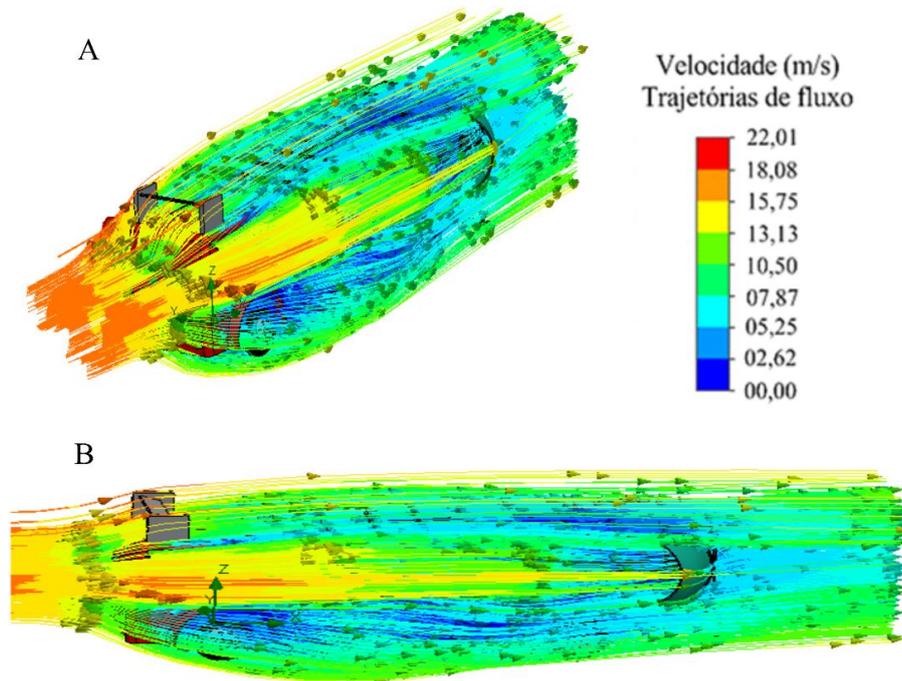
O defletor aumentou a circulação de ar na região frontal do INF da carroceria, resultando em ventos com aproximadamente 15 m/s (Figura 18), onde concentrava-se o núcleo térmico (bolsão de calor) durante o transporte em condições comerciais (Figura 5). Isso proporcionou uma redução significativa (-3,04 %) da entalpia média da carga (Tabela 8). Entretanto, percebeu-se que o fluxo de vento da região frontal do SUP foi comprometido, resultando no desenvolvimento de um núcleo térmico (bolsão de calor) nessa área (Figura 17B). O que não é interessante para o conforto térmico dos suínos e perdas produtivas associadas, pois núcleos térmicos estão diretamente relacionados as maiores taxas de DOA's (MITCHELL; KETTLEWELL, 1998; KETTLEWELL *et al.*, 2001; BARBOSA-FILHO *et al.*, 2014).

Figura 18 – Fluxo de vento do modelo virtual da carga com o defletor



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 19 – Fluxo de vento do modelo virtual da carga com o conjunto aerofólio e o defletor



Fonte: Elaborado pelo autor.

O uso associado do aerofólio ao defletor resultou em um aumento considerável da circulação de ar na carroceria (Figura 20). A entalpia da carga foi significativamente reduzida (-7,48 %) em comparação com as condições observadas nas simulações do transporte comercial (Tabela 8). Isso ocorreu pois o fluxo de vento superior (pelo aerofólio) e lateral (pelo defletor) da carroceria do veículo são direcionados, simultaneamente, para o interior da carga, o que certamente resultará na melhoria das condições térmicas e possivelmente do estresse térmico dos suínos e, conseqüentemente, na redução de perdas.

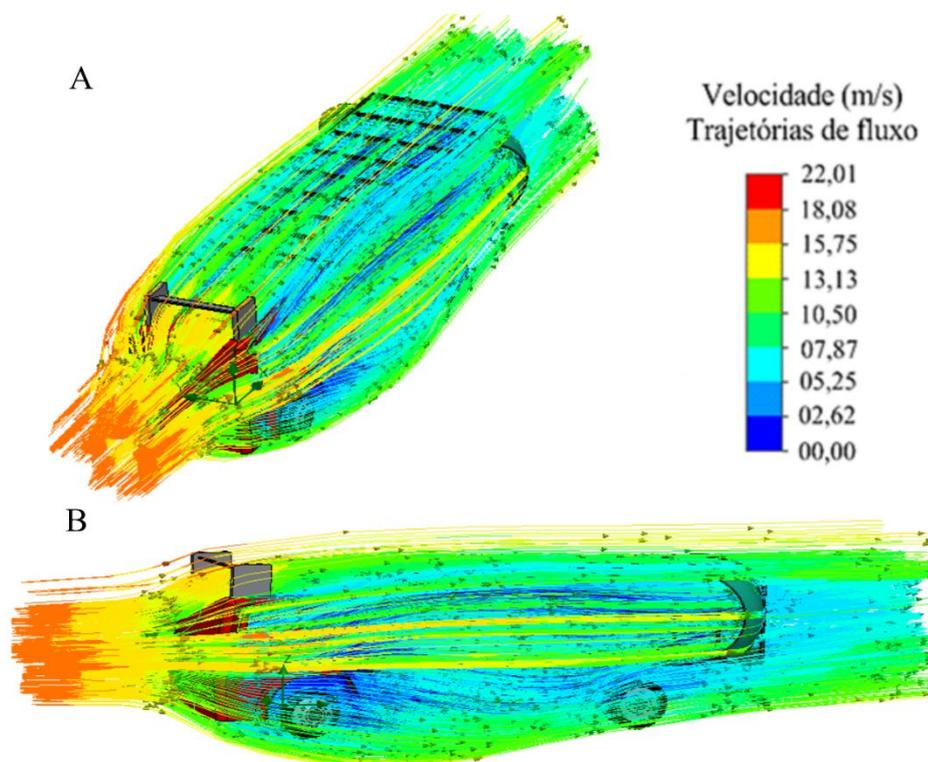
Após o choque com a cabine, ocorre uma forte perda de energia cinética do fluxo de vento, criando um regime de turbulência que direciona o vento para região superior e lateral do veículo (GILKESON *et al.*, 2009; GILKESON *et al.*, 2016). Esse comportamento foi verificado no presente estudo, com a simulação CFD das condições comerciais de transporte (Figura 7). O uso individual do aerofólio e do defletor tornou possível direcionar o fluxo de vento superior (aerofólio) e lateral (defletor) para o interior da carga, aumentando a circulação de ar interna, o que além de favorecer as trocas térmicas convectivas, consegue também remover (-10%) a umidade da carga (Tabela 8).

O uso do aerofólio associado com o defletor instalado na região traseira da carroceria do caminhão também resultou no aumento da circulação do fluxo de vento no interior

da carga (Figura 20), resultando em uma redução significativa (-3,82 %) da entalpia média quando comparado com as simulações CFD das cargas comerciais (Tabela 8). No entanto, observa-se que a região frontal da carga ainda continua com um núcleo térmico (~85 kJ/kg de ar seco), embora este já esteja bem próximo do liminar proposto por Silva-Miranda *et al.* (2012) de condições propícias para ocorrência de estresse térmico por calor em suínos, entalpia > 80 kJ/kg de ar seco.

No geral, os resultados obtidos com as simulações demonstram-se promissores. Ficou comprovado que é possível otimizar a ventilação natural para se obter maior renovação do ar e redução da umidade no interior da carga durante o transporte. Os resultados indicam que uso do aerofólio no topo da cabine do caminhão apresenta melhor desempenho nesse processo, mas esse efeito é otimizado quando associado ao uso do defletor na lateral da carroceria, o que pode favorecer o bem-estar dos animais, reduzindo a incidência de perdas e prejuízos associados.

Figura 20 – Fluxo de vento do modelo virtual com aerofólio associado ao defletor instalado na região traseira da carroceria



Fonte: Elaborado pelo autor.

A maior circulação de ar dentro da carga também pode ter impactos positivos na qualidade de carne. Spurio *et al.* (2015) avaliaram o transporte de frango de corte em quatro condições: *layout* convencional, um modelo alternativo, e ambos, com e sem molhamento da carga. O *layout* alternativo possuía estruturas na carroceria para direcionar o fluxo de ar aos núcleos térmicos de calor. Os autores relataram uma redução significativa da ocorrência da carne PSE em 66,3% e 49,6% no transporte com *layout* alternativo, com e sem molhamento da carga respectivamente.

Ressalta-se que, a associação do aerofólio com o defletor na carroceria, resultará em uma maior força de araste no deslocamento do veículo no percurso da viagem, sugerindo maior custo com combustível. Esse problema deverá ser melhor investigado em estudos futuros. Vale mencionar ainda, que os limites legais estabelecidos para as dimensões dos veículos de carga simples (caminhão da granja); deve ter até 2,60 m largura e 4,40 m de altura e 14 m de comprimento (CONTRAN, 2018). Portanto, o uso do defletor encontra-se em conformidade com a legalidade, pois aumenta em 16,60 cm a lateral da carga (8,30 cm em cada lado, Figura 13D), resultando em uma largura de 2,36 m.

Verificou-se nos capítulos anteriores que a existência dos núcleos térmicos (bolsões de calor) está diretamente relacionada aos pontos com deficiência de ventilação ao longo da carga durante as viagens comerciais. Essa área foi a região mais crítica ao bem-estar dos suínos transportados, associada aos mais elevados valores médios dos indicadores de estresse térmico. Nesta pesquisa, os dispositivos desenvolvidos para direcionar o fluxo de vento para o interior da carga podem ser ferramentas valiosas para o arrefecimento da mesma durante o transporte de suínos em regiões de clima tropical, especialmente o aerofólio.

## **Conclusões**

Com base nas simulações, constatou-se que foi possível otimizar a ventilação no interior da carga. O uso do aerofólio aumentou o fluxo de vento dentro da carga e reduziu o calor e a umidade contida nos compartimentos. O uso do defletor resultou na translocação do núcleo térmico para o andar superior da carroceria. Portanto, sua utilização mostra-se mais eficiente se associada ao aerofólio.

## **Referências**

AVERÓS, X.; KNOWLES, T. G.; BROWN, S. N., WARRISS, P. D.; GOSÁLVEZ, L. F. Factors affecting the mortality of weaned piglets during commercial transport between farms. **Veterinary Record**, Londres, v. 167, p. 815–819, 2010.

BARBOSA-FILHO, J. A. D.; QUEIROZ, M. L. V.; BRASIL, F. D.; VIEIRA, F. M. C.; SILVA, I. J. Transport of broilers: load microclimate during Brazilian summer. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 34, p. 405-412, 2014.

BARBOSA-FILHO, J. A. D.; VIEIRA, F. M. C.; SILVA, I. J. O.; GARCIA, D. B.; SILVA MAN, FONSECA, B. H. F. Poultry transport: microclimate characterization of the truck during the winter. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 3598, p. 2442–2446, 2009.

CONTRAN. Conselho Nacional de Trânsito. Resolução N° 735. **Requisitos de segurança necessários à circulação de Combinações para Transporte de Veículos - CTV e Combinações de Transporte de Veículos e Cargas Paletizadas – CTVP**, 2018. Disponível em: [https://www.in.gov.br/web/guest/materia/-/asset\\_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/17528027/do1-2018-06-06-resolucao-n-735-de-5-de-junho-de-2018-17527446#:~:text=II%20%2D%20largura%20m%C3%A1xima%3A%20%2C,13](https://www.in.gov.br/web/guest/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/17528027/do1-2018-06-06-resolucao-n-735-de-5-de-junho-de-2018-17527446#:~:text=II%20%2D%20largura%20m%C3%A1xima%3A%20%2C,13). Acesso em: 15 abr. 2019.

GASPARIN, E.; SOUZA, E. G.; URIBE-OPAZO, M. A.; SANTOS, R. N.; BIER, V. A.; ROCHA, D. M. 3D thematic maps of the chemical parameters of orange fruits. **Acta Scientiarum Technology**, Maringá, v. 39, p. 417-423, 2017.

GILKESON, C. A.; THOMPSON, H. M.; WILSON, M. C.T.; GASKELL, P.H. Quantifying passive ventilation within small livestock trailers using Computational Fluid Dynamics. **Computers and Electronics in Agriculture**, Nova Iorque, v. 124, n. 2, p. 84-99, 2016.

GILKESON, C.A.; THOMPSON, H. M.; WILSON, M. C. T.; GASKELL, P.H.; BARNARD, R. H. An experimental and computational study of the aerodynamic and passive ventilation characteristics of small livestock trailers. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, Amsterdam, v.97, n.9, p. 415-425, 2009.

HUYNH, T. T. T.; AARNINK, A. J. A.; HEETKAMP, M. J. W.; VERSTEGEN, M. W. A.; KEMP, B. Evaporative heat loss from group-housed growing pigs at high ambient temperatures. **Journal of Thermal Biology** Oxford, v. 32, p. 293-299, 2007.

KETTLEWELL, P. J.; HOXEY, R. P.; HAMPSON, C. J.; GREEN, N. R.; VEALE, B. M.; MITCHELL, M. A. AP-Animal production technology: design and operation of a prototype mechanical ventilation system for livestock transport vehicles, **Journal of agricultural engineering research**, Londres, v. 79, p. 429-439, 2001.

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

NORTON, T.; KETTLEWELL, P.; MITCHELL, M. A computational analysis of a fullystocked dual-mode ventilated livestock vehicle during ferry transportation. **Computers and Electronics in Agriculture**, Nova Iorque, v.93, n.4, p.217-228, 2013.

PINHEIRO, D. G.; BARBOSA-FILHO, J. A. D.; MACHADO, N. A. F. Effect of wetting method on the broiler transport in Brazilian Northeast. **Journal of Animal Behaviour and Biometeorology**, Mossoró, v. 8, p. 168-173, 2020.

REMY, N.; BOUCHER, A.; WU, J. **Applied geostatistics with SGeMS: a user's guide**. Cambridge, Cambridge University Press, 2009.

RITTER, M.J.; ELLIS, M.; BRINKMANN, J.; DEDECKER, J.M.; KEFFABER, K.K.; KOCHER, M.E.; PETERSON, B.A.; SCHLIPF, J.M.; WOLTER, B.F. Effect of floor space during transport of market-weight pigs on the incidence of transport losses at the packing plant and the relationships between transport conditions and losses. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 84, p. 2856-2864, 2006.

RODRIGUES, V. C.; DA SILVA, I.; VIEIRA, F.; NASCIMENTO, S. A correct enthalpy relationship as thermal comfort index for livestock. **International Journal of Biometeorology**, Lisse, v. 55, p. 455-459, 2011.

SILVA-MIRANDA, K. O.; BORGES, G.; MENEGALE, V. L. C.; SILVA, I. J. O. Effects of environmental conditions on sound level emitted by piglets. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, p. 435-455, 2012.

SPURIO, R.S.; SOARES, A.L.; CARVALHO, R.H.; SILVEIRA JUNIOR, 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**, Tokyo, v. 87, n.2, p. 277-283, 2015.

VIEIRA, F.M.C.; GROFF, P.M.; SILVA, I.J.O.; NAZARENO, A.C.; GODOY, T.F.; COUTINHO, L.L.; VIEIRA, A.M.C.; SILVA-MIRANDA, K.O. Impact of exposure time to harsh environments on physiology, mortality, and thermal comfort of day-old chickens in a simulated condition of transport. **International Journal of Biometeorology**, Lisse, v.63, p. 777-785, 2019.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O planejamento das operações de transporte de suínos, com vista na padronização dos turnos de transporte (turnos mais amenos), do trajeto mais adequado (qualidade da estrada e distância da viagem), bem como o tempo da viagem (número de paradas e condição do tráfego) e o planejamento mais adequado do “molhamento da carga” pode melhorar as condições de conforto dos animais e reduzir as perdas durante as viagens comerciais

É imprescindível o treinamento constante dos funcionários envolvidos em toda a operação de transporte, visando reduzir o estresse dos animais e conseqüentemente as perdas envolvidas nesse importante processo da produção da carne suína. Nesta pesquisa, as perdas causadas somente pelas DOA's foram estimadas em cerca de 61.614 reais/ano/unidade de terminação (APÊNCIDE B).

A existência dos chamados núcleos térmicos (bolsões de calor) está diretamente relacionada aos pontos com deficiência de ventilação da carga. Outrossim, é possível otimizar a ventilação da carga direcionando o fluxo de vento para o interior da carga. Mas, certamente o método de “molhamento da carga” pode ter contribuído para a formação deste núcleo térmico durante o transporte, devido ao acúmulo de umidade em alguns compartimentos da carroceria do caminhão (APÊNDICE C).

Portanto, recomenda-se que essa prática seja muito bem planejada e padronizada (tempo, quantidade de água e uniformidade do molhamento). O “molhamento da carga” de suínos é uma prática realizada sem critérios, por isso pode resultar em aumento de custos e no desperdício de um recurso natural finito. Pode-se estimar um desperdício de água na ordem de 1.334.400 litros por ano por unidade de terminação (2780 litros por carga x 480 operações realizados por ano em cada unidade de terminação, em média). Configurando-se em uma problemática contraditória em face ao contexto histórico de escassez hídrica no semiárido.

Durante o molhamento, uma estratégia potencialmente eficiente para remover o acúmulo de água na carroceria do caminhão seria um novo *design* de piso para a carroceria do caminhão, com *layout* vazado, mas com aberturas projetadas de modo a não causar acidentes durante as etapas do transporte. Essa medida poderia ainda otimizar a circulação do vento entre os andares no interior da carroceria.

Estudos realizados em países de clima temperado mostraram que a aplicação de nebulização por 5 minutos antes do transporte e 5 minutos antes do descarregamento no abatedouro pode reduzir o estresse térmico dos suínos. Além disso, o uso da energia fotovoltaica para alimentação de sistemas de climatização da carga também pode ser uma alternativa valiosa

e promissora para melhorar as condições de conforto térmico dos animais e reduzir as perdas. Essas informações precisam ser investigadas em condições tropicais, indicando que estudos futuros devem ser realizados.

Há necessidade do desenvolvimento de normas de bem-estar animal para as operações de transporte dos suínos no Brasil. Um ponto essencial consiste em preconizar uma densidade ideal da carga. Um manual de boas práticas de suínos (EMBRAPA) recomenda como densidade ideal até 235 kg/m<sup>2</sup>. A União Europeia (UE) preconiza até 270 kg/m<sup>2</sup>, porque em uma maior densidade, os suínos não conseguem se deitar durante a viagem. No presente estudo, a densidade da carga foi 290 kg/m<sup>2</sup>. Assim, para atender o protocolo da UE cerca de 20 suínos deveriam ser retirados da carroceria do caminhão.

## 7 CONCLUSÕES

Existem zonas térmicas de calor com diferentes magnitudes ao longo da carga durante o transporte de suínos, harmonizadas especialmente devido a dinâmica da ventilação. Existe um núcleo térmico (bolsão de calor) na região frontal da carga, associado diretamente aos suínos transportados com valores mais altos dos indicadores fisiológicos de estresse dos animais (hipertermia);

O turno de transporte e a distância da viagem afetam diretamente o bem-estar dos suínos e causam variações nas perdas econômicas. O transporte a tarde é mais nocivo ao bem-estar e mais suscetível à ocorrência de perdas, principalmente se associado a viagens de curtas distâncias. Portanto, a relação entre o estresse dos suínos com a distância não se comporta de forma linear;

Com base nas simulações CFD, constatou-se que foi possível otimizar a ventilação no interior da carga. O uso do aerofólio desenvolvido aumentou o fluxo de vento dentro da carga e reduziu o calor e a umidade contida nos compartimentos próximos a cabine do caminhão. Por outro lado, o uso do defletor proposto resultou na translocação do núcleo térmico para o andar superior da carga. Portanto, recomenda-se sua utilização associada ao aerofólio.

## REFERÊNCIAS

- ALHUS J.L.; MURRAY A.C.; JONES S.D.M.; TONG, A.K.W. Environmental conditions for swine during marketing for slaughter: a national review. Ottawa: Research Branch: Agriculture. 1992. Disponível em: <https://archive.org/details/environmentalcon19926aalh/page/n5/mode/2up>. Acesso em: 08 ago. 2019.
- AMBEKAR, A.S.; SIVAKUMAR, R.; ANANTHARAMAN, N.; VIVEKENANDAN, M. CFD simulation study of shell and tube heat exchangers with different baffle segment configurations. **Applied Thermal Engineering**, Oxford, v. 108, p. 999–1007, 2016.
- AVERÓS, X.; KNOWLES, T. G.; BROWN, S. N., WARRISS, P. D.; GOSÁLVEZ, L. F. Factors affecting the mortality of weaned piglets during commercial transport between farms. **Veterinary Record**, Londres, v. 167, p. 815–819, 2010.
- AVERÓS, X.; KNOWLES, T.G.; BROWN, S.N.; WARRISS, P.D.; GOSÁLVEZ, L.F. Factors affecting the mortality of pigs being transported to slaughter. **Veterinary Record**, Londres, v. 163, p. 386-390, 2008.
- BAPTISTA, R. I. A.; BERTANI, G. R.; BARBOSA, C. N. Welfare indicators in swine. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 10, p. 1823-1830. 2011.
- BARBOSA-FILHO, J. A. D.; QUEIROZ, M. L. V.; BRASIL, F. D.; VIEIRA, F. M. C.; SILVA, I. J. Transport of broilers: load microclimate during Brazilian summer. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 34, p. 405-412, 2014.
- BARBOSA-FILHO, J. A. D.; SILVA, I. J. O.; SILVA, M. A. N.; SILVA, C. J. M. Avaliação dos comportamentos de aves poedeiras utilizando sequência de imagens. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, p. 93-99, 2007.
- BARBOSA-FILHO, J. A. D.; VIEIRA, F. M. C.; SILVA, I. J. O.; GARCIA, D. B.; SILVA MAN, FONSECA, B. H. F. Poultry transport: microclimate characterization of the truck during the winter. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 3598, p. 2442–2446, 2009.
- BARTON-GADE, P.; CHRISTENSEN, L. Effect of different loading densities during transport on welfare and meat quality in Danish slaughter pigs. **Meat Science**, Barking, v. 48, p. 237-247, 1998.
- BENCH, C.; SCHAEFER, A. L.; FAUCITANO, L. The welfare of pigs during transport. *In*: FAUCITANO, L.; SCHAEFER, A.L. (org.). **The Welfare of Pigs - from Birth to Slaughter**. Wageningen: Academic Publishing: The Netherlands, 2008. p. 161-195.
- BHERING, L. L. Rbio: A tool for biometric and statistical analysis using the R platform. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, [s. l.] v. 17, p. 187-190, 2017.
- BLIGH J. **Temperature regulation in mammals and other vertebrates**. Boca Raton: CRC Press Inc, 1985.

BORGES, L. F.; BAZZI, C. L.; SOUZA, E. G.; MAGALHÃES, P. S. G.; MICHELON, G. K. Web software to create thematic maps for precision agriculture. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 55, ed. 735, 2020.

BRADSCHAW, R. H.; HALL, S. J. G.; BROOM, D. M. Behavioural and cortisol response of pigs and sheep during transport. **The Veterinary Journal**, Londres, v. 138, p. 233-234, 1996a.

BRADSHAW, R.H.; PARROTT, R.F.; FORSLING, M.L.; GOODE, J.A.; LLOYD, D.M.; RODWAY, R.G.; BROOM, D.M. Stress and travel sickness in pigs: effects of road transport on plasma concentrations of cortisol, beta-endorphin and lysine vasopressin. **Animal Science**, Penicuik, v. 63, p. 507-516, 1996b.

BRANDT, P.; AASLYNG, M.D. Welfare measurements of finishing pigs on the day of slaughter: a review. **Meat Science**, Barking, v. 103, p. 13-23, 2015.

BROOM, D. M. Indicators of poor welfare. **British Veterinary Journal**, Londres, v. 142, p. 524-526, 1986.

BROOM, D. M.; MOLENTO, C. F. M. Bem-estar animal: conceitos e questões relacionadas: revisão. **Archives of Veterinary Science**, Curitiba, v. 9, n. 2, p. 1-11, 2004.

BROWN, S.N.; KNOWLES, T.G.; WILKINS, L.J.; CHADD, S.A.; WARRISS, P.D. The response of pigs being loaded or unloaded onto commercial animal transporters using three systems. **The Veterinary Journal**, Londres, v. 170, p. 91-100, 2005.

BROWN. J. A.; SAMARAKONE. S.; CROWE. T.; BERGERON. T. R.; WIDOWSKI. T.; CORREA. J. A.; FAUCITANO. L.; TORREY. S.; GONYOU. H. W. Temperature and humidity conditions in trucks transporting pigs in two seasons in eastern and western Canada. **Transactions of the ASABE**, [s. l.], v. 54, p. 2311-2318, 2011.

BRUNETTI, F. **Mecânica dos fluidos**. 2. Ed. São Paulo. Pearson Prentice Hall, 2008.

BUSTAMANTE, E.; GARCÍA-DIEGO, F-J.; CALVET, S.; TORRES, A. G.; HOSPITALER, A. Measurement and numerical simulation of Air velocity in a tunnel-ventilated broiler house. **Sustainability**, Basel, v. 7, n. 2, p. 2066-2085, 2015.

CARENZI, C.; VERGA, M. Animal welfare: review of the scientific concept and definition. **Italian Journal of Animal Science**, Bologna, v. 8, p. 21-30, 2009.

CARRERAS, R.; ARROYO, L.; MAINAU, E.; VALENT, D.; BASSOLS, A.; DALMAU, A.; FAUCITANO, L.; MANTECA, X.; VELARDE, A. Can the way pigs are handled alter behavioural and physiological measures of affective state?. **Behavioural Processes**, Amsterdam, v. 142, p. 91-98, 2017.

CASTRO-JÚNIOR, S. L.; SILVA, I. J. O. The specific enthalpy of air as an indicator of heat stress in livestock animals. **International Journal of Biometeorology**, Lisse, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00484-020-02022-8>. Acesso em: 05 out. 2020.

CONTE, S.; FAUCITANO, L.; BERGERON, R.; TORREY, S.; GONYOU, H. W.; CROWE, T.; TAMMINGA, E. T.; WIDOWSKI, T. M. Effects of season, truck type, and location within truck on gastrointestinal tract temperature of market-weight pigs during transport. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 93, p. 5840–5848, 2015.

CONTRAN. Conselho Nacional de Trânsito. Resolução N° 735. **Requisitos de segurança necessários à circulação de Combinações para Transporte de Veículos - CTV e Combinações de Transporte de Veículos e Cargas Paletizadas – CTVP**, 2018. Disponível em: [https://www.in.gov.br/web/guest/materia/-/asset\\_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/17528027/do1-2018-06-06-resolucao-n-735-de-5-de-junho-de-2018-17527446#:~:text=II%20%2D%20largura%20m%C3%A1xima%3A%20%2C,13](https://www.in.gov.br/web/guest/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/17528027/do1-2018-06-06-resolucao-n-735-de-5-de-junho-de-2018-17527446#:~:text=II%20%2D%20largura%20m%C3%A1xima%3A%20%2C,13). Acesso em: 15 abr. 2019.

CORREA, J. A.; GONYOU, H. W.; TORREY, S.; WIDOWSKI, T.; BERGERON, R.; CROWE, T. G.; LAFOREST, J. P.; FAUCITANO, L. Welfare and carcass and meat quality of pigs being transported for two hours using two vehicle types during two seasons of the year Canadian **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 93, p. 43–55, 2013.

CORREA, J. A.; TORREY, S.; DEVILLERS, N.; LAFOREST, J. P.; GONYOU, H. W.; FAUCITANO, L. Effects of different moving devices at loading on stress response and meat quality in pigs. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 88, p. 4086-4093, 2010.

COSTA, A. O. D.; LUDKE, J. V.; COLDBELLE, A.; KICH, J. D.; COSTA, M. J. R. P.; FAUCITANO, L.; PELOSO, J. V.; ROZA, D. D. Efeito do manejo pré-abate sobre alguns parâmetros fisiológicos em fêmeas suínas pesadas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, p. 852-858, 2009.

CUI, Y.; ZHANG, M.; LI, H.; ZHANG, X.; FU, Z. WSMS: Wearable Stress Monitoring System Based on IoT Multi Sensor Platform for Living Sheep Transportation. **Electronics**, Basel, v. 8, p. 441- 459, 2019.

DALLA COSTA, F. A.; DEVILLERS, N.; PARANHOS DA COSTA, M. J. R.; FAUCITANO, L. Effects of applying preslaughter feed withdrawal at the abattoir on behaviour, blood parameters and meat quality in pigs. **Meat Science**, Barking, v. 119, p. 89-94, 2016.

DALLA-COSTA, O. A.; LUDKE, J. V.; COLBELLE, A.; KICH, K. D.; COSTA, M. P. R. P.; FAUCITANO, L.; PELOSO, J. V.; ROZA, D. D. Efeito do manejo pré-abate sobre alguns parâmetros fisiológicos em fêmeas suínas pesadas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, p. 852-858, 2009.

DEWEY, C.; HALEY, C.; WIDOWSKI, T.; POLJAK, Z.; FRIENDSHIP, R. Factors associated with in-transit losses of fattening pigs. **Animal Welfare**, [s. l.], v. 18, p. 355-361, 2009.

DOS REIS, J. G. M.; MACHADO, S. T.; SANTOS, R.; NÄÄS, I. A.; OLIVEIRA, R. V. Financial losses in pork supply chain: a study of the pre-slaughter handling impacts. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 35, p. 163-170, 2015.

EIKELENBOOM, G.; BOLINK, A.H.; SYBESMA, W. 1991. Effects of feed withdrawal before delivery on pork quality and carcass yield. **Meat Science**, Barking, v. 29, p. 25-30, 1991.

FAUCITANO, L. Preslaughter handling practices and their effects on animal welfare and pork quality. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 96, p. 728-738, 2018.

FAUCITANO, L.; CHEVILLON, P.; ELLIS, M. Effects of feed withdrawal prior to slaughter and nutrition on stomach weight, and carcass and meat quality in pigs. **Livestock Science**, [s. l.], v. 127, p. 110–114, 2010.

FAUCITANO, L.; GOUMON, S. Transport of pigs to slaughter and associated handling. *In*: ŠPINKA, M.; CAMERLINK, I. (org.). **Advances in Pig Welfare**. Sawston: Woodhead Publishing; 2018.

FAUCITANO, L.; LAMBOOIJ, E. Transport of pigs. *In*: GRANDIN, Temple (org.). **Livestock Handling and Transport**. Wallingford: CABI Publications, 2019.

FAWC. 1993. **Second report on priorities for research and development in farm animal welfare**. Farm Animal Welfare Council. MAFF Tolworth, U.K.

FERNANDES, A. F. A.; DÓREA, J. R. R.; VALENTE, B. D.; FITZGERALD, R.; HERRING, W.; ROSA, G. J. M. Comparison of data analytics strategies in computer vision systems to predict pig body composition traits from 3D images. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 98, n. 8, p. 1-23, 2020.

FOX, J.; WIDOWSKI, T.; TORREY, S.; NANNONI, E.; BERGERON, R.; GONYOU, H. W.; BROWN, J. A.; CROWE, T.; MAINAU, E.; FAUCITANO, L. Water sprinkling market pigs in a stationary trailer. 1. Effects on pig behaviour, gastrointestinal tract temperature and trailer micro-climate. **Livestock Science**, [s. l.], v. 160, p. 113-123, 2014.

FRASER, D. Animal ethics and animal welfare science: bridging the two cultures. **Applied Animal Behavior Science**, Amsterdam, v. 65, n.1, p. 1771-189, 1999.

FRASER, D. Understanding animal welfare. **Acta Veterinaria Scandinavica**, Copenhagen, v. 50, p. 1-7, 2008.

GADE, P.B.; CHRISTENSEN, L.; BALTZER, M.; PETERSEN, J.V. Causes of pre-slaughter mortality in Danish slaughter pigs with special emphasis on transport. **Animal Welfare**, [s. l.], v. 16, p. 459-70, 2007.

GASPARIN, E.; SOUZA, E. G.; URIBE-OPAZO, M. A.; SANTOS, R. N.; BIER, V. A.; ROCHA, D. M. 3D thematic maps of the chemical parameters of orange fruits. **Acta Scientiarum Technology**, Maringá, v. 39, p. 417-423, 2017.

GIL, M.; FAUCITANO, L.; TALBOT, G.; DEVILLERS, N.; GUAY, F.; SAUCIER, L. Pre-slaughter strategies to improve pork carcass microbial quality. **Meat Science**, Barking, v. 99, p. 153-160, 2015.

- GILKESON, C. A.; THOMPSON, H. M.; WILSON, M. C.T.; GASKELL, P.H. Quantifying passive ventilation within small livestock trailers using Computational Fluid Dynamics. **Computers and Electronics in Agriculture**, Nova Iorque, v. 124, n. 2, p. 84-99, 2016.
- GILKESON, C.A.; THOMPSON, H. M.; WILSON, M. C. T.; GASKELL, P.H.; BARNARD, R. H. An experimental and computational study of the aerodynamic and passive ventilation characteristics of small livestock trailers. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, Amsterdam, v. 97, n. 9, p. 415-425, 2009.
- GOUMON, S.; FAUCITANO, L. Influence of loading handling and facilities on the subsequent response to pre-slaughter stress in pigs. **Livestock Science**, [s. l.], v. 200, p. 6-13, 2017.
- GOURSOT, C.; DÜPJAN, S.; TUCHSCHERE, A.; PUPPE, B.; LELIVELD, L. M. C. Visual laterality in pigs: monocular viewing influences emotional reactions in pigs. **Animal Behaviour**, Londres, v. 154, p. 183-192, 2019.
- GRANDIN, T. Transport fitness of cull sows and boars: A comparison of different guidelines on fitness for transport. **Animals**, Basel, v. 6, n. 12, p. 1-9, 2016.
- GRANT, R. J.; ALBRIGHT, J. L. Feeding behavior and management factors during the transition period in dairy cattle. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 73, p. 2791-2803, 1995.
- GREGO, C.R.; OLIVEIRA, R. P.; VIEIRA, S. R. Geostatística aplicada a Agricultura de Precisão. In: BERNARDI, A. C. de C.; NAIME, J. de M.; RESENDE, A. V. de; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (org.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar. Brasília: Embrapa, 2014.**
- GUÀRDIA, M.D.; ESTANY, J.; BALASH, S.; OLIVER, M.A.; GISPERT, M.; DIESTRE, A. Risk assessment of DFD meat due to pre-slaughter conditions in pigs. **Meat Science**, Barking, v. 70, p. 709-716, 2005.
- HAFEZ, E. S. E. **Adaptacion de los animales domésticos**. Barcelona: Labor, 1973.
- HAHN, G. L.; GAUGHAN, J. B.; MADER, T. L.; EIGENBERG, R. A. Thermal indices and their applications for livestock environments. In DESHAZER, James (org.). **Livestock Energetics and Thermal Environmental Management**. Joseph, ASABE: St, 2009.
- HALEY, C.; DEWEY, C. E.; WIDOWSKI, T.; POLJAK, Z.; FRIENDSHIP, R. Factors associated with in-transit losses of market hogs in Ontario in 2001. **Canadian Journal of Veterinary Research**, Ottawa, v. 72, p. 377-384, 2008a.
- HALEY, C.; DEWEY, C. E.; WIDOWSKI, T.; FRIENDSHIP, R. Association between in-transit losses, internal trailer temperature, and distance travelled by Ontario market hogs. **Canadian Journal of Veterinary Research**, Ottawa, v. 72, p. 385-389, 2008b.
- HARRISON, R. **Animal Machines: the new factory farming industry**. London: Vincent Stuart Publishers LTD, 1964.

HUGHES, B.O. Behaviour as an index of welfare. *In: Proceedings of the Fifth European Poultry Conference*, Malta: Welfare, 1976.

HUYNH, T. T. T.; AARNINK, A. J. A.; HEETKAMP, M. J. W.; VERSTEGEN, M. W. A.; KEMP, B. Evaporative heat loss from group-housed growing pigs at high ambient temperatures. **Journal of Thermal Biology**, Oxford, v. 32. p. 293-299, 2007.

ISON, S. H.; BATES, R. O.; ERNST, C. W.; STEIBEL, J. P.; SIEGFORD, J. M. Housing, ease of handling and minimizing inter-pig aggression at mixing for nursery to finishing pigs as reported in a survey of North American pork producers. **Applied Animal Behaviour Science**, Amsterdam, v. 205, p. 159-166, 2018.

JOHNSON, J. S.; AARDSMA, M. A.; DUTTLINGER, A. W.; KPODO, K. R. Early life thermal stress: Impact on future thermotolerance, stress response, behavior, and intestinal morphology in piglets exposed to a heat stress challenge during simulated transport. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 96, p. 1640-1653, 2018.

JOURNEL, A. G. The indicator approach to estimation of spatial distributions. *In: Proceedings of the 17<sup>th</sup> APCOM*, Colorado: SME-AIME, 1982.

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

KETTLEWELL, P. J.; HOXEY, R. P.; HAMPSON, C. J.; GREEN, N. R.; VEALE, B. M.; MITCHELL, M. A. AP-Animal production technology: design and operation of a prototype mechanical ventilation system for livestock transport vehicles, **Journal of agricultural engineering research**, Londres, v. 79, p. 429-439, 2001.

LACA, E. Precision livestock production: tools and concepts. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 38, p. 123-132, 2009.

LAMBOOIJ E. Transport of pigs. *In: GRANDIN, T. (org.). Livestock Handling and Transport*, Wallingford: CABI Publishing. 2014.

LAMBOOIJ, E.; GARSSSEN, G. J.; WALSTRA, P.; MATEMAN, F.; MERKUS, G. S. M. Transport of pigs by car for two days: some aspects of watering and loading density. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 13, p. 289-299, 1985.

LI, H.; Rong, L.; Zhang, G. Study on convective heat transfer from pig models by CFD in a virtual wind tunnel. **Computers and Electronics in Agriculture**, Nova Iorque, v. 123, p. 203-210, 2016.

LOPES, I.; SILVA, M. V.; MELO, J. M. M.; MONTENEGRO, A. A. A.; PANDORFI, H. Geostatistics applied to the environmental mapping of aviaries. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 24, p. 409-414, 2020.

LOVARELLI, D.; BACENETTI, J.; GUARINO, M. A review on dairy cattle farming: Is precision livestock farming the compromise for an environmental, economic and social sustainable production?. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 262, p. 1-13, 2020.

MACHADO, N. A. F.; PARENTE, M. O. M.; PARENTE, H. N.; ZANINE, A. M.; MOREIRA-FILHO, M. A.; CUNHA, I. C. L.; SOUSA, J. M. S.; ANJOS, L. F.; FERREIRA, D. J.; ARAÚJO, J. S. The physiological response, feeding behaviour and water intake of feedlot lambs supplemented with babassu oil or buriti oil. **Biological Rhythm Research**, Lisse, v. 51, p. 213-224, 2020.

MACHADO, S. T.; NÄÄS, I. A.; NETO, M. M.; VENDRAMETTO, O.; DOS REIS, J. G. M. Effect of transportation distance on weight losses in pigs from dehydration. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 36, p. 1229-1238, 2016.

MACHADO, S. T.; NÄÄS, I. A.; NETO, M. M.; VENDRAMETTO, O.; DOS REIS, J. G. M. Effect of transportation distance on weight losses in pigs from dehydration. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 36, p. 1229-1238, 2016.

MAIS CARNE SUÍNA. As cinco liberdades do bem-estar animal. 2020. Disponível em: <http://www.maiscarnesuina.com.br>. Acesso: 03 out. 2020.

MANTECA, X.; SILVA, C. A.; BRIDI, A. M.; DIAS, C. P. Bem-estar animal: conceitos e formas práticas de avaliação dos sistemas de produção de suínos. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 6, p. 4213-4229, 2013.

MARTÍNEZ-RODRÍGUEZ, R.; ROLDAN-SANTIAGO, P.; OROZCO-GREGORIO, H.; TRUJILLO-ORTEGA, M.; MORA-MEDINA, P.; GONZÁLEZ-LOZANO, M.; SÁNCHEZ-HERNÁNDEZ, M.; BONILLA-JAIME, H.; GARCÍA-HERRERA, R.; HERNÁNDEZ-TRUJILLO, E.; MOTA-ROJAS, D. Physiological responses and blood gas exchange following long-distance transport of piglets weaned at different ages over unpaved or paved roads. **Livestock Science**, [s. l.], 172: 69-78, 2015.

MATHERON, G. Principles of geostatistics. **Economic Geology**, v. 58, p. 1246-1266, 1963. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.2113/gsecongeo.58.8.1246>. Acesso em: 17 mar. 2019.

MCGLONE, J.J.; JOHNSON, A.K.; SAPKOTA, A.; KEPHART, R.K. Transport of market pigs: improvements in welfare and economics. In: GRANDIN, T.A. (org.). **Livestock Handling and Transport**. Wallingford: CABI Publications, 2014.

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

MOBERG, G. P. Biological response to stress: implications for animal welfare. In: MOBERG, G.; MENCH, J.; MEANCH, J. A. (org.). **The biology of animal stress: basic principles and implications for animal welfare**. Wallingford: CABI Publishing, 2005.

MOTA-ROJAS, D.; BECERRIL-HERRERA, M.; ROLDAN-SANTIAGO, P.; ALONSO-SPILSBURY, M.; FLORES-PEINADO, S.; RAMÍREZ-NECOECHEA, R.; RAMÍREZ-TELLES, J. A.; MORA-MEDINA, P.; PÉREZ M, MOLINA E, SONÍ E, TRUJILLO-ORTEGA ME. Effects of long-distance transportation and CO<sub>2</sub> stunning on critical blood values in pigs. **Meat Science**, Barking, v. 90, p. 893-898, 2012.

MOTA-ROJAS, D.; SANTIAGO-ROLDÁN, P.; PEDRAZA, E. P.; RODRÍGUEZ, R. M.; HERNÁNDEZ-TRUJILLO, L.; ORTGEA, M. E. T. Stress factors in weaned piglet. **Veterinaria México**, México, v. 45, p. 37-51, 2014.

NANNONI, E.; WIDOWSKI, T.; TORREY, S.; FOX, J.; ROCHA, L. M.; GONYOU H. W.; WESCHENFELDER, A. V.; CROWE T.; FAUCITANO, L. Water sprinkling market pigs in a stationary trailer. 2. Effects on selected exsanguination blood parameters and carcass and meat quality variation. **Livestock Science**, [s. l.], v. 160, p. 124-131, 2014.

NARDONE, A.; RONCHI, B.; LACETERA, N.; RANIERI, M. S.; BERNABUCCI, U. Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. **Livestock Science**, [s. l.], v. 130, p. 57-69, 2010.

NAZARENO, A. C.; SILVA, I. J. O.; NUNES, E. F.; SOBRINHO, O. G.; MARÉ, R. M.; CUGNASCA, C. E. Real-time web-based microclimate monitoring of broiler chicken trucks on different shifts. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 24, n.8, p. 554-559, 2020.

NFACC. National Farm Animal Care Council, 2014. Code of Practice for the Care and Handling of Pigs: Review of Scientific Research on Priority Issues. Disponível em: [https://www.nfacc.ca/pdfs/codes/pig\\_code\\_of\\_practice.pdf](https://www.nfacc.ca/pdfs/codes/pig_code_of_practice.pdf) . Acesso em: 06 jan. 2020

NIENABER, J. A.; HAHN, L. G.; YEN, J. T. Thermal environment effects on growing-finishing swine, Part I-Growth, feed intake and heat production. **Transaction of the ASAE** [s. l.], v. 30, n. 6, p. 1772-1775, 1987.

NORTON, T.; KETTLEWELL, P.; MITCHELL, M. A computational analysis of a fullystocked dual-mode ventilated livestock vehicle during ferry transportation. **Computers and Electronics in Agriculture**, Nova Iorque, v.93, n.4, p.217-228, 2013.

OIE. World Organization for Animal Health. Disponível em: <https://www.oie.int/en/animal-welfare/animal-welfare-at-a-glance>. Acesso em: 04 ago. 2020.

OLIVEIRA, N. C.; VIEIRA, M. L.; ROSA, W. B.; SANTOS, W. B. R.; PEDROSO, L. B.; RIBEIRO, J. C.; CEZÁRIO, A. S.; OLIVEIRA, E. M. B.; SOUZA, C. M. Influência da temperatura na produção e bem-estar de suínos. **Colloquium Agrariae**, [s. l.], v. 13, n. 2, p. 254-264, 2017.

PAIVA, A. C.; SEIXAS, R. B.; GATTAS, M. **Introdução à visualização volumétrica**. Rio de Janeiro, PUC-Rio, 1999.

PANDORFI, H. **Comportamento bioclimático de matrizes suínas em gestação e uso de sistemas inteligentes na caracterização do ambiente produtivo: zootecnia de precisão**. 2005. 137 f. Tese (Doutorado em Física do Ambiente Agrícola) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

PANDORFI, H.; ALMEIDA, G. L. P.; GUISELINI, C. Zootecnia de precisão: princípios básicos e atualidades na suinocultura. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 13, n. 2, p. 558-568, 2012.

PANDORFI, H.; SILVA, I. J. O.; GUISELINI, C.; PIEDADE, S. M. S. Uso da lógica *fuzzy* na caracterização do ambiente produtivo para matrizes gestantes. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, p. 93-92, 2007.

PANELLA-RIERA, N.; GISPERT, M.; SOLER, J.; TIBAU., J.; OLIVER, M. A.; VELARDE, A.; FÀBREGA, E. Effect of feed deprivation and lairage time on carcass and meat quality traits on pigs under minimal stressful conditions. **Livestock Science**, [s. l.], v. 146, n. 1, p. 29-37, 2012.

PEETERS, E.; DEPREZ, K.; BECKERS, F.; D. E.; BAERDEMAEKER, J.; AUBERT A. E.; GEERS, R. Effect of driver and driving style on the stress responses of pigs during a short journey by trailer. **Animal Welfare**, [s. l.], v. 17, p. 189-196, 2008.

PEIXOTO, M. S. M.; BARBOSA-FILHO, J.A.D.; MACHADO, N. A. F.; VIANA, V. S. S.; COSTA, J. F. M. Thermoregulatory behavior of dairy cows submitted to bedding temperature variations in Compost barn systems. **Biological Rhythm Research**, Lisse, v. 1, p. 1-10, 2019.

PEREIRA, T.L.; TITTO, E.A.L.; CONTE, S.; DEVILLERS, N.; SOMMAVILLA, R.; DIESEL, T.; DALLA COSTA, F.A.; GUAY, F.; FRIENDSHIP, R.; CROWE, T.; FAUCITANO, L. Application of a ventilation fan-misting bank on pigs kept in a stationary trailer before unloading: Effects on trailer microclimate, and pig behaviour and physiological response. **Livestock. Science**, [s. l.], v. 216, p. 67-74, 2018.

PEREZ, M. P.; PALACIO, J.; SANTOLARIA, M. P.; ACEÑA, M. C.; CHACÓN, G.; GASCÓN, M.; CALVO, J. H.; ZARAGOZA, P.; BELTRAN, J. A.; GARCÍA-BELENQUER, S. Effect of transport time on welfare and meat quality in pigs. **Meat Science**, Barking, v. 61, p. 425-33, 2002.

PINHEIRO, D. G.; BARBOSA-FILHO, J. A. D.; MACHADO, N. A. F. Effect of wetting method on the broiler transport in Brazilian Northeast. **Journal of Animal Behaviour and Biometeorology**, Mossoró, v. 8, p. 168-173, 2020.

PURSWELL, J. L.; GATES, R. S.; LAWRENCE, L. M.; STOMBAUGH, T. S.; COLEMAN, R. J.; ADAM, W. C. Air exchange rate in a horse trailer during transport. *In*: INTERNATIONAL SYMPOSIUM: LIVESTOCK ENVIRONMENT VII, 5., 2005. Beijing. **Anais [...]**. Beijing: Livestock Environment VII: 2005, p. 13-20.

RABASTE, C.; FAUCITANO, L.; SAUCIER, L.; MORMÉDE, P.; CORREA, J. A.; GIGUÈRE, A.; BERGERON, R. The effects of handling and group size on welfare of pigs in lairage and their influence on stomach weight, carcass microbial contamination and meat quality. **Canadian Journal of Veterinary Research**, Ottawa, v. 87, p. 3-12, 2007.

RAHMAN, M. M.; CHU, C. M.; KUMARESEN, S. Evaluation of the Modified Chimney Performance to Replace Mechanical Ventilation System for Livestock Housing. **Procedia Engineering**, Bangladesh, v. 90, p. 245-248, 2014.

REMY, N.; BOUCHER, A.; WU, J. **Applied geostatistics with SGeMS: a user's guSCI**. Cambridge, Cambridge University Press, 2009.

RIOJA-LANG, F. C.; BROWN, J. A.; BROCKHOFF, E. J.; FAUCITANO, L. A review of swine transportation research on priority welfare issues: A Canadian perspective. **Frontiers in Veterinary Science**, Lausanne, v. 6, p. 1-12, 2019.

RITTER, M.J.; ELLIS, M.; BERRY, N. L.; CURTIS, S. E.; ANIL, L.; BERG, E.; BENJAMIN, M.; BUTLER, D.; DEWEY, C.; DRIESSEN, B.; DUBOIS, P.; HILL, J. D.; MARCHANT-FORDE, J. N.; MATZAT, P.; MCGLONE, J.; MORMEDE, P.; MOYER, T.; PFALZGRAF, K.; SALAK-JOHNSON J.; SIEMENS, M.; STERLE, J.; STULL, C.; WHITING, T.; WOLTER, B.; NIEKAMP, S. R.; JOHNSON, A. K. Review: Transport Losses in Market Weight Pigs: I. A Review of Definitions, Incidence, and Economic Impact. **The Professional Animal Scientist**, [s. l.], v. 25, p. 404–414, 2009.

RITTER, M.J.; ELLIS, M.; BRINKMANN, J.; DEDECKER, J.M.; KEFFABER, K.K.; KOCHER, M.E.; PETERSON, B.A.; SCHLIPF, J.M.; WOLTER, B.F. Effect of floor space during transport of market-weight pigs on the incidence of transport losses at the packing plant and the relationships between transport conditions and losses. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 84, p. 2856-2864, 2006.

ROCHA, L. M.; DEVILLERS, N.; MALDAGUE, X.; KABEMBA, F. Z.; FLEURET, J.; GUAY, F.; FAUCITANO, L. Validation of Anatomical Sites for the Measurement of Infrared Body Surface Temperature Variation in Response to Handling and Transport. **Animals**, Basel, v. 9, n. 7, p.425-433, 2019.

ROCHA, L. M.; DIONNE, A.; SAUCIER, L.; NANNONI, E.; FAUCITANO, L. Hand-held lactate analyzer as a tool for the real-time measurement of physical fatigue before slaughter and pork quality prediction. **Animal**, Cambridge, v. 24, p. 707-714, 2015.

RODRIGUES, V. C.; DA SILVA, I.; VIEIRA, F.; NASCIMENTO, S. A correct enthalpy relationship as thermal comfort index for livestock. **International Journal of Biometeorology**, Lisse, v. 55, p. 455-459, 2011.

ROLDAN-SANTIAGO, P.; MARTINEZ-RODRIGUEZ, R.; YANEZ-PIZANA, A.; TRUJILLO-ORTEGA, M. E.; SANCHEZ-HERNANDEZ, M.; PEREZ-PEDRAZA, E.; MOTA-ROJAS, D. Stressor factors in the transport of weaned piglets: A review. **Veterinární Medicína**, Praga, v. 58, p. 241-251, 2013.

RONG, L.; NIELSEN, P. V.; BJERG, B.; ZHANG, G. Summary of best guidelines and validation of CFD modeling in livestock buildings to ensure prediction quality. **Computers and Electronics in Agriculture**, Nova Iorque, v. 121, n. 3, p. 180-190, 2016.

RUI, B. R.; DE SOUZA, R. A. D.; DA SILVA, M. A. A. Pontos críticos no manejo pré-abate de frango de corte: jejum, captura, carregamento, transporte e tempo de espera no abatedouro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 7, p. 1290–1296, 2011.

RUSHEN, J. Farm animal welfare since the Brambell report. **Applied Animal Behaviour Science**, Amsterdam, v. 113, p. 277-278, 2008.

SALMI, B.; TREFAN, L.; BUNGER, L.; DOESCHL-WILSON, A.; BIDANEL, J.P.; TERLOUW, C.; LARZUL, C. Bayesian meta-analysis of the effect of fasting, transport and

lairage times on four attributes of pork meat quality. **Meat Science**, Barking, v. 90, p. 584-598, 2012.

SANTOS, V. M.; DALLAGO, B. S. L.; RACANICCI, A. M. C.; SANTANA, A. P.; CUE, R. I.; BERNAL, F. E. M. Effect of transportation distances, seasons and crate microclimate on broiler chicken production losses. **PLoS One**, [s. l.], v. 15, p. 1-22, 2020.

SAS. SAS/STAT® 9.3. **User's Guide**. Cary: SAS Institute Inc, 2012.

SCHEEREN, M. B.; GONYOU, H. W.; BROWN, J.; WESCHENFELDER, A. V.; FAUCITANO, L. Effects of transport time and location within truck on skin bruises and meat quality of market weight pigs in two seasons **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v. 94, p. 71-78, 2014.

SEEDORF, J.; SCHMIDT, R.G. The simulated air flow pattern around a moving animal transport vehicle as the basis for a prospective biosecurity risk assessment. **Heliyon**, Maryland Heights, v. 3, n. 8, p. 1-18, 2017.

SILVA, R. G. **Biofísica Ambiental: os animais e seu ambiente**. São Paulo: Nobel, 2008.

SILVA-MIRANDA, K. O.; BORGES, G.; MENEGALE, V. L. C.; SILVA, I. J. O. Effects of environmental conditions on sound level emitted by piglets. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, p. 435-455, 2012.

SIMIONETTI, A.; PENNA, A.; GIUDICE, R.; C APPUCCIO, A.; GAMBACORTA, E. The effect of high pré-slaughter environmental temperature on meat quality traits of Italian autochthonous pig Suino Nero Lucano. **Animal Science Journal**, Tokyo, v. 7, p. 1-7, 2018.

SOERENSEN, D. D.; CLAUSEN, S.; MERCER, J. B.; PEDERSEN, L. J. Determining the emissivity of pig skin for accurate infrared thermography. **Computers and Electronics in Agriculture**, Nova Iorque, v. 109, p. 52-58, 2014.

SOMMAVILLA, R.; FAUCITANO, L.; GONYOU, H.; SEDDON, Y.; BERGERON, R.; WIDOWSKI, T.; CROWE, T.; CONNOR, L.; SCHEEREN, M. B.; GOUMON, S.; BROWN, J. Season, transport duration and trailer compartment effects on blood stress indicators in pigs: Relationship to environmental, behavioral and other physiological factors, and pork quality traits. **Animals**, Basel, v. 7, p. 1-12, 2017.

SOUSA-JÚNIOR, V. R.; SABINO, L. A.; MOURA, D. J.; NUNHEZ, J. R.; SONODA, L. T.; SILVA, A. O.; PADRA, R. J. Application of computational fluid dynamics on a study in swine facilities with mechanical ventilation system. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 75, n. 3, p. 173-183, 2018.

SOUZA-JUNIOR, J. B. F.; EL-SABROUT, K.; DE ARRUDA, A. M. V.; COSTA, L. L. DE M. Estimating sensible heat loss in laying hens through thermal imaging. **Computers Electronics in Agriculture**, Nova Iorque, v.166, p.105038, 2019.

SPURIO, R.S.; SOARES, A.L.; CARVALHO, R.H.; SILVEIRA JUNIOR, 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**, Tokyo, v. 87, n.2, p. 277-283, 2015.

STEWART, G.; RITTER, M.J.; CULBERTSON, M.; MANN, G.; WOFFORD, R. **Effects of previous handling and feed withdrawal prior to loading on transport losses in market weight pigs**. In: Proceedings of the 2008 American Association of Swine Veterinarians. San Diego: CA, 2008.

SUTHERLAND, M. A.; MCDONALD, A.; MCGLONE, J. J. Effects of variations in the environment, length of journey and type of trailer on the mortality and morbidity of pigs being transported to slaughter. **Veterinary Record**, Londres, v. 165, p. 13-18, 2009.

TABASE, R. K.; LINDEN, V. V.; BAGCI, O.; PAEPE, M.; AARNINK, A.J.A.; DEMEYER, P. CFD simulation of airflows and ammonia emissions in a pig compartment with underfloor air distribution system: Model validation at different ventilation rates. **Computers and electronics in Agriculture**, Nova Iorque, v. 171, p. 105297, 2020.

TASSE, M. E.; MOLENTO, C. F. M. Injury and condemnation data of pigs at slaughterhouses with federal inspection in the state of Paraná, Brazil, as indicators of welfare during transportation. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 49, p. 1-8, 2019.

TORREY, S.; BERGERON, R.; WIDOWSKI, T.; LEWIS, N.; CROWE, T.; CORREA, J. A.; GONYOU, H. W.; FAUCITANO, L. Transportation of market-weight pigs: I. Effect of season, truck type, and location within truck on behavior with a two-hour transport. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 91, n. 6, p. 2863-2871, 2013a.

TORREY, S.; BERGERON, R.; FAUCITANO, L.; WIDOWSKI, T.; LEWIS, N.; CROWE, T.; CORREA, J. A.; BROWN, J.; HAYNE,.; GONYOU, H. W. Transportation of market-weight pigs: II. Effect of season and location within truck on behavior with an eight-hour transport. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 91, n. 6, p. 2872-2878, 2013b.

USDA. United States Department Agriculture. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/advQuery>. Acesso em: 03 nov. 2017.

VAN DE PERRE, V.; PERMETIER, L.; DE BIE, S.; VERBEKE, G.; GEERS, R. Effect of unloading, lairage, pig handling, stunning and season on pH of pork. **Meat Science**, Barking, v. 86, n. 4, p. 931-937, 2010.

VECEREK, V.; MALENA, M.; MALENA JR.; M., VOŠLAROVA, E.; CHLOUPEK, P. The impact of the transport distance and season on losses of fattened pigs during transport to the slaughterhouse in the Czech Republic in the period from 1997 to 2004. **Veterinární medicína**, Praga, v. 51, p. 21-28, 2006.

VIEIRA, F.M.C.; GROFF, P.M.; SILVA, I.J.O.; NAZARENO, A.C.; GODOY, T.F.; COUTINHO, L.L.; VIEIRA, A.M.C.; SILVA-MIRANDA, K.O. Impact of exposure time to harsh environments on physiology, mortality, and thermal comfort of day-old chickens in a simulated condition of transport. **International Journal of Biometeorology**, Lisse, v.63, p. 777-785, 2019.

VILELA, L. C.; CATANEO, A. Análise do método de interpolação de krigagem ordinária aplicado à pesquisa agrônômica. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 24, n. 1, p. 85-104, 2009.

VOSLAROVA, E.; VECEREK, V.; PASSANTINO, A.; CHLOUPEK, P.; BEDANOVA, I. Transport losses in finisher pigs: Impact of transport distance and season of the year. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, [s. l.], v. 30, p. 119-124, 2017.

WACKERNAGEL, H. **Multivariate Goestatistics: na introduction with applications**. 2. Ed. Berlim: Springer-Verlag, 2003.

WARRISS, P. D.; BROWN, S. N. A survey of mortality in slaughter pigs during transport and lairage. **The Veterinary Record**, Londres, v. 134, n. 20, p. 513- 515, 1995.

WARRISS, P. D. Antemortem handling of pigs. *In*: COLE, D.J.A.; WISEMAN, T.J.; VARLEY, M.A. (org.). **Principles of Pig Science**. Nottingham: University Press, 1994.

WEHMANN, C. F.; ROCHA, P. A. C.; SILVA, M. E. V.; ARAÚJO, F. A. A.; CORREIA, D. L. Study and application of computational simulation in simple problems of mechanical two fluids and heat transfer - Part II: Classic problems of heat transmission. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 40, p. ed. 2313-2- ed. 2313-9, 2017.

WESCHENFELDER, A. V.; TORREY, S.; DEVILLERS, N.; BASSOLS, A.; SACO, Y.; PIÑEIRO, M.; SAUCIER, L.; FAUCITANO, L. Effects of trailer design on animal welfare parameters and carcass and meat quality of three Pietrain crosses being transported over a short distance. **Livestock Science**, [s. l.], v. 157, n. 1, p. 234-244, 2013.

XIONG, Y.; GATES, R. S.; GREEN-MILLER, A. R. Factors affecting trailer thermal environment experienced by market pigs transported in the us. **Animals**, Basel, v. 8, p. 1-20, 2018.

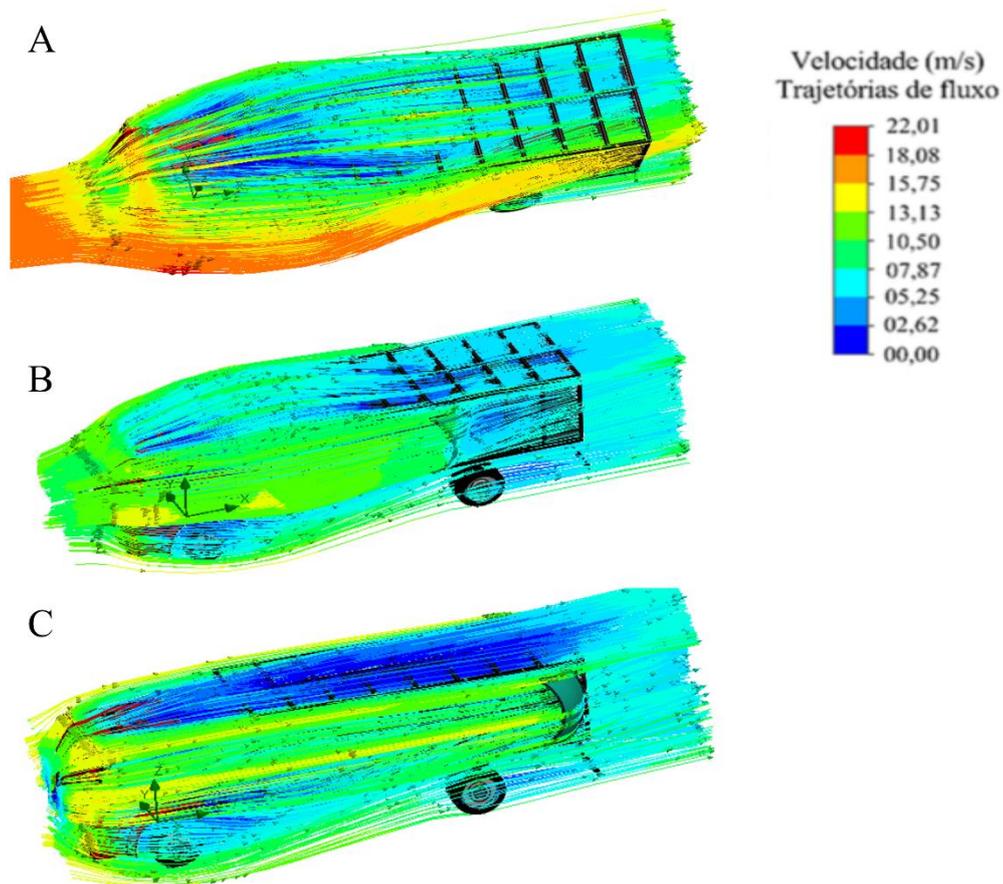
XIONG, Y.; GREEN, A.; GATES, R. S. Characteristics of trailer thermal environment during commercial swine transport managed under U.S. industry guidelines. **Animals**, Basel, v. 5, p. 226-244, 2015.

ZHAO, Y.; XIN, H.; HARMON, J. D.; BASS, T. J. Mortality rate of weaned and feeder pigs as affected by ground transportation conditions. **Transactions of the ASABE**, [s. l.], v. 59, p. 943-948, 2016.

## APÊNDICE A – FLUXO DE VENTO COM DEFLETOR

No geral, o uso do defletor provocou deficiência de ventilação no SUP da carga. O defletor acoplado na região frontal (A), promove baixa captação do vento lateral, e conseqüentemente o direcionamento do vento para o interior da carga é reduzido. O uso do defletor na região central (B) aumentou a captação do vento e o fluxo do mesmo na região frontal e central do INF, mas reduziu consideravelmente o fluxo de vento da região traseira da carga. O defletor na região traseira (C) proporcionou maior captação do vento lateral, bem como maior homogeneidade do fluxo do mesmo para o interior do INF da carga:

Figura – Modelos virtuais com o defletor acoplado na região frontal (A), central (B) e traseira (C) da carroceria do caminhão



Fonte: Elaborado pelo autor.

## **APÊNDICE B – ESTIMATIVAS DAS PERDAS POR MORTALIDADE**

A taxa média de DOA foi de 0,23% (média das taxas da Tabela 6). Em cada carga 96 animais com peso médio corporal de 120 kg foram transportados, portanto, perde-se 0,223 animal/operação. Ao longo do ano, cerca de 480 operações são realizadas em uma unidade de terminação (10 por semana). Sendo assim, perde-se 12.840 kg (107 animais) durante o ano. Considerando o rendimento de carcaça de 60%, pode-se estimar um prejuízo de 62.787,60 reais em cada unidade de terminação relacionado somente por DOA (7704 kg x 8,15 reais, cotação do preço carne suína no CE em novembro de 2020, NOTÍCIAS AGRÍCOLAS, (2020)).

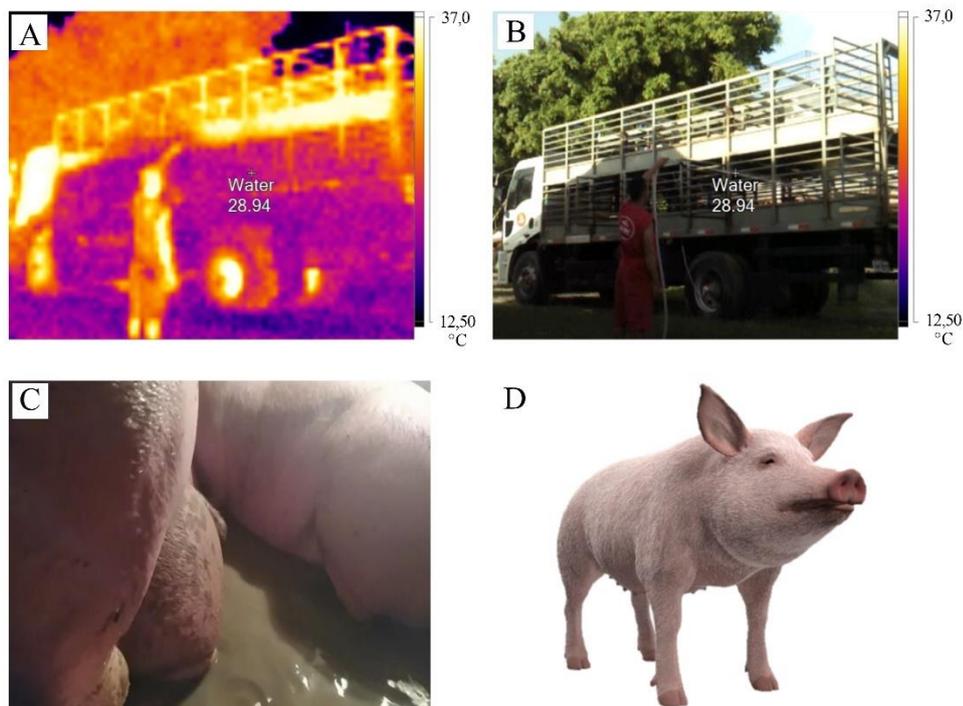
### Referência

NOTÍCIAS AGRÍCOLAS 2020. **Cotações da carne suína no Ceará em novembro de 2020.** Disponível em: <https://www.noticiasagricolas.com.br/cotacoes/suinos>. Acesso em: 03 nov. 2020.

## APÊNDICE C – MOLHAMENTO DA CARGA

A quantidade de calor transferido por convecção dos suínos durante o “molhamento da carga” foi estimada pela equação de resfriamento de Newton em cerca de 1.412 W. Foi adotado a temperatura do fluido de 28,94°C (Figura A), a temperatura superficial do animal de 39°C, coeficiente de transferência por convecção 50w/m<sup>2</sup>, mínimo para força de líquido (ÇENGEL; GHAJAR, 2012) e 2,80 m<sup>2</sup> de área superficial com base em um modelo 3D gerado por fotogrametria (Figura D). O “molhamento da carga” pode promover o acúmulo de umidade na carga, a Figura C mostra o registro do piso da carroceria na saída da fazenda, cerca de 5 min após a aplicação do molhamento da carga.

Figura – Termograma da carga durante o molhamento (A), imagem do molhamento da carga (B), registro do acúmulo de água na carroceria do caminhão (C), modelo 3D gerado para cálculo da área superficial dos suínos



Fonte: Elaborado pelo autor.

### Referência

ÇENGEL, Y. A.; GHAJAR, A. J. **Transferência de Calor e Massa: uma abordagem prática.** [s. l.]: McGraw Hill, Brasil, 2012.