

RENATO ESPIN OTA

Ventilação para Conforto Térmico de Bovinos – Mercado Leiteiro Brasileiro

Guaratinguetá - SP

2018

Renato Espin Ota

Ventilação para Conforto Térmico de Bovinos – Mercado Leiteiro Brasileiro

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Mecânica.

Orientador : Prof. Dr. Celso Eduardo Tuna

Guaratinguetá - SP
2018

O87v	Ota, Renato Espin Ventilação para conforto térmico – mercado leiteiro brasileiro / Renato Espin Ota – Guaratinguetá, 2018. 103 f : il. Bibliografia: f. 99-103 Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2018. Orientador: Prof. Dr. Celso Eduardo Tuna 1. Ventilação. 2. Ventiladores (Máquinas). 3. Conforto térmico. I. Título.
------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

CDU 628.83

Luciana Máximo

Bibliotecária CRB-8/3595



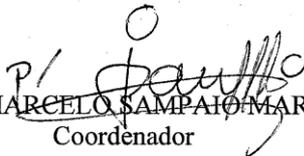
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá

VENTILAÇÃO PARA CONFORTO TÉRMICO DE BOVINOS –
MERCADO LEITEIRO BRASILEIRO

RENATO ESPIN OTA

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO
COMO PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
GRADUADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO
DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA


Prof. Dr. MARCELO SAMPAIO MARTINS
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. CELSO EDUARDO TUNA
Orientador/UNESP-FEG


Prof. Dr. NESTOR PROENZA PEREZ
MEMBRO EXTERNO


Prof. Msc. FERNANDO HENRIQUE MAYWORM DE ARAUJO
UNESP-FEG

Dezembro de 2018

DADOS CURRICULARES

RENATO ESPIN OTA

NASCIMENTO 10.01.1995 – São Paulo / SP

FILIAÇÃO Celso Akira Ota
Marcia Espin Ota

01/2018 Engenharia Mecânica
Faculdade de Engenharia “Julio de Mesquita Filho” – Unesp
Guaratinguetá

“Não se conforme apenas com
aquele conhecimento que você adquiriu, e
sim pense: Isto não é suficiente.”

Yamamoto Tsunetomo

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, fonte da vida e da graça. Agradeço pela minha vida, minha inteligência, minha família e meus amigos,

ao meu orientador, *Prof. Dr. Celso Eduardo Tuna* que jamais deixou de me incentivar. Sem a sua orientação, dedicação e auxílio, o estudo aqui apresentado seria praticamente impossível.

ao consultor de vendas *Paulo Ferreira* da empresa Ziehl-Abegg e ao engenheiro *Caio Damas*, que me mostraram o caminho, oferecendo suporte técnico e guiando este projeto com sua experiência de mercado.

aos meus pais *Celso e Marcia*, que apesar das dificuldades enfrentadas, sempre incentivaram meus estudos.

a minha namorada *Marcela Taliati*, que sempre esteve ao meu lado, me apoiando ao longo de toda a minha jornada.

ao senhor *Curcio*, que possibilitou todo o estudo e desenvolvimento experimental deste trabalho.

OTA, R. E. **Ventilação para Conforto Térmico de Bovinos – Mercado Leiteiro Brasileiro**. 2018. TG (Trabalho de graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2018.

RESUMO

O setor leiteiro tem um importante papel na ordem econômica e social do agronegócio brasileiro, com uma participação significativa no PIB da pecuária. A produção brasileira exibe crescimento anual acima da média mundial que garante ao Brasil a quarta posição no ranking dos países maiores produtores de leite do mundo. O setor produtivo conta com um universo de 1,3 milhão de propriedades leiteiras. Ainda sim, ocupamos a 96ª posição em termos de produtividade. Tal fato exibe a inegável tendência de transição dos sistemas de produção de leite para métodos com alta eficiência e qualidade. O *Compost Barn* é uma excelente alternativa para o mercado Brasileiro, sendo um método com alta produtividade e relativo baixo custo de investimento. Tendo como principais características a garantia de espaço seco e ventilado durante todo o ano, e uma “cama” de material forrageiro que possibilita maior conforto para os animais, que necessitam de espaço tranquilo para realizar a ruminação. Além disso, o *Compost Barn* é uma prática adequada às atuais exigências de bem-estar animal, que prezam pelo manejo racional que garante a integridade física do rebanho, sem submeter as vacas a condições desnecessárias de estresse. Este projeto tem como finalidade estudar a aplicação de Ventiladores Axiais EC para o conforto térmico de bovinos no sistema de confinamento *Compost Barn*. De modo a desenvolver um estudo comparativo, utilizando conceitos de ventilação e transferência de calor, entre os tipos de instalação e tecnologia, tradicional e moderno, para a ventilação de bovinos na produção de leite com alta eficiência.

PALAVRAS-CHAVE : Compost Barn. Mercado leiteiro. Ventilação. Transferência de calor. Ventiladores Axiais

OTA, R. E. **Ventilation for Thermal Comfort of Bovines - Brazilian Dairy Market.** 2018. Undergraduation final paper (Undergraduation in Mechanical Engineering) - Faculty of Engineering - Campus of Guaratinguetá, São Paulo State Univeristy, Guaratinguetá, 2018.

ABSTRACT

The dairy sector has an important role in the economic and social order of the Brazilian agribusiness, with a significant participation in the livestock GDP. Brazilian production shows annual growth above the world average, which guarantees Brazil the fourth position in the ranking of the world's largest milk producers. The productive sector has a universe of 1.3 million dairy farms. Yet we are in 96th place in terms of productivity. This shows the undeniable trend of transition from milk production systems to methods with high efficiency and quality. The Compost Barn is an excellent alternative for the Brazilian market, being a method with high productivity and relatively low investment cost. Its main characteristics are the guarantee of dry and ventilated space throughout the year, and a "bed" of sawdust that allows greater comfort for the animals, who need quiet space to perform rumination. In addition, the Compost Barn is a practice adequate to the current animal welfare requirements, which value the rational management that guarantees the physical integrity of the herd without subjecting the cows to unnecessary stress conditions. The objective of this work is to study the application of EC Axial Fans for the thermal comfort of cattle in the Compost Barn confinement system. In order to develop a comparative study, using concepts of ventilation and heat transfer, between the types of installation and technology, traditional and modern, for the ventilation of cattle for production of milk with high efficiency.

KEYWORDS: Compost Barn. Dairy Market. Ventilation. Heat Transfer. Axial Fans

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Panorama Geral do Brasil no mercado leiteiro.	16
Figura 2 – Total da Produção de leite Brasileira em litros/ano.	17
Figura 3 – Balança comercial do Brasil (Importação x Exportação)....	18
Figura 4 – Comparativo da relação Produzido x Consumido de leite no Brasil.	18
Figura 5 – Produtividade animal no Brasil em 1974 a 2015.	19
Figura 6 – Distribuição das propriedades produtoras de leite	19
Figura 7 – Sistemas de Confinamento para produção de Leite. <i>Free Stahl, Tie Stahl e Cross Ventilation</i> , se analisado da esquerda para direita.	22
Figura 8 – Exemplo de um <i>Compost Barn</i> operando com sucesso	23
Figura 9 – Esquema de um <i>Compost Barn</i> para 100 vacas	23
Figura 10 – Revolvimento da cama de compostagem	26
Figura 11 – Aplicação de ventiladores no sistema <i>Compost Barn</i> - Fazenda Irororó MG.....	27
Figura 12 – Tabela de THI em bovinos	30
Figura 13 – Relação Taxa de Respiração e Temperatura Corporal dos animais.....	31
Figura 14 – Estudo realizado em vacas no período do pré-parto	32
Figura 15 – Consequências e impactos fisiológicos do estresse térmico em bovinos.....	33
Figura 16 – Efeito do sistema de refrigeração na temperatura corporal da vaca.....	34
Figura 17 – Esquematização de um sistema de aspersão de água em um sistema de confinamento de vacas <i>Free- stahl</i>	36
Figura 18 – Sistema de aspersão e resultado da refrigeração na vaca.....	36
Figura 19 – Resfriamento do Vento em Vacas leiteiras	38
Figura 20 – Túnel de Vento – Fazenda Moreira.....	38
Figura 21 – Resultados do estudo na Fazenda Joinha	39
Figura 22 – Formas de transferência de calor da vaca com o meio ambiente.....	41
Figura 23 – Comparação da relação Nu-Re simulada com duas equações empíricas (correlação de Zukauskas e Churchill correlação).	46
Figura 24 – Ilustração dos modelos computacionais de dinâmicas do fluídos CFD.....	47
Figura 25 – Fluxo de perda da calor por respiração e evaporação cutânea de vacas Holandesas em função da temperatura do ar.	51
Figura 26 – Temperatura da superfície da pele de vacas holandesas em função da temperatura	52

Figura 27 – Gráfico da Temperatura do Ar (°C) x Umidade relativa (%)	53
Figura 28 – Tabela de THI	54
Figura 29 – Relação da produção de leite por média de THI	55
Figura 30 – Diminuição da produção de leite em fator do THI	56
Figura 31 – Gráfico da Primeira Lei dos Ventiladores.....	58
Figura 32 – Gráfico da Segunda Lei dos Ventiladores.....	60
Figura 33 – Gráfico da Terceira Lei dos Ventiladores	62
Figura 34 – Ventiladores utilizados na fazenda Xandô.....	62
Figura 35 – Primeiro Motor de Rotor Externo da história	63
Figura 36 – Tecnologia de Ventilação – Ziehl-Abegg	63
Figura 37 – Ilustração de <i>Winglet</i> e outros componentes da hélice	64
Figura 38 – Visão expandida dos compoenntes principais de um ventilador EC	65
Figura 39 – Evolução da eficiência do conjunto Hélice e motor.....	66
Figura 40 – Modelos de Ventiladores Modernos e Tradicionais	66
Figura 41 – Gráfico pressão estática x vazão do ventilador <i>FEOwlet FarmFan</i>	67
Figura 42 – Cálculo da Eficiência do Ventilador	68
Figura 43 – Difusor presente no Ventilador <i>FEOwlet FarmFan</i>	69
Figura 44 – Comparativo do ventilador com e sem a presença do difusor	69
Figura 45 – Relação peso x potência dos motores elétricos	72
Figura 46 – Tipos de motores elétricos	72
Figura 47 – Perdas de eficiência de motores elétricos.....	73
Figura 48 – Ilustração dos ímãs permanentes no motor de rotor eterno.....	74
Figura 49 – Gráfico velocidade x torque.....	73
Figura 50 – Sistema de Ordenha de Leite Mecanizada – Fazenda Xandô	76
Figura 51 – Ilustração de Ventiladores <i>FarmFan</i> aplicados na Fazenda Xandô.....	76
Figura 52 – Ilustração das medições em campo Fazenda Xandô	78
Figura 53 – <i>Compost Barn</i> da Fazenda Itororó, MG.....	78
Figura 54 – Medição da velocidade de vento a 0,5 m de distância dos ventiladores	82
Figura 55 - Ilustração dos cones de vento dos ventiladores Ziehl-Abegg.....	87
Figura 56 – Ilustração das medições do cone de vento	88
Figura 57 – Esquematização do primeiro cone de vento.....	90
Figura 58 – Esquematização do segundo cone de vento	92

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tabela de resultados das medições em campo Fazenda Xandô	78
Tabela 2 – Tabela de medições de velocidade de vento	81
Tabela 3 – Tabela de medições do primeiro cone – linha central	90
Tabela 4 – Tabela de medições do primeiro cone – linha 1,5 metros a direita	90
Tabela 5 – Tabela de medições do primeiro cone – linha 2,5 metros a direita	91
Tabela 6 – Tabela de medições do segundo cone – linha central.....	93
Tabela 7 – Tabela de medições do segundo cone – linha 1,5 metros a esquerda.....	92
Tabela 8 – Tabela de medições do segundo cone – linha 2,5 metros a esquerda.....	93
Tabela 9 – Quadro comparativo dos ventiladores EC e AC da fazenda Itororó	94

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
CB	<i>Compost barn</i>
CCS	Contagem de Células Somáticas
THI	Índice de temperatura e umidade
IMS	Ingestão de Matéria Seca
Tdb	Temperatura do termômetro de bulbo seco
Tdp	Temperatura no ponto de orvalho
UR	Umidade Relativa
EC	Eletronicamente Comutado
AC	Corrente Alternada
DC	Corrente Contínua

LISTA DE SÍMBOLOS

q_r	taxa de transferência de calor radiante, em W
δ	constante
A	área da superfície, em m^2
F_e	fator adimensional
F_a	fator adimensional
T	Temperatura, em $^{\circ}C$
K	troca de calor condutiva, em W
h	condutividade térmica, em $W/(m^2 \times K)$
t_s	temperatura média da pele, em $^{\circ}C$
t_a	temperatura do ar, em $^{\circ}C$
q_{ev}	perda de calor convectiva, em W
A_{ev}	área de superfície convectiva efetiva, em m^2
V^n	velocidade do ar para algum expoente, em m/s
h_c	transferência de calor convectivo, em W
N_u	número de Nusselt
l	comprimento, em m
k	condutividade térmica, em $W/(m^2 \times K)$
Re	Número de Reynolds
u	velocidade de fluxo de ar, em m/s
ν	viscosidade cinemática, em $N \cdot s/m^2$
SA	área de pele da vaca, em m^2
HG	Perímetro da vaca, em m
Q_e	transferência de calor por evaporação, em J/s
K_e	constante evaporativa
A_e	área efetiva de evaporação (úmida), m^2
p_s	pressão vapor da água na superfície do animal, em Pa
p_a	pressão de vapor da água no ar, em Pa
ΨA	umidade absoluta do ar atmosférico, em kg/m^3
ΨC	umidade absoluta do ar da cápsula, em kg/m^3
P_p	Pressão Parcial, em Pa
Q	Vazão, em m^3/h
ρ	massa específica do gás, em kg/m^3
D	diâmetro do rotor, em m
P	pressão, em Pa
H	altura útil de elevação manométrica, em mmH_2O
n	rotação do ventilador, em rpm
W	potência do ventilador, em W
q_v	Vazão do ventilador, em m^3/h
v	velocidade de vento, em m/s
r	raio da hélice, em m
U	Tensão consumida, em V ;
I	Estimativa Corrente consumida, em A ;
η	Rendimento do motor;
φ	Fator de potência do motor;
C_m	Custo mensal de energia elétrica, em R\$

P_m	Potência consumida mensal, em kWh
n	número de ventiladores;
t	tempo de operação mensal, em h
C_a	Custo de ventilação mensal por animal, em $R\$/vaca/mês$
P_a	Potência consumida mensal por animal, em $kWh/vaca/mês$

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	OBJETIVOS.....	15
1.2	JUSTIFICATIVA.....	15
1.3	EXEQUIBILIDADE.....	15
1.4	METODOLOGIA	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	MERCADO LEITEIRO BRASILEIRO.....	16
2.2	MÉTODO DE CONFINAMENTO COMPOST BARN.....	21
2.2.1	Benefícios Gerais do <i>Compost Barn</i>	28
2.2.2	Refrigeração do <i>Compost Barn</i>	34
2.2.3	<i>Compost Barn</i> em túnel de Vento	38
2.3	PROCESSOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR.....	39
2.4	CALCULO DO THI.....	53
2.5	VENTILADORES.....	58
2.5.1	Equações das Leis dos Ventiladores (Leis de Semelhança)	58
2.5.2	Técnicas Associadas a Ventilação de Bovinos	61
2.6	INTRODUÇÃO A EMPRESA ZIEHL-ABEGG.....	62
2.7	TECNOLOGIA DOS VENTILADORES	63
2.7.1	Hélices	64
2.7.2	Difusores	68
2.7.3	Motores Elétricos	69
3	ESTUDO COMPARATIVO E VISITAS TÉCNICAS	75
3.1	FAZENDA XANDÔ – VISITA TÉCNICA.....	75
3.2	INTRODUÇÃO A FAZENDA ITORORO- ESTUDO DE CASO	78
3.3	OBJETIVOS – ESTUDO DE CASO	80
3.4	DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL- ESTUDO DE CASO.....	81
4	CONCLUSÃO.....	95
	REFERÊNCIAS	96

1 INTRODUÇÃO

Em um país onde se predominantemente produz leite de maneira extensiva, a escolha de um sistema de confinamento deve ser feita cuidadosamente, considerando alguns fatores entre os quais podemos destacar: nível de intensificação desejado, potencial genético do rebanho, disponibilidade de capital, disponibilidade de área e água, capacidade de produção de alimentos e custo da terra, além de preferências pessoais do produtor ou responsável. A avaliação cuidadosa desses fatores é uma das chaves para o sucesso do projeto, pois podem afetar diretamente a produtividade e sanidade do rebanho, a qualidade do leite, o bem-estar animal, a longevidade das vacas e a rentabilidade da fazenda. Dentre uma grande variedade de tipos de produção de leite por confinamento, como o *Compost Barn*, *Free Stahl*, *Tie-Stahl* e *Cross-Ventilation*, uma opção tem se destacado, o *Compost Barn* (CB). Este sistema que iremos apresentar neste trabalho Com um alto custo-benefício e bons resultados, tal método já está presente em 22% das 100 maiores Fazendas produtoras de Leite no Brasil (Milkpoint 2017).

Ao longo deste trabalho, será mostrado as características e o modo de funcionamento do Sistema de Confinamento Bovino *Compost Barn*, que visa a produção de leite. Dentre os principais aspectos, estão o dimensionamento do galpão, a formação da cama de compostagem, os sistemas de ventilação e aspersão. Se aplicados de modo correto, podem trazer inúmeras vantagens, tais como redução de ocorrência de mastite, redução do CCS e diminuição do estresse térmico da vaca. Sendo assim, espera-se que o sistema resulte em um aumento de produtividade e eficiência do processo

Adicionalmente, o projeto em questão estuda a aplicação de um novo tipo de ventilador nos galpões de *Compost Barn*, com o objetivo de melhorar os sistemas de ventilação. Tal ventilador possui motor EC de rotor externo, com transmissão direta e inversor de frequência interno. Dentre as vantagens do mesmo, estão a alta eficiência, baixo consumo e possibilidade de controle de rotação.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é estudar a aplicação de Ventiladores Axiais EC (Eletronicamente Comutados) para o conforto térmico de bovinos no sistema de confinamento *Compost Barn*. De modo a desenvolver um estudo comparativo, utilizando conceitos de

ventilação e transferência de calor, entre os tipos de instalação e tecnologia, tradicional e moderno, para a produção de leite com alta eficiência.

1.2 JUSTIFICATIVA

O mercado de leite brasileiro movimentou, anualmente, um valor superior a 60 bilhões de reais, tendo um crescimento de aproximadamente 78% no últimos 5 anos (IBGE, 2016). Em 2016 a produção total de leite foi de 33,625 bilhões de litros (IBGE, 2016). Ainda assim, ao analisarmos a balança comercial brasileira do leite, percebe-se que há um “*déficit*”, ou seja, que o consumo é ainda superior à produção. Em 2017, o Brasil importou cerca de 500,9 milhões de litros.

Portanto, a necessidade de aumento de produtividade e eficiência dos sistemas atuais de produção de leite se justifica. Acompanhando o potencial de crescimento deste mercado, o sistema de confinamento *Compost Barn* vem se destacando nas fazendas brasileiras

Estudos mostraram que estresse térmico na vaca é uma das principais causas da baixa produtividade leiteira. Complementarmente, a transferência de calor evaporativo é responsável por aproximadamente 85% do total de calor perdido pela vaca. Por sua vez, a perda de calor evaporativo ocorre essencialmente através dos sistemas de ventilação e aspersão. Podemos assim confirmar a importância de tais sistemas.

1.3 EXEQUIBILIDADE

O presente trabalho foi realizado pelo autor como trabalho de graduação do curso de engenharia mecânica com ênfase em ventilação, estando o autor regularmente matriculado na UNESP tendo cursado e sido aprovado nas disciplinas de Termodinâmica, Sistemas Fluido mecânicos e Transferência de Calor. O autor do presente trabalho trabalhou na empresa proprietária do ventilador considerado no estudo de caso, tendo autorização na época para a coleta e utilização de dados a todos os equipamentos e informações.

1.4 METODOLOGIA

O trabalho foi desenvolvido em etapas que contemplam os seguintes assuntos : Introdução; Revisão Bibliográfica; Visitas Técnicas; Estudo de Caso, que inclui o Estudo Comparativo entre as tecnologias de ventiladores; e Conclusões.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 MERCADO LEITEIRO BRASILEIRO

A dimensão que a atividade leiteira adquiriu no país nos últimos 50 anos é incontestável. A produção cresceu 673% e o consumo de lácteos, 240%, com reflexos no desempenho econômico e social (Vilela, 2017). Dar continuidade à atividade leiteira no Brasil é um grande desafio, pois é preciso garantir rentabilidade para competir com outras atividades e fixar o produtor no campo.

Atualmente, o Brasil ocupa o 4º lugar em questão de produção de leite, atrás somente da EU, USA e Índia. O segmento de laticínio nacional produziu 33,625 bilhões de litros de leite em 2016, de acordo o IBGE, 2016, e com tendência a crescimento (Figuras 1 e 2). Atualmente, a origem do leite é bastante pulverizada, dividida entre grandes “*players*” e pequenos produtores em fazendas familiares. Estes últimos são responsáveis por mais da metade de toda a produção. A pecuária leiteira representa 25% dos 5,2 milhões de estabelecimentos rurais existentes no Brasil e a produção envolve nacionalmente cerca de cinco milhões de pessoas (Vilela, 2017).

Figura 1 – Panorama Geral do Brasil no mercado leiteiro



Fonte Ziehl-Abegg (2017)

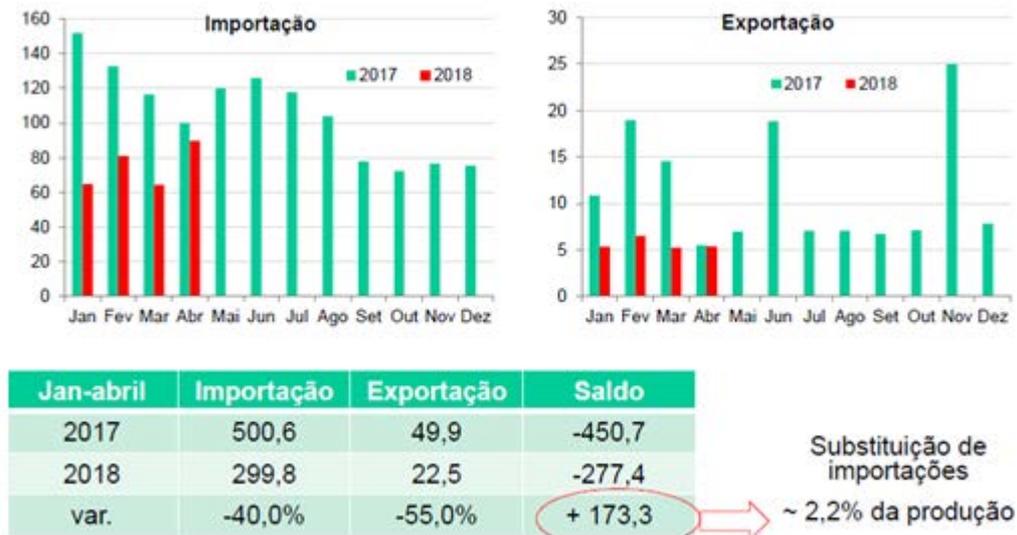
Figura 2 – Total da Produção de leite Brasileira em litros/ano



Fonte: IBGE (2016)

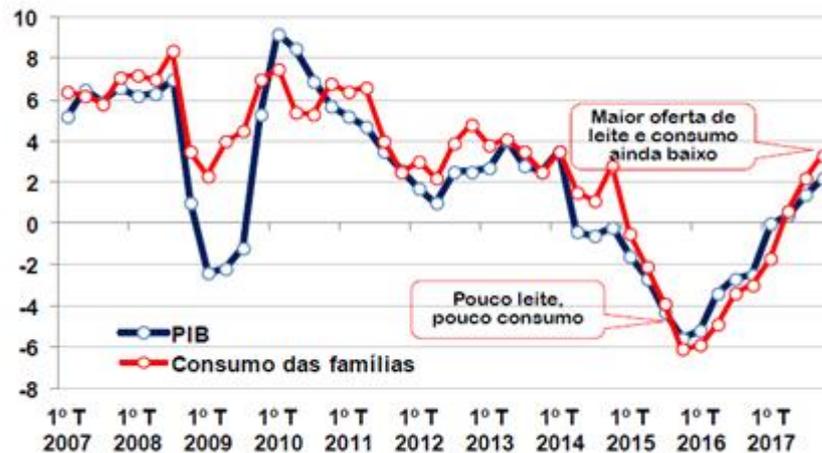
É interessante notar que, apesar da expressiva participação no Ranking dos Maiores Produtores do Mundo, o Brasil historicamente apresenta déficit na balança comercial de leite industrializado, com curtos períodos de superávits. Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), foram importados, de Janeiro a Abril de 2018, cerca de 299,8 milhões de litros de leite, contra 22,5 milhões exportados. Conforme a *Figura 3* a seguir, observamos uma tendência decrescente desses valores (Anos 2017- 2018) , o que nos denota a um aumento da produção e produtividade nacional, porém tais quantidades de importação não deixam de ser consideráveis. De forma complementar, o consumo brasileiro tem se tornado cada vez maior se comparado com sua produção bruta, como podemos observar na *Figura 4* (Embrapa, 2017).

Figura 3 – Balança comercial do Brasil (Importação x Exportação)



Fonte: Buainain (2018)

Figura 4 – Comparativo da relação Produzido x Consumido do leite no Brasil



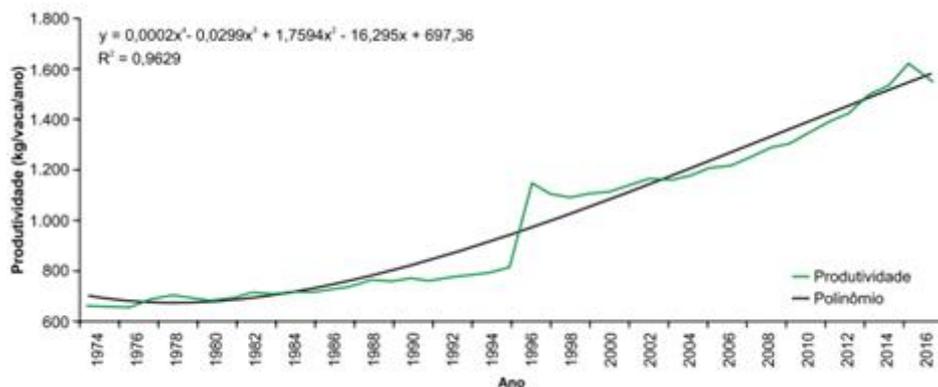
Fonte: Buainain (2018)

Na situação atual, a produtividade animal brasileira é uma das mais baixas do mundo, com registro de 1.609 kg/vaca/ano em 2015 (*Figura 5*). Há de se considerar que as estatísticas nacionais expressam os valores em kg por vaca total e não em kg por vaca em lactação, o que levaria a produtividade média nacional em 2015 para 2.450 kg/vaca em lactação/ano, ainda baixa quando se consideram os rebanhos comerciais nacionais com índices superiores a 3.200

kg/vaca em lactação/ano e os principais países produtores e exportadores de lácteos do mundo: 3.800 kg/vaca/ano na Nova Zelândia; 5.500 kg/vaca/ano na Argentina; e 9.000 kg/vaca/ano no Canadá (Vilela, 2017). Tal fato confirma a enorme necessidade do Brasil em ser mais competitivo no mercado internacional. A *Figura 6* ilustra a distribuição das maiores fazendas produtoras no Brasil.

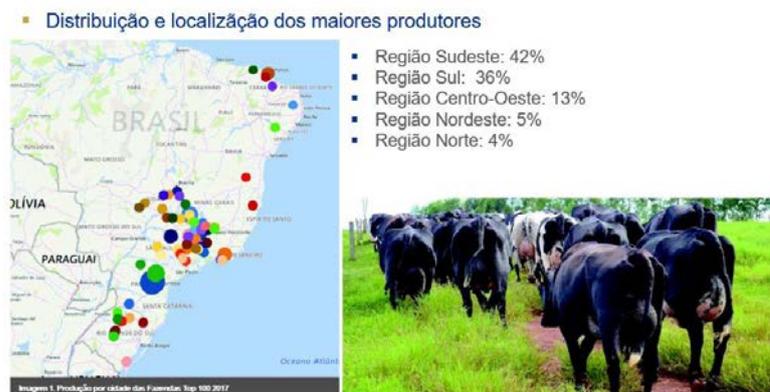
É chegado o momento de buscar produtividades mais elevadas, mas sem perda de eficiência, que pode decorrer do maior preço da terra e do custo da mão de obra, principalmente próximo aos grandes centros consumidores. (VILELA, 2017)

Figura 5 – Produtividade animal no Brasil em 1974 a 2015



Fonte: IBGE (2016)

Figura 6 – Distribuição das propriedades produtoras de leite



Fonte: Ziehl-Abegg (2017)

Adicionalmente, ainda há mais uma importante razão para a necessidade de aumento de produtividade no cenário nacional e internacional. Estudos chamam a atenção para os limites dos recursos de produção e os progressos tecnológicos da agricultura, sugerindo que os

próximos 50 anos serão de grandes dificuldades para a expansão da produção agrícola mundial (BUAINAIN et al., 2014). O cenário global é pouco otimista e exigirá novas estratégias e avanços científicos. Pesquisadores americanos do McKinsey Global Institute (MANYIKA et al., 2017), concluíram que a transformação digital e a automação se posicionarão também no mundo da agricultura e da alimentação. Em 2050, sete em cada dez pessoas viverão nas cidades. Dia a dia, a mão de obra rural torna-se escassa. Máquinas e equipamentos serão imprescindíveis para garantir a segurança alimentar no futuro. Além disso, a automação trará ganhos importantes em eficiência e precisão, ajudando a agricultura a superar práticas pouco sustentáveis. O estudo antecipa também que metade de todas as atividades desempenhadas hoje por trabalhadores poderão ser automatizadas até 2055. Seria uma escala de deslocamentos da força de trabalho sem precedentes. No Brasil, o potencial de automação da agricultura é de 49%, representando 7,9 milhões de empregos.

Estudos (BRASIL, 2015; VILELA, 2015) projetam para 2025 a produção de pelo menos 47,5 milhões de toneladas de leite para atender à população de 219 milhões de pessoas. Certamente haverá crescimento da produção e aumento da escala de produção e, conseqüentemente, redução no número de produtores, uma tendência previsível por causa dos processos ocorridos nas últimas cinco décadas. Se a taxa de evasão de produtores da atividade se mantiver semelhante à apresentada entre os censos agropecuários de 1995–1996 e 2005–2006 (IBGE, 1996, 2006), em 2025 o mercado terá 451 mil propriedades leiteiras, podendo chegar a 216 mil propriedades que comercializarão leite. Para isso, é necessário que a produtividade cresça acima da média histórica de 3,2% ao ano (IBGE, 2016) e alcance níveis superiores a 2.000 kg/lactação (BRASIL, 2014). Segundo Carvalho et al. (2016), baseando-se no mercado de leite nacional inspecionado, cerca de 285 mil produtores estarão na ativa em 2025, produzindo em média 307 kg/dia de leite.

Entretanto, se considerarmos a situação atual brasileira, a produtividade média nacional deve crescer abaixo dos 3,2% (mencionado anteriormente) nos próximos anos, continuando atrás da de muitos países, resultado do grande número de propriedades em sistemas de baixo nível tecnológico. Um estudo feito pela “*Food and Agricultural Policy Research Institute*” (2012), projetou as principais variáveis do mercado até 2025, apontando que o crescimento médio anual da produção de leite no Brasil será de cerca de 2,3% e que o da produtividade animal será de apenas 1,4%. No entanto, quando se leva em consideração uma pecuária leiteira com substanciais avanços tecnológicos, caminhando para um modelo de produção tecnificado e em menor número de propriedades cada vez mais especializadas, projeta-se, nesse cenário

alternativo, crescimento anual de 3%, decorrente exclusivamente do ganho de produtividade, com o rebanho mantendo-se constante. Na realidade, o rebanho leiteiro nacional tem decrescido a partir de 2013, quando era de 23,2 milhões de vacas ordenhadas. Em 2015 caiu, para 21,7 milhões. Em 35 anos, de 1980 até 2015, o número de vacas cresceu apenas 31,5% – de 16,5 milhões para 21,7 milhões –, o que reforça a tese de que a evolução da oferta de leite nacional tem sido preponderantemente por causa de ganhos de produtividade.

Aliado a tais argumentos, fica claro e inegável que a modernização tecnológica das fazendas, que permite maior produtividade com menos fatores de produção (como por exemplo a redução geral de custos), se mostra fundamental. Para isso, o presente trabalho nos mostrará uma eficiente opção para produção de leite. O método de confinamento *Compost Barn*.

2.2 MÉTODO DE CONFINAMENTO *COMPOST BARN*

No Brasil, onde temos grandes atuações de produção extensiva, escolha de um sistema de confinamento deve ser feita cuidadosamente, considerando alguns fatores entre os quais podemos destacar: nível de intensificação desejado, potencial genético do rebanho, disponibilidade de capital, disponibilidade de área e água, capacidade de produção de alimentos e custo da terra, além de preferências pessoais do produtor ou responsável. A avaliação cuidadosa desses fatores é uma das chaves para o sucesso do projeto, pois podem afetar diretamente a produtividade e sanidade do rebanho, a qualidade do leite, o bem-estar animal, a longevidade das vacas e a rentabilidade da fazenda. Dentre uma grande variedade de tipos de produção de leite por confinamento (*Figura 7*), como o *Compost Barn*, *Free Stahl*, *Tie-Stahl* e *Cross-Ventilation*, uma opção tem se destacado, o *Compost Barn* (Estábulo de Compostagem – *Figura 8*). Este sistema será apresentado neste trabalho. O mesmo já está presente em 22% das 100 maiores Fazendas produtoras de Leite no Brasil (Milkpoint 2017).

Figura 7– Sistemas de Confinamento para produção de Leite. Free Stahl, Tie Stahl e Cross Ventilation, se analisado da esquerda para direita



Fonte Ziehl-Abegg (2017)

Analisando um caso particular, a Fazenda “Granja 4 irmãos Agropecuária”, em menos de 1 ano, aumentou sua produção em 64% na média de litros/vaca/dia, além de uma redução de 61% nos casos de mastite clínica e 20% no número de colaboradores (Milkpoint 2018). De modo geral, sistema de confinamento visa primeiramente melhorar o conforto e bem-estar das vacas e, conseqüentemente, melhorar os índices de produtividade do rebanho.

- Modo de Funcionamento do sistema

Neste sistema, as vacas permanecem livres na área de descanso coletiva e podem se movimentar de forma confortável em uma superfície não abrasiva (não concretada). Adicionalmente, existe redução da necessidade de manejo de dejetos, os quais são incorporados a cama e podem ser posteriormente usados como adubo orgânico em culturas da própria fazenda. A *Figura 8* a seguir ilustra um clássico *Compost Barn* já pronto e operando. Posteriormente, ainda no projeto em questão, poderemos acompanhar uma visita técnica aplicada a fazenda Xandô em Colorado, onde foi aplicado este sistema com sucesso.

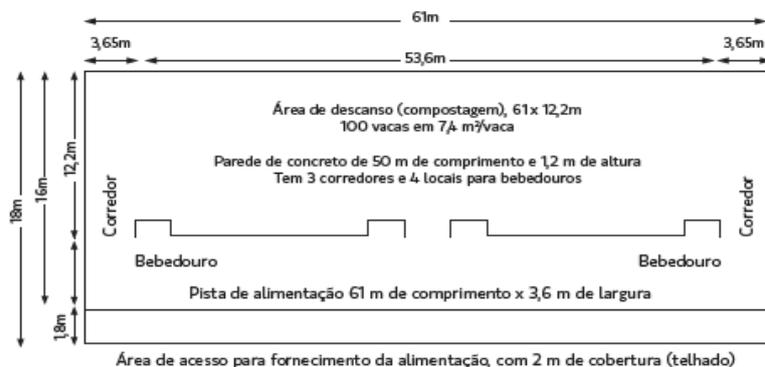
Figura 8 – Exemplo de um Compost Barn operando com sucesso



Fonte: Ziehl-Abegg (2017)

Fisicamente, o sistema de *Compost Barn* é formado por uma grande área de cama comum para as vacas (área de descanso coletiva coberta), geralmente composta por maravalha ou serragem, uma pista de alimentação e bebedouros. Entre a área de descanso e o corredor de alimentação ou cocho ($\sim 0,75$ m por vaca alojada), recomenda-se que seja feita uma separação com uma parede de cerca de 1,2 m para manter as condições da cama. A *Figura 9* ilustra melhor tal disposição. O nome deste sistema se deve ao fato de que na área da cama ocorre a compostagem entre o material da cama e a matéria orgânica de origem das fezes e urina das vacas.

Figura 9 – Esquema de um ” Compost Barn” para 100 vacas. Não projetado em escala.



Fonte: Endres, Marcia I, and Kevin A. Janni. "Compost bedded pack barns for dairy cows." Online. eXtension, Univ. of Nebraska-Lincoln, Lincoln, NE (2008).

Fonte: Santos (2015)

- Compostagem da cama

De uma maneira simplificada, temos o processo de compostagem ocorrendo quando há produção de dióxido de carbono (CO_2), água e calor a partir da fermentação aeróbia da matéria orgânica das fezes e cama. Um dos principais benefícios desta cama é a diminuição dos casos de mastite nas vacas, que será melhor explicado posteriormente. “No *Compost Barn*, as fezes e urina das vacas fornecem os nutrientes essenciais (carbono, nitrogênio, água) para que os microrganismos presentes na cama realizem o processo de compostagem. Um elemento fundamental para uma boa compostagem é o oxigênio, que é proveniente da aeração diária que deve ser realizada na cama durante o período que as vacas estão na ordenha. Desta forma, o sucesso da compostagem depende de: **a)** adequada oxigenação da cama (aeração), **b)** água, **c)** quantidade de matéria orgânica (cama), **d)** ventilação), **e)** atividade dos microrganismos, que produzem calor suficiente para secar o material e reduzir a população de microrganismos patogênicos. Para que esse processo ocorra, a temperatura interna (de cerca de 30 cm da superfície) da cama deve variar de 54 a 65°C na cama. A cama é composta por uma camada média de 30 cm de material orgânico, sendo que os mais utilizados são a serragem de madeira e a maravalha finamente picada. Outros materiais orgânicos também pode ser usados, mas recomenda-se cautela na escolha de alguns materiais que apresentam decomposição muito rápida ou de difícil decomposição, o que pode resultar em problemas durante a compostagem.

A reposição de novo material de cama somente é recomendada quando o cama apresenta elevada umidade, a qual aumenta o acúmulo de placas da cama na pele das vacas, quando estão deitadas. Em fazendas com o sistema de compostagem da cama em estabilidade, geralmente é feita adição de novo material da cama a cada 2 semanas e a retirada completa de todo o material em até uma vez ao ano. O bom desempenho do processo de compostagem depende do balanço de oxigênio, umidade e matéria orgânica da cama e das fezes, a qual é adicionada diariamente pela vacas, o que permite que a população de microrganismos tenha crescimento adequado e consequente degradação da matéria orgânica. Uma forma prática de monitorar se a atividade dos microrganismos está adequada é a medição da temperatura da cama a cerca de 30 cm de profundidade. Quando o sistema atinge a estabilidade, a temperatura média da cama nas camadas mais profundas pode atingir 54 a 65° C. Temperaturas abaixo desta faixa de variação indicam que o processo de compostagem está muito lento. Para facilitar a aeração e favorecer a compostagem, a cama deve ser revolvida pelo menos duas vezes ao dia (*Figura 10*), com o uso de trator com uma enxada rotativa, o que permite aerar a camada de cerca de 15-20 cm.

Este procedimento é realizado quando as vacas estão sendo ordenhadas, o que permite realizar a aeração sem a necessidade de manejo das vacas. A aeração da cama é essencial para incorporar oxigênio para a decomposição aeróbica da matéria orgânica, assim como permitir que a superfície que as vacas deitam esteja sempre limpa e sem acúmulo de fezes e urina. Um dos pontos críticos para o bom funcionamento do *Compost Carn* é a lotação, sendo recomendado em média 10 m²/vaca alojada (vacas Holandesas) e 8,5 m² para vacas Jersey. Lotações maiores podem causar acúmulo de esterco, aumento da umidade (ideal entre 50 e 60%) e dificuldades da compostagem, além de reduzir o conforto animal. Além da lotação, outro ponto crítico é a necessidade de uso de ventiladores para uma adequada ventilação, a qual, como em outros sistemas de confinamento, é fundamental para reduzir o estresse térmico (remoção do calor produzido pelas vacas e pela compostagem) e para diminuir a umidade do ambiente”. (INFORLEITE, 2015)

A manutenção da umidade da cama é também um fator crucial para o bom funcionamento do sistema. Sendo que a negligência do mesmo pode acarretar em compactação, aumento na concentração de bactérias e maior aderência da cama à pele dos animais (BLACK, 2013). “Os níveis de umidade reportados foram de 54,4 % para Barbeg et al. (2007), 63,4 % para Janni et al. (2007) e 56,1 % para Black et al. (2013). Também é comum encontrarmos valores de umidade entre 40 a 50 % em algumas fazendas, demonstrando bom controle de umidade da cama”. (BRITO, 2016)

Por fim, temos a avaliação do pH da cama. Se houver escassez de oxigênio, o pH poderá atingir valores inferiores 4,5, e, conseqüentemente limitar a atividade microbiana, retardando o processo de compostagem. Tal fato ocorre pois um dos produtos resultantes da decomposição anaeróbica da matéria orgânica são ácidos que se acumulam e diminuem o pH do meio. Esta alteração contribui para o crescimento de fungos e a decomposição da celulose e da lignina.”Nestes casos, deve-se remexer a cama para o pH voltar a subir, chegando a valores de 5,5 a 7,8 que está dentro do aceitável, limitando a perda de nitrogênio . (BRITO, 2016)

Figura 10 – Revolvimento da cama de compostagem



Fonte: Santos (2015)

- Ventilação

Este tema é o principal foco deste trabalho, portanto será melhor explorado posteriormente, de modo a analisarmos mais precisamente a eficiência e os benefícios que trazem ao *Compost Barn* uma ventilação com equipamentos de alta qualidade, como podemos ver na *Figura 11*. Porém neste item, será dado uma breve visão sobre o tema.

Dentro de um projeto de instalação do CB, a definição do tipo de ventilador a ser utilizado deverá ser o primeiro item a ser definido, para que se possa fazer o correto dimensionamento da cama e barracão de alojamento das vacas (Wells et al., 2004). Além disso, a escolha do local e a orientação da instalação do barracão também são fundamentais para maior aproveitamento da ventilação natural, principalmente no período mais quente do ano (Brouk et al., 2001). Além disso, a largura e altura de construção da parede lateral, aberturas de lanternin e beirais são necessários no sentido de melhorar a condição térmica dentro dos barracões.

Ventiladores devem ser instalados sobre a cama para auxiliar no processo de secagem da mesma, além de melhorar a circulação de gases da compostagem (CO_2 e O_2), controlando a temperatura do galpão e proporcionando conforto térmico às vacas. Outra função desta ventilação artificial é manter a superfície da cama fria, principalmente após o revolvimento diário da cama (Shane et al., 2010).

Para um sistema eficiente de ventilação, o mesmo deve se manter homogêneo ao longo de todo o galpão, de modo a evitar a aglomeração de animais em certas localidades, impedindo assim o excesso de fezes e urina nesses locais. Auxiliarmente a este sistema, pode ser projetado um sistema de aspersão de água (este tópico será melhor trabalhado nas páginas seguintes), de modo a amplificar a refrigeração das vacas. O modo de funcionamento dos ventiladores e aspersores ocorre de maneira individual para cada local onde se instala o sistema de CB. Esse funcionamento pode ser determinado manualmente ou através de sistemas de automatização através do uso de termostatos (Damasceno, 2012).

De modo geral, a ventilação tem um papel fundamental no funcionamento e manutenção de um *Compost Barn*. Além disso, ele atua em um fator crucial que todos os estilos de produção de leite enfrentam, o estresse térmico da vaca. Tal efeito desencadeia uma série de problemas atrelados a qualidade do leite e a produtividade das vacas.

Figura 11 – Aplicação de ventiladores no sistema Compost Barn- Fazenda Itororó MG



Fonte: produção do próprio autor (2018)

2.2.1 Benefícios gerais do *Compost Barn*:

Dentre todas as vantagens do sistema *Compost Barn*, podemos destacar algumas em potencial:

- **Melhoria de conforto animal:** Esta é uma das principais vantagens que tem se destacado entre os produtores que aplicaram este sistema, pois permite que a vaca tenha total liberdade e de

movimentação (deitar e se levantar), o que pode tornar a superfície bem confortável e relativamente seca. “Um estudo feito em sete rebanhos do estado de Minnesota concluiu que vacas alojadas em *Compost Barn* apresentaram uma redução de cerca de 50% de problemas de locomoção, em comparação com vacas em sistema do tipo free-stall” (Inforleite, 2015). O “*free-stall*” é atualmente o sistema de confinamento de bovinos mais aplicado no Brasil.

- **Aumento de detecção de cio:** Em consequência do benefício mencionado logo acima (conforto e locomoção), o mesmo estudo indicou que vacas alojadas em um sistema *Compost Barn* apresentam maior taxa de cio e aumento das taxas de prenhez, se comparado com as vacas alojadas em Free Stahl.

- **Redução de ocorrência de Mastite:** A Mastite é uma doença causada por microorganismos (geralmente bactérias) e se caracteriza pela inflamação das glândulas mamárias das vacas. Sua origem ou transmissão geralmente é ocasionada por mal uso de máquinas de ordenha, falta de higiene local ou do profissional da área. Atualmente, a doença é a principal causa de prejuízos na produção de leite. Em sistemas CB bem manejados, é esperado que ocorra melhorias nas condições de limpeza da vaca. Tal fato aliado à melhoria do conforto e redução do estresse térmico, poderia explicar melhor a redução na incidência de mastite clínica e CCS (próximo item).

Deve-se ressaltar que o ambiente da cama do *Compost Barn* é altamente contaminada pela elevada quantidade de matéria orgânica e microrganismos, no entanto, visualmente, as vacas apresentam pouca matéria orgânica aderida aos tetos e úbere, o que evita a necessidade de uso de água para lavagem dos tetos. Desta forma, é fundamental para a prevenção de mastite ambiental que a fazenda tenha uma rotina completa de preparação da vaca antes da ordenha, com destaque para a necessidade de realizar a desinfecção dos tetos antes da ordenha (pré-dipping) e secagem completa dos tetos. Além da realização do pré-dipping, é recomendável implantar um protocolo de vacinação contra mastite causada por coliformes, o que pode ser feito com o uso da vacina J5. (INFORLEITE 2015).

- **Redução do CCS:** O termo CCS significa “Contagem de Células Somáticas”. As células somáticas são células de defesa, ou seja, quanto maior o número verificado no leite, significa que a vaca foi mais atacada por microrganismos e teve que produzir essas células para combatê-los. De modo que a quantidade de CCS no leite está, assim como a mastite, diretamente atrelada

a higiene do local e do modo de ordenha. Quanto menor o número de Células Somáticas no leite, melhor será a qualidade do mesmo. Um estudo recente realizado no estado do Kentucky, EUA, concluiu que após a implantação do *Compost Barn* houve redução da CCS média do tanque em relação ao ano anterior em nove rebanhos estudados: 324 mil cel/ml (antes) e 253 mil cel/ml (depois). (INFORLEITE 2015).

- **Diminuição do estresse térmico da vaca:** Este é possivelmente o maior benefício do sistema *Compost Barn*. Neste item, será apresentado as consequências na produção de leite do efeito do estresse calórico nas vacas durante a lactação. As informações a seguir tiveram como fonte um artigo (“Efeito do estresse calórico no desempenho e na produção das vacas de leite”) escrito por Alexandre Scarpa, consultor técnico na área de Produção de Leite da Scarpa Consultoria e técnico de Leite Alta.

O termo estresse pode ser aplicado a qualquer mudança no comportamento de um animal. Na pecuária de leite, a homeostasia, ou, melhor dizendo, a estabilidade da qual o organismo necessita para realizar suas funções adequadamente para o equilíbrio do corpo, tem sido muito estudada. Qualquer mudança ambiental ou na rotina pode alterar totalmente o equilíbrio de uma vaca em lactação. Se ela sai da zona de conforto térmico, por exemplo, importantes aspectos podem ser afetados, como a produção e a reprodução.

O gasto calórico de um animal eleva-se substancialmente quando a produção de leite aumenta. Raças especializadas em produção de leite, como a holandesa, demandam maior consumo de matéria seca e, conseqüentemente, aumentam o metabolismo, gerando mais calor. Infelizmente, esses animais são pouco eficientes em evitar a elevação da temperatura corporal (hipertemia), ou seja, têm pouca capacidade de resfriamento evaporativo (capacidade de suar), sendo muito dependentes do aumento da frequência respiratória. Os fatores que mais contribuem para a dificuldade em dissipação de calor pelo animal são a temperatura do ambiente e sua umidade. Por isso, para avaliar a influência da variação do ambiente no conforto dos animais, foi criado o índice de temperatura e umidade (THI – *Figura 12*), uma ferramenta que mensura o nível de estresse térmico das vacas de leite, o qual correlaciona as duas características; quanto maior o número encontrado na tabela, maior o desconforto animal.

Figura 12 – Tabela de THI em bovinos

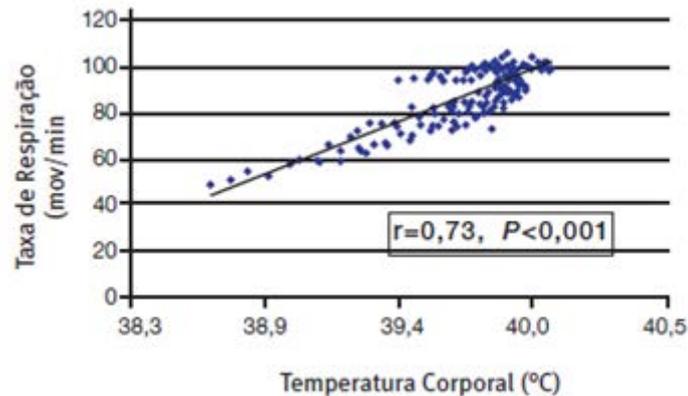
THI	UMIDADE RELATIVA DO AR (%)																				
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
22.0	64	65	65	65	66	66	67	67	67	68	68	69	69	69	70	70	70	71	71	72	72
23.0	65	65	66	66	66	67	67	68	68	68	69	69	70	70	71	71	71	72	72	73	73
23.5	65	66	66	67	67	67	68	68	69	69	70	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74
24.0	66	66	67	67	68	68	68	69	69	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75
24.5	66	67	67	68	68	69	69	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76
25.0	67	67	68	68	69	69	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77
25.5	67	68	68	69	69	70	70	71	71	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	77	78
26.0	67	68	69	69	70	70	71	71	72	73	73	74	74	75	76	76	77	77	78	78	79
26.5	68	69	69	70	70	71	72	72	73	73	74	75	75	76	76	77	78	78	79	79	80
27.0	68	69	70	70	71	72	72	73	73	74	75	75	76	77	77	78	78	79	80	80	81
28.0	69	69	70	71	71	72	73	73	74	75	75	76	77	77	78	79	79	80	81	81	82
28.5	69	70	71	71	72	73	73	74	75	75	76	77	78	78	79	80	80	81	82	82	83
29.0	70	70	71	72	73	73	74	75	75	76	77	78	78	79	80	80	82	82	83	83	84
29.5	70	71	72	72	73	74	75	75	76	77	78	78	79	80	81	81	82	83	84	84	85
30.0	71	71	72	73	74	74	75	76	77	78	78	79	80	81	81	82	83	84	84	85	86
30.5	71	72	73	73	74	75	76	77	77	78	79	80	81	81	82	83	84	85	85	86	87
31.0	72	72	73	74	75	76	76	77	78	79	80	81	81	82	83	84	85	86	86	87	88
31.5	72	73	74	75	75	76	77	78	79	80	80	81	82	83	84	85	86	86	87	88	89

Fonte: Scarpa (2017)

- Principais alterações em vacas com estresse térmico

Em horários mais quentes do dia, a primeira alteração no comportamento do animal é se levantar para facilitar a troca de calor. De forma complementar, o animal aumenta a frequência respiratória, que fica com a respiração ofegante, boca aberta e língua para fora, na tentativa de trocar calor com o ambiente. Em consequência destes comportamentos, o animal aumenta a frequência respiratória para mais de 80 movimentos por minuto (observar se em 70% dos animais do lote ocorre essa alteração); diminui a produção de leite de 10% a 20%; a temperatura retal ultrapassa os 39,0°C (importante saber não somente se atinge 39 graus, mas também observar por quanto tempo – por mais de 16 horas seguidas torna-se muito preocupante); reduz pelo menos 10% a 15% na ingestão de alimentos e aumenta o consumo de água. O gráfico a seguir (*Figura 13*) representa a Taxa de Respiração e Temperatura Corporal dos animais.

Figura 13 - Relação Taxa de Respiração e Temperatura Corporal dos animais



Fonte: Bailey (2015)

O monitoramento da temperatura corporal não exige um termômetro ou um dispositivo de gravação de dados. O gráfico indica que a temperatura corporal e taxas de respiração estão altamente correlacionados, ou seja, com o aumento da temperatura corporal a taxa de respiração aumenta proporcionalmente. Você pode monitorar a taxa de respiração, observando o movimento do flanco da vaca durante a respiração. Você pode observar as narinas da vaca para inalação e exalação. Se as vacas estão respirando com a boca aberta, você pode observar o movimento das bochechas. (BAILEY, 2015)

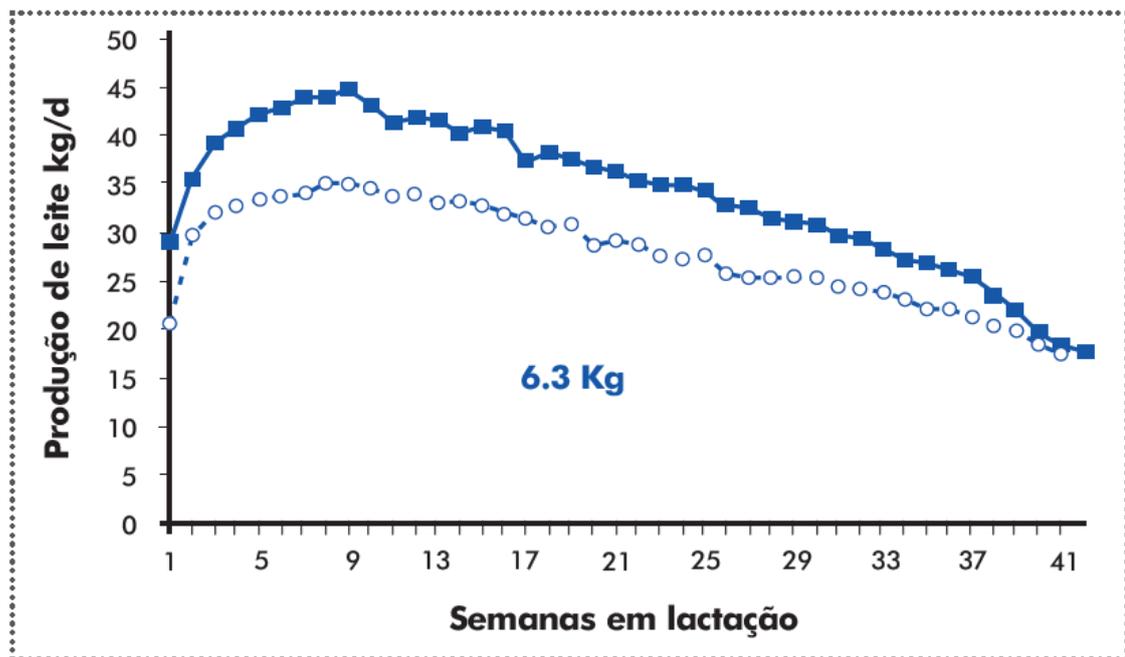
Efeitos do estresse térmico: As perdas econômicas médias anuais na indústria de leite como resultado do estresse térmico foram relatados em \$897 milhões somente nos Estados Unidos (St-Pierre, Cobanov, & Schnitkey, 2003). Dentre a gama de efeitos nutricionais que a vaca sofre devido ao estresse calórico, estão os mais comuns a queda no consumo de alimentos, eficiência alimentar e a queda na taxa de acidose ruminal.

O mecanismo alimentar pelo qual o estresse térmico impacta a produção de vacas leiteiras pode ser explicado parcialmente pela redução na Ingestão de Matéria Seca (IMS), em torno de 45%. Pesquisadores já publicaram que onde fixaram a mesma ingestão de matéria seca para grupos estressados termicamente e grupo sem estresse a produção de leite foi maior no grupo sem estresse, mostrando que outras alterações fisiológicas, e não somente a queda na IMS, interferem na queda da produção de leite dos animais em estresse térmico

A queda da taxa de acidose ruminal ocorreria devido a perda de bicarbonato na baba do animal, elemento crucial para a acidose ruminal. Adicionalmente, o animal também ruma menos, em consequência da menor taxa de ingestão de alimento.

Em um estudo realizado pela Scarpa Consultoria, resultou em um aumento de mais de 6 Kg/dia de leite em vacas que foram resfriadas no período de pré-parto, em relação as vacas não resfriadas, colocada no mesmo manejo após o parto. A *Figura 14* abaixo ilustra tal resultado.

Figura 14- Estudo realizado em vacas no período do pré-parto



Fonte: Scarpa (2017)

Durante o período de transição, as vacas em estresse térmico tendem a ter o tempo de gestação mais curto em quase 10 dias em relação a vacas sem estresse térmico, além de retenção de placenta bem maior (chegando ao dobro em algumas fazendas).

A performance reprodutiva de um rebanho leiteiro é mensurável, principalmente pela taxa de prenhez, calculada por meio de outras duas taxas: a de concepção e a de serviço. O estresse térmico pode interferir em todas elas. Na taxa de serviço, devido à vaca em estresse térmico demonstrar menos cio (20 horas de cio animais em conforto contra 11 a 14 horas em animais em estresse térmico), a dificuldade de detecção de estro acontece porque o calor reduz tanto a duração do estro como o número de monta. São vacas menos ativas, menos dispostas a

montar. Na taxa de concepção, os rebanhos tendem a ter quedas de 30% até 50% dos índices em épocas mais frescas do ano. O principal fator que afetaria a concepção seria a mortalidade precoce do embrião, pois vacas expostas a estresse térmico tipicamente apresentam elevação da temperatura corporal, que passa a ser alta o bastante para danificar diretamente o oócito ou matar o embrião. Além disso, os níveis séricos de progesterona, hormônio responsável pela manutenção da prenhez, podem estar reduzidos em vacas submetidas ao estresse térmico.

Como defendido neste capítulo, é imprescindível para uma produção eficiente e com qualidade de leite, e em qualquer sistema de confinamento, que os efeitos do estresse térmico sejam controlados. A *Figura 15* a seguir reúne as principais consequências do estresse calórico e seus impactos fisiológicos no animal.

Figura 15 – Consequências e impactos fisiológicos do estresse térmico em bovinos

CONSEQUÊNCIA DO STRESS TÉRMICO	IMPACTO FISIOLÓGICO
Decréscimo de IMS: 6 a 30%	- 894 kg/vaca/ano
Decréscimo de produção de leite: 15 a 20%	- 1.803 kg/vaca/ano
Decréscimo na eficiência reprodutiva: 40 a 50%	+ 59.2 dias intervalo parto – concepção + 7.99 de descarte devido a problemas reprodutivos
Aumento de mortalidade Aumento nas incidências e severidade de mastites	+ 1.72% mortalidade

Fonte:: Scarpa (2017)

2.2.2 Refrigeração do *Compost Barn*

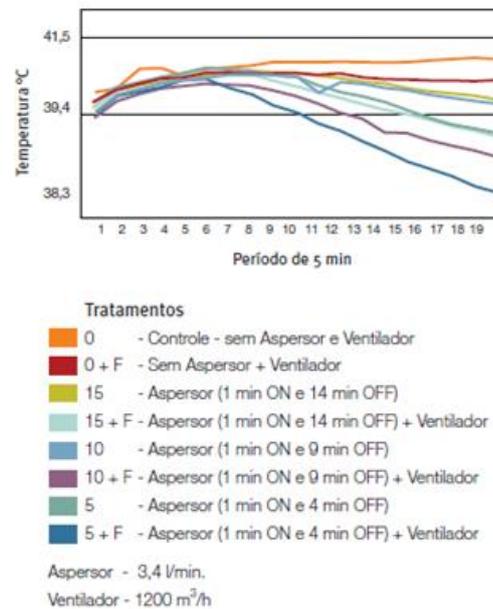
De modo a se ter uma boa redução do calor ou resfriamento da vaca, evitando assim o estresse térmico da mesma, há dois pontos cruciais que merecem especial atenção: os sistemas de aspersão de água e ventilação (além da presença de sombra, porém isso já está implícito com a presença de galpões no método CB). Ambos se complementam e atuam diretamente na troca de calor da vaca com o meio ambiente. Afim de nos familiarizarmos com os dois temas, este capítulo mostra algumas informações retiradas do manual “Mecanismos de Combate ao

Estresse Calórico “ de Tom Bailey, DVM, MS, ACT Unidade de Negócios Leite – Empresa Elanco. O manual se refere ao sistema de confinamento Free Stahl, porém o mesmo pode ser considerado para o sistema estudado *Compost Barn* em termos de refrigeração.

Aqui, se terá informações como dimensionamento e montagem, de forma eficaz e eficiente, de todo um sistema de refrigeração que pode ser aplicado a um *Compost Barn*. Já que ventilação é o foco deste trabalho, o mesmo irá se aprofundar no tema, com o objetivo e mostrar todas as informações e cálculos referentes a ventilação, além de exemplificar com um estudo de caso um ventilador que está entrando no mercado com uma proposta de inovadora, o ventilador Farm Fan da empresa Ziehl- Abegg.

A *Figura 16* a seguir mostra o efeito dos dois sistemas aplicados juntos e separados, e suas respectivas eficiências. Note que se aplicados separadamente, não possuem resultados significativos. Porém se aplicados em conjunto, podem diminuir a temperatura corporal do animal em cerca de 1 °C . Observe que leva de 30 a 45 minutos para começar a reduzir a temperatura do corpo com a velocidade do vento e aspersão adequadas. O uso de ventiladores acima de (7,2 km/h) e água é o método mais eficiente de resfriamento. É interessante notar que a água sem a presença dos ventiladores gera aumento da umidade e estresse calórico devido ao efeito “sauna”.

Figura 16 – Efeito do sistema de refrigeração na temperatura corporal da vaca



Fonte: Bailey (2015)

- Sistema de Aspersão

Aspersão de água: O intuito deste sistema é molhar o dorso da vaca e depois parar para permitir que a água evapore antes de um novo ciclo. O resfriamento evaporativo ocorre quando se molha a pele das vacas com aspersores de baixa pressão e que geram gotas grandes. O tempo que o aspersor ficará ligado depende da vazão de água pelo bico, enquanto o tempo que o aspersor ficará desligado (ciclo) depende da temperatura e umidade. Em ambientes úmidos deve-se regular o termostato para começar mais cedo (com menor temperatura) e usar ciclos de aspersão mais frequentes. É interessante notar que todo este sistema pode ser automatizado com caixas de controle que possuem um modo “Inteligente”, que automaticamente diminui o intervalo de tempo entre a frequência de aspersão de acordo com o aumento da temperatura ambiente a partir de 21°C.

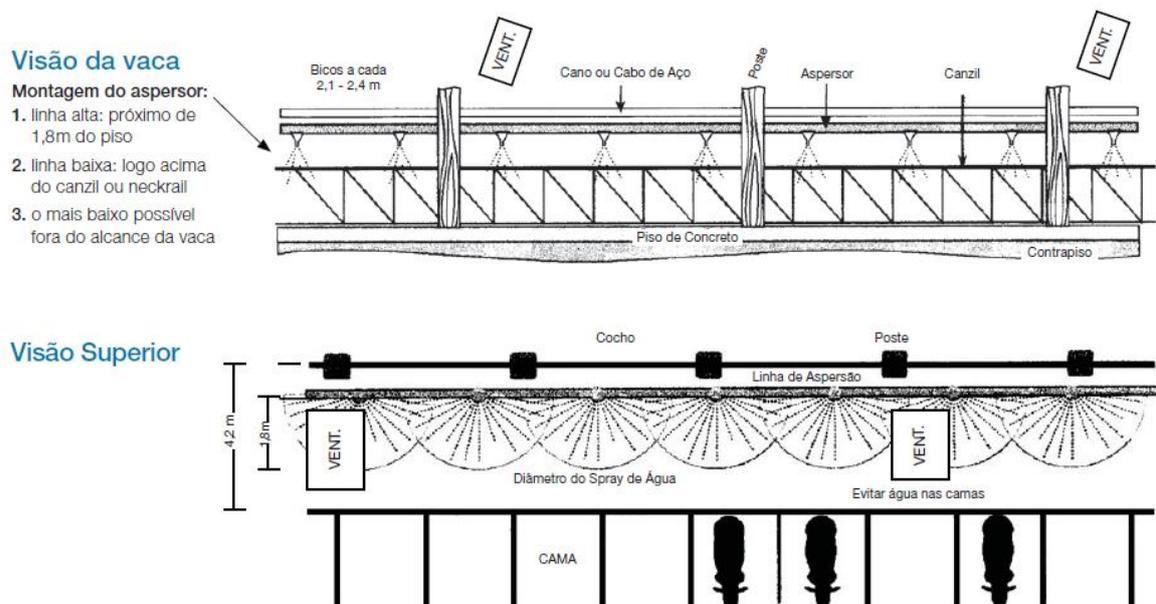
- **Aspersores na linha de cocho:** Os bicos destes aspersores devem liberar entre 1,9 a 3,8 litros por minuto (em torno de 1,0 litro por vaca por ciclo). A frequência de ciclos de aspersão depende diretamente da temperatura ambiente naquele momento, podendo variar ao longo do dia. Geralmente, temos os ciclos:
- 21°C = 1 a 2 minutos a cada 15 minutos, reduzir o intervalo de ciclo de acordo com o aumento da temperatura ambiente.

- 29,5 °C = 1 a 2 minutos a cada 6 minutos.

Em relação a montagem dos mesmos, temos que o espaçamento depende da vazão dos bicos, e se a tubulação requerir diâmetro pequeno (1” - polegada) pode ser suportado por cabo, se não, será necessário o uso de cantoneiras.

Apresentado na *Figura 17* mostra o dimensionamento de aspersores nas linhas de cocho, conforme descrito no manual descrito pela Empresa Elanco. Enquanto a *Figura 18* ilustra a aplicação de um aspersor em um sistema de confinamento de vacas para produção de leite.

Figura 17 – Esquemática de um sistema de aspersão de água em um sistema de confinamento de vacas Free- stahl



⁴Harner et al., 1999. Sistemas de Aspersão para resfriamento de vacas. Extension MF2401, Kansas State Extension Publication

Fonte:: Bailey (2015)

Figura 18 – Sistema de aspersão e resultado da refrigeração na vaca



Fonte: Bailey (2015)

- Sistema de Ventilação

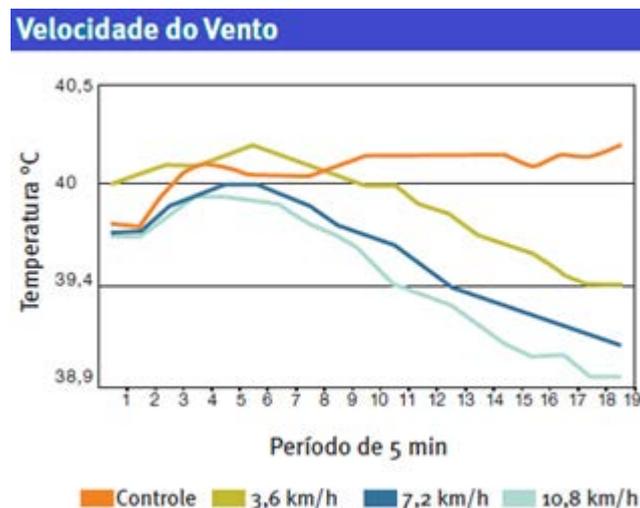
Como se trata de um item fundamental para o bom funcionamento do sistema, é importante saber medir e monitorar a velocidade do vento (aparelho termo anemômetro) e não somente confiar nas recomendações dos fabricantes (Black et al., 2013). Evidência de ventilação inadequada inclui aglomeração de animais em determinada área do barracão, vacas ficam em pé por tempo acima do normal, presença de odores desagradáveis no interior do barracão e alta umidade da cama (Damasceno, 2012). Pouca ventilação ou excesso de ventilação no período frio do ano podem trazer também problemas respiratórios nos animais (Wells et. al., 2004).

Recentes pesquisas resultaram que os ventiladores mais eficazes no resfriamento das vacas são aqueles com capacidade de produzir vento com velocidade superior a 7,2km/h(ou 2m/s) sob as camas de compostagem ou linhas de cocho. Em um sistema de confinamento para produção de leite os ventiladores devem começar a funcionar a partir de 18 e 21°C de forma contínua, a uma altura mínima de 2,4 metros, ou a mais baixa possível fora do alcance de máquinas ou animais.

O recomendado para as camas e linhas de cocho é a utilização de ventiladores com cerca de 0,9 m (de diâmetro) espaçados de 6 a 7 metros de intervalo. O ângulo de montagem deve ser de 15 a 30 graus, na direção dos ventos predominantes, com a finalidade de aumentar a eficiência do sistema. O intervalo de vazão necessária sobre cama (para suficiente secagem) ou

linha de cocho (para conforto térmico) é de 1.360 a 1.530 m³/h por canzil ou vaca, sendo que a vazão média dos ventiladores de 0,9 m de diâmetro varia entre 10.800 a 22.000 m³/h (o ventilador Farm Fan que será estudado pode chegar a quase 25.000 m³/h, dependendo das condições de instalação). O gráfico a seguir (*Figura 19*) mostra o resfriamento das vacas medido pela temperatura vaginal em diversas velocidades de vento usando aspersores a cada 5 minutos. Note que quanto maior a velocidade do vento, mais eficaz é a troca de calor do animal com o meio ambiente. Com velocidades acima de 7,2km/h e aspersão de 700ml a 1L, a temperatura corporal pode ser diminuída em apenas aproximadamente 90 minutos (condições ótimas de resfriamento).

Figura 19 – Resfriamento do Vento em Vacas leiteiras



Fonte: Bailey (2015)

2.2.3 Compost Barn em Túnel de Vento

Há sistemas de ventilação que vão além do que já foi apresentado. São os chamados “*Compost Barn em túnel de vento*”. Este permite melhor controle do ambiente, em especial da temperatura, com menor gasto de energia. O princípio de funcionamento é o mesmo de um CB comum, porém com exaustores em uma das extremidades e placas evaporativas na outra (*Figura 20*).

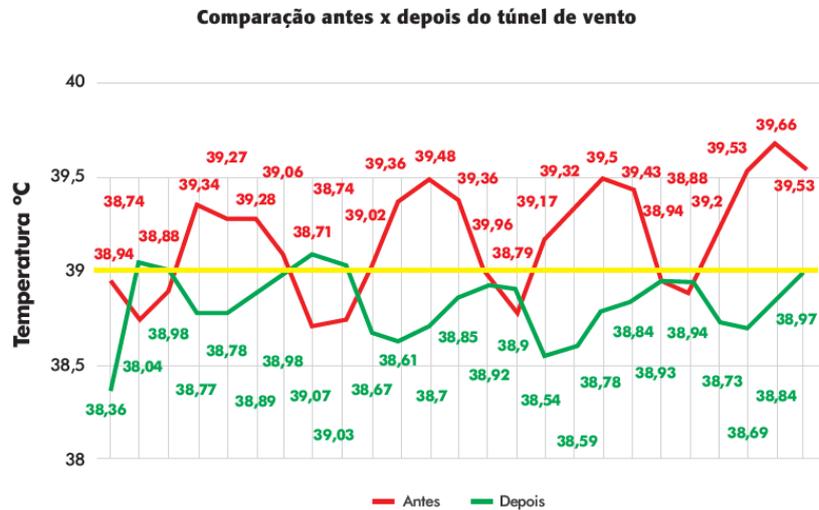
Figura 20 – *Compost Barn* em Túnel de Vento – Fazenda Moreira.



Fonte: Paula (2017)

Estudo na Fazenda Joinha: Este estudo foi publicado no artigo "Efeito do estresse calórico no desempenho e na produção das vacas de leite" por Alexandre Scarpa, técnico de Leite Alta e Tiago Ferreira, gerente Técnico de Leite. Localizada em Tupaciguara, no Triângulo Mineiro, a Fazenda Joinha produz, hoje, cerca de 4.500 litros de leite por dia, com 180 vacas em lactação da raça Girolando. No final de 2017, técnicos da Alta fizeram um estudo para avaliar o estresse térmico das vacas e o efeito da instalação de um túnel de vento para melhorar o conforto animal e, também, a produção de leite. Com termômetros intravaginais, que monitoram e registram continuamente a temperatura corpórea, foram medidas 26 fêmeas, antes e depois da instalação do túnel. No mesmo ambiente do túnel de vento, foram monitoradas temperaturas retais acima de 39°C, principalmente após a ordenha (*Figura 21*). Sem a implantação do sistema de túnel de vento, a porcentagem de tempo em que os animais ficaram com temperatura maior ou igual a 39°C (antes do túnel de vento) era cerca de 64%. Após a instalação do sistema, este mesmo número caiu para 36%. Tal estudo demonstra a expressiva participação que um sistema de ventilação e refrigeração adequada possui na produtividade de um sistema de produção leiteiro.

Figura 21 – Resultados do estudo na Fazenda Joinha



Fonte: Scarpa (2017)

Se afastando um pouco de sistemas de confinamento para produção de leite e se aproximando mais em assuntos de ventilação, de modo a atribuir ao projeto uma maior veracidade e sustentação, será apresentado um estudo completo de ventilação para aplicação em questão, apresentando a teoria envolvida na transferência de calor e dimensionamento do sistema de ventilação em bovinos e os tipos de ventiladores, com seus respectivos sistemas de transmissão e motores, presentes no mercado.

2.3 PROCESSOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR

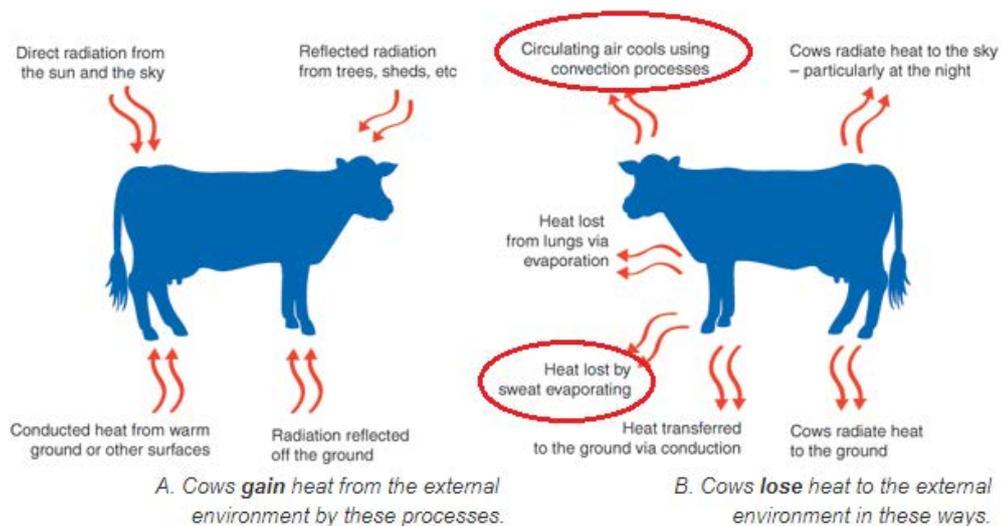
Em se tratando da transferência de calor da vaca com o meio ambiente, existem basicamente quatro tipos de processos: radiação, condução, convecção e evaporação. Ao longo deste estudo, será apresentado a natureza de cada um destes processos. De modo simplificado, a causa da transferência de calor se dá pelo gradiente de temperatura existente entre o animal e o ambiente externo. Quando a temperatura do ar é maior do que a temperatura da vaca, o calor flui da vaca ao meio, diminuindo sua temperatura corporal. De forma análoga, o contrário

também é verdadeiro. Quanto maior este gradiente, mais rapidamente será a transferência do calor envolvido.

A transferência de calor é um processo contínuo, havendo picos durante o decorrer do dia. Por razões já exemplificadas, o excesso de calor pode causar efeitos no metabolismo no animal, afetando como por exemplo, a produção de leite. A *Figura 22* a seguir nos mostra os ganhos e perdas de calor da vaca ao longo do dia. Em se tratando de ganho de calor por meios externos, temos: a) Radiação Direta do sol; b) Radiação refletida do meio ambiente (de outras vacas ou do galpão por exemplo); c) Condução do solo ou outra superfície mais quente; d) Radiação refletida do solo. O calor ganho pode ser expresso por “calor ganho = massa x calor específico x delta de temperatura”.

Para perdas de calor, temos basicamente: a) Radiação da vaca para o ambiente (particularmente a noite); b) Perda de calor pelo pulmões via evaporação; c) Transferência de calor para o solo mais frio via condução; d) Vaca irradia calor para o solo; e) Processo de Convecção através de ar circulante mais frio; f) Perda de calor por suor evaporativo. Destas todas formas de se perder calor com o ambiente externo, iremos dar atenção especial aos dois últimos citados, pois este são responsáveis por cerca de 85% de todo calor perdido (Kadzere, 2002). Adicionalmente, são os dois pontos onde são diretamente beneficiados pela refrigeração de um sistema *Compost Barn*, tema do projeto em questão.

Figura 22 – Formas de transferência de calor da vaca com o meio ambiente



Fonte: CoolCows (2018)

- Radiação

É a emissão de calor absorvida e transmitida da vaca diretamente do sol ou por suas re-irradiações do solo quente, cercas, edifícios etc. A quantidade de calor radiante absorvida por um objeto depende não só da temperatura do objeto, mas também da sua cor e textura, com superfícies escuras irradiando e absorvendo mais calor do que superfícies de cores claras na mesma temperatura. Um animal com pelagem preta terá, portanto, uma absorvância de 1; enquanto, um branco-revestido terá uma absorvância de 0,37 e um com pêlo vermelho tem uma absorvância de 0,65 (Cena e Monteith, 1975). Dmi'el et al. (1979) descobriram que a radiação solar direta desencadeou a transpiração em cabras beduínas negras. Além disso, Dmi'el et al. (1980) relataram que a cor preta das cabras beduínas era uma vantagem durante as manhãs frias do inverno do deserto. A cor da pelagem permite que a cabra explore o calor radiante na manutenção da temperatura corporal que, de outra forma, teria de ser mantida pela energia metabólica durante uma estação em que a pastagem é escassa. A desvantagem da cor da pelagem negra durante os meses quentes de verão é aliviada pelas propriedades isolantes do cabelo, bem como por outras adaptações fisiológicas para manter o equilíbrio da água. (KADZERE, 2002).

A transferência de calor radiante entre corpos ocorre em ambas as direções, e se os corpos estão em temperaturas diferentes, há uma transferência líquida de calor do aquecedor para o corpo mais frio. Esta transferência de calor líquida envolve a perda ou ganho de calor pelo animal através da absorção ou emissão de radiação infravermelha. Esmay (1969) expressou a taxa líquida de transferência de calor radiante (q_r) de uma superfície em T_1 para outra superfície em T_2 como a Equação (1) a seguir:

$$q_r = \delta A_1 F_A F_E (T_1^4 - T_2^4) \quad (1)$$

onde q_r é a taxa de transferência de calor radiante; δ é uma constante; A_1 é a área da superfície em cm; F_e e F_a são fatores adimensionais para explicar as características de emissão e absorção das duas superfícies; T_1 e T_2 são as temperaturas das superfícies em graus Celsius.

A Equação (2) pode ser reescrita para incluir o valor numérico da constante de Stephan-Boltzmann como segue:

$$q_r = 0.173A_1F_A F_E [(T_1/100)^4 - (T_2/100)^4]. \quad (2)$$

Em experimentos utilizando cargas de calor radiante artificial, Stewart e Brody (1954) e Kibler e Brody (1954^a) descobriram que as vacas não respondiam à radiação a uma temperatura ambiente de 7,28°C. No entanto, nas temperaturas de 21,1 e 26,7 8°C, as vacas Jersey tiveram uma taxa média de produção de calor de 12 a 14% menor com a carga máxima de radiação. Por outro lado, as vacas Holandesas apresentaram reduções na produção de calor de 26% a 21,18°C e de 9% a 26,78°C. Nos mesmos experimentos, Stewart e Brody (1954) e Kibler e Brody (1954^a, b) descobriram que as vacas Brahman mostraram pouca resposta à radiação no que diz respeito à produção de calor. Os autores concluíram que a falta de resposta das vacas Brahman foi devido à sua baixa taxa de produção de calor; portanto, sua exigência de dissipação de calor não era mais do que a metade da camisaria de lactação e Holstein. (KADZERE, 2002).

- **Condução**

O fluxo de calor entre dois meios ou corpos em contato direto é descrito como troca condutora de calor. Para o gado leiteiro, a troca condutora de calor seria entre o animal e qualquer outro meio, sólido ou não, com o qual o animal possa estar em contato direto. O fluxo de calor por condução depende da diferença de temperatura, da condutância (ou inversamente resistividade) do meio, e a área de contato . Esmay (1969) relatou uma relação proporcional entre o volume densidade de materiais e sua condutividade, quanto mais denso for o material, maior será a condutividade ou, inversamente, menor será a resistência ao fluxo de calor. A transferência de calor condutivo foi descrita por Yousef (1985) na Equação (3) de difusão simples como:

$$K = Ah_c(t_s - t_a) \quad (3)$$

onde K é troca de calor condutiva; A é área de superfície; h é a condutividade térmica do material em contato com a pele; t_s é a temperatura média da pele; t_a é a temperatura do ar.

Para a vaca leiteira de alta produção, é importante saber que a magnitude da transferência de calor condutivo depende da natureza do material em contato com a pele, em particular a sua condutividade térmica. Para aliviar o estresse térmico, a utilização de materiais de cama com alta condutância pode facilitar o resfriamento dos animais. A partir de experimentos com diferentes materiais de cama (aparas de madeira, areia, papel picado de calcário moído e tapetes de borracha), Cummins (1998) descobriu que as vacas tinham maior preferência por calcário moído que tinha a menor temperatura de 25,9°C a 25 mm abaixo da superfície. Isso ressalta a importância da seleção do material de cama como parte das estratégias de redução do estresse térmico. No animal em pé, a perda de calor condutiva é mínima devido à presença de uma camada de ar contra a pele, o que significa que a maior parte da transferência de calor do animal ocorre para o ar, e o ar tem uma condutividade térmica fraca (Yousef, 1985).

Além disso, em um animal em pé, a transferência de calor para o solo ocorre somente através dos pés com uma área muito pequena de contato e, nas vacas, a distância entre os vasos sanguíneos e a superfície é muito maior nos pés do que em a pele. Por outro lado, um animal deitado em uma superfície úmida e fresca terá maior transferência de calor condutivo, dependendo da condutância térmica do substrato, bem como do gradiente de temperatura e magnitude da área de contato em relação à área total da superfície (Eq. 3). Se a temperatura do ar ou a temperatura do solo em que o animal está deitado for maior que a temperatura da pele, então o animal ganhará calor por condução, aumentando a carga metabólica de calor. (KADZERE, 2002).

- **Convecção**

Quando o ar frio entra em contato com um corpo quente, uma camada de ar ao redor da superfície do corpo é aquecida e se eleva afastando-se do corpo, levando consigo o calor e, assim, resfriando o corpo através do processo de convecção. Pelo contrário, se a temperatura do ar for maior que a temperatura da pele, o movimento do ar promoverá o movimento do calor para o animal até que a temperatura do ar seja igual à temperatura da pele quando cessar a transferência de calor. A transferência de calor durante a respiração é uma forma de transferência de calor por convecção. O ar inspirado é ajustado à temperatura corporal quando chega à traqueia (Yousef, 1985). A velocidade do movimento do ar afeta a taxa de convecção e qualquer coisa que resista ao movimento do ar, como pêlo no gado, diminuirá a taxa de

transferência de calor por convecção. A taxa de troca convectiva de calor é descrita por ASHRAE (1966) pela Equação (4) a seguir:

$$q_{ev} = hA_{ev}V^n(t_s - t_a) \quad (4)$$

onde q_{ev} é perda de calor convectiva; h é o coeficiente de transferência de calor; A_{ev} é a área de superfície convectiva efetiva; V^n é a velocidade do ar para algum expoente; $t_s - t_a$ é a diferença entre a temperatura da superfície do animal e a temperatura do ar ambiente.

Esmay (1969) incluiu o fator velocidade no coeficiente convectivo, junto com muitos outros fatores físicos na Equação (5):

$$q_{ev} = h_{ev}A(t_1 - t_2). \quad (5)$$

Relacionamentos físicos detalhados na convecção como um meio de transferência de calor entre um animal e seu ambiente são descritos por Esmay (1969).

- **Estudo da influência da direção e velocidade do fluxo de vento na transferência de calor convectivo**

O estudo de Wang (2018), realizado pela Universidade de Aarhus, Dinamarca, e pela Universidade de Wisconsin-Madison, Estados Unidos, estudou a influência da direção e velocidade do fluxo de vento na transferência de calor convectivo. Para se obter uma melhor compreensão dos principais fatores envolvidos na transferência de calor do processo (isto é, a postura da vaca e a magnitude e direção do fluxo de ar), investigações numéricas foram conduzidas durante o curso deste estudo em questão. Aplicando um método computacional de modelagem de dinâmica de fluidos (*CFD* – “*computational fluid dynamics*”), um túnel de vento virtual e modelos que representam uma vaca em pé e uma vaca reclinada foram simulados e analisados.

O Modelo de turbulência de transporte de tensão de cisalhamento (SST) $k - \omega$ foi adotado, e foi mostrado que usando um método *CFD* para analisar dados de transferência de calor gerados por esta configuração podem produzir resultados precisos e suportar seguintes conclusões: 1) a velocidade do fluxo de ar tem um forte efeito positivo sobre o coeficiente de

transferência de calor convectivo associado a ambas as posturas; 2) a direção do fluxo de ar afeta o coeficiente de transferência de calor convectivo, com o maior coeficiente ocorrendo no caso de fluxo cruzado e o menor no caso de fluxo vertical; 3) o efeito da postura no coeficiente de transferência de calor convectivo em um fluxo de ar horizontal é limitado, enquanto que o efeito em um fluxo de ar vertical é relativamente significativo.

No entanto, a taxa na qual o calor se dissipa de uma vaca em pé é maior do que de vaca reclinada, uma vez que uma vaca em pé tem mais área de superfície em contato com o ar. Com base nessas conclusões, recomenda-se que, para resfriar as vacas em condições de calor, o fluxo de ar na zona ocupada pelo animal seja aumentado e que o uso de um fluxo de ar horizontal para atingir a zona ocupada do animal seja incentivado sempre que possível, como por exemplo em um *Compost Barn* em túnel de vento.

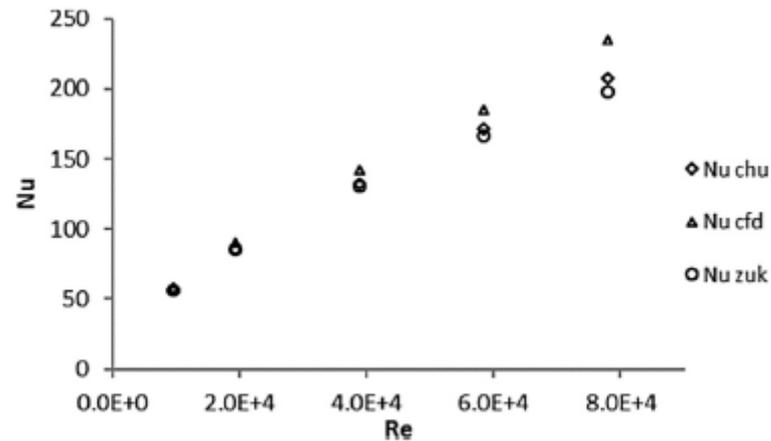
O coeficiente de transferência de calor convectivo (h_c) serve como um importante indicador ao avaliar o transporte de calor de via convecção natural e forçada. Para generalizar ainda mais, o número de Nusselt ($N_u = h_c l / k$), onde l é a característica comprimento do objeto, k é a condutividade térmica do ar, $W m^{-1} K^{-1}$) é definida como a proporção de calor convectivo para calor condutivo transferido através do limite do corpo exposto da vaca, relação que pode ser expressa em termos do Número Reynolds ($Re = ul/v$), onde u é a velocidade de fluxo de ar, $m s^{-1}$; v é a viscosidade cinemática, $m^2 s^{-1}$) com uma função exponencial para convecção forçada, como mostrado na Equação (6) (Morgan, 1975).

Neste estudo, a análise dimensional foi adotado usando N_u e Re para representar o relacionamento entre o coeficiente convectivo de transferência de calor a vaca e a velocidade do ar passando em volta da vaca. Em todos os casos analisados, os valores de N_u aumentaram à medida que Re aumentou (*Figura 23*). Tais tendências nas relações $N_u - Re$ implicam que a velocidade do fluxo tem um efeito positivo no coeficiente convectivo de transferência de calor: quanto maior a velocidade do ar que flui em torno de uma vaca, mais calor será extraído da vaca (quando o ar a temperatura é mais baixa que a temperatura da pele da vaca).

$$Nu = aRe^b \quad (6)$$

Onde a e b são constantes.

Figura 23 – Comparação da relação Nu-Re simulada com duas equações empíricas (correlação de Zukauskas e Churchill correlação)



Fonte: Wang (2018)

Para os cálculos da área da vaca afetada pelo fluxo de vento e do comprimento da vaca, as seguintes equações foram utilizadas (7 e 8), respectivamente:

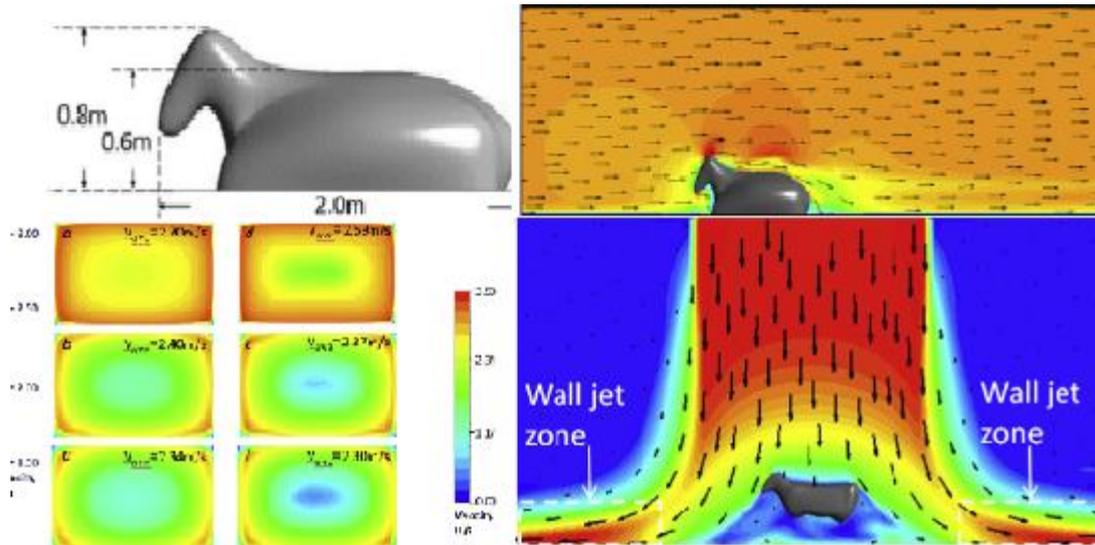
$$SA = 0.14W^{0.57} \quad (7)$$

$$HG = (W + 324.52)/417.5 \quad (8)$$

Onde SA é a área de pele da vaca, m^2 , W é o peso da vaca, em kg e HG represente o perímetro da vaca, m .

Com estes valores e utilizando os modelos computacionais de dinâmicas do fluídos *CFD* (Figura 24), foi possível se chegar nos benefícios citados acima.

Figura 24 – Ilustração dos modelos computacionais de dinâmicas do fluídos CFD



Fonte: Wang (2018)

- Evaporação

O resfriamento evaporativo da superfície externa do gado é significativo. Este método de dissipação de calor é mais eficiente em ambientes onde há baixas temperaturas de bulbo úmido e bulbo seco, ou seja, condições quentes e secas. A proporção de calor metabólico que é dissipada do corpo de um animal por evaporação aumenta com o aumento da temperatura ambiente e um gradiente de temperatura decrescente entre animal e ar. Johnson (1976) mostrou que as diferenças na proporção de o resfriamento até a perda total de calor (calor produzido) é variável em espécie e a taxa de evaporação do gado começa a aumentar acentuadamente em 16,6 - 18,3°C. Sob estresse térmico, o gado aumenta a perda de calor por evaporação tanto pela respiração ofegante quanto pela transpiração, com a sudorese sendo quantitativamente superior à respiração ofegante (McLean, 1963). A transferência de calor por evaporação é descrita pela Equação (9) (KAZERE, 2002):

$$Q_e = k_e A_e V^n (p_s - p_a) \quad (9)$$

onde Q_e é transferência de calor por evaporação; K_e é a constante evaporativa; A_e é a área efetiva de evaporação (úmida); V^n é a velocidade do ar para algum poder n ; p_s é a pressão de vapor da água na superfície do animal; p_a é a pressão de vapor da água no ar.

É importante notar que os efeitos de evaporação e convecção na perda de calor não são facilmente separáveis. Como indicado na Eq. (9), a velocidade do ar é um dos fatores importantes que influenciam a transferência de calor por evaporação. Ittner et al. (1951) reduziu a temperatura da pele e do corpo aumentando as velocidades do ar em suínos e bovinos submetidos a altas temperaturas ambientes. Essas descobertas foram fundamentais para o desenvolvimento de formas modernas de ventilação de ar para melhorar o estresse térmico em animais domésticos.

Berman et al. (1985) relataram que a taxa máxima de evaporação da água em vacas em lactação foi de 1,5 kg / h, o que se traduz em 4,3 kJ/dia. Esta taxa de perda de calor está próxima da produção de calor de uma vaca seca, não grávida, de 600 kg, mas apenas cerca de metade daquela produzida por uma vaca que produz 30 kg de leite por dia. Isso pode explicar a baixa sensibilidade de vacas secas a altas temperaturas ambientes. A importância da água como meio de livrar o corpo do excesso de calor através da transpiração e da respiração aumenta enormemente à medida que a temperatura ambiente aumenta. (KADZERE, 2002)

- Estudo de caso para perda de calor por evaporação:

De modo a se detalhar melhor as influências da evaporação no processo de transferência de calor em vacas leiteiras, será apresentado um estudo que foi realizado no Laboratório de Biometeorologia e Bem-Estar Animal, Departamento de Ciências Animais da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, RN, Brasil, sobre Perda de calor latente em vacas Holandesas em ambiente tropical: um modelo de predição (MAIA, 2018).

Nove vacas Holandesas lactantes com 526 ± 5 kg de peso corporal (cinco predominantemente pretas e quatro predominantemente brancas), criadas em região tropical e manejadas em pastagens, foram observadas com os objetivos de determinar simultaneamente as taxas de evaporação cutânea e respiratória em ambiente tropical e desenvolver modelos de predição. Para a medição da perda de calor latente pela superfície corporal, utilizou-se uma cápsula ventilada e, para a perda por respiração, utilizou-se uma máscara facial. Os resultados mostraram que as vacas que tinham maior peso corporal (classe 2 e 3) apresentaram maiores taxas evaporativas. Quando a temperatura do ar aumentou de 10 para 36°C e a umidade

relativa do ar caiu de 90 para 30%, a eliminação de calor por evaporação respiratória aumentou de aproximadamente 5 para 57 W/m^2 e a evaporação na superfície corporal passou de 30 para 350 W m^{-2} . Esses resultados confirmam que a eliminação de calor latente é o principal mecanismo de perda de energia térmica sob altas temperaturas ($>30^\circ\text{C}$); a evaporação cutânea é a maior via e corresponde a aproximadamente 85% da perda total de calor, enquanto o restante é eliminado pelo sistema respiratório e outros meios. O cálculo para prever o fluxo de perda de calor latente baseado em variáveis fisiológicas e ambientais pode ser utilizado para estimar a contribuição da evaporação na termorregulação.

De modo a simplificar o amplo estudo realizado, será exibido apenas a parte que contribui de maneira direta o tema deste trabalho, a atuação da perda de calor latente por meios evaporativos na vaca. Argumentos como este agem de forma construtiva para consolidar os benefícios que uma boa ventilação pode trazer a resfriamento da vaca, e conseqüentemente a produção de leite.

As temperaturas de bulbo úmido e seco foram medidas com um psicrômetro portátil tipo sling; a velocidade do ar foi determinada por um termo-anemômetro (Alnor APM-360); para a temperatura do globo negro foi utilizado um padrão de 0,15 m de diâmetro de cobre oco pintado de preto mate. A temperatura do globo negro foi usada para estimar a temperatura radiante média (T_{RM} , K) de acordo com DaSilva (2000). O fluxo de calor latente da superfície cutânea foi determinado usando uma cápsula ventilada. No caso em questão, a perda de calor por evaporação cutânea (E_s , W/m^2) foi dada pela Equação (10):

$$E_s = \frac{\lambda f_c (\Psi_c - \Psi_a)}{A_c} \quad (10)$$

onde $\lambda = 2500,7879 - 2,3737t_a$ é o calor latente de vaporização (J/g^1), A é a superfície corporal ($A = 0,13w^{0,556}$, m^2), w é o peso do corpo (kg), A_c a área da pele cobertos pela cápsula ($0,00724 \text{ m}^2$) e Ψ_a e Ψ_c (g/m^3) são a umidade absoluta do ar da atmosfera e do ar que sai da cápsula; eles são dados respectivamente pelas Equações (11) e (12):

$$\Psi_A = \frac{2166.87P_p\{t_A\}}{273.15 + t_A}$$

$$\Psi_C = \frac{2166.87P_p\{t_C\}}{273.15 + t_C}$$

(11 e 12)

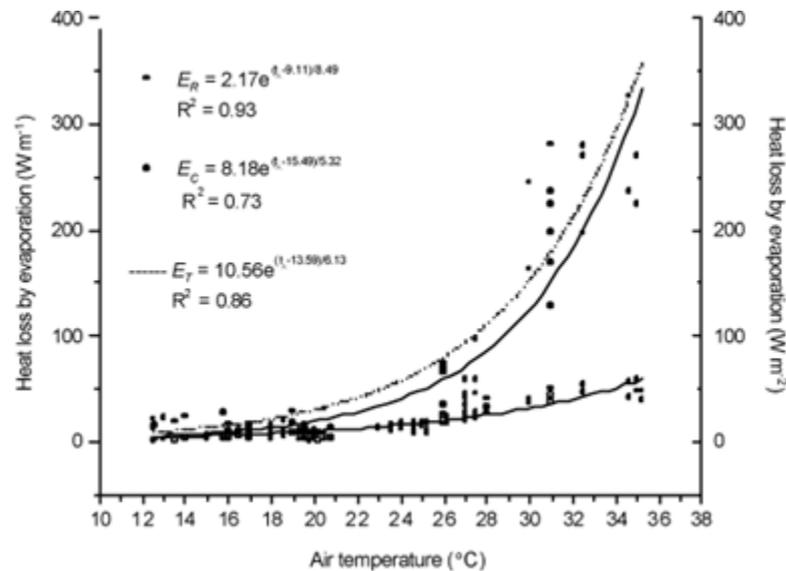
onde $P_p\{t_A\}$ e $P_p\{t_C\}$ são as pressões parciais de vapor (kPa) do ar ambiente e ar da cápsula, respectivamente; t_A e t_C são as temperaturas (°C) da atmosfera, ar expirado e o ar da cápsula, respectivamente. Um analisador de gás CO_2 / H_2O (Li-Cor, mod. LI-6262) foi conectado por meio de tubulação ao tubo de saída da cápsula, para determinar Ψ_C .

O fluxo de ar (f_C , $m^3 s^{-1}$) sobre a superfície do pelo dentro da cápsula foi obtido multiplicando a área da secção transversal ($0.0003630 m^2$) no tubo de saída de ar da cápsula pela velocidade (U_C , m/s) do ar passando sobre a superfície do pêlo; U_C foi medida por um termo-anemômetro de precisão (Alnor APM-360) fixado no tubo de saída de ar da cápsula (para mais detalhes, ver Maia et al., 2005a).

Resultados: As vacas mais pesadas (2 e 3 classes) apresentaram as menores taxas de evaporação. De fato, animais mais leves possuem áreas de superfície corporal maiores em relação ao volume. As perdas por evaporação cutânea aumentam à medida que a temperatura ambiente aumenta (especialmente acima de 24°C), tornando a evaporação cutânea o principal meio de dissipação de calor latente. Em tal condição, a maior área superficial relativa das vacas da classe 1 certamente favoreceria um maior potencial para o fluxo total de calor por evaporação.

A perda de calor latente (*Figura 25*) aumenta com a temperatura do ar de forma quase linear até 25°C e, em seguida, torna-se cada vez mais alta à medida que a temperatura ambiente sobe acima de 27°C. O mesmo foi observado por Finch (1985) e Kibler & Brody (1954). Este aumento na perda de calor por evaporação foi presumivelmente uma consequência direta da diminuição do gradiente térmico entre a temperatura da superfície do revestimento e a do ar circundante. Quando t_A foi 10°C, t_C foi cerca de 27°C; mas quando t_A atinge 35°C, o t_C aumenta para quase 37°C (*Figura 25*). Consequentemente, o gradiente térmico diminui de 17°C para apenas 2°C, enfraquecendo assim o fluxo de calor por convecção e fazendo com que a troca de radiação térmica se torne uma forma de ganho de calor (Maia et al., 2005a; Gebremedhin & Binxin, 2001).

Figura 25 – Fluxo de perda da calor por respiração (E_R) e evaporação cutânea (E_C) de vacas Holandesas em função da temperatura do ar. $E_T = E_R + E_C$

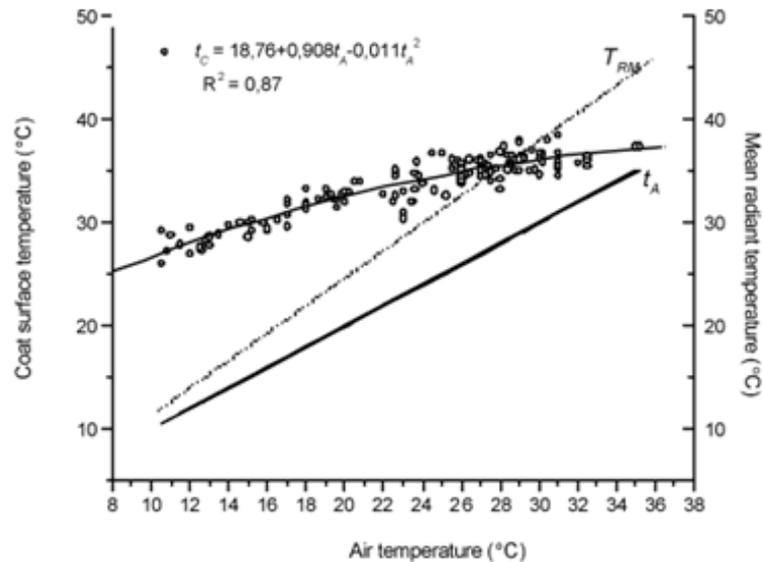


Fonte: Wang (2018)

O fluxo total de calor por evaporação (*Figura 26*) teve uma média de $17,40 \pm 0,92$ W/m^2 quando a temperatura do ar era $> 20^\circ C$ e a umidade do ar se aproximava de 80%; deste total, uma quantidade de $4,66 \pm 0,34$ W/m^2 foi perdida no trato respiratório e $12,81 \pm 0,99$ W/m^2 através da superfície cutânea. Estes valores concordam com os encontrados por Kibler & Brody (1954). Entretanto, quando a temperatura do ar atingiu $35^\circ C$ e a umidade do ar diminuiu para $< 30\%$, a evaporação total foi de $264,67 \pm 37$ W/m^2 , sendo $216,88 \pm 30$ W/m^2 perdida pela evaporação cutânea, enquanto o restante foi perdido pela evaporação respiratória.

Desta forma, concluí-se que vacas Holandesas manejadas em ambiente tropical a dissipação de calor latente por evaporação é a principal forma de eliminação do excesso de energia térmica, quando a temperatura do ar excede $30^\circ C$. A evaporação cutânea é responsável por aproximadamente 85% da perda total de calor latente, enquanto o restante é eliminado pela evaporação respiratória e outros meios. Portanto, esta é uma base sólida que justifica qualquer tipo de melhoria no processo de ventilação e aspersão de bovinos para produção de leite, pois este tem um papel imprescindível no conforto térmico do animal.

Figura 26 – Temperatura da superfície da pele (t_c) de vacas holandesas em função da temperatura (t_A)



Fonte: Wang (2018)

2.4 CALCULO DO THI

Além da transferência de calor, há outro fator que afeta as condições de conforto térmico da vaca: a umidade. Geralmente, este binômio (temperatura e umidade) é responsável pelo estresse térmico da vaca, o que pode acarretar em uma sequência de malefícios já citados anteriormente. Para mensurarmos o impacto da umidade devemos trabalhar com dados de THI (Temperature and Humidity Index), ou seja, índice de temperatura e umidade (ITU). O índice THI pode ser calculado pela equação abaixo:

$$\text{THI} = \text{tdb} + 0,36 \times \text{tdp} + 41,5$$

Onde:

THI = temperature and humidity index (Índice de Temperatura e Umidade)

tdb = temperatura do termômetro de bulbo seco

tdp = temperatura no ponto de orvalho

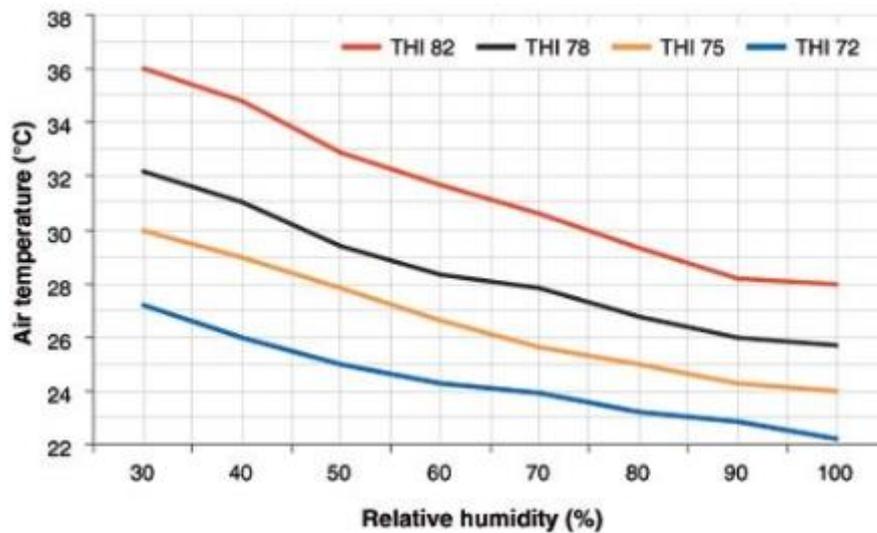
O termômetro de bulbo seco mede a temperatura do ar, enquanto que a temperatura em ponto de orvalho é aquela definida na qual o ar deve ser resfriado para que a condensação se

inicie, ou seja, o momento em que o ar fica saturado de vapor de água (temperatura na qual o ar se transforma em vapor).

Tecnicamente, podemos dizer que a temperatura em ponto de orvalho é aquela em que a umidade relativa da massa de ar atinge 100%. Para mensuramos as condições de estresse, consideramos como limite um THI acima de 72. Acima dessa marca, temos condições para estresse térmico.

Analisando a *Figura 27*, fica claro o impacto da umidade em relação à temperatura. A linha vermelha expressa um THI elevado de 82. Ele pode ocorrer com cerca de 36°C x 30%, bem como pode acontecer com uma umidade relativa do ar (UR) de 60% e uma temperatura de quase 32°C. No extremo oposto, temos esse mesmo THI de 82 com 28°C x 95% de UR.

Figura 27 – Gráfico da Temperatura do Ar (°C) x Umidade relativa (%)



Fonte: Cool Cows (2018)

A medição do THI em fazendas não é muito comum em função da falta de equipamentos adequados para leitura, porém o produtor pode recorrer à *Figura 28* abaixo para a estimativa.

Figura 28 – Tabela de THI

Temperature		% Relative Humidity																		
°F	°C	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
72	22.0	64	65	65	65	66	66	67	67	67	68	68	69	69	69	70	70	70	71	71
73	23.0	65	65	66	66	66	67	67	68	68	68	69	69	70	70	71	71	71	72	72
74	23.5	65	66	66	67	67	67	68	68	69	69	70	70	70	71	71	72	72	73	73
75	24.0	66	66	67	67	68	68	68	69	69	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74
76	24.5	66	67	67	68	68	69	69	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75
77	25.0	67	67	68	68	69	69	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76
78	25.5	67	68	68	69	69	70	70	71	71	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77
79	26.0	67	68	69	69	70	70	71	71	72	73	73	74	74	75	76	76	77	77	78
80	26.5	68	69	69	70	70	71	72	72	73	73	74	75	75	76	76	77	78	78	79
81	27.0	68	69	70	70	71	72	72	73	73	74	75	75	76	77	77	78	78	79	80
82	28.0	69	69	70	71	71	72	73	73	74	75	75	76	77	77	78	79	79	80	81
83	28.5	69	70	71	71	72	73	73	74	75	75	76	77	78	78	79	80	80	81	82
84	29.0	70	70	71	72	73	73	74	75	75	76	77	78	78	79	80	80	81	82	83
85	29.5	70	71	72	72	73	74	75	75	76	77	78	79	80	81	81	82	83	84	84
86	30.0	71	71	72	73	74	74	75	76	77	78	78	79	80	81	81	82	83	84	84
87	30.5	71	72	73	73	74	75	76	77	77	78	79	80	81	81	82	83	84	85	85
88	31.0	72	72	73	74	75	76	76	77	78	79	80	81	81	82	83	84	85	86	86
89	31.5	72	73	74	75	75	76	77	78	79	80	80	81	82	83	84	85	86	86	87
90	32.0	72	73	74	75	76	77	78	79	79	80	81	82	83	84	85	86	86	87	88
91	33.0	73	74	75	76	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	86	87	88	89
92	33.5	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	85	86	87	88	89	90
93	34.0	74	75	76	77	78	79	80	80	81	82	83	85	85	86	87	88	89	90	91
94	34.5	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	86	86	87	88	89	90	91	92
95	35.0	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93
96	35.5	75	76	77	78	79	80	81	82	83	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94
97	36.0	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	91	92	93	94	95
98	36.5	76	77	78	80	80	82	83	83	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95
99	37.0	76	78	79	80	81	82	83	84	85	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96
100	38.0	77	78	79	81	82	83	84	85	86	87	88	90	91	92	93	94	95	96	98
101	38.5	77	79	80	81	82	83	84	86	87	88	89	90	92	93	94	95	96	98	99
102	39.0	78	79	80	82	83	84	85	86	87	89	90	91	92	94	95	96	97	98	100
103	39.5	78	79	81	82	83	84	86	87	88	89	91	92	93	94	96	97	98	99	101
104	40.0	79	80	81	83	84	85	86	88	89	90	91	93	94	95	96	98	99	100	101
105	40.5	80	80	82	83	84	86	87	88	89	91	92	93	95	96	97	99	100	101	102
106	41.0	80	81	82	84	85	87	88	89	90	91	93	94	95	97	98	99	101	102	103
107	41.5	80	81	83	84	85	87	88	89	91	92	94	95	96	98	99	100	102	103	104

Fonte: Cool Cows (2018)

A tabela acima representa diferentes condições de estresse térmico via THI. Por meio dela, podemos fazer uma análise comparativa para melhor percebermos os efeitos adversos de elevadas temperaturas com alta umidade. Por exemplo, com 27°C e 60% de UR, temos um THI de 76. Com 30,5°C e 30% de UR, temos os mesmos 76 de THI, ou seja, é melhor termos uma temperatura mais elevada com tempo seco do que uma temperatura mais baixa, porém, com maior umidade.

Alguns pontos marcantes, segundo o instituto “*Dairy Australia – Cool Cows*”:

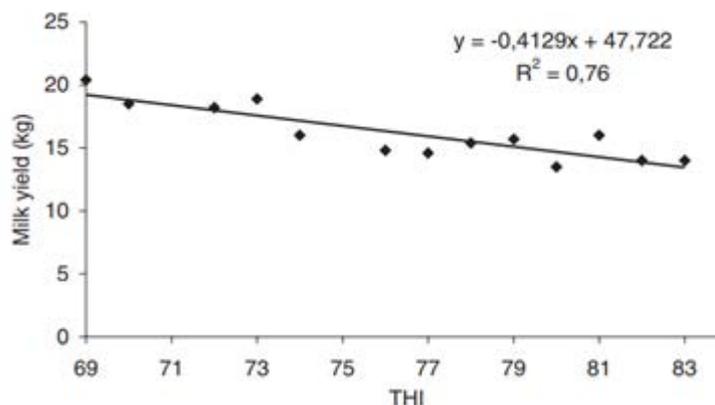
- Quando o THI excede 72, as vacas provavelmente começarão a sofrer estresse por calor e suas taxas de incalفاção serão afetadas.
- Quando o THI excede 78, a produção de leite de vacas é seriamente afetada.
- Quando o THI se eleva acima de 82, é provável que ocorram perdas muito significativas na produção de leite, as vacas mostram sinais de estresse severo e podem acabar morrendo.

- Influência do THI na produção de leite

O estudo de Rachid Bouraqui, 2002, realizado no Instituto Nacional Agrônômico da Tunísia conduziu dois experimentos utilizando vacas lactantes da raça Friesian-Holstein para medir efeitos do estresse térmico, usando o índice de temperatura e umidade (THI), na produção de leite, composição do leite e ingestão de matéria seca (IMS) sob o clima mediterrânico. Estes ensaios foram realizados em dois períodos diferindo nos valores médios de THI ($68 \pm 3,75$ vs. $78 \pm 3,23$ para os períodos de primavera e verão, respectivamente).

A *Figura 29* mostra que a produção de leite é uma função do THI. A inclinação negativa da linha de regressão indica que a produção de leite diminui à medida que o THI aumenta. Isso é melhor expresso pela seguinte equação: produção de leite (kg por vaca por dia) = $47,722 - 0,4129 \times \text{THI}$ ($R^2 = 0,76$). Esta regressão indica que, em geral, para cada aumento de ponto no valor THI acima de 69, houve queda na produção de leite de 0,41 kg por vaca por dia. O valor deste relacionamento para fins preditivos é relativamente alta, conforme representado por um valor de $R_2 = 0,76$. Grande parte da variação diária de produção de leite poderia, portanto, ser atribuída a estresse por calor. A queda na produção diária de leite neste estudo foi maior do que os 0,32 e 0,26 kg por vaca relatados por Ingraham et al. [9] e Johnson [11] para cada aumento de ponto dos valores de THI para além de 70.

Figura 29 – Relação da produção de leite por média de THI



Fonte: Bouraqui (2002)

Os presentes resultados (*Figura 30*) também indicaram que a diminuição da produção de leite começa a um valor THI de 69, que é semelhante ao ponto superior favorável à produção de leite relatado por Silanikove, mas menor que o índice crítico de 72 sugeriu ser o limite

superior da zona de conforto para leite produção. Para valores THI entre 70 e 73, a produção de leite caiu 9%. Quando o valor de THI atingiu 74, a queda na produção caiu quase 20%. As perdas foram de 23 a 28% quando o THI estava entre 76 e 79.

Figura 30 – Diminuição da produção de leite em fator do THI

THI value	Milk decrease (kg)	Milk decrease (%)
69	0.00	0
70	1.90	9
72	2.24	11
73	1.56	8
74	3.93	19
76	5.58	27
77	5.80	28
78	5.02	25
79	4.68	23
80	6.88	34
81	4.41	22
82	6.28	31
83	6.20	30

THI: temperature-humidity index.

Fonte: Bouraqui (2002)

Deste modo, conclui-se que estresse térmico no verão diminuiu significativamente produção de leite. Adicionalmente, caíram os níveis de gordura e proteína no leite em vacas em lactação manejadas sob condições climáticas do Mediterrâneo. A variável THI teve um importante papel para se mensurar tais dados, e com isso gestões estratégias poderão ser realizadas para minimizar estresse térmico e atingir uma ótima produtividade animal.

2.5 VENTILADORES

De modo a se ter uma noção geral de ventilação, serão apresentados alguns conceitos básicos de ventilação, importantes para o entendimento e familiarização com o projeto em questão. De forma simplificada existem três leis da ventilação, que regem o comportamento das variáveis (vazão, pressão e potência) quando se alteram alguns parâmetros nas condições do projeto (rotação e diâmetro do ventilador e densidade do ar).

2.5.1 Equações das Leis dos Ventiladores (Leis de Semelhança) :

Com estas relações (Equações 13, 14 e 15), podemos chegar a equações mais interessantes, com utilidades mais práticas, que podem ser aplicadas a situações reais em termos de projetos, como por exemplo, a mudança na rotação, diâmetro do ventilador ou densidade do ar.

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \left(\frac{n_2}{n_1} \right) \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^3 \quad (13)$$

$$\frac{H_2}{H_1} = \frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2 \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^2 \left(\frac{\rho_2}{\rho_1} \right) \quad (14)$$

$$\frac{W_2}{W_1} = \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^3 \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^5 \left(\frac{\rho_2}{\rho_1} \right) \quad (15)$$

Onde:

Q = vazão (m^3/h)

ρ = massa específica do gás (kg/m^3)

D = diâmetro do rotor (mm)

P = pressão (Pa)

H = altura útil de elevação manométrica (mmH₂O)

n = rotação do ventilador (rpm)

W = potência do ventilador (kW)

- Mudança na rotação do Ventilador (Primeira Lei dos Ventiladores):

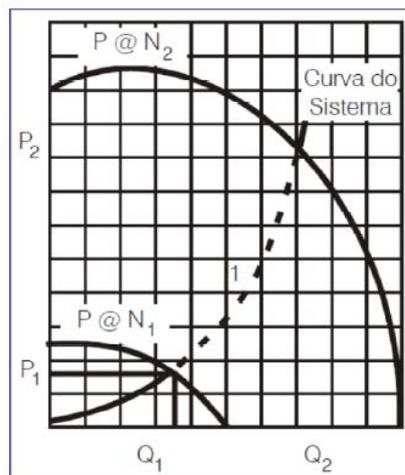
Analisando as Equações 16, 17 e 18, observamos que ao diminuir a rotação, diminui-se a vazão linearmente, a pressão de forma quadrática e a potência de forma cúbica. Esta última é muito útil quando se trata de consumo energético de projetos. A Figura 31 ilustra o gráfico de comportamento da primeira Lei dos Ventiladores.

Figura 31 – Gráfico da Primeira Lei dos Ventiladores

$$Q_2 = Q_1 \left(\frac{N_2}{N_1} \right) \quad (16)$$

$$P_2 = P_1 \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2 \quad (17)$$

$$W_2 = W_1 \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^3 \quad (18)$$



Fonte: Tuna (2015)

Tomemos com exemplo uma situação hipotética onde durante um certo período do dia, a necessidade de fluxo de ar caia para 50%. Consideremos também a quantidade de 10 ventiladores que consomem 10kW durante aquele período. Seria mais interessante para o produtor, em termos de consumo energético, desligar 5 ventiladores ou reduzir a rotação pela metade dos 10 ventiladores?

Utilizando a primeira lei dos ventiladores (Equação 18) temos:

1) Desligando 5 ventiladores:

5 ventiladores → 100% velocidade

$$W_1 = 5\text{kW} (5 \times 1\text{kW})$$

2) Redução da velocidade:

De todos os ventiladores em 50% :

10 ventiladores → 50% velocidade

$$W_2 = 1.250\text{W} (10 \times 125\text{W})$$

Pelo fato de a potência ser proporcional cubicamente á rotação, temos que o consumo energético é 75% menor no segundo caso. Sendo assim, pela primeira lei dos ventiladores, conclui-se que é significativamente mais eficiente a escolha de redução da rotação, mantendo todos os ventiladores ligados.

- Mudança no diâmetro do ventilador (Segunda Lei dos Ventiladores):

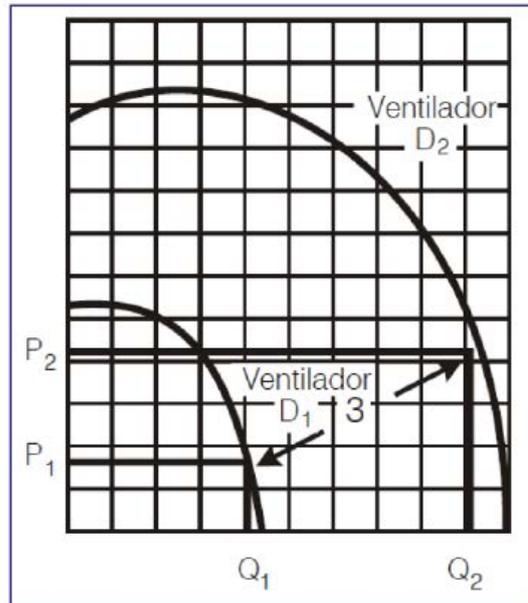
De forma análoga, temos as Equações 19, 20 e 21 , onde variação do diâmetro afeta de forma cúbica a vazão; de forma quadrática a pressão e de com gradeza exponencial de cinco em relação á potência. A *Figura 32* ilustra o gráfico de comportamento da segunda Lei dos Ventiladores.

Figura 32- Gráfico da Segunda Lei dos Ventiladores

$$Q_2 = Q_1 \cdot \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^3 \quad (19)$$

$$P_2 = P_1 \cdot \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^2 \quad (20)$$

$$W_2 = W_1 \cdot \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^5 \quad (21)$$



Fonte: Tuna (2015)

- Mudança na densidade do ar (Terceira Lei dos Ventiladores) :

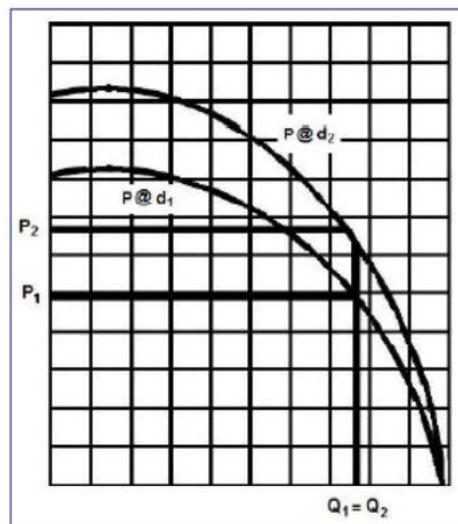
Observando as equações 22, 23 e 24 e a *Figura 33*, observamos que a alteração da densidade do ar atua de forma linear nas variáveis Q, P e W em questão.

Figura 33 – Gráfico da Terceira Lei dos Ventiladores

$$Q_2 = Q_1 \quad (22)$$

$$P_2 = P_1 \cdot \left(\frac{\rho_2}{\rho_1} \right) \quad (23)$$

$$W_2 = W_1 \cdot \left(\frac{\rho_2}{\rho_1} \right) \quad (24)$$



Fonte: Tuna(2015)

2.5.2 Tecnologias Associadas a Ventilação de Bovinos em Sistemas de Confinamento

Um dos objetivos deste trabalho é apresentar um tipo de ventilador que vem se destacando no mercado de ventilação de bovinos, em especial o ventilador axial eletronicamente comutado “*Farm Fan*”, da empresa alemã Ziehl-Abegg, que proporcionou a este projeto materiais de suporte e auxílio nas medições em campo. Os motivos de uma ventilação de qualidade já foram citadas e discutidas anteriormente, de modo que neste capítulo, iremos nos aprofundar no ventilador em si. Anteriormente foi apresentado os valores mínimos de modo a se ter uma ventilação de qualidade, mas estes não são os únicos parâmetros que devem ser considerados, se tratando do ventilador. Adicionalmente à vazão e instalação, há tópicos fundamentais como eficiência, consumo energético, ruído, sistemas de transmissão e motores utilizados. A *Figura 34* ilustra dois modelos de ventiladores aplicados na fazenda Xandô, onde o ventilador da esquerda representa o ventilador eletrônico “*FFowlet Farm Fan*” mencionado anteriormente, e o da direita um ventilador tradicional utilizando motor AC, amplamente presente no mercado atual. Ao longo deste capítulo, irá ser apresentado um estudo comparativo das características fundamentais de cada ventilador.

Figura 34 – Ventiladores utilizados na fazenda Xandô

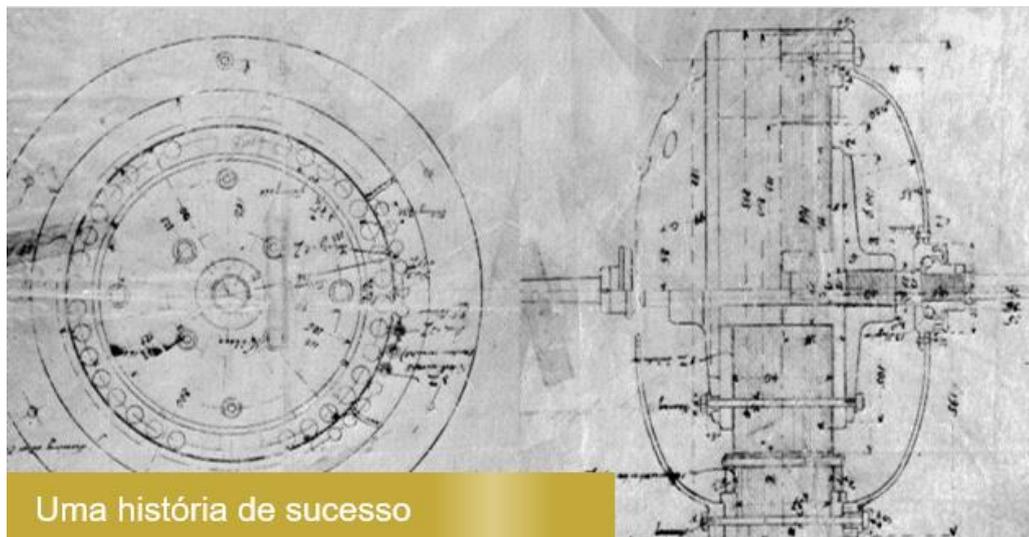


Fonte: produção do próprio autor (2018)

2.6 INTRODUÇÃO A EMPRESA ZIEHL-ABEGG

A empresa Ziehl-Abegg de origem alemã foi fundada em 1910, em Berlin, por Emil Ziehl. A fábrica na época já estava preparada para a produção em massa de motores elétricos com a mais nova tecnologia de máquinas. Em 1897 foi desenvolvido, pelo próprio Emil, o primeiro motor de rotor externo (*Figura 35*), porém apenas em 1957 que este motor foi incorporado a uma hélice, dando origem ao primeiro ventilador com motor de rotor externo. Desde então, a empresa tem se destacado e ampliado suas áreas de atuações. Hoje, a empresa se destaca em tecnologia de Ventilação (*Figura 36*), tecnologia de regulação, tecnologia de acionamentos e em automotivos. Conforme dados de 2017, a companhia possui uma receita anual aproximada de 540 milhões de euros (sendo 87% desta receita proveniente da tecnologia de Ventilação e 13% da tecnologia de acionamentos e outros). A companhia possui cerca de 3.900 funcionários, com aproximadamente 30.000 produtos em seu catálogo.

Figura 35 – Primeiro Motor de Rotor Externo da história



Fonte: Ziehl-Abegg (2016)

Figura 36 – Tecnologia de Ventilação – Ziehl-Abegg



Movement by Perfection

ZIEHL-ABEGG

Fonte: Ziehl-Abegg (2016)

2.7 TÉCNOLOGIA DOS VENTILADORES

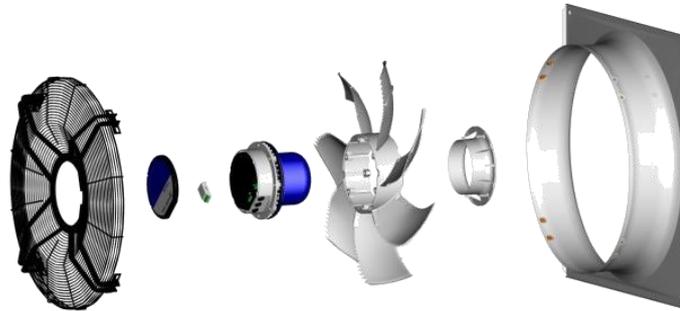
De modo simplificado, podemos definir um ventilador como uma máquina que produz fluxo de ar com duas ou mais pás fixadas a um eixo rotativo, convertendo energia mecânica rotacional, aplicada ao seu eixo, em aumento de pressão total do ar em movimento. Em relação ao selecionamento de um ventilador, tem-se observado que este se trata de um “sistema” (*Figura 37*) composto por:

- Motor elétrico
- Difusor (ou nozzle no seu termo em ingles)
- Hélice (ou impeller no seu termo em inglês)

Cada um destes componentes tem papel importante na contribuição do rendimento no sistema de ventilação, que fará total diferença no resultado de um bom projeto:

$$\underbrace{\eta_{motor} + \eta_{electronics} + \eta_{impeller}}_{\eta_{System}}$$

Figura 37 – Visão expandida dos componentes principais de um ventilador EC (Motor elétrico, Difusor e hélice)



Fonte: Ziehl-Abegg (2016)

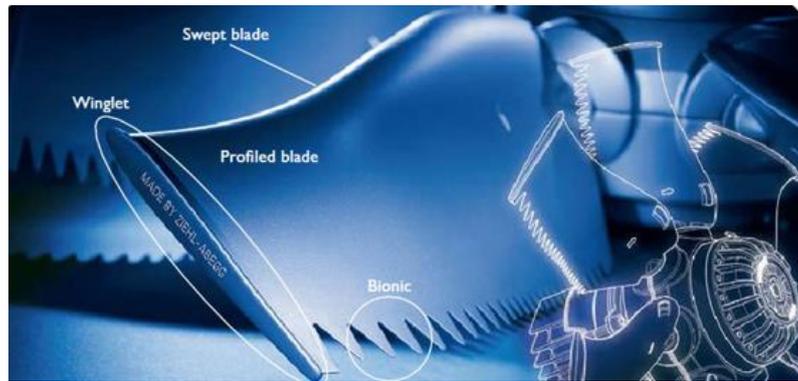
O objetivo é obter-se um conjunto com a melhor eficiência possível. Para isso, todos os componentes a seguir devem ser cuidadosamente projetados:

2.7.1 Hélices:

Para ventiladores axiais de baixa pressão (sistemas com operação em *free-blowing* ou até 250 Pa) é comumente utilizado a hélice com formato de foice, que apresenta rendimentos interessantes. Quando associados a aerodinâmicas mais modernas como *winglet* (componente presente na extremidade da hélice – *Figura 38*) evitam formações de vórtice que causam baixa eficiência.

Nos dias de hoje, os projetos mais modernos também associam tecnologias biônicas para diminuição dos nível de ruído gerados durante o trabalho de movimentação do ar. Perfis com mimetismos de aves e mamíferos tem se destacado e ganhado importância na seleção dos sistemas de movimentação de ar. Tais tecnologias, associadas a motores mais eficientes, como por exemplo os motores EC, foram capazes de aumentar significativamente a eficiência total do sistema em relação aos modelos tradicionais com motores AC (*Figura 39*).

Figura 38 – Exemplo de Winglet e outros componentes aerodinâmicos



Fonte: Ziehl-Abegg (2017)

É interessante notar que as hélices sempre devem ser selecionadas ou projetadas para um ponto de operação ou “*duty point*” conhecido. Este ponto de operação é que irá determinar a melhor angulação, formato e quantidade de pás que deve ser utilizada na hélice, bem como as potências elétricas dos motores.

Figura 39 – Evolução da eficiência do conjunto Hélice e motor

Um pouco de história sobre a eficiência dos ventiladores:

1990 Ventilador axial com impeller tipo “foice” e motor AC: **Eficiência de ~ 34%**

2006 Novo desenvolvimento aerodinâmico e motor AC: **Eficiência ~ 36%**

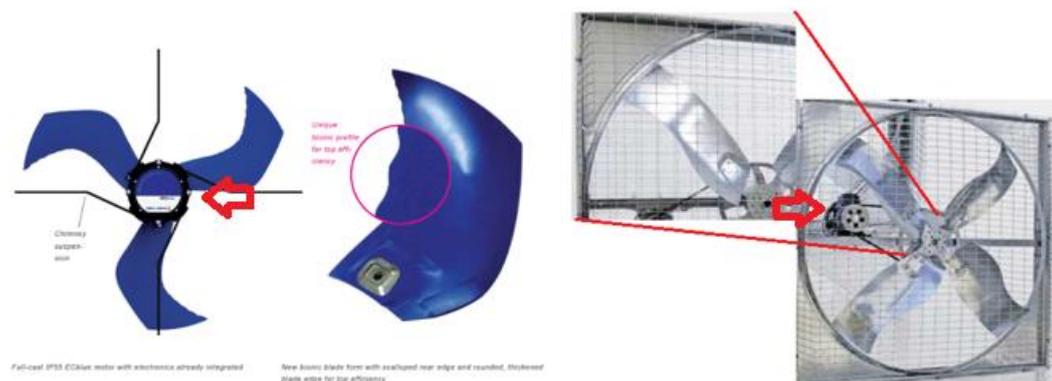
2010 Nova aerodinâmica combinado com motor de alta eficiência Eletronicamente comutado **EC - Eficiência ~ 42%**



Fonte: Ziehl-Abegg (2017)

Aproveitando o comparativo acima, é interessante citar que a diferença de eficiência entre os ventiladores modernos e os tradicionais, amplamente presentes nas fazendas produtoras de leite, é ainda maior. Tal fato decorre devido ao sistema de transmissão correia-polia, presente nos ventiladores tradicionais, que corresponde a uma maior perda de potência transferida, se comparada com a transmissão direta. Isso afeta negativamente a eficiência resultante do sistema. Adicionalmente, tal sistema necessita de manutenções periódicas, sendo a negligência do mesmo responsável por 55% (BOSCH, 2017) dos problemas de transmissão. Não há um prazo definido e exato para a troca das correias, mas a manutenção está sempre presente neste modelo de sistema de acionamento. Transmissões diretas eliminam quase que por completo tais problemas. A *Figura 40* a seguir ilustra tais diferenças.

Figura 40 – Modelos de Ventiladores Modernos e Tradicionais



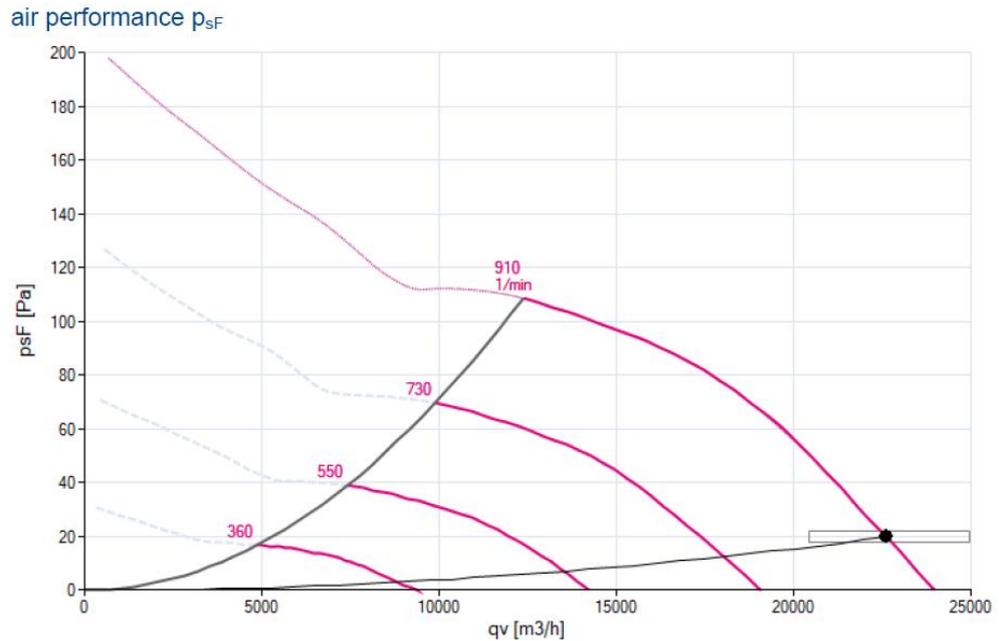
Fonte: produção do próprio autor (2018)

Para a aplicação estudada (ventilação de bovinos), temos um sistema operando em “Free-Blowing”, ou seja, a baixa pressão, sem qualquer anteparo no fluxo axial do ventilador. Apresenta-se na *Figura 41* o gráfico de pressão estática x vazão do ventilador em questão.

A metodologia de medição dos ventiladores axiais deverão sempre ser baseadas em normativas internacionais que são produzidas por normativas como AMCA 210-99 e ISO 5801

Note que o rendimento total gira em torno de 42%, como ilustrado na *Figura 39*. Mesmo que os componentes se analisados separadamente possuem elevado rendimento (como por exemplo o motor EC ~ 95%), o rendimento total de sistema diminui. Porém, para um ventilador, este é considerado um ótimo rendimento total.

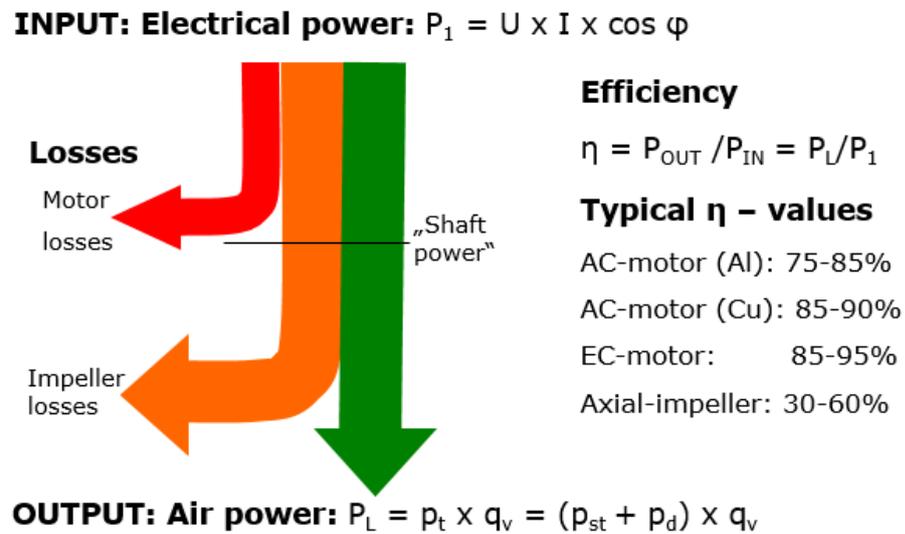
Figura 41 - Gráficos de vazão volumétrica do ventilador *FEOwlet FarmFan*



Fonte: produção do próprio autor (2018)

Para melhor entendimento, temos que os cálculos de rendimento (*Figura 42*) do sistema são baseados na diferença entre potência entregue (“*input power*”) e potência transferida na ponta de eixo (“*output power*” ou potência de ventilação). Esta diferença de potência, por sua vez, origina-se necessariamente pelas perdas no motor e na hélice. Sendo um ponto interessante o fato de que o ganho na eficiência está diretamente relacionada à diminuição das perdas mencionadas anteriormente.

Figura 42 – Cálculo da Eficiência de um Ventilador



Fonte: Ziehl-Abegg (2016)

Sendo:

P_1 = tensão x corrente x fator de potência, em Pa

P_L = pressão total x vazão total, em Pa

η = potência entregue x potência requerida, em W

Na *Figura 42* anterior é possível se observar a diferença entre rendimentos médios de motores AC e EC, que contribuem diretamente na eficiência do sistema.

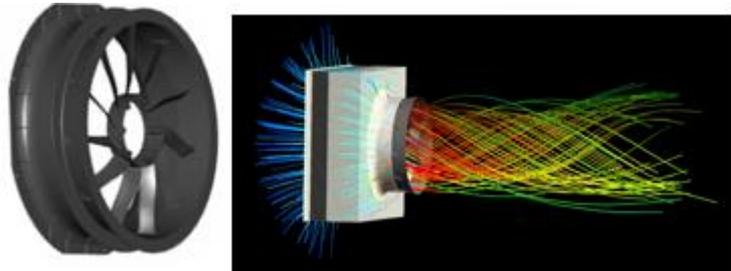
2.7.2 Difusores:

A entrada da massa de ar na entrada do ventilador, sempre dever ser a mais homogênea possível. Difusores com angulações suaves evitam turbulência na entrada, melhorando substancialmente a performance do ventilador. Adicionalmente, a aerodinâmica do anel de entrada e a presença de “*Guide Vanes*” ajudam a direcionar o ar, fazendo com que o fluxo de ar na descarga do ventilador saia de forma rotacional (*Figura 43*). Tal fato aumenta o alcance do ventilador (flecha de ar).

Dentre outras vantagens dos difusores, também se encontram a redução do nível de ruído (em até 2dB em alguns casos).

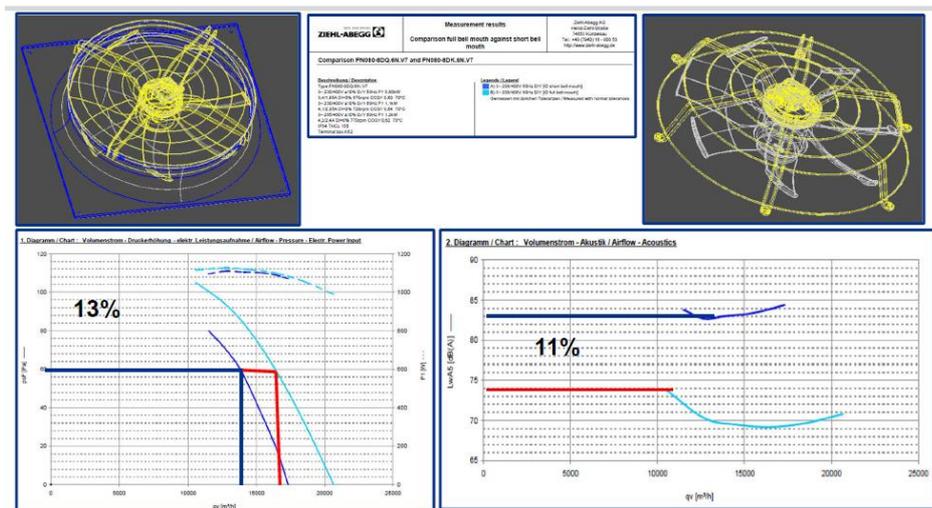
Sistemas com difusores podem aumentar a vazão de ar em até 23% e cerca de 11% em pressão estática (*Figura 44*).

Figura 43 – Difusor presente no Ventilador *FEOWlet FarmFan*



Fonte: Ziehl-Abegg (2016)

Figura 44 – Comparativo do ventilador com e sem a presença do difusor



Fonte: Ziehl-Abegg (2016)

2.7.3 Motor elétrico:

O ano de 1866 pode ser considerado, em termos práticos, como o ano de nascimento da máquina elétrica, pois foi nesta data que o cientista alemão Werner Siemens inventou o primeiro gerador de corrente contínua auto-induzido. Entretanto, deve-se mencionar que esta máquina elétrica, que revolucionou o mundo em poucos anos, foi o último estágio de um processo de estudos, pesquisas e invenções de muitos outros cientistas, durante quase três séculos.

Em 1820, o físico dinamarquês Hans Christian Oersted, ao fazer experiências com correntes elétricas, verificou ao acaso, que a agulha magnética de uma bússola era desviada de

sua posição norte-sul quando passava perto de um condutor no qual circulava corrente elétrica. Esta observação permitiu a Oersted reconhecer a íntima relação entre magnetismo e eletricidade, dando assim o primeiro passo em direção ao desenvolvimento do motor elétrico.

O sapateiro inglês William Sturgeon, que paralelamente a sua profissão, estudava eletricidade nas horas de folga, constatou em 1825, baseando-se na descoberta de Oersted, que um núcleo de ferro envolto por um fio condutor elétrico transformava-se em ímã quando se aplicava uma corrente elétrica. Adicionado ao fato de que a força do ímã cessava tão logo a corrente fosse interrompida, estava-se inventando o eletroímã, que seria de fundamental importância na futura construção de máquinas elétricas girantes.

Entretanto, as experiências com o magnetismo e a eletricidade não cessaram. Em 1832, o cientista italiano S. Dal Negro construiu a primeira máquina de corrente alternada com movimento de vaivém. Já no ano de 1833 o inglês W. Ritchie inventou o comutador, construindo um pequeno motor elétrico onde o núcleo de ferro enrolado girava em torno de um ímã permanente. Para dar uma rotação completa, a polaridade do eletroímã era alternada a cada meia volta através do comutador.

Somente em 1866 Siemens construiu um gerador sem a utilização de ímã permanente, provando que a tensão necessária para o magnetismo podia ser retirada do próprio enrolamento do rotor, isto é, que a máquina podia auto-excitar-se. O primeiro dinamo de Werner Siemens possuía uma potência de aproximadamente 30 watts e uma rotação de 1200rpm. A máquina de Siemens não funcionava somente como gerador de eletricidade, podia também operar como motor, desde que se aplicasse aos seus bornes uma corrente contínua.

Em 1879, a firma Siemens & Halske apresentou, na feira industrial de Berlim, a primeira locomotiva elétrica, com uma potência de 2kW. A nova máquina de corrente contínua apresentava vantagens em relação a máquina a vapor, a roda d'água e a força animal. Entretanto, o alto custo de fabricação e sua vulnerabilidade em serviço (por causa do comutador) marcaram-na de tal modo que muitos cientistas dirigiram suas atenções para o desenvolvimento de um motor elétrico mais barato, mais robusto e de menor custo de manutenção.

Entre os pesquisadores preocupados com esta ideia destacam-se o iugoslavo Nicola Tesla, o italiano Galileu Ferraris e o russo Michael von Dolivo Dobrowolsky. Os esforços não se restringiram somente ao aperfeiçoamento do motor de corrente contínua, mas também se cogitou de sistemas de corrente alternada, cujas vantagens já eram conhecidas desde 1881.

Em 1885, o engenheiro eletricitista Galileu Ferraris construiu um motor de corrente alternada de duas fases. Ferraris, apesar de ter inventado o motor de campo girante, concluiu erroneamente que motores construídos segundo este princípio poderiam, no máximo, obter um rendimento de 50% em relação a potência consumida. E Tesla apresentou, em 1887, um pequeno protótipo de motor de indução bifásico com rotor em curto-circuito. Também este motor apresentou rendimento insatisfatório, mas impressionou de tal modo a firma norte-americana Westinghouse, que esta lhe pagou um milhão de dólares pelo privilégio da patente, além de se comprometer ao pagamento de um dólar para cada HP (“Horse Power”) que viesse a produzir no futuro. O baixo rendimento deste motor inviabilizou economicamente sua produção e três anos mais tarde as pesquisas foram abandonadas.

Foi o engenheiro eletricitista Dobrowolsky, da firma AEG, de Berlim, que, persistindo na pesquisa do motor de corrente alternada entrou, em 1889, com o pedido de patente de um motor trifásico com rotor de gaiola. O motor apresentado tinha uma potência de 80 watts, um rendimento aproximado de 80% em relação a potência consumida e um excelente conjugado de partida. As vantagens do motor com rotor de gaiola em relação ao de corrente contínua eram marcantes: construção mais simples, silencioso, menor manutenção e alta segurança em operação. Dobrowolsky desenvolveu, em 1891, a primeira fabricação em série de motores assíncronos, nas potências de 0,4 a 7,5kW.

- **Evolução do Motor elétrico**

O desenvolvimento de condutores esmaltados, dos papéis ou filmes isolantes sintéticos, das chapas magnéticas, das ligas de alumínio e dos materiais plásticos contribuíram notoriamente para a redução da relação peso x potência dos motores elétricos como mostra a *Figura 45*.

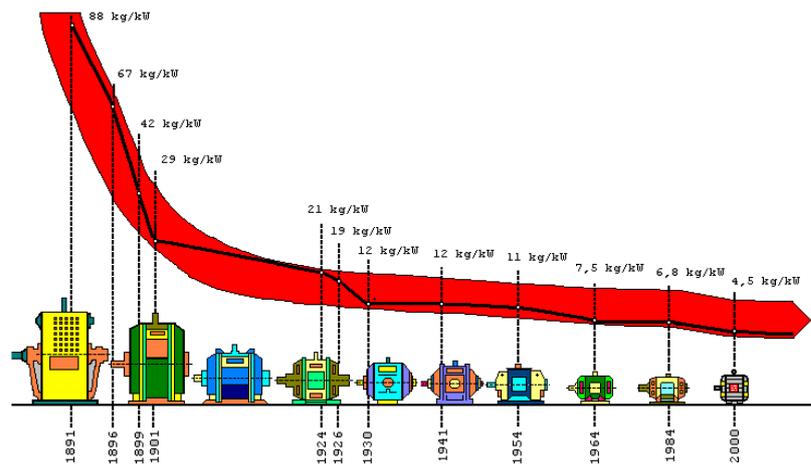
Observando-se o peso de um motor de mesma potência no decorrer do tempo, podemos verificar que o motor atual tem apenas 8% do peso do seu antecessor em 1891. Confrontando-se os dados de catálogos de diferentes fabricantes, em diferentes épocas, pode-se constatar que houve uma redução de peso e, conseqüentemente, redução do tamanho construtivo do motor (para uma mesma potência) de aproximadamente 20% a cada década, excetuando as duas últimas, nas quais a redução foi menos acentuada. Isto mostra a necessidade de revisão

periódica das normas, para assim adaptar a relação entre potências e carcasas aos tamanhos alcançados através do desenvolvimento tecnológico (WEG, 2015)

Esta evolução tecnológica é caracterizada principalmente pelo desenvolvimento de novos materiais isolantes, os quais suportam temperaturas mais elevadas.

Atualmente os motores elétricos estão presentes em praticamente todas as instalações industriais, comerciais e residenciais. Exemplos são os minúsculos motores que acionam os discos rígidos dos computadores, a infinidade de motores que acionam nossos eletrodomésticos e os gigantes motores que movimentam bombas, compressores, ventiladores, e outras infinitas de aplicações.

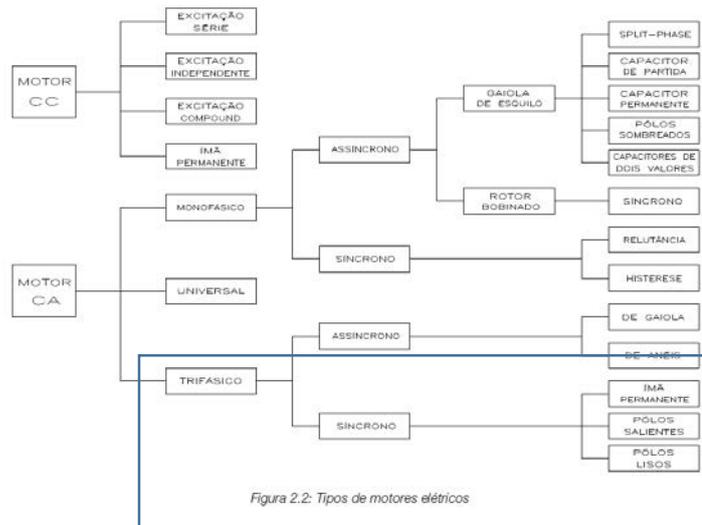
Figura 45 – Relação peso x potência dos motores elétricos



Fonte: WEG (2015)

No projeto atual, irá se utilizar um motor Síncrono de ímã permanente da *Figura 46* a seguir:

Figura 46 – Tipos de motores elétricos



Fonte: WEG (2015)

Como mostrado anteriormente, o desenvolvimento de uma nova família de motores conhecidas na literatura como “motores de rotor externo” possibilitou a construção de ventiladores com acionamento direto, eliminando as perdas por transmissão tão comum em ventiladores encontrados no mercado do leite.

Os motores de rotor externo por sua vez teve um novo salto tecnológico inaugurado em 1985 onde foi criado os motores EC (Eletronicamente comutados) ou BLDC, “*Brushless DC motor*”.

Estes motores SÍNCRONOS de ímã permanentes possuem rendimentos elevados (Figura 47), devido principalmente a não necessidade de ter circulação de corrente pelo rotor, bem como a isenção de escorregamento, que seria a diferença relativa entre as velocidades do rotor e do campo girante do estator (na velocidade síncrona). (WEG, 2015)

Figura 47 – Perdas de eficiência de motores elétricos (comparativo rotor externo e interno)



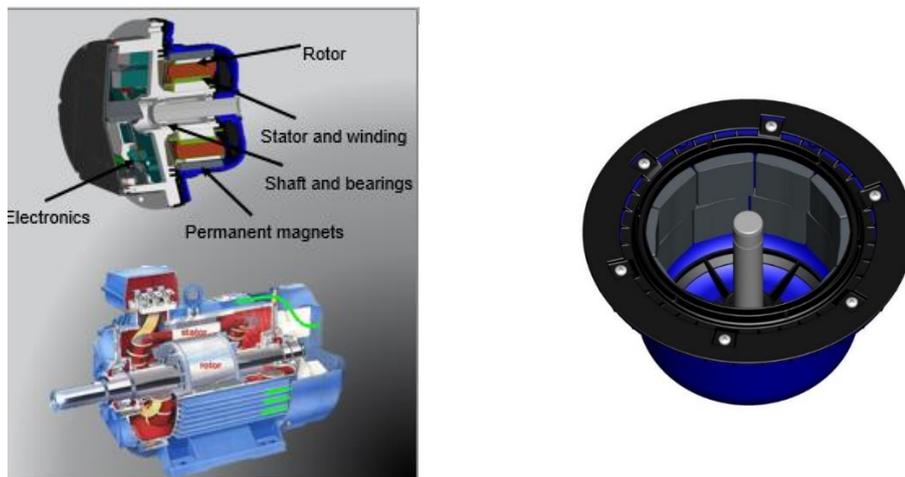
Fonte: Ziehl-Abegg (2016)

Tais motores possuem rendimento de 95% comparados com 80% de motores assíncronos de classe IE2 (comumente presentes nos motores AC de rotor interno).

Esta diferença no rendimento decorre principalmente do fato que o campo magnético no motor EC é gerado por ímãs permanentes, enquanto em um motor AC este campo magnético precisa ser criado através de um fluxo de corrente no motor (presença de escorregamento, explicado anteriormente). Além disso, um motor EC não tem fluxo de corrente no rotor, se comparado ao motor AC. Conseqüentemente não possui perdas de corrente na gaiola do rotor.

Motores EC (Eletronicamente comutados) não possuem escovas e a circulação de corrente pelas bobinas é controlada por chaves eletrônicas formadas por conjuntos de IGBT (Transistores de Alta Potência). A *Figura 48* a seguir ilustra tais diferenças.

Figura 48 – Ilustração dos ímãs permanentes no motor de rotor eterno



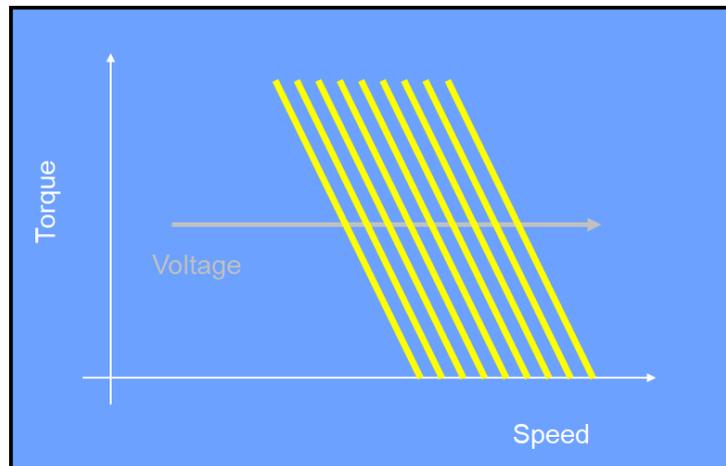
Fonte: Ziehl-Abegg (2016)

Uma característica muito interessante deste motor é o controle da velocidade de forma fácil através do aumento da tensão aplicada (*Figura 49*). Por permanecer com torque constante, mesmo com baixas velocidades (se o processo permitir), é um grande fator de diminuição da potência absorvida.

Levando como base a lei da ventilação que mostra que a potência aumenta ao cubo quando se aumenta a rotação, a diminuição da velocidade em dias frios ou períodos de madrugada pode trazer grandes economias energéticas ao produtor.

Figura 49 – Gráfico velocidade x torque

Velocidade aumenta com a tensão aplicada no motor $n \sim U_{\text{mot}}$



Fonte: Ziehl-Abegg (2016)

A possibilidade da redução da velocidade, pode trazer ganhos enormes para uma instalação com grande números de ventiladores. Esta redução da velocidade em sistema de *Compost Barn*, pode ser feita por qualquer sensor que controle as variáveis do projeto. Podemos citar, sensores de temperatura (tipo RTD's PT1000) ou sensores THI que operem com sinais analógicos de 0-10V ou 4-20mA. Desta maneira, devemos entender que o sistema de ventilação sempre que possível deve operar em malha fechada, ou seja, sensores controlam as variáveis do processo e transmitem aos ventiladores as informações se devem acelerar ou desacelerar.

As velocidades mínimas dos ventiladores também devem ser parametrizadas, de tal sorte que os ventiladores não venham a desacelerar a um ponto onde o movimento de ar seja insuficiente para manter a cama seca.

3 ESTUDO COMPARATIVO E VISITAS TÉCNICAS

3.1 VISITA TECNICA A FAZENDA XANDO

De modo a acompanhar a instalação e funcionamento dos ventiladores “*FFowlet FarmFan*” em um exemplo real, foi feita uma visita técnica na Fazenda Xandô, onde atualmente estão instalador quatro ventiladores da empresa ZIEHL-ABEGG. A Fazenda Xandô é atualmente uma fazenda renomada em questões de produtividade, tecnologia e qualidade do leite. Atualmente com um sistema de ordenha de leite mecanizada (*Figura 50*) e cross-

ventilation com a capacidade de até 1.600 vacas, é um bom exemplo de como a tendência deste mercado é a migração gradual para sistemas de confinamento de alta produtividade. Com uma produção de mais de 75 mil litros diários, 1.900 vacas em lactação, mais de 4.500 animais no total, a propriedade atinge médias acima de 40 litros por vaca.

Outro destaque é a alta tecnologia usada no sistema reprodutivo e a criação de terneiras, o que garante alta renovação do plantel, sendo que em torno de 30% da produção de leite provém de novilhas. A fazenda possui um sistema de confinamento em free stall, com climatização, ou seja, animais totalmente fechados, porém com excelente conforto térmico, já que é uma região com altas temperaturas.

Figura 50 – Sistema de Ordenha de Leite Mecanizada – Fazenda Xandô



Fonte: produção do próprio autor (2018)

Em constante inovação e implantação de novas técnicas, a Fazenda Colorado iniciou uma nova experiência, ou seja, criação de novilhas no sistema *Compost Barn* (Figura 51), principal tema do trabalho apresentado em questão. Testes e captação de dados estão sendo realizados pela empresa ZIEHL-ABEGG na Fazenda, de modo a justificar os investimentos em instalações de ventiladores mais modernos e inovadores.

Figura 51- Ilustração de Ventiladores *FarmFan* aplicados na Fazenda Xandô



Fonte: produção do próprio autor (2018)

Resultados: Durante a visita, foram realizadas medições de vazão volumétrica em campo, utilizando como aparelho medidor o anemômetro, a distâncias de aproximadamente 0,5 metros e 3 metros do ventilador instalado obtendo-se os resultados da *Tabela 1* a seguir:

Tabela 1 – Medições em campo da velocidade atingida

Distância	0,5 m	3 m
Medição 1	8,03	3,94
Medição 2	6,65	4,38
Medição 3	8,16	4,04
Medição 4	6,50	4,57
Medição 5	7,50	4,68
Média (m/s)	7,37	4,32

Fonte: produção do próprio autor (2018)

Pelos resultados observados, temos que o ventilador em questão atingiu, de forma eficiente e econômica, a vazão necessária para uma ventilação e resfriamento de qualidade sobre o dorso da vaca (vazão mínima é de 2 m/s segundo a empresa Elanco, de modo a se obter uma ventilação satisfatória). A *Figura 52* a seguir ilustra 2 exemplos de medições com o anemômetro.

Figura 52 – Ilustração das medições em campo a 3 metros (esquerda) e 0,5 metros (direita)



Fonte: produção do próprio autor (2018)

3.2 INTRODUÇÃO A FAZENDA ITORORO – ESTUDO DE CASO

Este estudo foi realizado ao longo de 2 dias na Fazenda Itororó, em Carandaí, Minas Gerais. A fazenda possui um *Compost Barn* aplicado com sucesso a mais de um ano, sendo referência na região por sua alta produtividade e eficiência. A Fazenda Itororó utiliza técnicas de selecionamento genético de vacas, sistema de ordenha de alta eficiência e também ventilação com ventiladores *FE2Owlet FarmFan* em seu CB para obter tais resultados. Em sua pesagem de 30 de Outubro de 2018, a fazenda obteve uma produtividade de 39,9 litros/vaca/dia (considerada uma excelente produtividade, até mesmo em parâmetros internacionais).

O galpão da fazenda possui dimensões 16 m de largura e 81,25 m de comprimento, e também uma pista lateral de 4 metros de largura e mesmo comprimento. O galpão comporta entre 108 e 130 vacas lactantes. A ventilação do mesmo é ininterrupta e de qualidade realizada por 15 ventiladores da empresa ZIEHL-ABEGG (*Figura 53*). Com a possibilidade de automação, os ventiladores são capazes de variar a rotação ao longo do dia, se alterados parâmetros como temperatura local, umidade local ou ventos externos contrários. Tal possibilidade permite uma economia significativa de energia consumida.

Figura 53 – Compost Barn da Fazenda Itororó, MG.



Fonte: produção do próprio autor (2018)

3.3 OBJETIVOS – ESTUDO DE CASO

Dentre os objetivos deste estudo de caso, estão:

- a) Determinação e comparação da vazão dos ventiladores instalados (moderno e tradicional);
- b) Calcular a potência consumida pelos ventiladores;
- c) Estimar a quantidade de ventiladores por galpão;
- d) Estimar o custo mensal de energia dos ventiladores;
- e) Estimar o parâmetro consumo mensal de energia/animal ventilado (kW/vaca/mês e R\$/vaca/mês);
- f) Estimar o cone de vento produzido pelo ventilador, possibilitando assim o dimensionamento de futuros galpões;

Na fazenda Itororó, há também um ventilador instalado na sala de espera. Este é um ventilador com motor AC de 1,5 kW de potência, sistema de transmissão correia-polia e hélice

de diâmetro 1,5 metros. Como já sabemos, temos também os ventiladores instalados no galpão, que são modelos EC com sistema de transmissão direta e hélice de diâmetro 0,91 metros. O modelo instalado no galpão é a versão com alimentação trifásica 220V, código 177599 e descrição “ZF091-ZIQ.DG.V3P1 - *ZAplus axial fan with curved diecast blades*”.

De forma que é possível realizar um estudo comparativo de ambos, analisando parâmetros como vazão, potência consumida, velocidade de vento e custos mensais de energia.

3.4 DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL - ESTUDO DE CASO

a) Determinação da vazão:

Para tais medições, foi colocado o anemômetro AD-250 da INSTRUTHERM a aproximadamente 0,5 m de distância do ventilador, operando a máxima rotação. Para o ventilador EC foi coletado um maior número de medições, pois é de interesse deste trabalho se obter um resultado com maior precisão. Porém será mostrado apenas os primeiros 10 resultados de ambos (*Tabela 2*). Com as velocidades e os raios das hélices, determinamos a vazão de ambos os ventiladores (*Figura 54*).

- Medições de Velocidade de Vento :

Tabela 2 – Tabela de medições de velocidade de vento

Distância de 0,5 m	Ventilador EC	Ventilador AC
Ponto 1	9,4	3,1
Ponto 2	11,2	4,0
Ponto 3	12,1	3,2
Ponto 4	11,9	3,6
Ponto 5	11,4	3,2
Ponto 6	12,1	3,9
Ponto 7	12,5	4,6
Ponto 8	12	3,9
Ponto 9	12,2	4,5
Ponto 10	12,6	6,3
Pontos coletados	78	29
Média (m/s)	12,47	5,80

Fonte: produção do próprio autor (2018)

Para o cálculo de vazão do ventilador q_v , em m^3/h , utilizamos a seguinte Equação (25):

$$q_v = A \times v \times 3600 \quad (25)$$

Onde :

A = Área de seção transversal da hélice (Calculada por $A = \pi \times r^2$), em m^2 ;

v = Velocidade de Vento a 0,5 m do ventilador, em m/s ;

r = Raio da hélice, em m ;

De modo que temos os resultados (26) e (27):

- Ventilador EC

$$A_1 = \pi \times 0,455^2 = 0,6504 \text{ m}^2$$

$$q_{v1} = 0,6504 \times 12,47 \times 3600 = \mathbf{29.197,2279 \text{ m}^3/h} \quad (26)$$

- Ventilador AC

$$A_2 = \pi \times 0,75^2 = 1,7671 \text{ m}^2$$

$$q_{v2} = 1,7671 \times 5,80 \times 3600 = \mathbf{36.876,0687 \text{ m}^3/h} \quad (27)$$

Note que a vazão do ventilador AC obteve maior vazão, mesmo oferecendo menor velocidade de vento na boca do ventilador. Isso é possível pois a vazão é diretamente proporcional a área da seção transversal da hélice do ventilador. Contudo, é importante apontar que para a aplicação em questão, o parâmetro velocidade de vento possui maior relevância, pois é utilizado como referência quando se trata de ventilação de bovinos.

Figura 54 – Medição da velocidade de vento a 0,5 m de distância dos ventiladores



Fonte: produção do próprio autor (2018)

b) Calcular a potência consumida dos ventiladores:

- Ventilador EC :

Como o ventilador EC possui controle de rotação através do inversor de frequência interno, o ventilador não consome a máxima potência nominal ininterruptamente. Na fazenda estudada, há um sistema de automação instalada em conjunto com os ventiladores, na qual permite a variação da rotação ao longo do dia quando a temperatura, umidade ou ventos externos mudam.

Portanto, calcularemos a potência consumida P , em kW , com a seguinte Equação (28) :

$$P = U \times I \times \sqrt{3} \times \eta \times \varphi \quad (28)$$

Onde :

U = Tensão consumida, em V ;

I = Estimativa Corrente consumida, em A ;

η = Rendimento do motor;

φ = Fator de potência do motor;

De modo que temos o resultado (29) :

$$P = 220 \times 1,85 \times \sqrt{3} \times 0,95 \times 0,96$$

$$P_1 = 642,909 \text{ W ou } \mathbf{0,6429 \text{ kW}} \quad (29)$$

- Ventilador AC

Para este ventilador, o motor assíncrono não possui variação da rotação, operando conseqüentemente sempre em sua máxima potência. Logo, determina-se a que potência consumida é sua potência nominal, $P_2 = 1,5 \text{ kW}$.

Comparando os valores das potências, observa-se claramente a vantagem que possui o ventilador com motor EC. Sua potência consumida P_1 é aproximadamente 57% menor por ventilador em relação a P_2 . Esta diferença existe principalmente por conta da eficiência do motor e a possibilidade de controle de rotação, que é cúbicamente proporcional a potência consumida, segundo a Primeira Lei dos Ventiladores.

c) Estimativa de quantidade de ventiladores no galpão:

Como será comprovado posteriormente com a determinação dos cones de vento, para este galpão com dimensões 16 m de largura e 81,25 m de comprimento, a quantidade $n_{ec} = 15$ ventiladores EC é o suficiente para entregar uma ventilação de qualidade. Porém, devemos estimar uma quantidade de ventiladores AC, n_{ac} , para o mesmo galpão, de modo a se ter uma base comparativa.

Assim, vamos considerar que as vazões totais entregues devem ser iguais. Portanto, temos a Equação (30) :

$$n_{ac} = \frac{(n_{ec} \times q_{v1})}{q_{v2}} \quad (30)$$

$$n_{ac} = \frac{15 \times 29197,2279}{36876,0687} = 11,87$$

Por aproximação, concluímos que o número de ventiladores AC necessário para ventilar o galpão é $n_{ac} = 12$ ventiladores.

d) Estimar o custo mensal de energia dos ventiladores :

Para calcular o custo mensal C_m de energia elétrica do total dos ventiladores, utilizaremos as seguintes Equações (31) e (32) :

$$C_m = P_m \times c \quad (31)$$

Sendo:

$$P_m = P \times n \times t \quad (32)$$

Onde :

P_m = Potência total consumida por mês, em kWh ;

P = Potência Consumida por ventilador, em kW ;

n = número de ventiladores;

t = tempo de operação mensal, em h (considerando 24h/dia e 30,41 dias/mês, obtido da relação 365 dias/ 12 meses);

c = custo da energia, em $R\$/kWh$ ($c = 0,6962 R\$/kWh$ segundo o preço CEMIG para área RURAL com impostos, horário de ponta de Agosto 2018);

Considerando os parâmetros acima, chegamos no resultados 33, 34, 35 e 36 abaixo :

- Ventilador EC

$$P_{m1} = 0,6429 \times 15 \times (24 \times 30,41)$$

$$P_{m1} = 7.039,755 \text{ kWh/mês} \quad (33)$$

$$C_{m1} = 7039,755 \times 0,6962$$

$$C_{m1} = \text{R\$ 4.901,08 /mês} \quad (34)$$

- Ventilador AC

$$P_{m2} = 1,5 \times 12 \times (24 \times 30,41)$$

$$P_{m2} = 13.140,0000 \text{ kWh/mês} \quad (35)$$

$$C_{m2} = 13140 \times 0,6962$$

$$C_{m2} = \text{R\$ 9.148,07 /mês} \quad (36)$$

Com tais informações podemos estimar, se compararmos o galpão dimensionado com ventiladores EC em relação aos AC, uma economia mensal de R\$4.246,99 e anual de R\$50.963,89 apenas com o custo de energia elétrica.

e) Estimar o parâmetro consumo mensal de energia/animal ventilado (kW/vaca):

Para obter um bom conforto animal, é necessário oferecer a vaca em lactação de 10 a 12 m^2 de área de cama(chamamos este número de taxa de lotação do CB). Como o galpão estudado possui 1300 m^2 de área, chegamos a capacidade de 108 a 130 vacas(n_a) no galpão da fazenda.

Deste modo, conseguimos facilmente achar o consumo de energia/animal (C_a , em R\$/animal) e potência consumida/animal (P_a , em kWh/animal). Tais parâmetros são importantes para analisar o quanto se gasta por animal, e se vale a pena manter uma maior taxa de lotação do galpão, de modo a se diminuir tais valores. Assim, temos as Equações 37 e 38:

$$C_a = \frac{C_m}{n_a} \quad (37)$$

$$P_a = \frac{P_m}{n_a} \quad (38)$$

- Ventilador EC

Com os valores anteriores, chegamos nos resultados 39 à 46:

Para $n_a = 108$

$$C_a = R\$ 45,38 /vaca/mês \quad (39)$$

$$P_a = 65,1829 \text{ kWh/vaca/mês} \quad (40)$$

Para $n_a = 130$

$$C_a = R\$ 37,70 /vaca/mês \quad (41)$$

$$P_a = 54,1519 \text{ kWh/vaca/mês} \quad (42)$$

- Ventilador AC

Analogamente, temos :

Para $n_a = 108$

$$C_a = R\$ 84,70 /vaca/mês \quad (43)$$

$$P_a = 121,6667 \text{ kWh/vaca/mês} \quad (44)$$

Para $n_a = 130$

$$C_a = R\$ 70,37 /vaca/mês \quad (45)$$

$$P_a = 101,0769 \text{ kWh/vaca/mês} \quad (46)$$

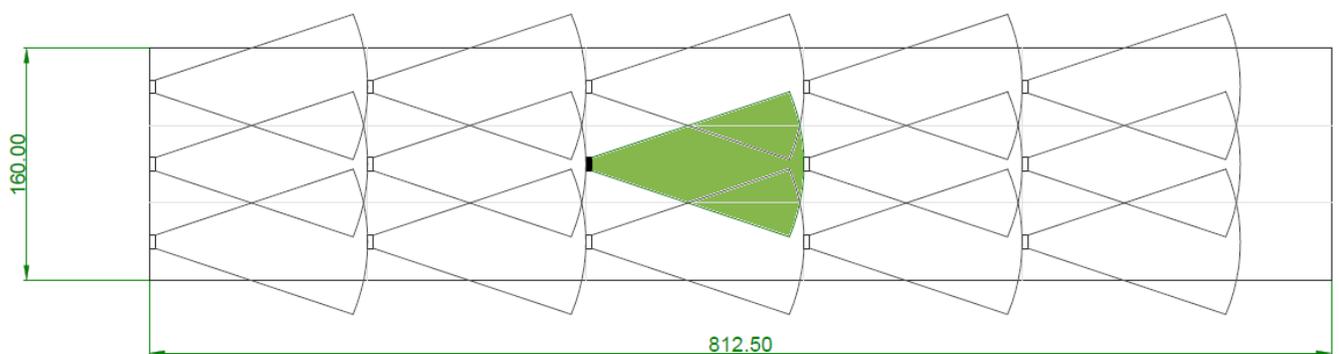
Observando tais dados, nota-se que o ventilador EC consome cerca de 53% menos potência/animal ventilado que o ventilador AC. Adicionalmente, podemos também perceber que ao se manter $n_a = 130$, ou seja, na máxima lotação indicada, os custos individuais de ventilação por animal são reduzidos em aproximadamente 53%. De modo que é uma decisão de cada produtor optar por maior conforto animal ou menor custo de energia por animal ventilado.

f) Estimar o cone de vento:

Foram realizadas duas medições durante a visita, obtendo-se conseqüentemente 2 cones de vento. O ventilador medido foi o ventilador central instalado na terceira linha. Para tais medições, as duas primeiras linhas foram desligadas, de modo não interferir nas medidas obtidas pelo anemômetro AD-250 da INSTRUTHERM na terceira linha de ventiladores. Contudo, os ventiladores laterais da mesma linha foram mantidos, de forma a evitar a influência de ventos externos nas medições e assim tornar a ventilação a mais homogênea possível. É importante notar que o ventilador medido não possuía grade instalada no momento (a ausência de grade diminui a perda de carga do ventilador).

A seguir na *Figura 55* ilustração do galpão (dimensões 16 x 81,25 metros) e os cones de vento dos 15 ventiladores instalados a uma altura (pé direito) de 3,30 metros, espaçados aproximadamente 5,33 metros entre si. A distância entre as linhas de ventiladores é de aproximadamente 15 metros, que seria alcance esperado do cone de vento produzido pelos ventiladores.

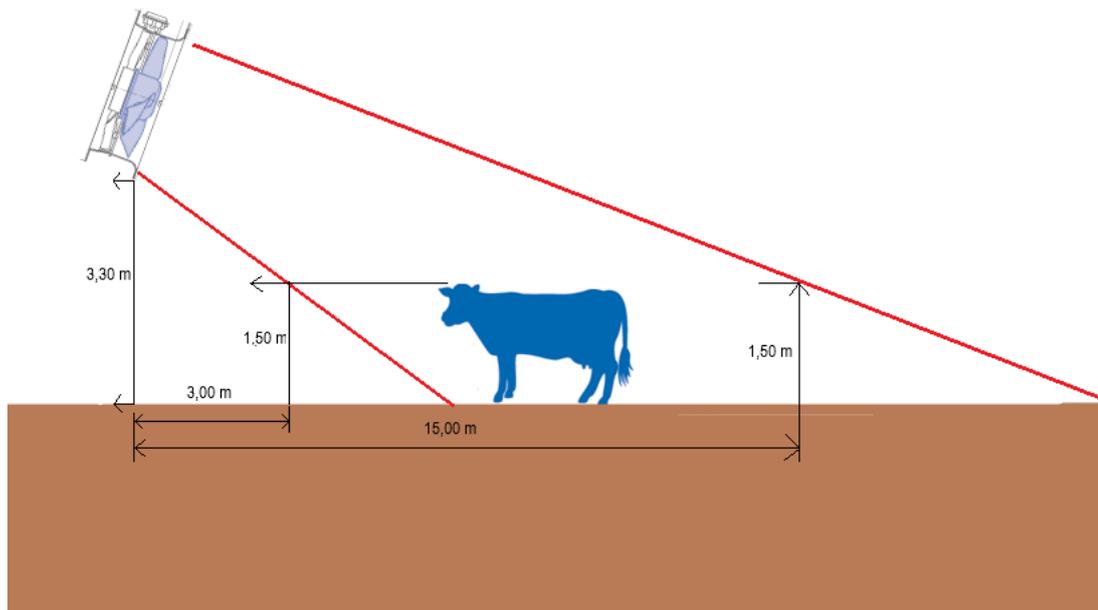
Figura 55- Ilustração dos cones de vento dos ventiladores Ziehl-Abegg na Fazenda Itororó



Fonte: produção do próprio autor (2018)

As velocidades do vento foram medidas a 1,5 m de altura, que simulam a altura do cocho da vaca, onde é necessário ser entregue ao menos 2 m/s para se obter uma ventilação de qualidade (BAILEY 2015). Adicionalmente, foi notado empiricamente que o cone começa a atuar a 3 metros de distância horizontal do ventilador, se medido a uma altura de 1,5 m da cama. Portanto, as medições foram feitas a partir desta distância até o alcance máximo de 15 metros. A *Figura 56* a seguir ilustra tal situação:

Figura 56- Ilustração das medições do cone de vento



Fonte: produção do próprio autor (2018)

Para a determinação dos cones, foram coletados 21 pontos por cone, onde cada ponto foi obtido pela média aritmética das medições (foram realizadas de 17 a 90 medições por ponto). Para este estudo, optou-se por medir apenas um lado do cone, e considerar um comportamento espelhado para o outro. Em condições de ventos externos de menor intensidade, tal condição se torna verdadeira. Esta decisão baseou-se na instabilidade de ventos externos, que influenciam de forma significativa nas medições. Como as medições tomam tempo, é possível se obter valores totalmente diferentes caso haja fortes ventos paralelos.

As medições foram separadas em 3 linhas : a linha central, e as paralelas a 1,5 metros e a 2,5 metros de distância. Sendo 7 pontos coletados por linha (à 3, 5, 7, 9, 11, 13 e 15 metros de distância horizontal do ventilador).

No primeiro cone foi coletado dados do lado direito, ou seja, a linha central, a 1,5 metros e a 2,5 metros à direita e posteriormente espelhado para o outro lado. No segundo cone medido, foi coletado o lado esquerdo e espelhado de forma análoga ao primeiro cone.

- Medições CONE 1 :

Nas *Tabela 3, 4 e 5* a seguir, as medições das 3 linhas do primeiro cone, realizadas no primeiro dia de campo, assim como uma esquematização dos resultados. Para este cone, foram

coletados 1298 medições distribuídos entre os 27 pontos. Porém, com o objetivo de não estender o trabalho, será exibido apenas as 10 primeiras medições, assim como a média e a quantidade de medições coletadas por ponto.

Tabela 3 – Tabela de medições do primeiro cone – linha central

LINHA CENTRAL							
Distância (m)	3	5	7	9	11	13	15
Ponto 1	6,1	5,5	4,1	2,8	3	2,7	2,2
Ponto 2	5,4	4,7	3,7	2,7	2,4	3,1	2,4
Ponto 3	3,5	4,6	4,1	3,5	2,6	2,7	2,6
Ponto 4	4,1	4,7	3,6	3,3	1,6	3,1	2,4
Ponto 5	3,5	4,4	4,4	3,1	1,7	3,3	2,3
Ponto 6	5	4,5	4,2	3,2	1,6	3	2,2
Ponto 7	4,6	4,2	4,4	2,9	1,3	2,9	2,1
Ponto 8	4,5	4,5	4,1	2,6	1,4	2,3	2,7
Ponto 9	3,5	5,5	4,5	2,7	1,5	2,2	2,4
Ponto 10	3,2	5,7	4,7	2,9	1,6	2,4	2,4
Total medições coletadas	42	44	43	67	69	72	63
Média (m/s)	4,34	4,28	3,75	2,81	2,44	2,28	1,87

Fonte: produção do próprio autor (2018)

Tabela 4 – Tabela de medições do primeiro cone – linha 1,5 metros a direita

Linha 1,5 metros A DIREITA							
Distancia (m)	3	5	7	9	11	13	15
Ponto 1	1,2	2,5	2,6	0,8	1,1	2,3	1,2
Ponto 2	1,3	2,5	3	1,1	1,1	2,2	0,3
Ponto 3	1,1	3	3	0,7	2,5	2,6	0,2
Ponto 4	1,5	2,8	2,5	0,2	3,6	2,3	0,1
Ponto 5	1,6	2,4	2	0	3,7	1,7	0
Ponto 6	1,7	2,1	1,6	2,8	3	1,6	0,4
Ponto 7	1,3	2,6	2,7	2,5	2,2	1,3	0,5
Ponto 8	1,1	3,5	2,5	2,4	1,8	1,1	0,4
Ponto 9	1,2	3,3	2,7	2,5	1,4	1,2	0,5
Ponto 10	1,1	4	2,5	2,7	1,5	1,9	0,4
Total medições coletadas	59	63	79	62	96	45	44
Média (m/s)	1,93	2,87	2,96	2,04	2,23	1,67	1,01

Fonte: produção do próprio autor (2018)

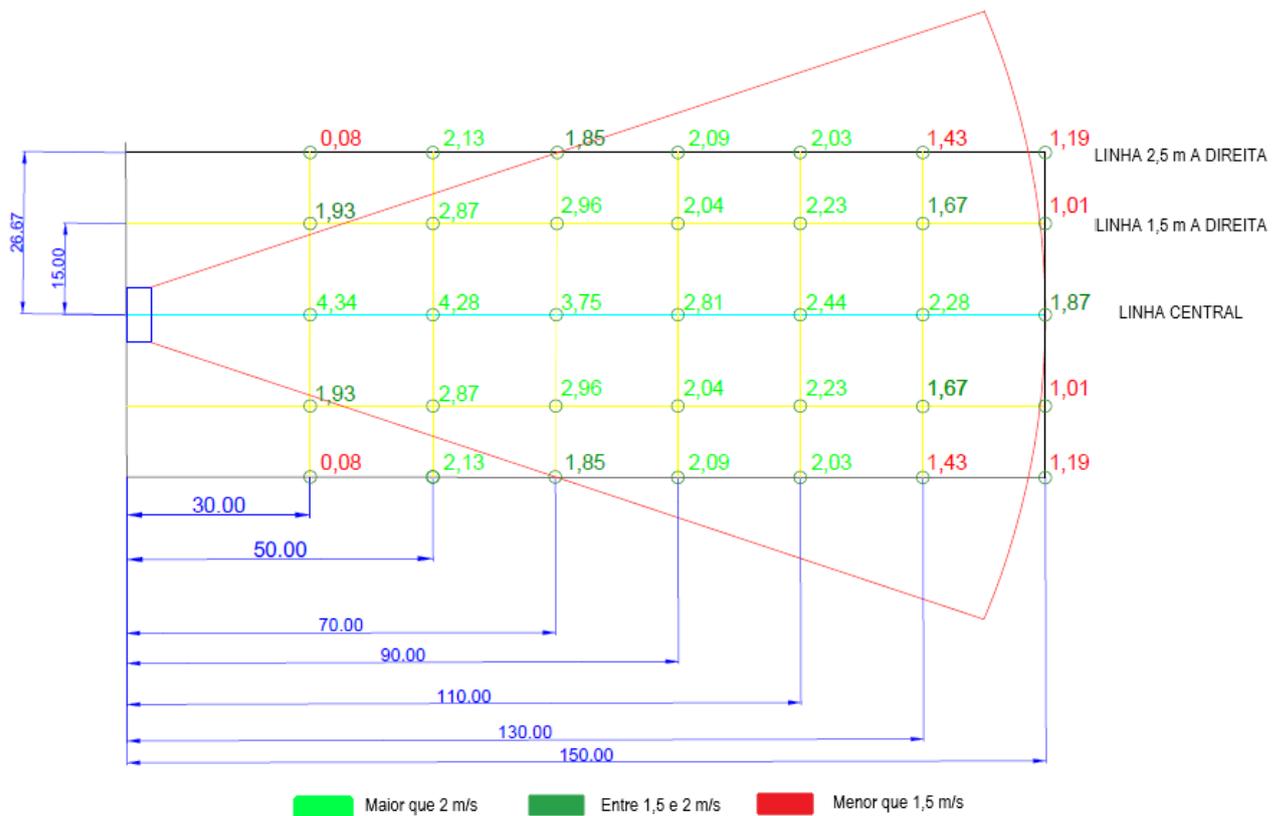
Tabela 5 – Tabela de medições do primeiro cone – linha 2,5 metros a direita

Linha 2,5 metros A DIREITA							
Distancia (m)	3	5	7	9	11	13	15
Ponto 1	0	0	1,1	1,1	2,2	1,4	1,3
Ponto 2	0	0	1,3	1,6	2	1,2	1,2
Ponto 3	0	0	2,2	1,9	1,8	1,9	1,2
Ponto 4	0,1	1	2,9	1,7	2	2,5	1
Ponto 5	0,4	1,9	2,4	1,8	1,7	2,7	0,7
Ponto 6	0,3	2,2	2,6	2	1,4	2,3	0,5
Ponto 7	0,1	2,2	2,2	2,4	1,3	2,1	1,2
Ponto 8	0	2	1,7	2,5	2	2,1	1,2
Ponto 9	0,1	1,8	1,3	2,3	2,9	2	1,1
Ponto 10	0,2	1,6	0,5	2	2	1,8	1,4
Total medições coletadas	33	82	55	92	69	54	65
Média (m/s)	0,08	2,13	1,85	2,09	2,03	1,43	1,19

Fonte: produção do próprio autor (2018)

Com tais dados, pudemos esquematizar o cone de vento produzido (*Figura 57*) pelo ventilador instalado à 3,3 metros de altura. É importante notar que todos estes pontos foram medidos a 1,5 metros da cama.

Figura 57 – Esquematização do primeiro cone de vento



Fonte: produção do próprio autor (2018)

Analisando o cone, podemos notar que a maioria das medições apontam uma ventilação de qualidade (acima de 2 m/s). Nas extremidades, há valores abaixo dos mínimos requerimentos para tal, porém se considerarmos as linhas anteriores ligadas, havendo uma somatória de velocidades, tais valores são compensados. Como a primeira linha é a que mais sofre com a resistência inicial do ar, é possível também se diminuir o alcance da mesma para 12 metros, com o objetivo de manter os 2 m/s ao longo de todo o cone.

- Medições CONE 2:

Analogamente, temos as medições do segundo cone de vento, realizadas no segundo dia de campo (Tabelas 6, 7 e 8). Desta vez, medindo-se o lado esquerdo. Foram coletadas 1459 medições para este cone.

Tabela 6 – Tabela de medições do segundo cone – linha central

LINHA CENTRAL							
Distancia (m)	3	5	7	9	11	13	15
Ponto 1	2,5	5,6	3,6	2,2	2,1	1,6	2,4
Ponto 2	2,7	5,8	4,2	2,5	2,4	1,9	2,3
Ponto 3	3,2	5,2	4,7	2,4	2,5	2	2,1
Ponto 4	3	5,4	4,1	2,3	3,3	2,1	2,2
Ponto 5	2,7	6,4	5	2,3	3,2	2,2	2
Ponto 6	2	6,3	4,9	3,5	3,1	2,1	2,2
Ponto 7	4,2	6,5	4,8	3,3	2,9	2,2	2,6
Ponto 8	3,5	5,4	4,5	4,1	2,8	2,2	2,7
Ponto 9	3,2	3,8	4,3	3,4	2,6	2,3	2,5
Ponto 10	3,2	3,6	4,6	2,6	2,8	2,2	2,5
Total medições coletadas	98	94	92	93	81	85	87
Média (m/s)	3,11	5,16	3,85	3,04	2,83	2,22	2,10

Fonte: produção do próprio autor (2018)

Tabela 7 – Tabela de medições do segundo cone – linha 1,5 metros a esquerda

Linha 1,5 metros A ESQUERDA							
Distancia (m)	3	5	7	9	11	13	15
Ponto 1	0,5	0,5	0,8	2,1	1,5	2,1	2,2
Ponto 2	0,8	0,2	0,3	1,7	1,6	2,5	2,3
Ponto 3	1,3	0,2	0,2	1,4	1,7	2,2	2,1
Ponto 4	1,4	1,2	0,2	1,5	1,7	2,2	2,2
Ponto 5	1,6	1,1	0	1,4	1,7	2,2	2
Ponto 6	1,7	1,3	0	1,2	1,8	1,9	2,2
Ponto 7	1,7	0,7	0,7	1,6	1,9	1,9	2
Ponto 8	1,6	0,5	0,4	1,6	2,1	1,8	1,5
Ponto 9	1,3	0,5	0,3	1,6	2,1	1,6	1,7
Ponto 10	1,5	0,7	0,2	1,5	1,8	1,3	1,5
Total medições coletadas	49	35	17	80	85	89	82
Média (m/s)	0,86	0,66	0,27	1,84	1,56	1,97	1,60

Fonte: produção do próprio autor (2018)

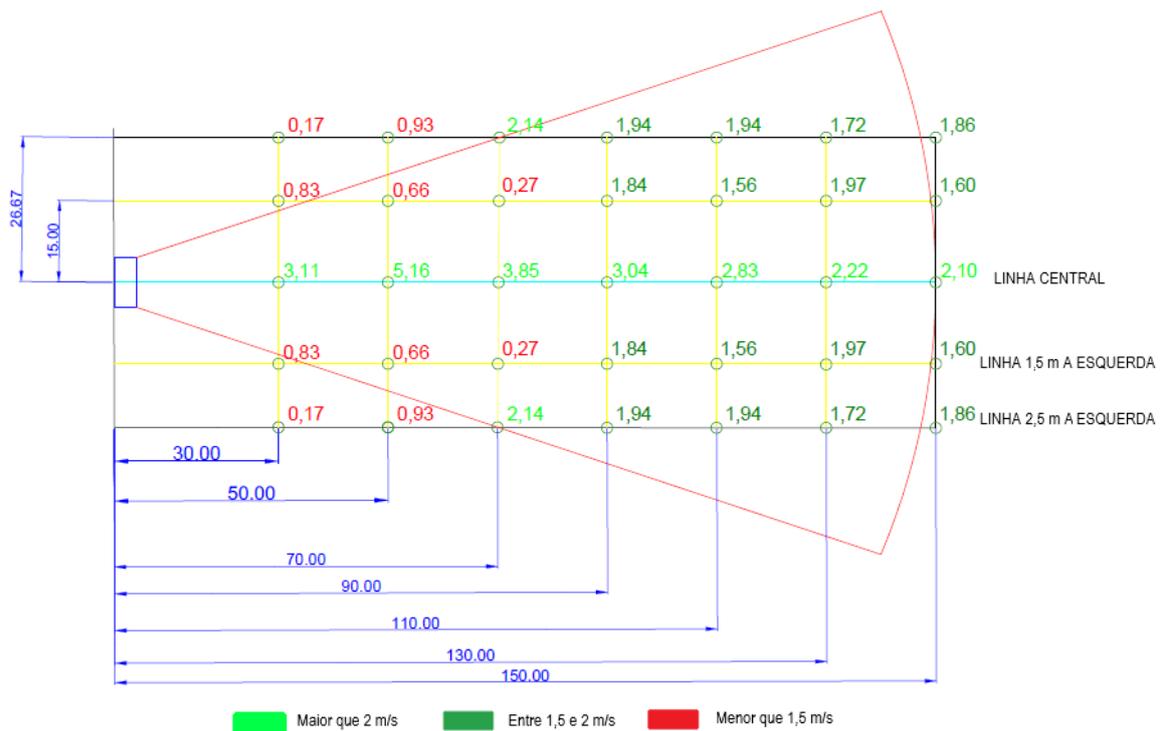
Tabela 8 – Tabela de medições do segundo cone – linha 2,5 metros a esquerda

Linha 2,5 metros A ESQUERDA							
Distancia (m)	3	5	7	9	11	13	15
Ponto 1	1,1	1,9	0,8	1,1	2,4	1,6	1,7
Ponto 2	1	1,8	1,2	1,8	2,1	1,3	1,6
Ponto 3	0,8	1,4	2,5	2,3	1,8	1,6	1,3
Ponto 4	0,4	3	2,2	2,6	1,9	1,9	1,4
Ponto 5	0,1	3,3	2,2	2,5	1,5	2	1,6
Ponto 6	0	2,7	2,2	2	1,6	1,6	1,7
Ponto 7	0	2,1	1,6	2,4	2	1,7	1,9
Ponto 8	0	1,3	2,6	2,3	3,5	2,2	2
Ponto 9	0	0,7	1,8	2,5	3,7	2,1	1,9
Ponto 10	0	1,1	1,6	2,4	2,2	2,7	1,8
Total medições coletadas	45	25	34	70	60	75	83
Média (m/s)	0,17	0,93	2,14	1,94	1,94	1,72	1,86

Fonte: produção do próprio autor (2018)

Com estes dados é possível se esquematizar o seguinte cone de vento (*Figura 58*):

Figura 58 – Esquematização do segundo cone de vento



Fonte: produção do próprio autor (2018)

É importante apontar que neste dia havia a presença de fortes ventos externos com valores de aproximadamente 1,81 m/s na direção vertical. Estes ventos foram capazes de afetar

significativamente os valores das linhas a 1,5 e 2,5 metros a esquerda. Tal fato ilustra, como mencionado anteriormente, que a presença de ventos naturais externos podem prejudicar as medições com o anemômetro. Deve-se notar que neste momento, mesmo com baixas velocidades de vento artificial do ventilador, a vaca ainda está sendo ventilada com qualidade com ventos naturais.

De qualquer maneira, a linha central pôde ser medida sem grandes influências externas, e resultou em uma ventilação de qualidade até o alcance de 15 metros de distância.

- Quadro Comparativo

A seguir um quadro comparativo (*Tabela 9*) com os principais parâmetros determinados ao longo do estudo de caso na Fazenda Itororó, MG.

Tabela 9 – Quadro comparativo dos ventiladores EC e AC da fazenda Itororó, MG

Descrição	Ventilador EC com transmissão direta de diâmetro de hélice 0,91 m	Ventilador AC com transmissão correia-polia com diâmetro de hélice 1,5 m	Unidades
Velocidade a 0,5m	12,47	5,80	m/s
Área seção transversal	0,650388219	1,767145868	m ²
Vazão medida (m ³ /h)	29197,22793	36876,06873	m ³ /h
Potência Consumida	0,6429	1,5	kW
Preço Energia	0,6962	0,6962	R\$/kWh
Total Ventiladores	15	12	unidade
Horas trabalhadas	730	730	h
Consumo em kW/mês	7039,755	13140	kW
Consumo mensal	R\$ 4.901,08	R\$ 9.148,07	reais
Economia Mensal	R\$ 4.246,99	-	reais
Economia Anual	R\$ 50.963,89	-	reais
Qtt. Vacas/galpão	108 a 130	108 a 130	vacas
Dimensões galpão	16x81,25	16x81,25	m
Área do galpão	1300	1300	m ²
Consumo/vaca (108)	65,18291667	121,6666667	kW/vaca/mês
Consumo/vaca (130)	54,15196154	101,0769231	kW/vaca/mês
custo/vaca(108)	R\$ 45,38	R\$ 84,70	R\$/vaca/mês
custo/vaca(130)	R\$ 37,70	R\$ 70,37	R\$/vaca/mês

Fonte: produção do próprio autor (2018)

4 CONCLUSÃO

Ao longo deste estudo, foi mostrado as características e o modo de funcionamento do Sistema de Confinamento Bovino *Compost Barn*, que visa a produção de leite. Dentre os principais aspectos, estão o dimensionamento do galpão, a formação da cama de compostagem, os sistemas de ventilação e aspersão. Se aplicados de modo correto, podem trazer inúmeras vantagens, tais como redução de ocorrência de mastite, redução do CCS e diminuição do estresse térmico da vaca. Consequentemente, afirma-se que o sistema resulta em aumento de produtividade e eficiência do processo. Como podemos verificar na excelente produtividade da Fazenda Itororó, de 39,9 litros/vaca/dia.

Adicionalmente, foi mostrado neste projeto as principais diferenças entre os modelos de ventiladores, onde no primeiro temos um motor síncrono de rotor externo com transmissão direta, e no segundo um motor assíncrono de rotor interno com transmissão correia-polia. Dentre as principais vantagens do primeiro, estão a maior eficiência do motor, a menor potência consumida, a ausência de perdas no sistema de transmissão e o inversor de frequência interno, permitindo maior automação e comunicação.

Quando instalados em um sistema de confinamento bovino *Compost Barn*, notamos que os ventiladores EC consomem, em sua totalidade, cerca de 57% menos potência se comparado com os ventiladores AC. Tal dado nos permite estimar, nas condições estudadas, uma economia anual de aproximadamente R\$50.963,89 em custos de energia elétrica.

Através das medições do cone de vento, concluímos que o ventilador EC *FarmFan*, na versão trifásico com alimentação de 220V, instalado a um θ de 3,3 m e um ângulo entre 15 e 25°, é capaz de oferecer uma ventilação de qualidade (mínimos 2m/s a altura de 1,5 m da cama) ao longo da área de 5,33 metros de largura e 15 metros de alcance, totalizando 79,95 m² de área.

REFERÊNCIAS

- BAILEY, T. **Mecanismos de combate ao estresse calórico**. São Paulo: Unidade de Negócios de Leite Elanco, 2015.
- BLACK, R. A. **Compost bedded pack barns**: management practices and economic implications. 2013. 223f. Dissertação (Mestrado em Animal and Food Sciences) - University of Kentucky, Kentucky, 2013.
- BOURAOUI R. et al. The relationship of temperature-humidity index with milk production of dairy cows in a Mediterranean climate. **EDP Sciences**, 2002. Disponível em: <www.edpsciences.org>. Acesso em: 20 nov. 2018.
- BRIGATTI, A. M. Compost barn: produtividade e qualidade para o setor. **Revista Sebrae**, Santa Catarina, p. 1–6, 2015.
- BRITO, E. C. **Produção intensiva de leite em compost barn**: uma avaliação técnica e econômica sobre a sua viabilidade. 2016. 59f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia do Leite e Derivados) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2016.
- BROUK, M. J. **Effectiveness of cow cooling strategies under different Environmental conditions**. 2003. 14f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Indústria Animal), Kansas State University, Kansas, 2003.
- BUAINAIN, A. M. et al. **O mundo rural no Brasil do século 21**: a formação de um novo padrão agrário e agrícola. Brasília: Instituto Embrapa, 2018.
- COOLCOWS. Heat stress and productivity in cows. **Dairy Australia**, 2018. Disponível em: <<http://coolcows.dairyaustralia.com.au/heat-stress-in-cows>>. Acesso em: 20 nov. 2018.
- DAMASCENO, F. A. **Compost bedded pack barns system and computational simulation of airflow through naturally ventilated reduced model**. 2012. Dissertação (Mestrado em Zootecnia e Engenharia de Alimentos) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.
- ESMAY, M.L. **Principles of animal environment**. Westport: Avi Publishing Company, 1969. 325p.
- GEBREMEDHIN, K.G.; BINXIN, W. A model of evaporation cooling of wet skin surface and fur layer. **Journal of Thermal Biology**, Nova York, p. 537-545, 2001.

IBRAHIM, A. A. **Heat gain from natural sources in the ventilation of animal shelters**, 1947. 136f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Agricultura) – Iowa State University Capstones, Iowa, 1947.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Indicadores de produção anual de leite**. São Paulo, 2016.

JANNI, K. A. et al. **Compost dairy barn layout and management recommendations**. 2007. 102f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Aplicada a Agricultura) – Purdue University, Michigan, 2007.

JIAN, W.; KE, Y.; CHENG L. Physiological responses and lactation to cutaneous evaporative heat loss in bos indicus, bos taurus, and their crossbreds. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, Seoul, p. 1558–1564, 2015.

KADZERE C. T. et al. **Heat stress in lactating dairy cows: a review**. 2002. 91f. Dissertação (Mestrado em Animal Sciences) – University of Illinois at Urbana - Agricultural Research Organization, Illinois, 2002.

MAIA, A. S. C. et al. Latent heat loss of Holstein cows in a tropical environment: a prediction model. **Revista Brasileira de Zootecnia: Sociedade Brasileira de Zootecnia**, p.1837-1843, 2008.

MANYIKA, J. et al. A future that works: automation, employment, and productivity. **McKinsey Global Institute**, 2018. Disponível em: <<http://www.mckinsey.com/mgi>>. Acesso em: 20 nov. 2018.

MARTELLO, L. S. **Interação animal-ambiente: efeito do ambiente climático sobre as respostas fisiológicas e produtivas de vacas holandesas em free-stall**. 2006. 113f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia e Engenharia de Alimentos) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

NAYYERI, M. et al. **Thermal properties of dairy cattle manure**. 2009. 366f. Dissertação (Mestrado em International Agrophysics) – University of Tehran, Tehran, 2009.

PAULA, D. O. Compost Barn em túnel de vento. **Revista Leite Integral**, 2018. Disponível em: <revistaleiteintegral.com.br> . Acesso em: 20 nov. 2018.

PEIXOTO, M. S. M. **Termorregulação de bovinos leiteiros confinados em instalação compost barn em região semiárida**. 2017. 78f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

SANTOS, M. V. Mastite em sistemas de compost barn. **Revista Inforleite**, São Paulo, p. 1-12, 2015.

SAWATZKY, R. **Bovinos leiteiros em sistema de confinamento compost bedded pack barn**. 2015. 42f. Dissertação (Graduação em Medicina Veterinária) – Universidade Tuiuti do Paraná, Curitiba, 2015.

SCARPA, A.; FERREIRA, T. Efeito do estresse calórico no desempenho e na produção das vacas de leite. **Revista Pecuária em Alta**, São Paulo, 2017.

SHANE, E. M. et al. Alternative bedding materials for compost bedded pack barns in minnesota: a descriptive study. **Journal American Society of Agricultural and Biological Engineers**, Michigan, 2010.

SILVA, R. G; MORAIS, D. A. E. F. Evaluation of thermal stress indexes for dairy cows in tropical regions. **Revista Brasileira de Zootecnia: Sociedade Brasileira de Zootecnia**, São Paulo, p. 1192–1198, 2007.

SIQUEIRA, A. V. **Instalação do tipo compost barn para confinamento de vacas leiteiras**. 2013. 38f. Dissertação (Graduação em Zootecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

TERRAVIVA. Compost barn traz benefícios em casos de Mastite. **O presente rural**. Disponível em: <<http://www.terraviva.com.br>>. Acesso em: 21 nov. 2018.

TUNA, C. E. **Notas de aula da disciplina de sistema fluídomecânicos**. 2015. 35 f. Notas de Aula (Graduação) – Departamento de Energia, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

UPTON, J. et al. Dairy farm energy consumption. **Teagasc National Dairy Conference**, p. 87–97, Rochestown, 2010.

VILELA, D. et al. A evolução do leite no Brasil em cinco décadas. **Revista Política agrícola**, São Paulo, p. 5–24, 2017.

WANG, X. et al. **Effect of airflow speed and direction on convective heat transfer of standing and reclining cows**. 2018. 98f. Dissertação (Mestrado em Biosystems Engineering) – Aarhus University, Aarhus, 2018.

WEG. **Motores elétricos assíncronos e síncronos de média tensão**: especificação, características e manutenção. São Paulo: Catálogo DT-6, 2015.

WELLS, G. D. **Dairy barn ventilation: exhaust fan systems**. Nova York: University of Vermont Extension, 2004.

ZIEHL-ABEGG. **Achieving the best result with optimal ventilation, fans and control technology**. Cajamar: Empresa Ziehl-Abegg do Brasil, 2016.