



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
UNIDADE ACADÊMICA DE SERRA TALHADA
CURSO DE BACHARELADO EM ZOOTECNIA

MONOGRAFIA

**Refinando a avaliação bioclimática do estado de Pernambuco para a criação de vacas
leiteiras**

Gabriela Mayara Pereira Oliveira
Graduando

Prof. DSc. Thieres George Freire da Silva
Orientador

Serra Talhada-PE
Junho de 2021

Gabriela Mayara Pereira Oliveira

**Refinando a avaliação bioclimática do estado de Pernambuco para a criação de vacas
leiteiras**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado ao Curso de Bacharel em Zootecnia da Universidade Federal Rural de Pernambuco, campus Serra Talhada, como requisito parcial à obtenção do título de ZOOTECNISTA.

Orientador: Prof. DSc. Thieres George Freire da Silva

Serra Talhada – PE
2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos
pelo(a) autor(a)

O48r Oliveira, Gabriela Mayara Pereira
Refinando a avaliação bioclimática do estado de Pernambuco para a criação de vacas leiteiras / Gabriela Mayara Pereira Oliveira. - 2021.
33 f. : il.

Orientadora: Thieres George Freire da Silva. Inclui referências.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Bacharelado em Zootecnia, Serra Talhada, 2021.

1. Bovinocultura de leite. 2. Risco climático. 3. Estatística multivariada. I. Silva, Thieres George Freire da, orient.

II. Título

CDD 636



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
UNIDADE ACADÊMICA DE SERRA TALHADA
CURSO DE BACHARELADO EM ZOOTECNIA

GABRIELA MAYARA PEREIRA OLIVEIRA
Graduando

Monografia submetida ao Curso de Zootecnia como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Zootecnia.

Entregue/...../..... (data da entrega da monografia) Média: _____

BANCA EXAMINADORA

_____ DSc. Thieres George Freire da Silva Assinatura	_____ Nota
_____ MSc. Alexandre Maniçoba da Rosa Ferraz Jardim Assinatura	_____ Nota
_____ MSc. Carlos André Alves de Souza Assinatura	_____ Nota

Sumário

RESUMO	6
ABSTRACT	7
1. INTRODUÇÃO	8
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	10
2.1 BOVINOCULTURA LEITEIRA	10
2.2 BEM-ESTAR ANIMAL.....	11
2.3 ESTRESSE TÉRMICO	12
2.4 ÍNDICES BIOCLIMÁTICOS	14
2.5 ZARC (Zoneamento Agrícola de Risco Climático)	16
3. OBJETIVOS	17
4.1 MATERIAL E MÉTODOS.....	17
4.1 ESPECIFICIDADES CLIMÁTICAS DA REGIÃO	17
CONCLUSÃO.....	27
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28

RESUMO

O Nordeste brasileiro tem apresentado um crescimento expressivo na bovinocultura leiteira, o que tem contribuído para a melhoria da economia. Neste contexto, objetivou-se a realização do aprimoramento da avaliação bioclimática do estado de Pernambuco para a criação de vacas leiteiras através da aplicação de risco bioclimático e estatística multivariada. Foi utilizado os dados meteorológicos de 13 a 20 anos, proveniente de 14 municípios do estado de Pernambuco. A partir dos dados meteorológicos foram gerados os índices bioclimáticos, como, ITU, DPL, RCA, TGN, ITGU e CTR, assim como os riscos bioclimáticos para os níveis 10, 15, 20, 25, 30 e 35 kg de leite animal⁻¹ dia⁻¹. Realizou-se uma análise de componentes principais com os índices bioclimáticos e performance animal para verificar a capacidade e a relação discriminativa das variáveis em cada estação do ano. Os quatro componentes principais foram responsáveis por explicarem 85,70% (verão), 88,75% (outono), 93,06% (inverno) e 85,70 (primavera) da variação total dos conjuntos dos dados. Os municípios de Arcoverde e Caruaru foram os únicos que apresentaram correlação negativa com os índices de DPL, RCA, CTR, TGN, ITGU e risco bioclimático, os quais qualificam como locais de expressivo potencial para a implantação de uma bovinocultura leiteira no estado de Pernambuco.

Palavras-chave: Bovinocultura de leite, risco climático, estatística multivariada

ABSTRACT

The Brazilian Northeast has shown significant growth in dairy cattle, which has contributed to the improvement of the economy. In this context, the objective was to improve the bioclimatic assessment of the state of Pernambuco for the creation of dairy cows through the application of bioclimatic risk, and multivariate statistics. Meteorological data from 13 to 20 years from 14 municipalities in the state of Pernambuco were used. From the meteorological data, bioclimatic indices were generated, such as ITU, DPL, RCA, TGN, ITGU, and CTR, as well as the bioclimatic risks for levels 10, 15, 20, 25, 30, and 35 kg of animal milk⁻¹ day⁻¹. A principal component analysis was carried out with bioclimatic indices and animal performance to verify the capacity and the discriminative relationship of the variables in each season of the year. The four principal components were responsible for explaining 85.70% (summer), 88.75% (autumn), 93.06% (winter), and 85.70 (spring) of the total variation of the data sets. The municipalities of Arcoverde and Caruaru were the only ones that showed a negative correlation with the indices of DPL, RCA, CTR, TGN, ITGU, and bioclimatic risk, which qualify as places of significant potential for the implantation of a dairy in the state of Pernambuco.

Keywords: Dairy cattle, climate risk, multivariate statistics

1. INTRODUÇÃO

A pecuária de leite brasileira é considerada uma das maiores produtoras de lácteos do mundo. Atualmente apresenta uma alta diversidade de produtos e subprodutos, e tem contribuído com o setor socioeconômico de diversas regiões. O Nordeste brasileiro, por exemplo, tem apresentado um crescimento considerável na bovinocultura de leite, o que favorece o Produto Interno Bruto – PIB regional e nacional (RODRIGUES et al., 2001; CANAZA-CAYO et al., 2016).

Tratando-se de práticas humanitárias e bem-estar animal, diversos questionamentos são ressaltados sobre o conforto de criação dos animais de larga produção, com ênfase em gado leiteiro, são bastante relatados na literatura (COIGNARD et al., 2014). A União Europeia é altamente exigente quando se trata de bem-estar animal, e atualmente vem exigindo maior conforto dos animais, devido aos produtos e subprodutos que serão importados. Essas exigências são abordadas, principalmente, pelos consumidores de países de elevado desenvolvimento.

No Brasil, as práticas de produção humanitárias dos rebanhos ainda não se encontram em níveis elevados. Esse fato é explicado com base na ausência de conhecimento da população sobre os sistemas de produção que são adotados no país. Contudo, existe uma parcela considerável, da população em alerta a questões críticas do bem-estar, esse percentual engloba ativistas, veganos, vegetarianos, dentre outros (HÖTZEL & MACHADO FILHO, 2004; RUFINO & ARAÚJO, 2015; BARKEMA et al., 2015).

As regiões tropicais exercem influências consideráveis sobre o desempenho dos animais, principalmente leiteiros tanto em caráter quantitativo quanto qualitativo, devido às variações climáticas ao longo do ano e sazonalidade de alimentos (KADZERE et al., 2002; CARNEVALLI et al., 2019). Preocupações têm sido apresentadas, por parte dos pesquisadores, no que se trata da influência do estresse térmico sobre a saúde e desempenho dos animais (TOSETTO et al., 2014; NETO & BITTAR, 2018).

A temperatura e a umidade relativa do ar são consideradas os principais elementos climáticos que induzem o estresse térmico e declínio de produção. Esse fenômeno acontece, devido às altas temperaturas do ar que induzem os animais a reduzir o consumo de alimentos sólidos e aumentar a ingestão de líquidos, desfavorecendo o processo de ruminação. Dentre as variáveis meteorológicas, a umidade relativa do ar, em algumas regiões dos trópicos em determinadas épocas do ano, apresenta valores elevados implicando na dissipação de calor por

parte dos animais por condução e/ou convecção de forma efetiva, assim favorecendo o estresse térmico dos mesmos.

A maioria dos animais de larga escala de produção do setor agropecuário é considerada seres endotérmicos, ou seja, capazes de autorregular a temperatura interna corporal (MOREIRA, 2015). Em caso de baixo grau de bem-estar, há certa dificuldade de quantificar e observar esse desconforto, devido à capacidade adaptativa. No intuito de quantificar e/ou estimar o grau de bem-estar animal, alguns estudiosos desenvolveram equações de predições nomeadas índices bioclimáticos (THOM, 1959; BUFFINGTON et al., 1981; ESMAY, 1969). Esses índices têm o intuito de englobar dados de elementos climáticos e fornecer resultados que auxiliam no planejamento agropecuário ou na tomada de decisão.

Os índices bioclimáticos, como ITU (Índice de Temperatura e Umidade), ITGU (Índice de Temperatura do Globo Negro e Umidade), CTR (Carga Térmica Radiante), e TGN (Temperatura do Globo Negro), faz-se relação com elementos climáticos, como, temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento, radiação solar. Segundo Hoffmann et al. (2020) o ITU é utilizado na maioria dos estudos como uma forma de avaliar o estresse térmico. Porém, alguns autores caracterizam o ITGU como índice mais expressivo por levar em consideração um maior número de variáveis meteorológicas (KLOSOWSKI et al., 2002)

Um dos grandes desafios é quantificar e avaliar os impactos das variações climáticas na produção animal, assim, quando trabalhados a fundo, os índices bioclimáticos possibilitam que os pesquisadores extraiam resultados voltados ao grau de bem-estar, a longo e curto prazo, e ao risco de produção em diferentes ambientes. Dessa forma, objetivou-se realizar um refinamento da avaliação bioclimática do estado de Pernambuco para a criação de vacas leiteiras através da aplicação de risco bioclimático e estatística multivariada.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 BOVINOCULTURA LEITEIRA

A bovinocultura de leite brasileira é considerada destaque em âmbito mundial, sendo o Brasil o quinto maior produtor de leite (BÁNKUTI et al., 2018), e a produção de laticínios uma das atividades principais do setor social e econômico (CRUZADO-BRAVO et al., 2020). No ano de 2017, a produção de leite foi em média 33,5 bilhões de litros, os quais foram oriundos da ordenha de 17.060.117 milhões de vacas de todo país (IBGE, 2017). Para Marins (2016) a produção de leite é destaque na economia nacional, devido ao seu histórico crescente de demanda doméstica e exportação de produtos lácteos.

Pesquisas têm sido desenvolvidas com o intuito de estimar o cenário da cadeia produtiva de leite do Brasil para as próximas décadas. O MAPA (2013) afirma que a expectativa é que no ano de 2023 a produção de leite brasileira seja superior a 46,7 bilhões de litros. Enquanto, Carvalho (2008) considera que até 2020 a produção de leite será além de 50 bilhões de litros, o que corresponde a um aumento histórico de 4,9%, sendo fruto de altos investimentos no setor, da utilização de tecnologias e do grande estímulo ao consumo de produtos lácteos.

O Brasil tem a capacidade de tornar-se um dos principais exportadores de produtos lácteos do mundo, para isso, é necessário à oferta de leite com as qualidades exigidas pelo mercado consumidor em quantidade suficiente para atender à demanda (SOUZA et al., 2010). No entanto, o país apresenta a maioria do seu território na região tropical o que lhe torna vulnerável às mudanças climáticas, assim afetando de forma significativa o agronegócio (SILVA et al., 2010). Segundo Rodrigues et al. (2000) mesmo com essas condições climáticas deficitárias à produção animal, a pecuária de leite é uma atividade de grande relevância para a região semiárida do Brasil, por gerar empregos e rendas para os produtores rurais.

A pecuária de leite nacional apresenta duas características marcantes, sendo a primeira uma atividade bastante difundida, devido sua ocorrência em todo território nacional e a segunda seria a falta de um sistema de produção padrão (VILELA & RESENDE, 2014). Onde o maior aporte tecnológico da bovinocultura de leite nacional se encontra nas regiões Sul e Sudeste quando comparado com os sistemas de produção do Norte e Nordeste, tecnologias essas que auxiliam em maiores rendimentos produtivos neste setor (BARRIENTOS-BLANCO et al., 2018).

A tecnificação e os sistemas de produção da bovinocultura leiteira variam entre os estados brasileiros (CLEMENTINO et al., 2015). Na região Nordeste, essa atividade é caracterizada por ser exercida, na maioria das vezes, por pequenos produtores, em propriedades com baixo

uso de tecnologias, com o intuito de obter retorno com a venda de produtos e subprodutos diversificados (queijos, iogurtes, manteigas).

A bovinocultura leiteira nordestina é uma das atividades pecuárias que tem se destacado e apresentado um crescimento significativo nas últimas décadas, e é praticada em todos os estados brasileiros (BARRIENTOS-BLANCO et al., 2018). Segundo a Embrapa (2002) o Nordeste tem sido considerado uma das regiões que mais cresceu nessa área, produzindo cerca de 14% do leite do Brasil, onde as principais bacias leiteiras se encontram na região semiárida e os principais centros consumidores na região litorânea.

Segundo Nascimento et al. (2013) o estado de Pernambuco é considerado o segundo maior produtor de leite da região Nordeste, contribuindo com 19,7% da produção total. E para Vilela & Resende (2014) os maiores aumentos de produção na região Nordeste ocorreram nos estados da Bahia, Pernambuco e Maranhão. Esse crescimento tem sido relacionado com a importância dessa atividade frente ao alto valor nutritivo do leite e demanda de mercado (NUNES et al., 2016).

2.2 BEM-ESTAR ANIMAL

Com os avanços das pesquisas em Etologia Animal na década de 70, começou a surgir certa preocupação com a proteção do bem-estar animal. Molento (2007) relata que essa preocupação se torna visível desde os anos 60, quando questionamentos sobre o uso de animais para a produção de alimentos e os impactos negativos ao bem-estar animal foram levantados.

O bem-estar indica o estado do animal frente às suas tentativas de adaptação ao ambiente onde está inserido (BROOM, 1986). Para Hurnik (1992) refere-se ao estado de harmonia entre o animal e o local onde vive, sendo estabelecido pelas características físicas e fisiológicas ideais e a alta qualidade de vida do animal. Manifestar sinais de alterações no comportamento pode indicar insatisfação do animal pelo meio. Fraser et al. (1997) mencionam o bem-estar animal como três ideias éticas, sendo a de sentir-se bem, liberdade de desfrutar de situações e de ter saúde.

Nos dias atuais, o bem-estar animal é bastante questionado quando se trata de produção altamente intensiva. Silva & Borges (2015) consideram o bem-estar animal um tópico de interesse na produção animal moderna. Para Bond et al. (2012) o bem-estar passou a ser contestado de forma persistente devido às preocupações dos consumidores e políticos da União Europeia, visto que a sociedade passou a conhecer os sistemas de produção e a exigir a criação de animais de maneira humanitária.

No Brasil, a preocupação com o bem-estar animal ainda é mínima quando comparada com os países europeus, porém há uma considerável parcela da população que se encontra atenta às questões do bem-estar animal em relação aos sistemas de produção explorados no país. Para Silva & Borges (2015) o Brasil apresenta uma baixa preocupação quanto ao bem-estar animal devido ao pouco conhecimento da sociedade em relação aos sistemas de produção.

No ano de 1965, foi publicado o relatório *Brambell Committee* na Grã-Bretanha (VIEIRA et al., 2011), que aborda sobre cinco fatores que os animais necessariamente precisam ser protegidos, sendo: (1) Fome e sede; (2) Desconforto; (3) Dores, lesões e doenças; (4) Impedido de expressar o comportamento natural da espécie; e (5) Medo e estresse. Alguns autores conceituam como as Cinco Liberdades e que desde a sua deliberação são consideradas a base dos códigos de recomendações de bem-estar animal.

Na tentativa de avaliar o bem-estar animal inúmeros critérios são utilizados. Alguns autores consideram esse tipo de avaliação complexa, devido ao poder adaptativo dos animais frente às intempéries impostas pelo ambiente como um todo. Segundo Hötzel et al. (2004) o estresse fisiológico ou térmico é um dos principais indicadores utilizados para avaliar o bem-estar animal, podendo ser uma resposta a um estímulo do ambiente ao qual o animal está inserido, na tentativa de manter a homeostasia.

2.3 ESTRESSE TÉRMICO

O *Stress* ou estresse consiste na exposição do indivíduo a condição desagradável com efeito adverso, onde o mesmo colocará uma sobrecarga sobre o seu sistema de controle (BROOM & JOHNSON, 1993). Um animal se encontra em estresse quando se faz necessário ajuste, seja natural ou artificial, em seu comportamento e/ou fisiologia, a fim de combater as variáveis antihomeostáticas do ambiente (MARCHETO et al., 2002), que podem causar fadiga, lesões e até a morte (SCHWARTZKOPF-GENSWEIN et al., 2012). Porém, as respostas dos animais aos agentes estressores variam de acordo com o grau de estresse e de suas características genéticas.

A zona tropical é considerada uma região que exerce efeito significativo no desempenho dos animais, principalmente leiteiros, devido as suas mudanças climáticas e ao demasiado estresse térmico. Para Silva et al. (2010) essa atividade é um dos setores do agronegócio mais afetado com as variações do clima. Segundo Nascimento et al. (2013) minimizar os efeitos prejudiciais do clima tropical e subtropical sobre os animais leiteiros tem sido uma constante preocupação dos produtores de leite.

Os principais causadores de estresse térmico em animais leiteiros são as interações e variações dos elementos climáticos (temperatura, radiação solar, umidade relativa do ar, precipitação, dentre outros) ao longo do ano. Para Tosetto et al. (2014) a temperatura do ar e a umidade relativa são os principais elementos climáticos responsáveis pelo estresse calórico em bovinos leiteiros, e um dos principais causadores da morte por estresse e declínio de rendimento do gado (JI et al., 2019).

A susceptibilidade dos animais ao estresse térmico aumenta à medida que a umidade relativa do ar e a temperatura excedem a zona de conforto térmico, dificultando a dissipação de calor, o que afeta a eficiência produtiva devido ao maior gasto energético para a manutenção, como efeito negativo sobre o desempenho do animal e diminuição da qualidade do leite (FERREIRA et al., 2006).

As diferenças sazonais na produção de leite são causadas por mudanças intermitentes de umidade e temperatura do ar durante todo o ano, o que reflete de forma direta na produção do leite devido à redução do consumo de matéria seca e ingestão de água (BOHMANOVA et al., 2007). Para Porcionatto et al. (2009) a queda na produção do leite de vacas em estresse térmico é causada pela redução na ingestão de alimentos e pela energia despendida na tentativa de eliminar o excesso de calor corporal.

Segundo Barnabé et al. (2015) quando os mecanismos de termólise dos animais homeotérmicos não são suficientes para a manutenção da temperatura corporal, o calor metabólico, somado ao calor recebido do ambiente, torna-se maior que o calor dissipado promovendo o desequilíbrio térmico no animal.

Conhecer as características e os valores de conforto térmico da espécie que se deseja trabalhar é um dos passos para o sucesso da atividade. Segundo Baccari Junior (2001) é fundamental conhecer sobre os limites de conforto térmico de cada espécie animal para melhorar efetivamente a produtividade e o bem-estar do rebanho. Porquanto, a depender do estágio fisiológico que o animal se encontra a produção do leite pode ser toda comprometida. Pinarelli (2003) comprova que vacas submetidas a estresse térmico, ou seja, fora da sua zona de conforto, tiveram um declínio de 17% na produção do leite em vacas de 15 kg de leite dia⁻¹ e de 22% em vacas de 40 kg dia⁻¹.

A zona de termoneutralidade é um ponto característico de cada espécie animal, sendo definida pelos limites inferiores e superiores dos elementos climáticos e tem o objetivo de garantir o bem-estar dos animais dentro das faixas limites. Mas, segundo Nascimento et al. (2013) na literatura há uma variação, em caráter numérico, sobre a zona de termoneutralidade.

Segundo Tosetto et al. (2014) a zona de termoneutralidade de uma espécie varia em função da idade, sexo, raça, estado produtivo, entre outros. Quando se deseja uma alta produtividade, os animais no sistema de produção devem estar desfrutando de uma faixa de temperatura adequada, a chamada zona de conforto, entretanto, o aumento de produção leiteira dos animais exige uma melhor adequação do ambiente, visto que, animais com características de alta produção, possuem maior suscetibilidade a perdas de rendimento decorrente do calor corporal (ESLAMIZAD et al., 2015).

Para vacas leiteiras no período de lactação a zona de conforto varia de 4 a 24 °C, mas em razão da umidade relativa do ar e da radiação solar essa faixa pode se restringir aos limites de 7 a 21 °C (NÃÃS, 1989). Pereira (2005) considera a zona de termoneutralidade de 0 a 16 °C para bovinos leiteiros taurinos (*Bos taurus*), 10 a 27 °C para os animais zebuínos (*Bos indicus*) e para os mestiços variam de 5 a 31 °C. Enquanto Nascimento et al. (2013) consideram que a zona de conforto para as raças leiteira varia 10 a 20 °C, o que caracteriza uma diversidade de temperaturas dependendo da raça dos animais.

2.4 ÍNDICES BIOCLIMÁTICOS

No intuito de avaliar e estimar o bem-estar animal ao longo do dia e até do ano, alguns pesquisadores desenvolveram equações matemáticas que predizem o grau de conforto e desconforto (TURCO et al., 2006). Segundo Souza et al. (2010) esses índices bioclimáticos visam englobar, em um único parâmetro, o efeito conjunto dos elementos meteorológicos e do ambiente.

O ITU (índice de temperatura e umidade), a CTR (carga térmica radiante), o ITGU (índice de temperatura do globo negro e umidade), a TGN (temperatura do globo negro), e o DPL (declínio na produção do leite) são exemplos de índices de conforto térmico, que através de sua equação matemática se faz a relação com o grau de conforto e desconforto dos animais inseridos em determinada condição ambiental. Para Perissinotto & Moura (2007) esses índices de conforto são utilizados para estabelecer classes que são definidas de acordo com a reação fisiológica e/ou comportamental dos animais.

O Índice de Temperatura e Umidade - ITU foi desenvolvido por Thom (1959) e é determinado pela relação da temperatura do ar com a umidade relativa do ar, sendo considerado um dos principais índices para determinar o estresse calórico dos animais. Segundo Souza et al. (2010) o ITU é um dos índices mais utilizados por envolver apenas dados disponíveis em estação meteorológica.

Ambientes que apresentam ITU superiores a 72, tendem a apresentar uma redução na produção média de leite em vacas Holandesas (DAMASCENO et al., 1998), o que representa uma resposta do seu estresse calórico. Aguiar et al. (1996) trabalhando com vacas holandesas afirmam que ITU entre 72,3 a 74,4 deprimem a produção de leite de 3,6 a 4,5%. Armstrong (1994) classificou o estresse térmico de acordo com a variação do ITU em: ameno ou brando (72 a 78), moderado (79 a 88) e severo (89 a 98). Contudo, há uma oscilação entre autores quanto à variação e classificação de ITU.

O Índice de Temperatura do Globo e Umidade - ITGU foi desenvolvido por Buffington et al. (1981) com o objetivo de medir o conforto térmico para vacas leiteiras expostas a radiação solar direta e indireta. O ITGU é mais expressivo que o ITU, pois este índice incorpora os efeitos causados pela umidade, velocidade do ar, temperatura do bulbo seco e radiação (JARDIM et al., 2020a; NASCIMENTO et al., 2013; SILVA et al., 2008).

Tratando dos valores de ITGU e suas classificações, tem-se observado na literatura que esses dados são bastante semelhantes com os de ITU e que sua relação com os parâmetros fisiológicos dos animais leiteiros tem sido abundantemente estudada. Avila et al. (2013) trabalhando com índices bioclimáticos em vacas de leite observaram que o ITGU, ITU e CTR tem correlação positiva e significativa com os parâmetros de frequência cardíaca, respiratória e temperatura superficial, assim explicando a ação dos elementos climáticos sobre o bem-estar animal.

Os parâmetros fisiológicos sofrem influência da variação dos índices bioclimáticos, à medida que apresentam valores superiores ao da zona de conforto. Façanha et al. (2016) trabalhando com vacas Holandesa em ambiente quente observou que o ITGU influenciou as frequências respiratórias de vacas leiteiras, assim mostrando diferentes formas de acionamento do sistema termorregulador.

O Declínio da Produção de Leite – DPL tem o intuito de estimar a possível queda na produção de leite frente às variações dos elementos climáticos e ao nível de produção dos animais. Foi proposto por Berry et al. (1964) e é bastante utilizado para realizar previsão a longo e curto prazo. Klosowski et al. (2002) trabalhando com estimativa do DPL observaram que vacas com nível de produção de 35 kg dia⁻¹ podem sofrer redução de 4,2 kg dia⁻¹ no mês de dezembro, onde se nota a influência da época do ano e as variações do clima na produção do leite.

2.5 ZARC (ZONEAMENTO AGRÍCOLA DE RISCO CLIMÁTICO)

O Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) é um instrumento de política agrícola e gestão de risco na agricultura, com objetivo de minimizar os riscos relacionados aos fenômenos climáticos adversos e permite que cada município identifique a melhor época de plantio da cultura (MAPA, 2017). Para Aparecido et al. (2019) o ZARC é obtido usando as informações meteorológicas predominantes de uma região, juntamente com as características bioclimáticas das espécies cultivadas.

Em 2016 completou 20 anos que é executado estudos de ZARC e que esses trabalhos têm mostrado sucesso na sua utilização em diferentes âmbitos, como por exemplo, instrumento de política pública (ROSSETTI, 2001).

A utilização do ZARC é de grande importância por dar a possibilidade de identificar regiões que são aptas, inaptas ou marginais, além de ajudar a reduzir os riscos envolvidos com atividades agrícolas (APARECIDO et al., 2018). Para Maluf et al. (2001) quando se tem o intuito de maximizar a produção se faz necessário entender as variáveis do ambiente que limitam o potencial da espécie trabalhada. Contudo, a realização de estudos como o ZARC ainda é deficitário para as espécies animais no setor agropecuário.

O que se tem feito para a produção animal são coletas de bancos de dados de estações meteorológicas com o intuito de avaliar o grau de conforto e desconforto térmico, o impacto no consumo alimentar, produção de leite e conseqüentemente a variação dos parâmetros fisiológicos (LEITE et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2006). Esses bancos de dados juntamente com as equações de predições podem ser manipulados a fim de realizar todas as avaliações e estimativas em diferentes escalas temporais.

Alguns autores nomeiam esse processo de utilização de bancos de dados como Mineração de Dados. Segundo Rezende et al. (2003) a mineração de dados é conceituada como um processo de extração de conhecimento a partir de bancos de dados, a fim de utilizar esse conhecimento adquirido em um processo decisório, ou seja, uma tomada de decisão.

Essa mineração de dados é bastante utilizada e serve como base para o desenvolvimento do Zoneamento de Risco Climático tanto para as espécies vegetais quanto para as espécies animais. A maioria dessas pesquisas é voltada a relacionar os índices bioclimáticos aos valores ideais de cada espécie, assim mostrando o grau de conforto e desconforto. Porém, pesquisas que afirmam o risco de perda de produção ou a melhor época para maximizar a produção ainda são ditas como escassas para a pecuária leiteira.

3. OBJETIVO GERAL

Realizar um refinamento da avaliação bioclimática do estado de Pernambuco para a criação de vacas leiteiras através da aplicação de risco bioclimático e estatística multivariada.

3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Coletar dados climáticos dos municípios em estudos;
- b) Estimar os valores de ITU (Índice de temperatura e umidade), DPL (Declínio da produção de leite), RCA (Redução do consumo alimentar), TGN (Temperatura do Globo Negro), ITGU (Índice de temperatura do globo negro e umidade) e CTR (Carga térmica radiante);
- c) Classificar o ITGU e risco da produção de leite;

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 ESPECIFICIDADES CLIMÁTICAS DA REGIÃO

O estudo foi realizado no estado de Pernambuco, Brasil, o qual é composto por 185 municípios e uma área territorial de 98.068,021 km² (IBGE, 2018). Foram utilizados dados meteorológicos de estações automáticas referentes à 14 municípios do estado de Pernambuco (Figura 1) pertencente ao Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC).

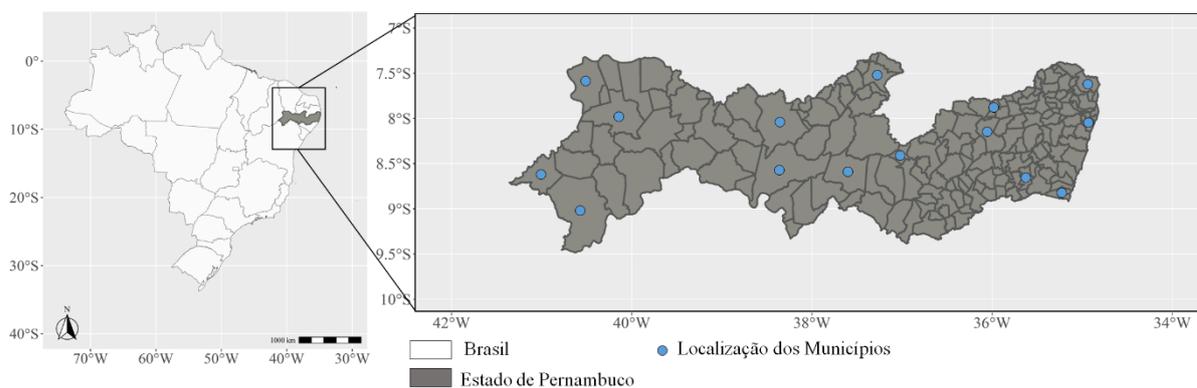


Figura 1. Localização geográfica da área de estudo.

As condições climáticas do estado de Pernambuco, apresenta variações meteorológicas em micro e macro escala, principalmente nas variáveis como velocidade do vento, chuva, temperatura e umidade relativa do ar em virtude das áreas de transições entre Litoral, Agreste e Semiárido, o que resulta em diferentes condições ambientais de desconforto e/ou conforto térmico para os animais (SILVA et al., 2010).

4.2 ELABORAÇÃO DO BANCO DE DADOS CLIMÁTICOS

Foi realizado um levantamento dos dados históricos horários de radiação solar (MJ m^{-2}), temperatura do ar média, máxima e mínima ($^{\circ}\text{C}$), umidade relativa do ar (%) e velocidade do vento a 2 m de altura (m s^{-1}), referentes aos municípios de Araripina, Arcoverde, Barreiros, Caruaru, Floresta, Ibimirim, Vertentes, Ouricuri, Palmares, Petrolina, Recife, São José do Egito e Serra Talhada, durante os períodos e microrregiões dispostos na Tabela 1.

Tabela 1. Dados e coordenadas geográficas das estações meteorológicas automáticas pertencente ao Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, distribuídas no estado de Pernambuco.

Município	Latitude	Longitude	Altitude	Microrregião	Nº de anos
Araripina	-7.455°S	-40.417°W	624 m	Araripina	20 anos
Arcoverde	-8.434°S	-37.053°W	716 m	S. do Moxotó ¹	20 anos
Barreiros	-8.821°S	-35.189°W	22 m	M.M.P. ²	16 anos
Caruaru	-8.236°S	-35.910°W	488 m	V. do Ipojuca ³	20 anos
Floresta	-8.600°S	-38.567°W	316 m	Itaparica	15 anos
Ibimirim	-8.536°S	-37.674°W	401 m	S. do Moxotó ¹	18 anos
Vertentes	-7.903°S	-35.971°W	401 m	A. do Capibaribe ⁴	16 anos
Ouricuri	-7.874°S	-40.088°W	451 m	Araripina	16 anos
Palmares	-8.659°S	-35.568°W	125 m	M.M.P. ²	16 anos
Petrolina	-9.150°S	-40.367°W	36 m	Petrolina	19 anos
Recife	-8.059°S	-34.922°W	10 m	Recife	15 anos
São José do Egito	-7.440°S	-37.275°W	585 m	Pajeú	16 anos
Serra Talhada	-7.925°S	-38.287°W	430 m	Pajeú	16 anos
Sertânia	-8.070°S	-37,270°W	575 m	S. do Moxotó ¹	13 anos

¹Sertão do Moxotó; ²Mata Meridional Pernambucana; ³Vale do Ipojuca; e ⁴Alto do Capibaribe.

Os municípios dispõem de estações meteorológicas automáticas vinculadas ao Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) e o levantamento dos dados climáticos foi realizado através do site da agência no item Plataforma de Coleta de Dados (PCD).

As coletas dos dados pelas estações meteorológicas da agência foram realizadas em intervalos de 3 horas entre coletas, assim totalizando oito coletas diárias, sendo às 00:00 h, 03:00 h, 06:00 h, 09:00 h, 12:00 h, 15:00 h, 18:00 h e 21:00 h. Após o levantamento dos dados foi realizada uma análise de qualidade dos mesmos, com o objetivo de excluir os valores discrepantes (Tabela 2). Os dados diários, mensais e anuais, foram processados a partir da soma dos dados horários. Com os dados mensais foram calculados os valores em escala estacionais, ou seja, verão, outono, primavera e inverno, com o intuito de detalhar as épocas com maiores e menores desconforto térmico e interferência na produção animal.

Tabela 2. Visão geral dos alcances máximos e mínimos dos dados utilizados para as análises.

RadSol (W/m²)	RadSol (MJ/m²)	TempMéd (°C)	TempMáx (°C)	TempMin (°C)	VelVent (m s⁻¹)
>1200	>20	>41	>42	>32	>15
<1100	<12	<10	<18	<17	<7

RadSol: Radiação solar; TempMéd Temperatura do ar média; TempMáx: Temperatura do ar máxima; TempMin: Temperatura do ar mínima; VelVent: Velocidade do vento.

4.3 ESTIMATIVAS DOS VALORES DE ITU, DPL, RCA, TGN, ITGU E CTR

Os valores dos índices de TGN (Temperatura do Globo Negro), ITU (Índice de Temperatura e Umidade), ITGU (Índice de Temperatura do Globo Negro e Umidade), DPL (Declínio da Produção do Leite) e CTR (Carga Térmica Radiante) foram calculados para as diferentes escalas temporais (i.e. diária, mensal e anual), com o intuito de observar as variações dos mesmos em escalas sazonais e anuais.

Os valores de ITU foram calculados a partir da equação proposta por Thom (1959):

$$1) \text{ ITU} = t_m + 0,36t_{po} + 41,5$$

em que:

t_m – Temperatura média do ar, °C;

t_{po} – Temperatura do ponto de orvalho, expressa em °C.

A temperatura do ponto de orvalho (t_{po}) foi calculada a partir da combinação das equações psicrométricas citadas por Silva et al. (2019).

$$2) \quad t_{po} = \frac{237,3 * \log\left(\frac{e}{0,61078}\right)}{7,5 - \log\left(\frac{e}{0,61078}\right)}$$

em que:

e – Pressão parcial do vapor, (kPa), a qual é estimada pela expressão de Tetens (1930):

$$3) \quad e_s = 6,1078 * 10^{\left(\frac{7,5t_{ar}}{237,3+t_{ar}}\right)}$$

$$4) \quad e = e_s * \frac{UR}{100}$$

em que:

e_s – Pressão de saturação de vapor d'água no ar, expressa em kPa;

t_{ar} – Temperatura do ar, °C;

UR – Umidade relativa do ar, expressa em %.

Para a estimativa do ITGU (temperatura do globo negro e umidade), foi utilizada a equação de Leitão et al. (2013):

$$5) \quad ITGU = T_{gn} + 0,36 * t_{po} + 41,5$$

em que:

t_{po} – Temperatura do ponto de orvalho, °C;

T_{gn} – Temperatura do globo negro, °C.

A TGN foi calculada a partir das equações propostas por Silva et al. (2019):

$$6) \quad TGN_d = [(1,3897 * T_{ar} - 5,4421) * (0,0384 \ln(R_s) + 0,7935)]$$

$$TGN_n = 0,9950 * T_{ar} - 0,6964$$

em que:

TGN_d – Temperatura do globo negro diário, expressa em °C;

TGN_n – Temperatura do globo negro noturna, °C;

T_{ar} – temperatura do ar, °C; e

R_s – Radiação solar incidente, $W m^{-2}$.

O declínio da produção de leite (DPL) foi estimado por meio da equação proposta por Berry et al. (1964), que fornece os valores de DPL para vacas leiteiras em função ao ITGU ou ITU e do nível de produção de leite (NP) dos animais:

$$7) \text{ DPL} = 1,075 - 1,736 * \text{NP} + 0,02474 * \text{NP} * \text{ITGU}$$

em que:

DPL – expresso em kg animal⁻¹ d⁻¹;

NP – dado em kg animal⁻¹ dia⁻¹.

O NP é utilizado como referência para representar uma situação em que o animal apresenta produtividade normal sob condições de termoneutralidade. Para este trabalho foram considerados os valores de NP de 10, 15, 20, 25, 30 e 35 kg animal⁻¹ dia⁻¹.

Com os valores de ITU também foi calculado a redução do consumo alimentar (RCA) dos animais leiteiros, expressa em kg animal⁻¹ dia⁻¹, a partir da equação citada por Hahn & Osburn (1969):

$$8) \text{ RCA} = -28,23 + 0,391 * \text{ITU}$$

Para a CTR (carga térmica radiante, W m⁻²), foi utilizada a equação proposta por Campos (1986):

$$9) \text{ CTR} = \sigma * (\text{TMR})^4$$

em que, σ é a constante de Stefan-Boltzmann (5,67*10⁻⁸ W m⁻² K⁻⁴); TMR (Temperatura Radiante Média, em K) é estimado pela equação (RIBEIRO et al., 2020; JARDIM et al., 2020a):

$$10) \text{ TRM} = 100 * \left[\left(2,51 * V_1^{0,5} * (\text{TGN}_k - \text{Tar}_k) + \left(\frac{\text{TGN}_k}{100} \right)^4 \right) \right]^{0,25}$$

em que:

V₁ – Velocidade do vento, m s⁻¹;

TGN_k – Temperatura do globo negro em Kelvin (K);

Tar_k – Temperatura do ar em Kelvin (K).

4.4 CLASSIFICAÇÃO DO ITGU E DO RISCO DE PRODUÇÃO

Os valores médios anuais de ITGU (Índice de Temperatura do Globo Negro e Umidade), ITU (Índice de Temperatura e Umidade), CTR (Carga Térmica Radiante), DPL (Declínio da Produção do Leite), RCA (Redução do Consumo Alimentar), TGN (Temperatura do Globo Negro) foram utilizados na elaboração dos gráficos para ilustrar os efeitos das variações

climáticas e dos índices bioclimáticos sobre o desempenho produtivo da atividade leiteira de vacas no estado de Pernambuco.

A identificação das microrregiões e municípios adequados para o desenvolvimento da atividade leiteira foi realizada de acordo com os valores limites de ITGU, estimado por meio da inversão da equação de DPL (declínio da produção do leite). Em que, os valores nulos de DPL são obtidos quando os valores de ITGU são iguais ou inferiores a 83, para todos os níveis de produção (10, 15, 20, 25, 30 e 35 kg animal⁻¹ dia⁻¹). O valor limite (ITGU < 83) indica o início do declínio da produção do leite, assim evidenciando o início do desconforto térmico (Figura 2).

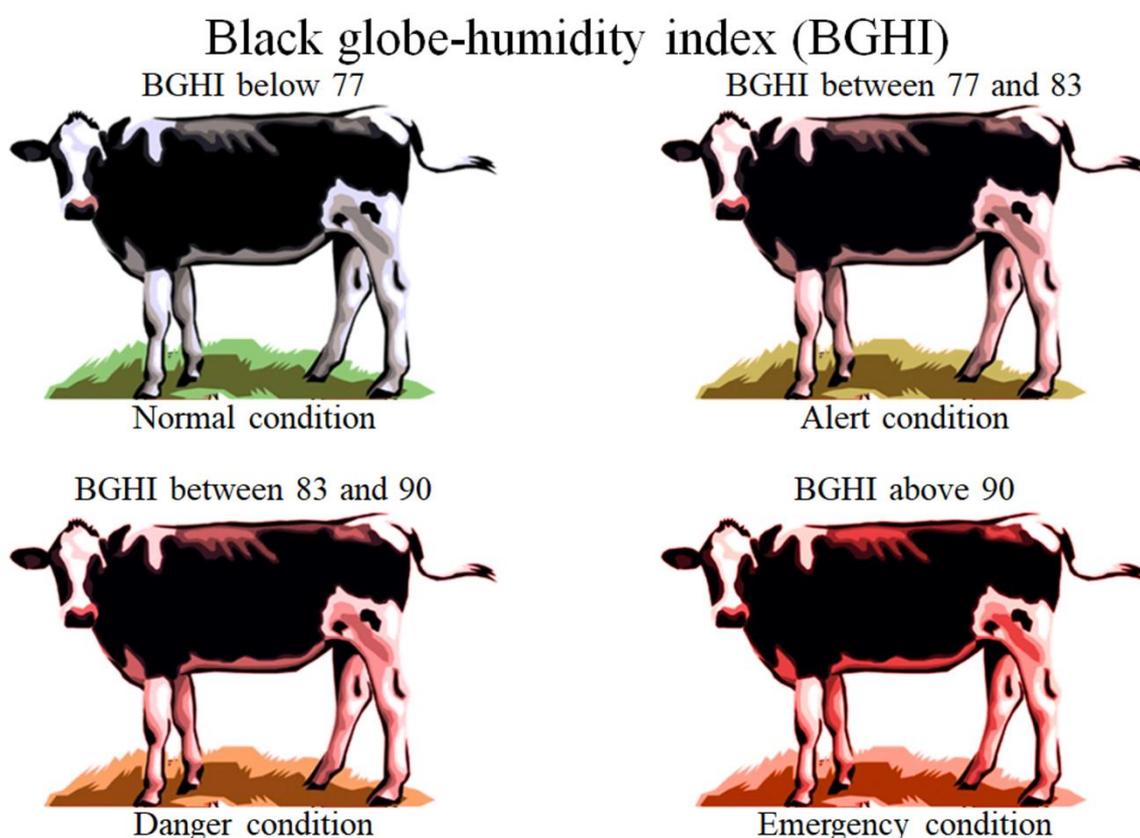


Figura 2. Escalas do black globe-humidity index para vacas leiteiras.

Com o valor crítico de ITGU para os diferentes níveis de produção, foram estabelecidas as classificações de risco bioclimático (Tabela 3). O risco bioclimático está associado ao tempo de exposição em dias que os animais estão submetidos ao ITGU maior que o valor limite, i.e. ITGU > 83.

Tabela 3. Classificação de riscos bioclimáticos em tempo de exposição dos animais.

Quantidade de dias (%)	Classificação
≤ 20	Confortável
≤ 30	Moderado
≤ 40	Alerta
>40	Desconforto

4.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados referentes aos índices bioclimáticos e performance animal foram submetidos à análise de componentes principais (ACP) para verificar a capacidade discriminativa da variável e a relação da variável em cada conjunto com as estações do ano. A técnica de estatística multivariada, utilizando ACP baseia-se em transformar um grande conjunto de variáveis em um novo conjunto de dados sem perder informações relevantes. As componentes principais geradas após a aplicação do método, consiste na combinação linear dos indicadores principais das variáveis originais, que é construída para explicar a variabilidade total máxima das variáveis originais e não correlacionadas (JARDIM et al., 2020b; JARDIM et al., 2021). Em seguida, as escolhas das componentes principais foram utilizadas através do método proposto por Kaiser (1960); admitindo valores maiores ou iguais a 1,0 para os autovalores da componente principal.

Todas as análises utilizadas no presente estudo foram realizadas no software R (R Core Team 2020).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 3 são apresentados os biplots da análise de componentes principais dos 14 municípios para os índices produtivos e conforto animal. Nas quatro estações do ano houve risco bioclimático para a bovinocultura leiteira no estado Pernambuco. Os riscos de perda de produção foram notados para todos os níveis de produção (10, 15, 20, 25, 30 e 35 kg animal⁻¹ dia⁻¹) e é explicado, principalmente, pela interferência das seguintes variáveis: RCA (redução do consumo alimentar), TGN (temperatura do globo negro), CTR (carga térmica radiante), ITGU (índice de temperatura do globo negro e umidade) e UR (umidade relativa do ar). Durante o verão (Figura 3A), a componente principal 1 (CP1) explicou 71,64% da variância dos dados,

e a componente principal 2 (CP2) com 14,06%; somadas as duas primeiras componentes uma variância de 85,70%. Foi possível com a CP1 observar separações entre o risco e os índices produtivos e de conforto. Os municípios denotados com maiores riscos são Serra Talhada, Petrolina, Ibimirim, e Floresta. Tais municípios citados estão associados a elevada RCA e DPL.

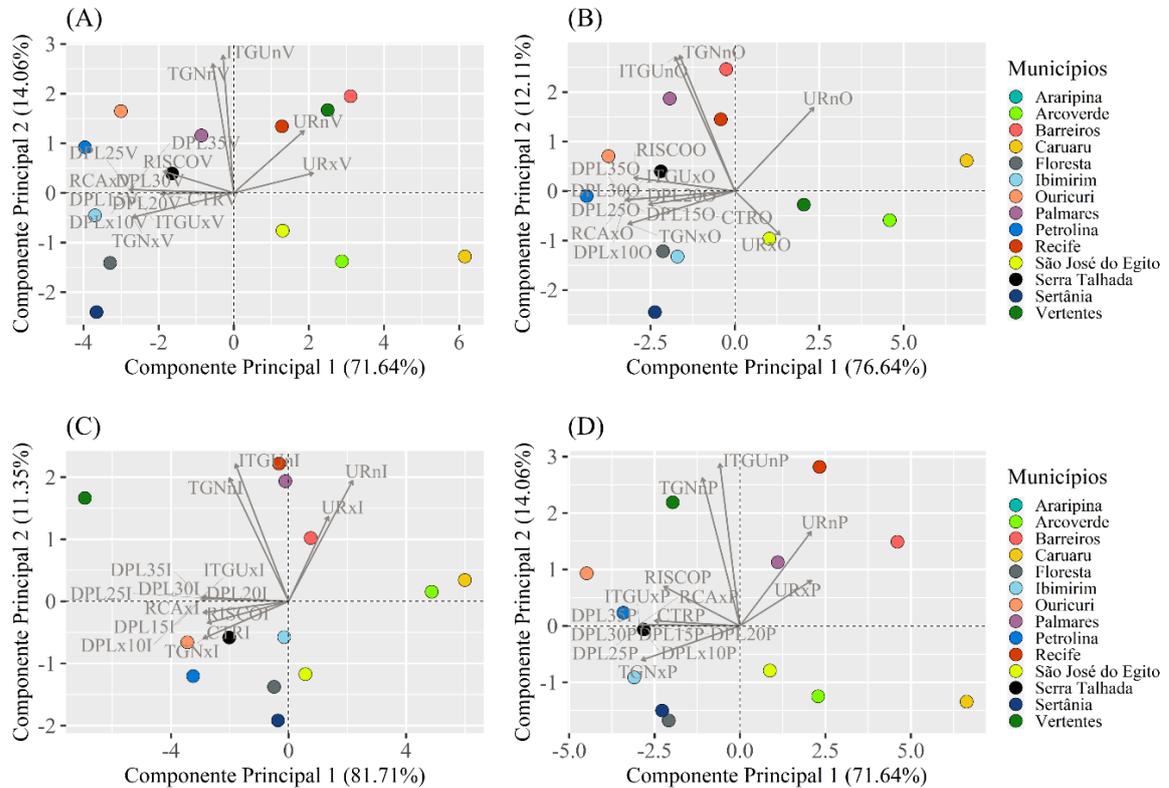


Figura 3. Biplot de scores pela análise de componentes principais para os municípios estudados em função das variáveis analisadas (DPL – declínio da produção de leite; RCA – redução do consumo alimentar; ITGU – índice de temperatura do globo negro e umidade; TGN – temperatura do globo negro; UR – umidade relativa). Observações: painéis A, B, C e D, são referentes às estações do ano de verão, outono, inverno e primavera, respectivamente. Valores de 10, 15, 20, 25, 30 e 35 no DPL são referentes ao nível de produção em $\text{kg animal}^{-1} \text{ dia}^{-1}$.

No outono (Figura 3B), a CP1 com 76,64% da variância dos dados e a CP2 com 12,11%, juntas explicaram 88,75% da variância dos dados amostrados. Para o inverno (Figura 3C) a variância total foi a mais elevada com 93,06%, sendo 81,71% e 11,35% para as CP1 e CP2, respectivamente. Na primavera, houve uma maior dispersão dos valores de scores dos índices, sendo que a CP1 explicou 71,64%, e a CP2 com 14,06%, totalizando 85,70% da variância total dessas duas primeiras componentes dos dados. Além disso, nota-se que a maioria dos locais em

estudo promovem redução no consumo alimentar em todas as estações do ano. Decorrente dessa problematização, é interessante melhorias na dieta dos animais durante esse período, para que não ocorra declínios acentuados na produção de leite decorrente da menor ingestão de alimentos. O estado de Pernambuco contém 81% dos seus municípios com condições estressantes para o gado de leite, especialmente para animais de alto nível de produção (SILVA et al., 2010). Aplicando uma ACP em variáveis comportamentais, fisiológicas e produtivas para identificação de níveis de estresse, Van Reenen et al. (2002) observaram que a análise apresenta relevância na identificação desses fatores.

Durante o verão (Figura 3A), pôde-se verificar que os índices RCA e DPL nos níveis de produção de 25, 30 e 35 kg animal⁻¹ dia⁻¹ apresentaram correlação positiva com o risco climático, ou seja, à medida que há um aumento na RCA e conseqüentemente na DPL, o risco de perda de produção de leite tende a ser significativo. Esse tipo de correlação também foi notado na estação da primavera (Figura 3D). Moura et al. (2020) trabalhando com indicadores bioclimáticos para a produção de leite em Pernambuco, observou que os maiores valores dos indicadores são nos meses de novembro a março, constituindo as estações de primavera e verão, corroborando com os resultados do presente estudo.

A redução do consumo alimentar quando associado ao estresse térmico, pode levar uma queda de 10 a 15% na ingestão de alimentos, além de um aumento no consumo de água e comportamento (DHIMAN & ZAMAN, 2001). Essa queda na ingestão de alimentos está associada a ajustes endócrinos e fisiológicos para reduzir a produção de calor endógeno (ROCHA., 2018). Segundo Shwartz et al. (2009), a queda na produção de leite nas duas primeiras semanas de exposição ao estresse térmico varia de 18 a 23%, assim como a redução na ingestão de matéria seca variou de 17 a 34%.

No geral, os municípios com os maiores desconfortos térmicos e riscos bioclimáticos para os animais leiteiros foram Floresta, Ibimirim, Ouricuri, Petrolina e Serra Talhada. Esses elevados índices estão relacionados a localização geográfica e condições intrínsecas de cada município, ocasionando maiores riscos e prejuízos produtivos. Áreas localizadas nas regiões semiáridas, como os municípios citados acima, apresentam condições desfavoráveis à atividade leiteira, sendo necessário a utilização de técnicas de climatização que possam minimizar os efeitos do ambiente em que o animal está inserido (SILVA et al., 2008; SILVA et al., 2020).

Ouricuri, Ibimirim e Serra Talhada também apresentaram variabilidade positiva com a redução do consumo alimentar. Moura et al. (2020) e Silva et al. (2008), que observaram valores máximos de 1,6 kg de matéria seca por animal dia e de 2,3 kg de MS animal⁻¹ dia⁻¹,

respectivamente. Animais em situação de desconforto térmico geram uma diminuição de consumo de alimento, declínio de produção de leite, além de aumentar a temperatura retal e a frequência respiratória (CERQUEIRA et al., 2011).

Os resultados elevados do DPL são em função do RCA para todos os níveis de produção, épocas do ano e locais em estudo. Assim como a RCA, o DPL se torna mais acentuado no verão e primavera, devido às características climáticas dessas estações, as quais apresentam os maiores valores de temperatura do ar, radiação solar e ITGU. Essas estações compreendem os meses de setembro a março, sendo a primavera de setembro a dezembro e, o verão de dezembro a março (PEREIRA et al., 2007). Durante essas estações, Petrolina, Ibimirim e Floresta se destacaram no DPL e são municípios localizado na região semiárida do país.

Animais com nível de produção médio de 35 kg animal⁻¹ dia⁻¹ pode apresentar um declínio de 4,2 kg a 2,7 kg de leite dia⁻¹ entre os meses de dezembro a março, enquanto ao nível de produção de 10 kg animal⁻¹ dia⁻¹ pode chegar até 0,5 kg de leite dia⁻¹ (KLOSOWSKI et al., 2002). Para reduzir o declínio da produção de leite, bem como aumentar a eficiência de utilização de energia para a produção leiteira, o fornecimento *ad libitum* água de boa qualidade durante o período diurno é uma alternativa para auxiliar na dissipação de calor e reduzir os gastos de energia pelos animais (MENDES, 2014).

Arcoverde e Caruaru foram os únicos municípios que apresentaram correlação negativa com os índices de DPL, RCA, risco bioclimático, CTR, TGN e ITGU, o que as caracterizam como locais de expressivo potencial para a implantação de uma bovinocultura leiteira. Lima et al. (2010) trabalhando com avaliação da aptidão bioclimática no estado de Pernambuco para a bovinocultura leiteira, observaram que os municípios de Araripina, Arcoverde e Caruaru apresentaram maior aptidão climática, devido ao baixo risco de perda de produção. Esses achados são de extrema relevância para a região semiárida do Brasil, tendo em vista que, os ruminantes utilizam a evaporação respiratória como o principal mecanismo de termorregulação (VASCONCELOS et al., 2020), sendo assim, maior atenção na escolha dos locais de criação.

6. CONCLUSÃO

Em geral, os municípios estudados do estado de Pernambuco apresentam elevadas condições climáticas para a produção de leite, devido as características meteorológicas durante todo o ano. Apenas os municípios de Caruaru e Arcoverde apresentaram condições favoráveis de pleno conforto térmico para a bovinocultura leiteira.

As estações do ano afetam às características de rendimento e consumo alimentar dos bovinos criados no semiárido do Brasil. Além disso, aplicação de índices bioclimáticos e técnica de estatística multivariada tem potencial de informar as tomadas de decisão sobre a adaptabilidade e locais com níveis potenciais de produção.

No entanto, pesquisas futuras são necessárias para abordar os impactos das condições climáticas (e.g., tropicais e temperadas) combinadas com os sistemas de manejo em diferentes instalações leiteiras, e estratégias de mitigação eficazes para entendimento do melhor manejo e bem-estar animal.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, I. S. et al. Produção de leite de vacas holandesas em função da temperatura do ar e do índice de temperatura e umidade. **Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v. 33, p. 617-619, 1996.

APARECIDO, L. E. de O. et al. Zoneamento agrícola de risco climático para o cultivo de *Physalis peruviana* no Sudeste do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 54, 2019.

APARECIDO, L. E. de O. et al. Zoneamento agroclimático para culturas de urucum no estado de Minas Gerais, Brasil. **Bragantia**, v. 77, n. 1, p. 193-200, 2018.

ARMSTRONG, D. V. Interação de estresse térmico com sombra e resfriamento. **Journal of milk Science**, v. 77, n. 7, p. 2044-2050, 1994

AVILA, A. S. et al. Avaliação e correlação de parâmetros fisiológicos e índices bioclimáticos de vacas holândês em diferentes estações. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 14, n. 14, p. 2878-2884, 2013.

BACCARI JÚNIOR, F. Manejo ambiental da vaca leiteira em climas quentes. **Londrina: UEL**, p. 142, 2001.

BÁNKUTI, F. I. et al. Geographical milk redistribution in Paraná State, Brazil: Consequences of institutional and market changes. **Journal of Rural Studies**, v. 64, p. 63-72, 2018.

BARHEMA, H. W. et al. Invited review: Changes in the dairy industry affecting dairy cattle health and welfare. **Journal of Dairy Science**, v. 98, n. 11, p. 7426-7445, 2015.

BARNABÉ, J. et al. Conforto térmico e desempenho de bezerras Girolando alojadas em abrigos individuais com diferentes coberturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 19, n. 5, 2015.

BARRIENTOS-BLANCO, J. A. et al. Expected value of crossbred dairy cattle artificial insemination breeding strategies in virgin heifers and lactating cows. **Livestock Science**, v. 211, p. 66-74, 2018.

BERRY, I. L. et al. Dairy shelter design based on milk production decline as affected by temperature and humidity. **Transaction of the ASAE, St. Joseph**, v. 7, p. 329-331. 1964.

BOHMANOVA, J. et al. Temperature-humidity indices as indicators of milk production losses due to heat stress. **Journal of dairy science**, v. 90, n. 4, p. 1947-1956, 2007.

BOND, G. B. et al. (2012). Métodos de diagnóstico e pontos críticos de bem-estar de bovinos leiteiros. **Ciência Rural**, 42(7), 1286-1293.

BROOM, D. M. Indicators of poor welfare. **British veterinary journal** , v. 142, n. 6, p. 524-526, 1986.

BROOM, D.M .; JOHNSON, K. G. **Stress and Animal Welfare** . Springer Science & Business Media, 1993

BUFFINGTON, D. E. et al. Black globe-humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. **Transactions of the ASAE**, v. 24, n. 3, p. 711-0714, 1981.

CANAZA-CAYO, A. W. et al. Genetic trend estimates for milk yield production and fertility traits of the Girolando cattle in Brazil. **Livestock Science**, v. 190, p. 113-122, 2016.

CAMPOS, A. T. Determinação dos índices de conforto térmico e da carga térmica de radiação em quatro tipos de galpões, em condições de verão para Viçosa–MG. **Viçosa: UFV. 66p**, 1986.

CARNEVALLI, R. A. et al. Shade controls the ruminating and idleness times of dairy heifers in tropical integrated systems. *Agroforestry Systems*, p. 1-12, 2019.

CARVALHO, M. P. Cenários para o Leite no Brasil em 2020. AgriPoint. MilkPoint. Brasília, 04 de março de 2008.

CERQUEIRA, J. L. et al. Alguns indicadores de avaliação de bem-estar em vacas leiteiras–revisão. Some indicators for the assessment of welfare in dairy cows–a review. **Revista Portuguesa De Ciencias Veterinarias**, p. 5-19, 2012.

CLEMENTINO, I. J. et al. Caracterização da pecuária bovina no Estado da Paraíba, Nordeste do Brasil. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 1, p. 557-569, 2015.

COIGNARD, M. et al. Does milk yield reflect the level of welfare in dairy herds?. *The Veterinary Journal*, v. 199, n. 1, p. 184-187, 2014.

CRUZADO-BRAVO, M. L. M. et al. Occurrence of *Arcobacter* spp. in Brazilian Minas frescal cheese and raw cow milk and its association with microbiological and physicochemical parameters. *Food Control*, v. 109, p. 106904, 2020

DAMASCENO, J. C. et al. (1998). Respostas fisiológicas e produtivas de vacas holandesas com acesso à sombra constante ou limitada. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 27(3), 595-602.

DHIMAN, T. R.; ZAMAN, M. S. Desafios dos sistemas de produção de leite em confinamento em condições de clima quente. **Simpósio de Nutrição e Produção de gado de Leite**, v. 2, p. 05-20, 2001.

ESLAMIZAD, M. et al. The control of short-term feed intake by metabolic oxidation in late-pregnant and early lactating dairy cows exposed to high ambient temperatures. *Physiology & Behavior*, v. 145, p. 64-70, 2015.

ESMAY, M. L. et al. Principles of animal environment. **Principles of animal environment.**, 1969.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2002)
<<https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Leite/LeiteSemiArido/importancia.html#topo>> Acessado em 7 de outubro de 2019

FAÇANHA, D. A. E.; FERREIRA, J. B. Produção de leite e respostas fisiológicas de vacas da raça Holandesa em ambiente quente. **Revista Acta Veterinaria Brasilica**, v. 10, p. 208-215, 2016.

- FERREIRA, F. et al. Parâmetros fisiológicos de bovinos cruzados submetidos ao estresse calórico. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 58, n. 5, p. 732-738, 2006.
- FRASER, D. et al. A scientific conception of animal welfare that reflects ethical concerns. 1997
- HAHN, G. LeRoy; OSBURN, D. D. Feasibility of summer environmental control for dairy cattle based on expected production losses. **Transactions of the ASAE**, v. 12, n. 4, p. 448-0451, 1969.
- HOFFMANN, G. et al. Animal-related, non-invasive indicators for determining heat stress in dairy cows. **Biosystems Engineering**, v. 199, p. 83-96, 2020.
- HÖTZEL, M. J.; MACHADO FILHO, L. C. P. Bem-estar animal na agricultura do século XXI. **Revista de etologia**, v. 6, n. 1, p. 3-15, 2004.
- HURNIK, J. **Behaviour, farm animal and the environment**. Cambridge: CAB International, 1992. 430p.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, (2018). Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 06 de abril de 2019.
- IBGE (2017), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9107-producao-da-pecuaria-municipal.html?=&t=destaques>> Acessado 05 de outubro de 2019
- JARDIM, A. M. R. F. et al (2020a). Uso de aplicações matemáticas para predição de conforto térmico de frangos de corte em ambiente semiárido. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 3(3), 2251-2257. <https://doi.org/10.34188/bjaerv3n3-136>
- JARDIM, A. M. R. F. et al. (2020b). Multivariate analysis in the morpho-yield evaluation of forage cactus intercropped with sorghum. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 24(11), 756-761. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n11p756-761>
- JARDIM, A. M. R. F. et al (2021). Genotypic differences relative photochemical activity, inorganic and organic solutes and yield performance in clones of the forage cactus under semi-arid environment. *Plant Physiology and Biochemistry*, 162, 421-430. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.03.011>
- Jl, B. et al. Modelling of heat stress in a robotic dairy farm. Part 1: Thermal comfort indices as the indicators of production loss. *Biosystems Engineering*, p. 1-16, 2019.
- Kaiser, H.F. (1960). The Application of Electronic Computers to Factor Analysis. *Educational and Psychological Measurement*, 20(1), 141–151. <https://doi.org/10.1177/001316446002000116>
- KADZERE, C. T. et al. Heat stress in lactating dairy cows: a review. *Livestock Production Science*, v. 77, n. 1, p. 59-91, 2002.

KLOSOWSKI, E. S. et al. Estimativa do declínio na produção de leite, em período de verão, para Maringá-PR. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 10, n. 2, p. 283-288, 2002.

LEITÃO, M M. et al. Conforto e estresse térmico em ovinos no Norte da Bahia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 9, p. 1022=1028, 2012.

LIMA, J. J. P. et al. AVALIAÇÃO DA APTIDÃO BIOCLIMÁTICA DO ESTADO DE PERNAMBUCO PARA A PRODUÇÃO LEITEIRA. In: III Simpósio de Ciências Agrárias de Pernambucano, 2010, Garanhuns. Anais do III Simpósio de Ciências Agrárias de Pernambucano Cd room, 2010.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Projeções do Agronegócio: Brasil 2012/2013 a 2022/2023 / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Assessoria de Gestão Estratégica. Brasília: Mapa/ACS, 2013. 96 p.
<agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/projecoes-do-agronegocio/projecoes-do-agronegocio-brasil-2012-2013-a-2022-2023.pdf/view> Acessado em 06 de outubro de 2019

MAPA (2017), Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
<<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/riscos-seguro/risco-agropecuario/zoneamento-agricola>> Acessado em 15 de Dezembro de 2019

MALUF, J. R. T. et al. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura de feijão no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia, Passo Fundo**, v. 9, n. 3, p. 468-476, 2001.

MARCHETO, F. G. et al. Efeito das temperaturas de bulbo seco e de globo negro e do índice de temperatura e umidade, em vacas em produção alojadas em sistema de free-stall. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, v. 39, n. 6, p. 320-323, 2002.

MARINS, T. N. Índices de estresse térmico e perfil metabólico nos períodos de transição e espera voluntária de vacas da raça girolando, criadas em clima tropical, 2016.

MENDES, A. M. P. Índice de conforto térmico e zoneamento bioclimático para ovinos da raça Dorper no estado de Pernambuco. **Recife: UFRPE**, 2014.

MOLENTO, C. F. M. Bem-estar animal: qual é a novidade? **Acta Scientiae Veterinariae**, v.35, p.224-226. 2007.

MOREIRA, C. Termorregulação. **Revista de Ciência Elementar**, v. 3, n. 3, 2015.

MOURA, G. A. B. et al. Indicadores bioclimáticos e simulação de potenciais perdas econômicas da produção de leite em Pernambuco. **Agrometeoros**, v. 27, n. 2, 2020.

Nääs, I. D. A. (1989). Princípios de conforto térmico na produção animal. *São Paulo: Ícone*, 183.

NASCIMENTO, G. V. et al. Indicadores produtivos, fisiológicos e comportamentais de vacas de leite. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 9, n. 4, p. 28-36, 2013.

NETO, O.V.; BITTAR, D. Y. Análise do conforto térmico e sua influência na produção e qualidade do leite em ambiente de domínio de cerrado. **PUBVET**, v. 12, p. 147, 2018.

NUNES, E. R. C.; JÚNIOR PINHEIRO, J. W.; MEDEIROS, E. V.; MOREIRA, K. A. Resíduos de antimicrobianos em leite in natura na microrregião de Garanhuns, Pernambuco. **Brazilian Journal of Veterinary Medicine**, v. 38, n. 2, p. 157-162, 2016.

OLIVEIRA, L. M. et al. (2006). Zoneamento bioclimático da região sudeste do Brasil para o conforto térmico animal e humano. *Engenharia Agrícola*, 26(3), 823-831.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. LCE 306. 2007.
<https://www.researchgate.net/profile/Paulo_Sentelhas/publication/285651687_Agrometeorologia_Fundamentos_e_aplicacoes_praticas/links/5806560c08aeb85ac85f46ee.pdf> Acessado em 8 de março de 2020

PEREIRA, J. C. C. **Fundamentos de bioclimatologia aplicados à produção animal**. FEPMVZ, 2005.

PERISSINOTTO, M. & MOURA, D. J. Determinação do conforto térmico de vacas leiteiras utilizando a mineração de dados/evaluation of thermal comfort in dairy cattle using data mining. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 1, n. 2, p. 117-126, 2007.

PINARELLI, C. The effect of heat stress on milk yield. **Latte, Milan**, v. 28, n. 12, p. 36-38, 2003.

PORCIONATO, M. A. de F. et al. Influência do estresse calórico na produção e qualidade do leite. **Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 7, n. 4, p. 483-490, 2009.

R Core Team. (2020). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. <https://www.r-project.org/>

REZENDE, S. O. et al. (2003). Mineração de dados. *Sistemas inteligentes: fundamentos e aplicações*, 1, 307-335.

RIBEIRO, B. P. V. B. et al. (2020). Thermoneutral zone for laying hens based on environmental conditions, enthalpy and thermal comfort indexes. *Journal of Thermal Biology*, 93, 102678.

ROCHA, D. R. Avaliação de estresse térmico em vacas leiteiras mestiças (bos taurus x bos indicus) criadas em clima tropical quente úmido no estado do ceará. 2008.

RODRIGUES, E. H. V.; ARAÚJO, R. C. L.; FREITAS, E. G. A. Materiais de Construções- Coleção Construções Rurais. **Editora Universidade Rural, Seropédica, RJ**, 2000.

RODRIGUES, M. T. et al. M. Avaliação estratégica do sistema agroindustrial do leite no nordeste—uma visão de agronegócios. 2001.

ROSSETTI, L. A. Zoneamento agrícola em aplicações de crédito e securidade rural no Brasil: aspectos atuariais e de política agrícola. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n. 3, p. 386-399, 2001.

- RUFINO, L. A. L. & ARAÚJO, A. A. Indicadores de bem estar em ovinos e caprinos. Uma Revisão. **Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal**, v. 9, n. 2, p. 294-298, 2015.
- SCHWARTZKOPF-GENSWEIN, K. S. et al. Road transport of cattle, swine and poultry in North America and its impact on animal welfare, carcasses and meat quality: A review. *Meat Science*, v. 92, n. 3, p. 227-243, 2012.
- SILVA, M. V. et al. (2020). Spatial variability and exploratory inference of abiotic factors in barn compost confinement for cattle in the semiarid. *Journal of Thermal Biology*, 94, 102782.
- SILVA, A. A., & Borges, L. F. K. (2015). Conceitos e Considerações sobre o Bem Estar Animal na Produção de Bovinos—Revisão Bibliográfica. **CIÊNCIA & TECNOLOGIA**, 1(1), 44-51.
- SILVA, R. G. **Introdução à bioclimatologia animal**. São Paulo: Nobel, 2000. 286p.
- SILVA, T. G. F. et al. Variação regional do declínio na produção de leite durante o verão no estado de Pernambuco. **Embrapa Semiárido-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2008.
- SILVA, T. G. F. et al. Climate change scenarios and their impacts on milk production in northeastern states of Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 8, p. 863-870, 2010.
- SILVA, T. G. F. et al. Black globe temperature from meteorological data and a bioclimatic analysis of the Brazilian Northeast for Saanen goats. **JOURNAL OF THERMAL BIOLOGY**, v. 85, p. 102408, 2019.
- SILVA, T.G.F. et al. Black globe temperature from meteorological data and a bioclimatic analysis of the Brazilian northeast for Saanen goats. *Journal of Thermal Biology*, 85, 102408, 2019.
- SOUZA JUNIOR, J. B. F. et al. Temperatura da superfície corporal e fluxo de calor convectivo em vacas holandesas expostas à radiação solar direta no semi-árido. **Revista Científica de Produção Animal**, v. 12, n. 1, p. 6-9, 2008.
- SOUZA, A. et al. Um estudo de conforto e desconforto térmico para o Mato Grosso do Sul. **Revista de Estudos Ambientais**, v. 12, n. 2, p. 15-25, 2010.
- SOUZA, R. et al. Produção e qualidade do leite de vacas da raça Holandesa em função da estação do ano e ordem de parto. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 11, n. 2, 2010.
- SHWARTZ, G. et al. Effects of a supplemental yeast culture on heat-stressed lactating Holstein cows. **Journal of dairy science**, v. 92, n. 3, p. 935-942, 2009
- TETENS, V. O. Über einige meteorologische Begriffe, *Zeitschrift Geophysic*, Wurzburg, v. 6, p. 297-309, 1930
- THOM, E.C. The discomfort index. **Weatherwise**, v.12, p.57-60, 1959

TOSETTO, M. R. et al. Influência do macroclima e do microclima sobre conforto térmico de vacas leiteiras. **Journal Behavioral Biometeorology**, v. 2, p. 6-10, 2014.

TURCO, S. H. et al. Zoneamento bioclimático para vacas leiteiras no Estado da Bahia. **Embrapa Semiárido-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2006.

VASCONCELOS, A. M. et al. (2020). Adaptive profile of dairy cows in a tropical region. *International Journal of Biometeorology*, 64(1), 105-113. <https://doi.org/10.1007/s00484-019-01797-9>

VAN REENEN, C. G. et al. (2002). Individual differences in behavioral and physiological responsiveness of primiparous dairy cows to machine milking. *Journal of Dairy Science*, 85(10), 2551-2561. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74338-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74338-5)

VIEIRA, A. et al. Bem estar de ruminantes. **Awin animal welfare indicators**, p. 46-48, 2011. *welfare indicators*, 46-48

VILELA, D. & RESENDE, J. C. Cenário para a produção de leite no Brasil na próxima década. In: **Embrapa Gado de Leite-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: SIMPÓSIO SOBRE SUSTENTABILIDADE DA PECUÁRIA LEITEIRA NA REGIÃO SUL DO BRASIL, 6.; SEMINÁRIO DOS CENTROS MESORREGIONAIS DE EXCELÊNCIA EM TECNOLOGIA DO LEITE, 2., 2014, Maringá. Perspectivas para a produção de leite no Brasil: anais. Maringá: Universidade Estadual de Maringá, 2014., 2014.