

Uso de Sensores na Pecuária

**Ricardo Ribeiro dos Santos¹, Patrik Olã Bressan¹, Felipe de Oliveira de Araújo¹,
Fabiana Villa Alves²**

¹Laboratório de Sistemas Computacionais de Alto Desempenho – LSCAD Faculdade de Computação – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul Campo Grande-MS-Brasil;

²Embrapa Gado de Corte - Embrapa-CG, Campo Grande-MS-Brasil; ricardo@facom.ufms.br, {patrikbressan, oli.engenharia}@gmail.com, fabiana.alves@embrapa.br

Resumo. Este artigo apresenta aborda a utilização de dispositivos sensores e plataformas eletrônicas para maximizar a produção pecuária. Especificamente, apresenta-se análise e discussão de trabalhos científicos que relatam e descrevem a adoção de sensores como ferramenta para automatizar a aquisição de variáveis fisiológicas de bovinos e variáveis ambientais. Além da análise dos trabalhos envolvendo soluções tecnológicas, apresenta-se também o sistema de integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF), como mecanismo para maximizar a utilização das áreas por diferentes culturas e minimizar os efeitos da radiação solar sobre a temperatura corporal e bem-estar em bovinos.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, o Brasil é um dos maiores exportadores de carne bovina do mundo. Entende-se que diante da competitividade do mercado global e constante oferta de produtos, é necessário que a produção de carne bovina brasileira adote tecnologias para se manter competitivo e no posto de maior produtor mundial. Nesse sentido, um dos desafios para a produtividade bovina em larga escala diz respeito ao monitoramento e controle do bem-estar animal.

Monitorar variáveis fisiológicas e do ambiente no entorno do animal constitui-se numa atividade primordial para obter informações sobre o seu bem-estar. Por exemplo, um dos fatores que retarda o ganho de peso é se o animal apresenta sinais de inquietude. Esse comportamento está, muitas vezes, relacionado com o aumento da temperatura corporal do animal. Esse aumento de temperatura pode ser devido ao aumento da temperatura ambiente ou mesmo devido à alguma doença que, no caso dos bovinos, pode ser também evidenciada por alterações na frequência cardíaca e/ou respiratória.

A produção animal na região dos trópicos (caso do Brasil) é limitada principalmente pelo estresse térmico, que se agrava ainda mais quando se compara as raças selecionadas para maior produção, que no geral, são provenientes de países de clima temperado, limitando o seu uso ou mesmo não permitindo a essas expressar o máximo da sua capacidade produtiva. Avaliar e estudar o comportamento do estresse do bovino é uma das formas de agregar valor ao desenvolvimento da pecuária. Nesse sentido, monitorar variáveis fisiológicas como frequência cardíaca, frequência respiratória, temperatura corporal e climáticas e do ambiente como temperatura do ambiente e nível de sombreamento são essenciais para mensurar e determinar a qualidade do bem-estar em bovinos de corte.

Recentemente pesquisadores vêm desenvolvendo soluções tecnológicas integrando componentes de hardware, software e comunicação de dados com o intuito de adquirir, processar e correlacionar essas variáveis com o bem-estar animal. Entretanto, a maioria dessas soluções está focada no gado leiteiro que possui um comportamento mais dócil, onde, na maioria das vezes, estão confinados. Nas criações de animais a pasto, caso comum de criação de gado de corte, a incidência da radiação solar direta representa a maior fonte de calor recebida pelos animais do ambiente.

Diante desse contexto, este artigo apresenta uma revisão de soluções tecnológicas para monitorar o comportamento de animais de bovinos em ambientes produtivos. Em particular, destaca-se, neste texto a adoção de dispositivos sensores para monitoramento de variáveis fisiológicas como frequência cardíaca, frequência respiratória e temperatura corporal. Neste trabalho destaca-se ainda a possibilidade de avaliar variáveis fisiológicas e ambientais em sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF), uma vez que tais sistemas constituem-se numa possibilidade de minimizar os efeitos do aumento da radiação solar sob o bem-estar animal e, também, de maximizar a utilização de diferentes culturas na mesma área.

O artigo está organizado conforme segue: a seção 2 apresenta o sistemas iLPF considerando a produção bovina nesse ambiente; a seção 3 e subseções 3.1, 3.2 e 3.3 relatam trabalhos da literatura com enfoque em tecnologias e sensores para obtenção da frequência cardíaca, frequência respiratória e aquisição de diversos sinais fisiológicas e do ambiente, respectivamente; a seção 4 analisa e compara essas soluções tecnológicas com enfoque no bem-estar animal.

2. PRODUTIVIDADE BOVINA EM SISTEMAS ILPF

Para evitar ou reduzir o estresse térmico provocado pela radiação solar, o uso do sombreamento é uma alternativa viável, beneficiando o conforto térmico e favorecendo a

termorregulação dos animais [1]. Animais de produção expostos aos efeitos radioativos diretos do sol, sofrem mais com o estresse resultante do calor do que aqueles animais protegidos em locais sombreados, em que, as sombras naturais (árvores) possibilitam um maior conforto para o animal frente às sombras artificiais (tela sombrite, telha cerâmica, amianto, metal galvanizado, etc.) [2,3]. O provimento de sombras em uma pastagem animal é a forma mais econômica de proporcionar conforto e bem-estar térmico para o animal [4].

Um sistema iLPF pode maximizar a produtividade da agropecuária aliando sustentabilidade e preservação do ecossistema. A técnica de produção integra os animais, as árvores e as pastagens numa mesma área, gerando muitas vantagens ao produtor que utiliza deste sistema. As iLPFs são sistemas multifuncionais, onde existe a possibilidade de intensificar a produção pelo manejo integrado dos recursos naturais evitando sua degradação.

Em um estudo apresentado em [5,6], a procura dos animais por ambientes sombreados, durante o verão, mostra a necessidade da provisão de sombra. No inverno, vacas mestiças, em lactação, permaneceram 43% do tempo da pastagem à sombra das árvores. No verão este percentual subiu para 69% de acordo com [7]. O trabalho apresentado em [7] divulgou o resultado do ganho de peso em novilhas leiteiras. Observou-se que, na época das chuvas, o ganho de peso no sistema iLPF e na monocultura de gramíneas foi aproximadamente de 486 g/dia. Entretanto, durante o período seco, o ganho de peso variou com o tipo de pastagem, sendo maior no sistema iLPF com estilosantes com um resultado de aproximado de 326 g/dia, em relação ao observado na baquearia sem sombreamento que obteve aproximadamente 226 g/dia [8]. A disponibilidade de sombra para os animais de produção tem efeito na melhoria de suas condições fisiológicas (frequência respiratória, temperatura retal, batimentos cardíacos, etc.), no comportamento animal (consumo, ócio, ruminação, etc.) e no desempenho produtivo (carne, leite, etc.), percebendo-se diferenças mais acentuadas nestas variáveis quanto menor for a tolerância dos animais às elevadas temperaturas [9].

A utilização de ambientes iLPF para a produção bovina motiva a adoção de tecnologias e mecanismos automatizados que possam coletar sinais fisiológicos e mensurar o comportamento animal em tal ambiente. O desenvolvimento do processo de miniaturização dos transistores e o avanço em tecnologias de comunicação como as redes de sensores sem fio têm sido preponderantes para mensurar o impacto desses sistemas na melhoria da produtividade pecuária.

3. REVISÃO DAS SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS EXISTENTES

Ao analisar tecnologias comumente empregadas para aquisição e avaliação de informações do bem-estar animal, é comum verificar propostas com enfoque em características como identificação, georeferenciamento, frequência cardíaca e temperatura do ambiente. Para isso, essas propostas adotam vários tipos de sensores que são interconectados com o auxílio de um dispositivo (chip) microcontrolador, dotado de um software gerenciador, responsável pelo acionamento, aquisição e processamento dos sinais provenientes desses sensores. Na revisão de trabalhos que propõem aparato tecnológico para determinar o comportamento e bem-estar animal procurou-se abordar trabalhos cujas soluções são mais abrangentes e com enfoque em bovinos de corte. Especificamente, procurou-se abordar trabalhos que tratam do monitoramento de variáveis como frequência cardíaca, temperatura cutânea e do ambiente no entorno, frequência respiratória e luminosidade.

Antes da descrição deve-se entender precisamente, alguns conceitos envolvidos com a utilização dessas soluções tecnológicas:

- ♣ **Sensores e Transdutores:** são dispositivos que convertem parâmetros (entradas) físicas para parâmetros elétricos. Importante destacar que a função conceitual do sensor está relacionado com a detecção do parâmetro físico enquanto que o transdutor realiza a conversão entre diferentes formas de energia (por exemplo: conversão de ondas sonoras em sinais elétricos).
- ♣ **Atuadores:** são dispositivos que geralmente controlam um dispositivo externo (saída) a partir de sinais elétricos fornecidos por um transdutor. Assim, um atuador é um dispositivo que converte sinais elétricos para alguma saída física (por exemplo: acionamento automático de motores a partir de uma velocidade, controle de ventilação a partir da temperatura ambiente).

3.1 Soluções Tecnológicas para Obtenção da Frequência Cardíaca

A proposta apresenta em [10] descreve o desenvolvimento de uma infraestrutura de telemedicina veterinária baseada em tecnologia de monitoramento *wearable* (que pode ser adaptada, vestida). O objetivo dessa infraestrutura é suportar sistemas de monitoramento que avaliam continuamente o estado de saúde do gado em rebanhos concentrados e distribuídos.

Para que isso seja possível, é necessário colocar estações de monitoramento compatíveis com a tecnologia *Bluetooth* próximas aos bancos de alimento e de água dos animais. Algoritmos realizam análises preliminares sobre os dados, transmitindo-os para os bancos de dados da região, onde serão correlacionados com dados fornecidos por outros produtores. Resultados significativos podem ser transmitidos para o veterinário responsável,

produtores e autoridades governamentais dependendo do grau de importância. Outro ponto que deve ser destacado é que, com esses dados, é possível a geração de um relatório de saúde geográfico.

Para fornecer informações de temperatura corporal e frequência cardíaca, o sistema utiliza o sensor bolus CorTemp e um transceptor responsável pelo envio e recebimento dos desses dados. A pílula (bolus) deve ser ingerida pelo animal, onde ficará alojada no retículo e é responsável pelo envio contínuo das mensurações dos sinais fisiológicos para o transceptor. O transceptor também é compatível com os cintos de eletrodos Polar®. Além disso, há também sensores baseados em luz, acelerômetros, dispositivos GPS e outros sensores *wearable*. Também foi utilizado um sensor de reflectância de luz conectado a um circuito de oxímetro de pulso para adquirir dados fotopletimográficos no espectro vermelho e infravermelho a partir da orelha do bovino.

A Figura 1 ilustra o módulo sensor que é controlado por um microcontrolador PIC 18F8720 (A), unidade GPS Trimble Lassen SQ (B), dados de reflectância vermelho/infravermelho a partir do oxímetro de pulso (C), a temperatura corporal e frequência cardíaca a partir da unidade CorTemp HQI (D). Os dados adquiridos pelos sensores são transmitidos via rede sem fio usando o módulo BrightCom Callisto 2 (E), o computador de mão utilizado é o modelo Compaq iPaq 3870 utilizando Anycom Bluetooth CF-2001 CompactFlash Card. Esses dispositivos se comunicam utilizando o Serial Port Profile no padrão *Bluetooth*.

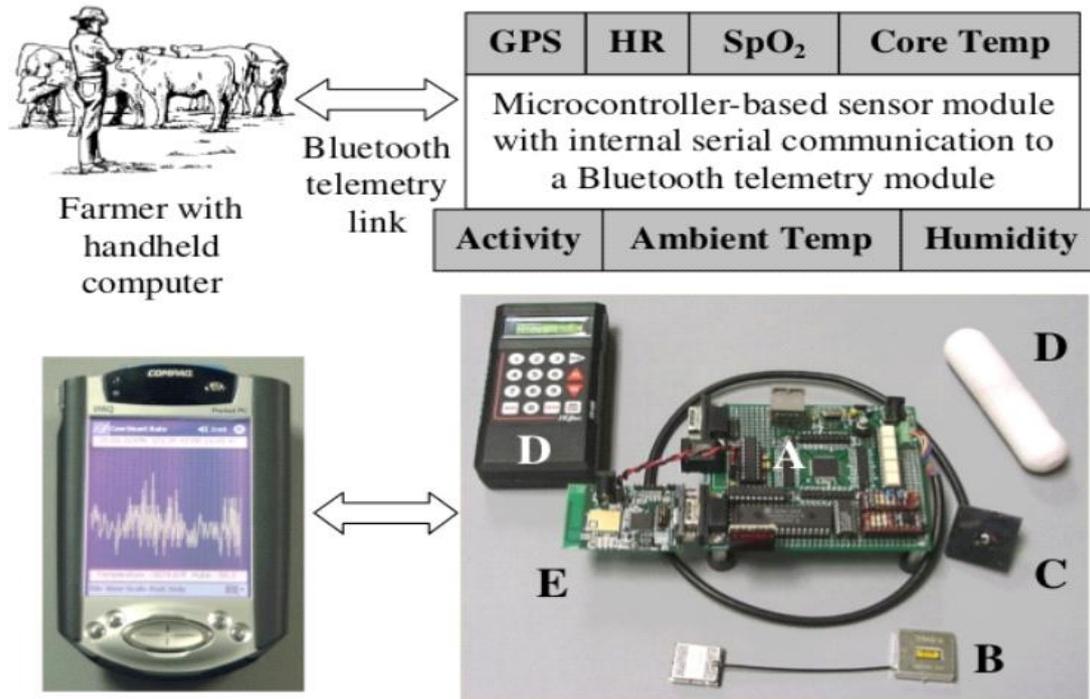


Figura 1: Hardware do protótipo do sistema de monitoramento. Fonte: [10].

O trabalho [11] também apresenta uma abordagem da utilização da pílula bolus para a obtenção da frequência cardíaca e da temperatura em bovinos. Esta abordagem permite adquirir o ritmo cardíaco por meio de um fonocardiógrafo, onde este foi inserido dentro da pílula bolus.

As principais características desse sistema integrado incluem:

- **Aquisição de dados acústicos:** um microfone submersível obtém os dados acústicos a partir do retículo;
- **Aquisição da temperatura corporal:** um sensor de temperatura superficial obtém uma mensuração calibrada da temperatura corporal;
- **Detector do pico de frequência cardíaca e filtros:** um circuito analógico detecta os pulsos acústicos e tenta filtrar os ruídos indesejados, como artefatos da ruminação;
- **Pré-processamento dos dados:** os dados são convertidos e ordenados antes da transmissão. O conversor analógico/digital do processador principal captura os dados de temperatura, em seguida o processador determina o tempo de *clock* entre os pulsos de frequência cardíaca;
- **Transmissão *wireless*:** os dados são transmitidos sem fio por meio de um ligação de rádio frequência;

- **Pós- processamento:** algoritmos de nivelamento e de avaliação de parâmetros são aplicados nestes dados.

O hardware inicial utilizado para o *link* de comunicação é um controlador rfPIC, que possui uma antena de frequência central de 315 MHz. O receptor também é um controlador rfPIC com antena monopolo. O estabelecimento da comunicação de forma confiável obteve poucos sucessos, onde um dos principais fatores que levam a complicações, de acordo com os autores, é o fato de o transmissor estar no interior do retículo do bovino.

Outro fator complicador é o fato de a pílula bolus não ficar parada, mas sim se movimentando no retículo, motivo que um sinal acústico de confiança raramente pode ser obtido. Uma solução apresentada pelos autores é uma nova concepção do bolus, com o mesmo hardware, mas com um formato diferente, tornando-a menor. Outra opção apresentada é a utilização de um metrônomo ao lado do microfone, onde o comportamento do hardware coincide com o comportamento das simulações do circuito.

A Figura 2 ilustra o hardware que incorpora o bolus e os circuitos de detecção. Na figura estão presentes: os módulos transmissor (A) e receptor (B) da Microchip; a placa de circuito (C) que integra o controle, a aquisição de dados e os circuitos de filtragem; a embalagem construída para o bolus é mostrado em (D) e (E), onde o tampão (D) contém o microfone submersível, e o invólucro (E) é um corpo oco que protege o circuito de danos causados pela água. A validação dos testes para a frequência cardíaca e temperatura foi obtida com êxito. Entretanto, é necessário melhorar uma ligação *wireless* de maneira confiável, bem como um software de processamento que pode diferenciar entre os batimentos cardíacos, o ruído da ruminção e os artefatos em movimento.

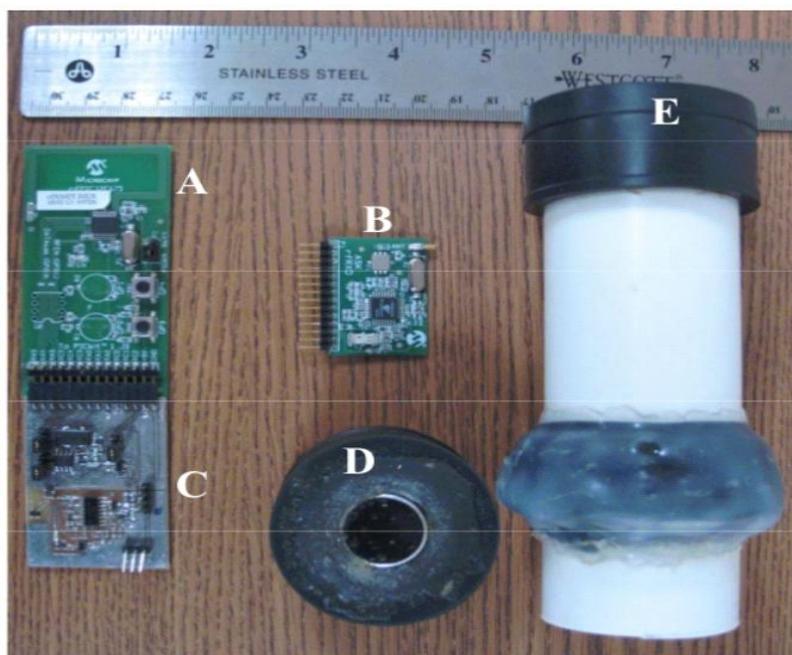


Figura 2: Conjunto de hardware para detecção dos sinais fisiológicos. Fonte: [11].

No trabalho [12] é apresentado o processo de desenvolvimento de um sistema composto por hardware e software capaz de monitorar animais utilizando uma Rede de Sensores Sem Fio (RSSF) baseada no protocolo ZigBee 802.15.4. Cada animal utiliza um colar com um nó sensor sem fio responsável por medir a temperatura ambiente, umidade relativa e frequência cardíaca do animal, bem como estimar a sua localização, através de métodos baseados na intensidade do sinal recebido (RSSI - *Received Signal Strength Indicator*). O objetivo do trabalho é servir como ferramenta facilitadora no estudo do efeito de variáveis meteorológicas na qualidade de vida e produção dos animais, bem como na análise de hábitos de pastejo e alterações de comportamento dos animais através do rastreamento da sua localização. Adicionalmente, espera-se que a ferramenta possa auxiliar a análise e projeto de novos algoritmos para a localização por RSSI e detecção automática de alterações comportamentais e fisiológicas dos animais. O trabalho propõe um sistema completo para localização e monitoramento de pequenos ruminantes baseado em uma rede de sensores sem fio composta por módulos XBee/ZigBee 802.15.4. Cada animal é equipado com um colar que possui um nó sensor. A partir desse colar é possível mensurar a temperatura ambiente e umidade relativa do ar, a frequência cardíaca e determinar as coordenadas geográficas de cada animal.

Os métodos de localização se baseiam na intensidade do sinal recebido pelos transceptores. Assim, evita-se a necessidade de uso de módulos GPS. Os algoritmos de localização utilizados calculam a intensidade do sinal entre transceptores instalados nos

animais e transceptores instalados em quatro torres fixas de referência (com coordenadas conhecidas) para estimar, usando o método da lateração [12], a localização de cada animal. A Figura 3 apresenta a descrição de um nó sensor.

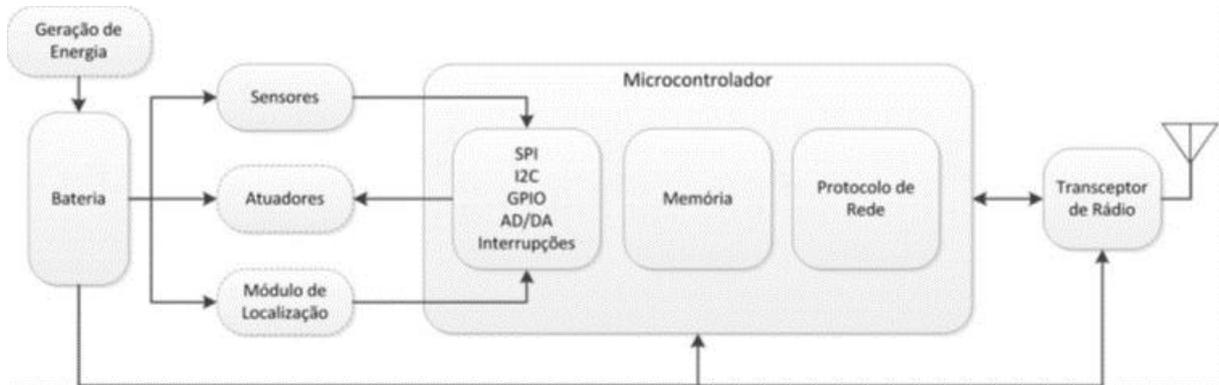


Figura 3: Descrição de alto nível de um nó sensor. Fonte: [12].

A umidade relativa do ar é medida no ambiente em torno do animal. Cada estação móvel utiliza um sensor Honeywell HIH-5031, que pode ser alimentado por uma tensão de 3,3V, possui uma precisão de aproximadamente 3% RH (*Relative Humidity*) e um tempo de resposta típico de 5 segundos. O sensor também possui um filtro hidrofóbico de fábrica e é construído em multicamadas, o que o torna resistente à condensação, sujeira, óleos e substâncias químicas presentes no ambiente. Para medir a temperatura ambiente em torno do animal utiliza-se um sensor de temperatura AD22103, fabricado pela *Analog Devices*. Este sensor é capaz de medir temperaturas na faixa de 0 C° a 100 C°, fornece uma saída praticamente linear com uma resolução de 28mV= C° (quando alimentado com 3,3V) e possui um erro máximo de 2; 5 C° (tipicamente 0; 5 C°). Para medir a frequência cardíaca dos animais foi utilizado um sensor da fabricante Polar® composto por uma faixa transmissora modelo T34 não codificada e uma placa receptora RE07S. A faixa (ou cinta) transmissora envia dados sobre a frequência cardíaca para a placa receptora que, por sua vez, fornece na saída pulsos com duração de 15ms a cada batimento cardíaco.

O microcontrolador utilizado nas estações móveis é o modelo PIC 18LF4620, da Microchip. O microcontrolador é responsável por realizar duas tarefas: 1) cálculo da localização do nó móvel; 2) leitura dos sensores de temperatura do ar, umidade relativa e frequência cardíaca. O protótipo implementado pode ser visualizado na Figura 4.

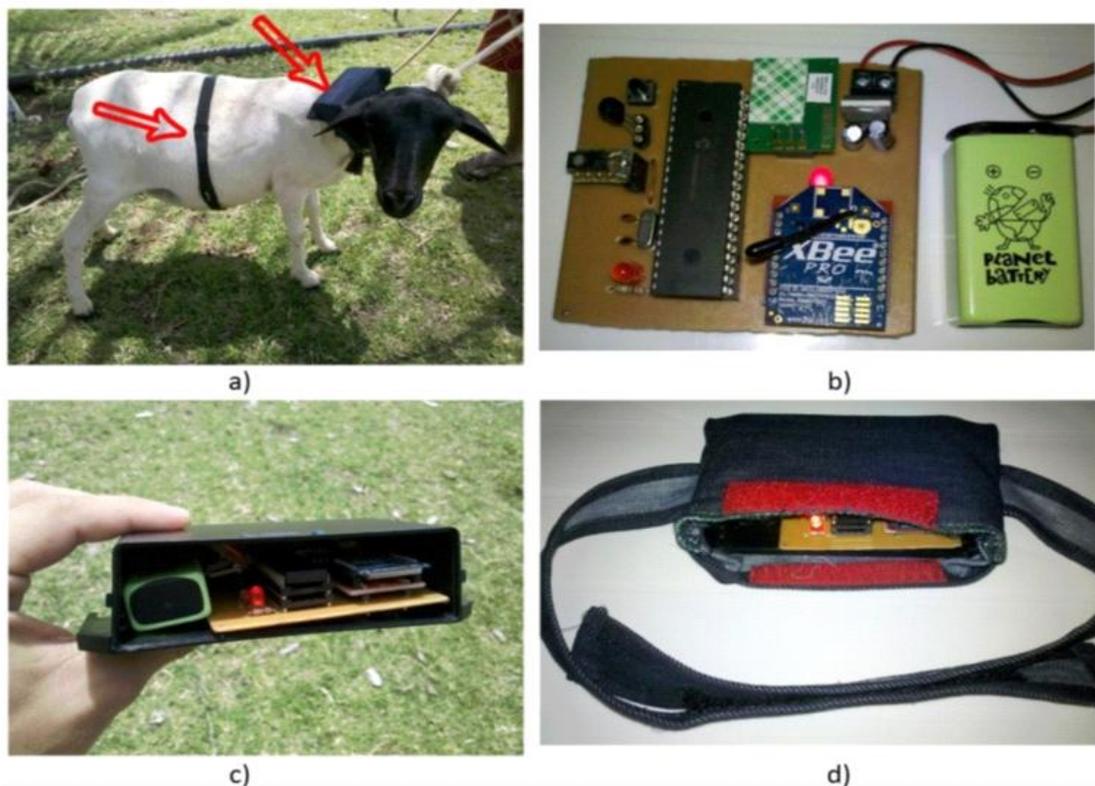


Figura 4: Visão geral do protótipo a) Cinta Polar fixada no pescoço do animal. b) Detalhes do hardware utilizado c) Caixa de armazenamento do circuito projetado d) Suporte para a caixa de armazenamento do protótipo desenvolvido. Fonte: [13].

3.2 Soluções para Obtenção da Frequência Respiratória

Os trabalhos [14][15] destacam a relação entre taxa de respiração e temperatura corporal. Um sensor para aplicações humanas (BIOPAC *Systems Inc.*) foi utilizado e incorpora um transdutor *thin-film* em uma montagem de borracha de silicone para se adaptar a circunferência torácica ou abdominal. Um pequeno computador de mão foi utilizado para a coleta dos dados. As especificações do computador TFX-11 incluem dimensões de 8,1cm x 5,33cm x 1,27cm, conversor A/D 12 bits (entrada 0-5 V), 512KB de EEPROM. Os autores relatam que o esforço respiratório aplicado ao transdutor pelo gado gerou uma mudança na reação da resistência para a respiração. Neste trabalho, um software de registro foi desenvolvido e utilizado tanto no experimento com suínos quanto com bovinos e a memória EEPROM do TFX-11 foi suficiente durante 4 dias, com um conjunto mínimo de rajadas de dados adquiridos a cada 15 minutos.

Os autores desenvolveram uma equação com base nos dados armazenados para fazer predição da frequência respiratória de acordo com as condições ambientais. Foram utilizados dados de um experimento de estudo de sombra, onde foram combinados com dados

meteorológicos do local, temperatura ambiente e umidade relativa, junto com medidas da radiação solar e velocidade do vento, retornando limiares entre 25 °C e 30 °C. Esse estudo demonstrou que a temperatura abaixo de 25 °C é o fator determinante para a frequência respiratória; acima disso, a velocidade do vento, a umidade relativa e a radiação solar também irão impactar no estado térmico do animal. Assim, um monitor de segurança pecuária (*livestock safety monitor* - LSM) foi projetado e construído contendo duas partes: (1) uma estação climática comercial (Vantage PRO) ilustrado na Figura 5; (2) um microcomputador programado com a equação desenvolvida para estimar a frequência respiratória do gado a partir dos dados de entrada do tempo.

Para a correta manipulação dos animais e seus respectivos dados foi necessário a utilização de algum meio de identificação, tendo sido utilizado nesse projeto a identificação por radio frequência (*radio frequency identification* - RFID). Esse sistema inclui quatro componentes básicos: (1) um transmissor de baixa frequência; (2) o módulo ID que recebe a energia do transmissor RF e liga essa energia a um sistema de armazenamento de curto prazo, que energiza o módulo para transmitir o código único ID (tag da orelha); (3) um controlador/receptor que capta o sinal ID fraco e converte o código ID exclusivo para a transmissão a um sistema computacional; (4) uma antena para implementar a função de transmissão e recebimento do sistema ID embarcado.

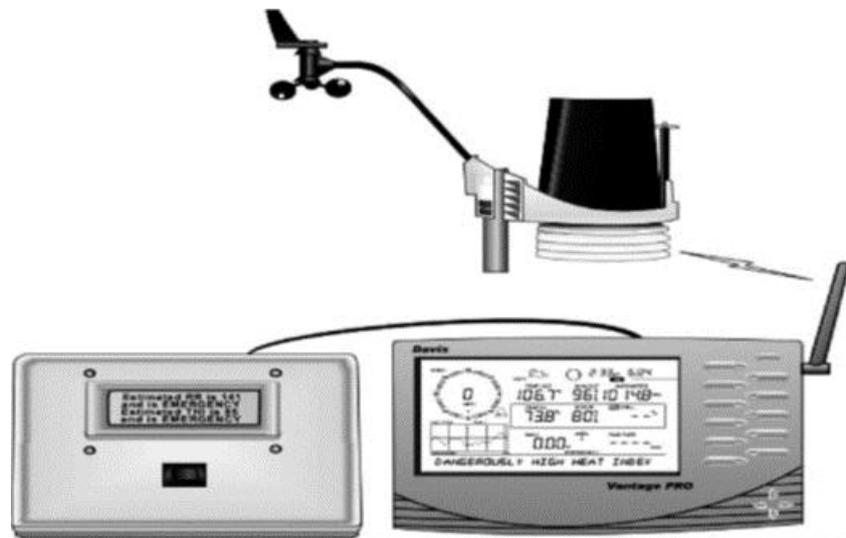


Figura 5: Monitor de segurança pecuária para fornecer informações para o gerenciamento tático sob condições de estresse por calor. Fonte: [15].

O trabalho [16] apresenta o desenvolvimento de um monitor de respiração para uso em bovinos. O componente principal desse monitor é um transdutor de força que fornece um

sinal elétrico como resposta ao esforço pulmonar. Esse transdutor funciona como um dispositivo de resistência variável que é ligado a um dispositivo de armazenamento de dados. Esse dispositivo de armazenamento de dados é um minicomputador (8,1cm x 5,33cm x 1,27cm) com conversor A/D de 12 bits e EEPROM de 512KB. O circuito completo contendo o minicomputador e o sensor de força é apresentado na Figura 6. A Figura 7 mostra o circuito acoplado a um animal por meio de um cinto. Nos experimentos realizados foram observados impactos da mudança de temperatura na taxa de respiração obtida pelos sensores. Como conclusão, os autores indicaram que o sistema, embora tenha respondido adequadamente para situações envolvendo a mudança de temperatura, deve ser melhorado em experimentos futuros.

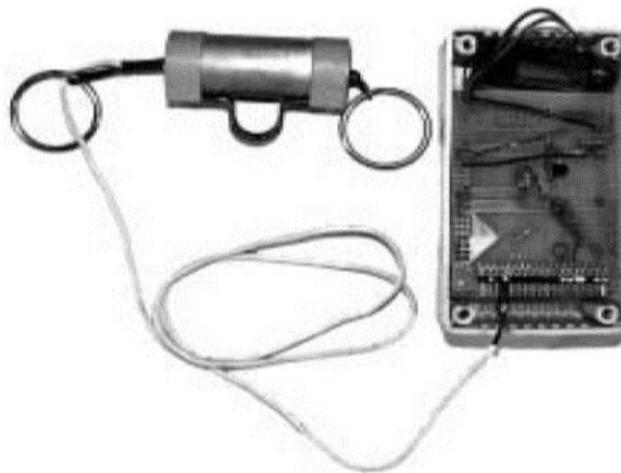


Figura 6: Circuito completo de monitoramento da frequência respiratória. Fonte: [16].

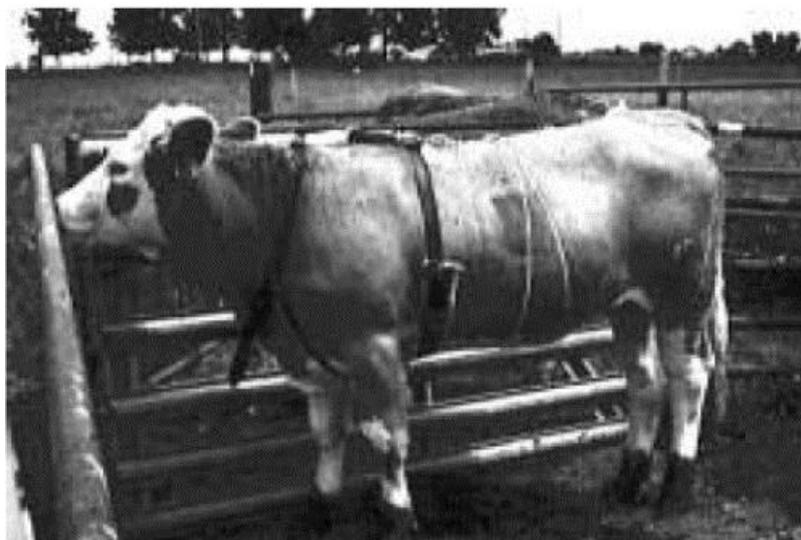


Figura 7: Circuito completo acoplado ao animal. Fonte: [16].

3.3 Soluções Tecnológicas para Obtenção de Diferentes Variáveis Fisiológicas

O trabalho proposto em [17], utiliza a técnica de fotopletismografia por meio de sensores oxímetros para identificar doenças respiratórias em bovinos. A doença respiratória bovina é uma das principais causas de doença e morte, por meio da perda de peso oriundo da desmama. Desse modo, um estudo piloto foi conduzido para avaliar a capacidade de espectroscopia de infravermelho próximo para diferenciar entre o gado saudável e aqueles com Doença Respiratória Bovina (DRB) ou *Bovine Respiratory Disease* (BRD). Algumas novilhas foram selecionadas aleatoriamente para determinar os níveis de saturação de oxigênio nos tecidos (StO₂).

Uma outra pesquisa científica relatada em [18] aborda o projeto e a construção de um sistema de rádio telemetria que permite a transmissão e a gravação simultânea de 24 sinais fisiológicos relacionados com a respiração em animais não sedados, especificamente cordeiros. Nos primeiros dias de vida é realizado uma cirurgia para implantar, em todos os cordeiros, cateteres (monitoramento de fluido ou pressões de ar) e eletrodos (para um monitoramento biopotencial). É incluso um termopar tipo J para o fluxo nasal, torácica e bandas elásticas abdominais para indutância respiratórias pletismográfica e um oxímetro de pulso no início da cauda. Durante as gravações de polissonografia, todos os cateteres, eletrodos e sondas estão conectados no sistema de rádio telemetria acoplado no cordeiro. Os parâmetros fisiológicos inclusos no sistema de telemetria são eletrocardiograma (ECoG) e eletro-oculograma (EOG) para os estados de alerta, vias respiratórias superiores e eletromiografia (EMGs) dos músculos respiratórios, pressão respiratórias, fluido nasal e movimentos torácicos/abdominais para detecção e caracterização de apneia, bem como dados cardiovasculares, como eletrocardiograma (ECG) e pressão sanguínea. Também é possível gravar os dados de saturação arterial da hemoglobina em O₂ usando um oxímetro de pulso SpO₂.

O sistema de telemetria é composto por três transmissores distintos: (1) um transmissor analógico 12-canais para EMG (x8), ECG, ECoG (x2), EOG e terra; (2) um transmissor digital 8-canais para movimentos abdominais e torácicos, fluxo nasal (x2) e pressões respiratórias e arterial (x4); (3) um transmissor digital para SpO₂, taxa de pulso, intensidade do sinal e sinal pletismográfico. A antena de recepção (RG-59) é colocada a cerca de 2 metros do lugar onde são gravados os dados, onde o receptor fornece o sinal demodulado e a indicação da intensidade do sinal *wireless* recebido. A mudança súbita no sinal *wireless* indica o intervalo de sincronização enviado pelo transmissor.

O trabalho [19] objetiva avaliar a acurácia de tecnologias de oximetria de pulsos em grupos de bovinos saudáveis e grupos que apresentam doenças respiratórias. Nos

experimentos realizados, 46 animais sadios (6 fêmeas e 40 machos) foram analisados variando de 70 até 485 kg. Também foram analisados 149 animais que foram diagnosticados (em exames clínicos) com níveis moderados até severos de broncopneumonia.

Os sensores utilizados para obter os dados (em ambos os grupos de animais) foram anexados na cauda do animal (quarta ou quinta vertebra). Os LEDs ficaram no lado dorsal e o detector de luz no lado ventral da cauda. A presença de pelos e pigmentação escura influenciaram na obtenção dos dados, de forma que a cauda sempre era depilada e as pontas de teste do aparelho anexadas em regiões não pigmentadas. Também foi usado um oxímetro portátil com ponta de teste anexada no septo nasal do animal. Foram observadas 10 medidas consecutivas de SpO₂ (saturação de oxigênio no sangue) para que uma boa qualidade do sinal fosse obtida. A frequência cardíaca retornada pelo oxímetro foi comparada com a frequência obtida por auscultação

Nos animais que apresentavam doenças respiratórias, observou-se que o oxímetro subestimou saturações de oxigênio quando encontrou altos valores e superestimou quando encontrou valores baixos. A precisão do aparelho reduziu a medida que os valores de saturação de oxigênio também reduziram. Embora com a necessidade de cuidados especiais sobre as regiões onde as pontas de testes são anexadas, o estudo mostra que o oxímetro de pulsos pode ser um método de baixo custo, não-invasivo, imediato e com acurácia para avaliação de saturação de oxigênio em bovinos.

4. DISCUSSÕES E ANÁLISE DAS SOLUÇÕES EXISTENTES

Há uma quantidade significativa de trabalhos nas duas últimas décadas com enfoque em tecnologias para o monitoramento do comportamento animal. Esse enfoque deve-se à melhoria na precisão de sensores fisiológicos e no aumento da capacidade de comunicação das redes de sensores sem fio. Existem, atualmente, empresas voltadas para o provimento de tecnologias ubíquas (vestíveis) para bovinos visando o rastreamento e monitoramento de temperatura e frequência cardíaca. Da mesma forma, os fabricantes de sensores para aquisição de sinais fisiológicos como batimentos cardíacos via fonocardiógrafos e oxigenação sanguínea via oximetria já disponibilizam equipamentos (sensores) para bovinos. É justamente o avanço nessas tecnologias, propiciado também pelo constante processo de miniaturização dos transistores, aliado ao aumento da disponibilidade e baixo custo, que possibilita monitorar o comportamento e, como consequência, tomar decisões mais precisas visando a melhoria do bem-estar animal.

Ao analisar o conjunto de trabalhos com enfoque em comportamento animal por meio de tecnologias que monitoram variáveis fisiológicas, nota-se que existe uma preocupação comum na busca por métodos não-invasivos, uma vez que tais métodos propiciam resultados que exprimem a situação real do animal. Interessante observar que embora os objetivos sejam próximos, cada trabalho propõe uma nova estratégia tecnológica e utiliza, na maioria dos casos, soluções proprietárias fornecidas por fabricantes dessas tecnologias. Mesmo diante das vantagens reconhecidas que as tecnologias da informação (hardware-software) e comunicação podem gerar para a área de pecuária de precisão não há relatos sobre o desenvolvimento de ferramentas de software e, em particular, na adoção de tecnologias livres e abertas. Em adição, pode-se observar também que as tecnologias propostas estão em um estágio de protótipos, com várias restrições de aplicação e com validação e avaliação limitada a poucos animais. Nesse contexto, há necessidade de aproveitar ainda mais a disponibilidade de tecnologias, o baixo custo e a capacidade de integração, para avançar a pesquisa e a oferta de equipamentos que possam auxiliar os profissionais e produtores a terem informações mais rápidas e precisas sobre o comportamento e bem-estar dos animais.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] SCHÜTZ, K. E.; ROGERS, A. R.; COX, N. R. TURCKER, C. B. Dairy cows prefer shade that offers greater protection against solar radiation in summer: shade use, behavior, and body temperature. *Rev. Applied Animal Behaviour Science*, v. 116, p. 28-34, 2009.
- [2] BAÊTA, F. C.; SOUZA, C. F. *Ambiência em edificações rurais: conforto animal*. Viçosa: UFV, 1997, 246p.
- [3] GUISELINI, C.; SILVA, I. J. O.; PIEDADE, S. M. Avaliação da qualidade do sombreamento arbóreo no meio rural. *Rev. Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.3, n.3, p.380-384, 1999.
- [4] CONCEIÇÃO, M. N. Avaliação da influência do sombreamento artificial no desenvolvimento de novilhas em pastagens. 2008. 137f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2008.
- [5] PORFÍRIO-DA-SILVA, V. Arborização de pastagem e bem-estar animal: melhoria do ambiente e garantia da produtividade. 2007. Disponível em: <http://www.cnpf.embrapa.br/pesquisa/safs/arv-animal.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2010.

- [6] PORFÍRIO-DA-SILVA. Arborização de pastagens como prática de manejo ambiental e estratégia para o desenvolvimento sustentável do Brasil pecuário. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE RAÇAS ZEBUÍNAS, 6, Uberaba, MG, 2005. Palestras. Uberaba, MG, 2005.
- [7] Franco, F.O. Fontes de fosforo na implementação de sistema integração Lavoura-Pecuária-Floresta: atributos físicos do solo, matéria orgânica e produtividade da soja. 2013. 70f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.
- [8] Domingos Savio Campos, Luiz Januário, Magalhaes, Margarida Mesquita. Sistemas silvipastoris na pecuária leiteira. 2013. Artigo – Publicações Embrapa .
- [9] TITTO, E. A. L.; PEREIRA, A. M. F.; VILELA, R. A.; TITTO, C. G.; AMADEU, C. C. B. Manejo ambiental e instalações para vacas leiteiras em ambiente tropical. In: WORKSHOP DE AMBIÊNCIA NA PRODUÇÃO DE LEITE, I., 2008, Nova Odessa. Palestras. Nova Odessa: Centro Apta - Bovinos de Leite do Instituto de Zootecnia, 2008. p.1-24.
- [10] Steve Warren, Luke Nagl, Ryan Schmitz, Jianchu Yao, Tammi Hildreth, Howard Erickson, David Poole, e Daniel Andresen. A distributed infrastructure for veterinary telemedicine; engineering. In in Medicine and Biology Society," proceedings of the 25th Annual International Conference of the IEEE, Vol: 2, Pages:1394-1397 , páginas 17-21
- [11] Angel Martinez, S. Schoenig, D. Andresen, e S. Warren. Ingestible pill for heart rate and core temperature measurement in cattle. In Engineering in Medicine and Biology Society, 2006. EMBS '06. 28th Annual International Conference of the IEEE, paginas 3190-3193. 2006.
- [12] Sergio Aurelio Ferreira Soares. Rede de sensores sem o (rssf) para localização e monitoramento de pequenos ruminantes. Relatório técnico, Universidade Federal do Vale do São Francisco-UNIVASF, campus Juazeiro-BA., 2012.
- [13] Riccardo MASIERO. Rssi Based Tracking Algorithms For Wireless Sensor Networks: Theoretical Aspects And Performance Evaluation.. Tese de Doutorado, Corso di Laurea Specialistica in Ingegneria delle Telecomunicazioni A.A., 2007.
- [14] B. Mursec P. Vindis D. Stajnkovic F. Cus. M. Janzekovic, J. Prisenk. The art equipment for measuring the horse's heart rate. JAMME - Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering., 2010.
- [15] R. A. Eigenberg, T. M. Brown-Brandl, e J. A. Nienaber. Sensors for dynamic physiological measurements. Comput. Electron. Agric., 62(1):41-47, junho 2008. ISSN 0168-1699.

- [16] J. A. Nienaber T. M. Brown-Brandl D. E. Spiers R. A. Eigenberg, G. L. Hanhn. Development of a new respiration rate monitor for cattle. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 43(3):723-728, 2000.
- [17] Fox J. T. e Spire M. F. Near infrared spectroscopy as a potential method to detect bovine respiratory disease. In Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service.
- [18] Nathalie Samson, Sylvain Dumont, Marie-Laure Specq, e Jean-Paul Praud. Radio telemetry devices to monitor breathing in non-sedated animals. Respiratory Physiology e Neurobiology, 179(2-3):111 - 118, 2011. ISSN 1569-9048.
- [19] F. Bureau P. Lekeux J. Coghe, C. Uystepruyst. Non-invasive assessment of arterial hemoglobin oxygen saturation in cattle by pulse oximetry. The Veterinary Record, 2009.