



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

Daniel dos Santos Costa

**MEDIDOR DE FREQUÊNCIA CARDÍACA E TEMPERATURA
CUTÂNEA PARA PEQUENOS RUMINANTES**

Juazeiro – BA
2014

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

Daniel dos Santos Costa

**MEDIDOR DE FREQUÊNCIA CARDÍACA E TEMPERATURA
CUTÂNEA PARA PEQUENOS RUMINANTES**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal do Vale do São
Francisco - UNIVASF, Campus Juazeiro,
como requisito para a obtenção do título de
Mestre em Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof.^a DSc. Silvia Helena
Nogueira Turco

Co-orientador: Prof. DSc. Rodrigo
Pereira Ramos

Juazeiro – BA
2014

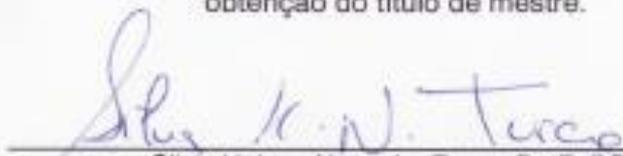
UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
MESTRADO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

FOLHA DE APROVAÇÃO

Daniel dos Santos Costa

MEDIDOR DE FREQUÊNCIA CARDÍACA E TEMPERATURA
CUTÂNEA PARA PEQUENOS RUMINANTES.

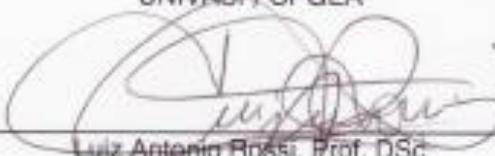
Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF, como requisito parcial para obtenção do título de mestre.



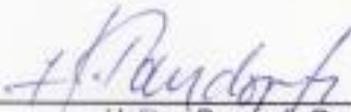
Silvia Helena Nogueira Turco, Prof.^a. DSc
UNIVASF/CPGEA



Rodrigo Pereira Ramos, Prof. DSc
UNIVASF/CPGEA



Luiz Antonio Rossi, Prof. DSc
UNICAMP/FEAGRI



Heliton Pandolfi, Prof. DSc
UFRPE/DEAGRI

C837m Costa, Daniel dos S.
Medidor de frequência cardíaca e temperatura cutânea para
pequenos ruminantes / Daniel dos Santos Costa. -- Juazeiro, 2014.
70 f. : il. ; 29 cm.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade
Federal do Vale do São Francisco, Campus Juazeiro-BA, 2014.

Orientador (a): DSc. Sílvia Helena Nogueira Turco.
Co-orientador: DSc. Rodrigo Pereira Ramos.

1. Ruminantes. 2. Medidor cardíaco em ruminantes. I. Título. II.
Turco, Sílvia Helena Nogueira. III. Ramos, Rodrigo Pereira. IV.
Universidade Federal do Vale do São Francisco.

CDD 591.16

A minha esposa...

AGRADECIMENTOS

A meu Deus, cujo nome é Jeová, por conceder-me sabedoria, perspicácia e força continuamente;

Aos meus pais, por valorizar o conhecimento adquirido, e que me ajudou de maneiras distintas a concluir esse trabalho;

À minha esposa, pela paciência, companheirismo e amizade, mesmo quando afastado por motivo de força maior;

À professora DSc. Silvia Helena Nogueira Turco pela orientação, ensinamento e amizade, além de acreditar no potencial do trabalho proposto;

Aos professores DSc. Rodrigo Pereira Ramos e MSc. Rodrigo Rimoldi de Lima pela orientação, ensinamento, paciência e amizade que foram desenvolvidos nos últimos anos;

À Universidade Federal do Vale do São Francisco por conceder a oportunidade de realizar tal trabalho;

À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Pernambuco (FACEPE), pela concessão da bolsa de estudo;

Aos colegas de curso Fernando Costa, José Alberto, Renato Lima, Paulo da Silva, Danielle Morais, Gilmara Granja e outros que por falta de papel não poderão ser mencionados, pelo grande apoio nas atividades desenvolvidas ao longo dos anos;

Aos colegas de trabalho Allan Gleuton pelo grande amparo técnico, dúvidas sanadas e ensinamentos na eletrônica embarcada;

E a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Se A significa sucesso na vida, então A é igual a X mais Y mais Z , onde X é trabalho, Y é lazer e Z é manter a boca fechada. – *Albert Einstein*

COSTA, D. S. **Medidor de frequência cardíaca e temperatura cutânea para pequenos ruminantes**. 2014. 70f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal do Vale do São Francisco, UNIVASF, Juazeiro-BA.

RESUMO

O setor agropecuário tem grande e valorosa contribuição na economia brasileira. A atividade pecuária com a produção de produtos de origem animal ao longo dos últimos anos vem batendo recordes extraordinários, contribuindo expressivamente com o PIB. Tamanho sucesso é advindo do cumprimento de exigências legais impostas pelas economias externas, sendo uma destas o bem-estar animal. O consumidor está preocupado em consumir produtos de origem animal de qualidade, entretanto, não em detrimento do sofrimento animal. Assim, os produtores devem investir em tecnologias para aquisição de informações e conseqüentemente, subsidiar na tomada de decisão. Diversos sistemas para monitoramento estão sendo propostos, contudo, são bastante onerosos. Nesse sentido, objetivou-se projetar, construir e ensaiar um sistema de aquisição com capacidade de registro e transmissão de sinais fisiológicos (frequência cardíaca e temperatura cutânea) em animais de produção. O sistema de monitoramento de sinais fisiológicos consistiu de dois componentes principais: a própria unidade de registro e transmissão móvel, montado no animal em estudo, e uma unidade de base fixa, que foi conectada a um computador pessoal por meio de um protocolo de comunicação. A comunicação entre a unidade móvel e a unidade de base foi realizada por um dispositivo eletrônico que proporcionou um enlace de rádio digital bidirecional. O registro dos dados ocorreu independente do modo telemétrico, sendo o dispositivo de armazenamento um cartão de memória SD (*Secury Disk*). O sistema de aquisição desenvolvido foi aferido com alguns equipamentos considerados padrões, para comparação dos sinais adquiridos em um ovino. O desempenho do sistema foi demonstrado por medições fisiológicas (frequência cardíaca e temperatura cutânea) feitas em ovinos durante dois turnos (manhã e tarde). Esta aplicação demonstrou a aquisição de dados fisiológicos de alta qualidade em circunstâncias em que outras abordagens de medição seriam difíceis. A portabilidade e a robustez do sistema tornam o mesmo competitivo frente aos produtos já disponíveis, proporcionando um padrão na mensuração dessas variáveis, que são atualmente onerosas para adquiri-las.

Palavras-chave: eletrônica embarcada, monitoramento automático, zootecnia de precisão.

COSTA, D. S. **Measuring heart rate and skin temperature for small ruminants.** 2014. 70f. Dissertation (Master in Agricultural Engineering), Federal University of São Francisco Valley, UNIVASF, Juazeiro-BA.

ABSTRACT

The agricultural sector has large and valuable contribution in the Brazilian economy. The cattle industry with the production of animal products over the past few years has been breaking records extraordinary, contributing significantly to the GDP. Such success is coming from the fulfillment of legal requirements imposed by external economies, being one of the animal welfare. Consumers are concerned about consuming products of animal origin quality, however, not at the expense of suffering. Thus, producers should invest in technologies for acquiring information and thus support decision making. Several systems have been proposed for monitoring, however, are quite expensive. In this sense, the objective was to design, build and test an acquisition system capable of recording and transmitting physiological signals (heart rate and skin temperature) in food animals. The system for monitoring physiological signals consisted of two main components: the unit registry and mobile transmission, mounted on the animal study, and a fixed base unit, which was connected to a personal computer through a communication protocol. The communication between the mobile unit and the base unit was performed by an electronic device that provided a digital two-way radio link. The recording of data was independent of telemetry mode, and the storage device an SD memory (security Disk). The acquisition system developed was measured with some equipment considered standard for comparison of signals acquired in a sheep. The system performance was demonstrated by physiological measurements (heart rate and skin temperature) made in sheep during two shifts (morning and afternoon). This application showed the acquisition of high quality physiological data in circumstances where other approaches to measurement would be difficult. The portability and robustness of the system make it competitive with the products already available, providing a standard in the measurement of these variables, which are currently expensive to acquire them.

Key-words: automotive electronics, automatic monitoring, animal precision.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Conceito de um sistema de monitoramento integrado para a produção pecuária.....	28
Figura 2 - Diagrama de pinos do microcontrolador PIC 18F4620.	36
Figura 3 – Diagrama do sistema de monitoramento fisiológico.....	37
Figura 4 - Diagrama em bloco da unidade embarcada móvel.....	39
Figura 5 - Fluxograma do <i>firmware</i> da unidade embarcada móvel	47
Figura 6 - Animal contido em gaiola para aferição de batimentos cardíacos e temperatura cutânea.	48
Figura 7 - Unidade embarcada móvel desenvolvida.	51
Figura 8 - Médias e erro padrão da média da frequência cardíaca adquiridas com o equipamento teste e o equipamento controle.....	53
Figura 9 - Médias e erro padrão da média da temperatura cutânea adquiridas com o equipamento teste e os equipamentos controle.....	54
Figura 10 - Gráfico de dispersão das temperaturas superficiais adquiridas pelo equipamento teste, termômetro infravermelho e a câmera térmica.	55
Figura 11 - Médias e erro padrão da média da frequência cardíaca adquiridas com o equipamento teste e o equipamento controle, em dois turnos diferentes (manhã e tarde).....	56
Figura 12 - Médias e erro padrão da média da temperatura cutânea adquiridas com o equipamento teste e o equipamento controle, em dois turnos diferentes (manhã e tarde).....	57
Figura 13 - Termografia dos animais de estudo no turno da manhã.	58
Figura 14 - Termografia dos animais de estudo no turno da tarde.....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características do microcontrolador PIC18F4620.....	40
Tabela 2 - Parâmetros da câmara térmica.	49
Tabela 3 - Resultado dos cálculos da medida de tendência central e variabilidade dos dados de frequência cardíaca	53
Tabela 4 - Resultados dos cálculos da medida de tendência central e variabilidade dos dados de temperatura cutânea.....	54
Tabela 5 - Resultado dos cálculos da medida de tendência central e variabilidade dos dados da frequência cardíaca em dois turnos.....	56
Tabela 6 - Resultado dos cálculos da medida de tendência central e variabilidade dos dados da temperatura cutânea em dois turnos	57

LISTA DE SÍMBOLOS

A/D – Analógico/Digital

ASCII - *American Standard Code for Information Interchange*

bpm – batimentos por minuto

bps – Byte por segundo

ECG – Eletrocardiograma

EEG – Eletroencefalograma

FAT – *File Allocation Table*

FBSN – *Floating Base Sensor Network*

GB – Giga Byte

GHz – Giga Hertz

I/O – *Input/Output*

LED – *Light Emitting Diode*

MMC – *Multi Media Card*

MHz – Mega Hertz

PIC – *Programmable Interface Controlle*

RAM – *Random Access Memory*

RFID – *Radio Frequency IDentification*

ROM – *Read Only Memory*

SD – *Secury Disk*

SMD – Dispositivos de montagem superficial

SPI – *Serial Peripheral Interface*

SRD – Sem raça definida

TTL – *Transistor-Transistor Logic*

ULA – Unidade Lógica Aritmética

USART – *Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter*

USB – *Universal Serial Bus*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1. Hipótese	16
1.2. Objetivo.....	16
1.1.1. Objetivos específicos	16
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1. Bem-estar animal	18
2.1.1. Conceitos.....	18
2.1.2. Questões econômicas	21
2.2. Zootecnia de Precisão	24
2.2.1. Conceitos.....	24
2.2.2. Identificação e monitoramento eletrônico	27
2.2.3. Biosensores	30
2.2.4. Biotelemetria	32
2.3. Eletrônica embarcada.....	34
3. MATERIAL E MÉTODOS	37
3.1. Visão geral do sistema	37
3.2. Unidade base fixa.....	38
3.3. Unidade embarcada móvel.....	39
3.3.1. Microcontrolador PIC18F4620	40
3.3.2. Sensoriamento da temperatura cutânea	41
3.3.3. Sensoriamento da frequência cardíaca	42
3.3.4. Armazenamento de dados.....	43
3.3.5. Transmissão de dados.....	43
3.3.6. Alimentação	44
3.4. Firmware da unidade móvel.....	45
3.5. Avaliação de validação e desempenho.....	48
3.6. Análise dos dados	49

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	51
4.1. Resultados.....	51
4.1.1. Sistema de monitoramento dos sinais fisiológicos.....	51
4.1.2. Validação e desempenho do sistema de monitoramento	52
4.2. Discussões	58
4.2.1. Sistema de monitoramento dos sinais fisiológicos.....	58
4.2.2. Validação e desempenho do sistema de monitoramento	60
5. CONCLUSÕES.....	64
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

1. INTRODUÇÃO

Em 2013 as exportações do agronegócio alcançaram US\$ 93,58 bilhões, o que representou um crescimento de 5,6% em relação ao ano anterior. Um dos setores que mais contribuíram para o crescimento do agronegócio foi a pecuária com US\$ 15,39 bilhões (BRASIL, 2014).

Esse cenário de crescimento no setor agropecuário e essa grande contribuição da atividade pecuária ocorrem em parte do cumprimento das exigências do consumidor externo. O consumo de produtos de qualidade em detrimento de maus tratos aos animais é algo inaceitável em algumas economias, como exemplo a União Europeia. A legislação comunitária estabelece exigências mínimas com o objetivo de mitigar o sofrimento inútil em três aspectos principais: a criação, o transporte, e o abate. Assim, o Brasil ganha posição de destaque na exportação de produtos de origem animal, concedendo crédito aos produtores que incorporam os princípios de bem-estar animal e inovações tecnológicas nas propriedades rurais.

O bem-estar animal tornou-se um atributo da qualidade do produto e é sabido que animais que se encontram dentro da sua zona de conforto térmico apresentam melhores desempenhos produtivos. Desta forma, é necessário identificar o estado do animal no ambiente físico onde o mesmo se encontra.

O animal responde aos estímulos do ambiente físico de diferentes maneiras e essas respostas são passíveis de serem identificadas. Existe um grande volume de variáveis que subsidiam a identificação do conforto térmico animal. Contudo, existem poucos equipamentos no mercado que forneçam informações dos animais no ambiente físico de produção e quando existem são bastante onerosos.

Novas tecnologias estão sendo concebidas e incorporadas no setor pecuário com o intuito de coletar o maior número de dados para gerar informações e subsidiar a tomada de decisão. Isso é importante em virtude dos desafios colocados atualmente pela produção animal sustentável, que exigem o cumprimento da lucratividade e minimização dos impactos ambientais adversos, ao mesmo tempo em que asseguram a preservação da saúde e bem-estar animal.

Neste contexto, um sistema de gestão integrado que entenda a produção animal como um conjunto de processos interligados, que atuam em conjunto numa

rede complexa, sendo baseada na monitorização automática e contínua dos animais e dos processos físicos relacionados é desejável (WATHES et al., 2008).

Assim, a incorporação dos princípios da tecnologia da informação e da engenharia de automação e controle tem um grande potencial para transformar a pecuária, introduzindo um grau de controle sobre os processos de gerenciamento de componentes que antes era impossível (WATHES et al., 2008).

1.1. Hipótese

Um sistema de aquisição com capacidade de registro e transmissão de sinais fisiológicos, como frequência cardíaca e temperatura cutânea, pode permitir a coleta eficiente de dados em pequenos ruminantes, minimizando os erros associados à manipulação dos animais.

1.2. Objetivo

Essa pesquisa foi conduzida com o objetivo de projetar, construir e ensaiar um sistema de aquisição com capacidade de registro e transmissão de sinais fisiológicos de frequência cardíaca e temperatura cutânea em pequenos ruminantes.

1.1.1. Objetivos específicos

Os objetivos específicos seguiram as etapas descritas:

- desenvolver um circuito para aquisição dos sinais fisiológicos;
- desenvolver um circuito para registro, em cartão de memória, dos sinais fisiológicos;
- implementar o uso da comunicação de dados sem fio;

- desenvolver um *software* embarcado para o gerenciamento e aquisição dos sinais fisiológicos;
- analisar o equipamento com ensaios de aferição e desempenho do equipamento no campo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Bem-estar animal

2.1.1. Conceitos

Os animais têm uma ampla gama de necessidades que são consequência dos muitos mecanismos funcionais que tornam a vida possível. A necessidade é o déficit de um indivíduo, que pode ser satisfeita pela obtenção de um determinado recurso (BROOM, 1991).

Quando um animal tem uma necessidade, seu estado é afetado, de modo que os mecanismos fisiológicos e comportamentais que resultam em remediar essa necessidade podem ser acionados. Esses mecanismos de enfrentamento permitem aos animais controlar e manter a estabilidade mental e corporal. Entretanto, requerem maiores gastos energéticos e, portanto, são utilizados apenas quando ações regulatórias normais são insuficientes (BROOM, 1991).

O estado de um animal é claramente influenciado tanto pela incapacidade como dificuldade em enfrentar as condições adversas impostas. O ambiente é apropriado se ele permite que o animal satisfaça as suas necessidades (BROOM, 1997). Nesse sentido, o bem-estar de um indivíduo é seu estado em relação às suas tentativas de adaptar-se ao seu ambiente (BROOM, 1986). Esta definição refere-se a uma característica do indivíduo em um dado momento. A base do conceito é quão bem um indivíduo está passando por um determinado momento de sua vida (BROOM e MOLENTO, 2004).

Essa definição de bem-estar tem algumas implicações de fundamental importância, em que tal conceito não abrange unicamente o bom estado do animal. Na verdade, varia de um baixo a elevado grau de bem-estar. Ademais, o estado de conforto pode ser mensurado, de forma científica, por uma variedade de indicadores (BROOM, 1991).

Erroneamente, às vezes, o bem-estar é atrelado às boas condições que os indivíduos apresentam, não obstante, conforme definição anterior, pode existir o

baixo grau de bem-estar, que nesse caso, a palavra estresse pode ser apropriadamente utilizada para descrever aquela porção do bem-estar pobre que se refere à falência nas tentativas de enfrentar as dificuldades. Se os mecanismos de controle não conseguem prevenir uma alteração deste estado, além dos níveis toleráveis, atinge-se uma situação de impacto danoso. A utilização do termo estresse deve ser restrita para se referir a efeitos deletérios sobre um indivíduo (BROOM e MOLENTO, 2004).

Assim sendo, Broom e Molento (2004) mencionam que o estresse pode ser definido como um estímulo ambiental sobre um indivíduo que sobrecarrega seus mecanismos de controle e reduz sua adaptação, ou parece ter potencial para tanto.

O ambiente pode provocar diferentes respostas ao indivíduo. O animal pode ter sucesso em suas tentativas de lidar com as condições que lhe foram impostas, nesse caso, adaptando-se a tais circunstâncias. Às vezes, pode ter sucesso, entretanto, com grande dificuldade. Alternativamente, o ambiente pode ser tão adverso que o animal não consegue superar as dificuldades, reduzindo sua aptidão, sendo evidenciado por incapacidade de crescer, reproduzir, chegando até a morte. Nesse último caso, quando os sistemas fisiológicos estão sobrecarregados e há uma redução real ou potencial em desempenho, o animal está estressado (BROOM, 1991).

Portanto, pressupõe-se que, quanto maior a diferença entre o ambiente real e o ambiente ideal, respostas de estresse mais elevadas seriam provocadas. Nessas condições, existe uma relação direta entre as respostas do indivíduo a um determinado ambiente, onde quanto mais adverso esse último for, tais respostas devem aumentar ou diminuir em intensidade. Contudo, há amplas evidências de que essa não é uma regra (VEISSIR e BOISSY, 2007).

Assim, as respostas opostas são encontradas em contextos de estresse de acordo com as espécies, a idade do animal, e, provavelmente, também os antecedentes genéticos e experimentais, bem como a situação de estresse por si só (VEISSIR e BOISSY, 2007).

A incapacidade dos animais de lidarem com os efeitos de um ambiente envolvem aspectos qualitativos e quantitativos, que por vezes podem ser mensurados direta ou indiretamente, proporcionando o estado dos indivíduos (BROOM, 1986).

Alguns sinais de bem-estar precário são evidenciados por medidas fisiológicas, comportamentais e desempenho produtivo. Por exemplo, incremento da frequência cardíaca, respiratória, temperatura retal, superficial, atividade adrenal, resposta imunológica reduzida após um desafio, medo, angústia, lesões, injúrias, ingestão de alimento e água, podem indicar que o bem-estar está mais reduzido que em indivíduos que não apresentam tais alterações (BROOM e MOLENTO, 2004).

Os indicadores de baixo grau de bem-estar são de dois tipos gerais, sendo que o primeiro demonstra que um indivíduo não foi capaz de lidar com as adversidades impostas pelo ambiente, e no segundo, indica o esforço envolvido e a extensão das tentativas do indivíduo em lidar com tais adversidades (BROOM, 1986).

A utilização de tais indicadores envolve a avaliação do estado de cada indivíduo e não do grupo que é composto por esses indivíduos. Por exemplo, se a taxa de crescimento, ou o sucesso reprodutivo, estão sendo medidos, havendo escassez de alimentos, pode-se levar a efeitos negativos sobre todos os indivíduos o que indicaria uma diminuição do bem-estar. No entanto, como é mais comum, quando os animais estão em grupos, o grau de bem-estar de alguns animais pode ser bom, mas por fatores sociais, dentre esses animais, alguns podem não conseguir obter alimento suficiente. Enquanto a taxa de crescimento ou reprodução média apresenta-se na normalidade, o bem-estar de alguns indivíduos pode ser pobre e, conseqüentemente, o sistema de produção deve ser modificado para atender estes animais (BROOM, 1986).

Em algumas das variáveis fisiológicas citadas, pode tornar-se óbvio que o indivíduo esteja tentando enfrentar situações adversas, e a extensão destas tentativas pode ser mensurada. Em outros casos, contudo, algumas respostas são simplesmente patológicas e o indivíduo não consegue sucesso ao enfrentar a situação. Em ambos os casos, a medição indica baixo grau de bem-estar (BROOM e MOLENTO, 2004).

Com isso, as medições que correspondem ao estado do animal devem ser feitas de forma objetiva e os resultados interpretados com cuidado. Um exemplo é o mau funcionamento do sistema imunológico, assim como algumas outras alterações fisiológicas, que podem indicar um estado pré-patológico (BROOM e MOLENTO, 2004).

Como resultado das diferentes respostas fisiológicas às variações no ambiente, é necessário que qualquer avaliação de bem-estar inclua uma variada gama de medidas. Trabalhos realizados com caprinos e ovinos nas condições do Semiárido Nordeste constataram a correlação das variáveis climáticas com as fisiológicas. Souza et al. (2005), estudando diferentes grupos genéticos de caprinos determinando-lhe gradiente térmico, observaram maiores gradientes térmicos no turno da manhã, o que facilita as trocas de calor por condução e convecção, diminuindo a taxa respiratória, o que proporciona maior ingestão de alimentos. Câmara Filho et al. (2011), avaliando as variáveis fisiológicas e níveis de adaptabilidade de caprinos da raça Saanen, obtiveram temperaturas superficiais menores no horário da manhã (às 6 horas), além de observarem uma correlação positiva entre a temperatura superficial e a temperatura retal, comprovando que a temperatura interna do animal aumenta quando a temperatura externa aumenta. Martins Júnior et al. (2007), estudando as respostas fisiológicas de caprinos Boer e Anglo-Nubiano, observaram que a frequência cardíaca, para ambas as raças, foi inferior no período da manhã, em virtude das menores temperaturas retais nos primeiros horários da manhã.

Portanto, deve-se aprimorar o conhecimento das formas de associações entre as diferentes variáveis e suas consequências em relação à severidade do problema. Contudo, o uso exclusivo desses indicadores requer a avaliação de uma série desses para obter maiores informações de cada indivíduo sobre o seu atual estado, pois um único indicador não pode ser tomado como significando que não há problema de bem-estar. Essas informações devem ser combinadas em uma avaliação global permitindo uma verdadeira avaliação do bem-estar (BROOM, 1986; BROOM, 1991; BROOM, 1997; BROOM e MOLENTO, 2004).

2.1.2. Questões econômicas

O ambiente térmico adverso pode provocar no animal um estado de desconforto, e conseqüentemente, baixo grau de bem-estar. Portanto, qualquer melhoria nessas condições é uma questão moral, pois envolve a interação entre homem e animal. Essa afirmação é feita assumindo que os produtores têm

obrigação moral com os animais. Entretanto, pode haver outros valores, além dos éticos, para as pessoas que estão empenhadas com a melhoria no bem-estar. Esses possíveis valores devem ser levados em consideração quando, principalmente, se considera os custos associados com os esforços para a melhoria do bem-estar (BROOM, 1997).

A avaliação na melhoria do bem-estar animal não é meramente uma questão econômica, mas também pode ser expressa em termos de tempo, energia e custos sociais. Se o bem-estar de um animal utilizado para a produção de alimentos é melhor, pode haver algum benefício financeiro direto ao produtor. Por exemplo, uma vaca pode produzir mais leite por unidade; bezerros, cordeiros ou leitões podem sobreviver ao invés de morrer; ou crescer rapidamente em vez de lentamente. Se os consumidores percebem que a melhoria do bem-estar em um sistema resulta em um produto diferenciado, eles podem estar dispostos a pagar mais por esse produto (BROOM, 1997).

Alguns consumidores potenciais podem mostrar sua desaprovação para sistemas agrícolas que não têm incorporado o conceito de bem-estar, dedicando tempo e energia para atividades destinadas a tornar a legislação mais rígida, forçando uma melhoria no bem-estar ou denegrindo esses produtores. Estes consumidores também podem recusar-se a comprar o produto de forma que o tamanho do mercado global diminua. Todas essas ações irão resultar em algum custo para os produtores que não levam em conta o bem-estar dos animais que eles mantêm (BROOM, 1997).

O bem-estar dos animais de exploração agrícola está se tornando exigência crescente dos cidadãos e consumidores e, inevitavelmente, torna-se cada vez mais reconhecido como um notável atributo de qualidade dos alimentos. Isto constitui um importante impacto sobre a cadeia alimentar, uma vez que requer a visibilidade dos processos de produção e uma compreensão de como eles afetam o bem-estar (BLOKHUIS et al., 2008). Dentre esses consumidores, destaca-se o mercado europeu, onde este possui uma declarada preferência por padrões elevados de bem-estar dos animais de produção e são uns dos principais agentes no reconhecimento das questões relacionadas ao bem-estar animal (MOLENTO, 2005). Nesse contexto, o bem-estar animal adquire cada vez maior relevância em todo mundo e muitos países e consumidores impõem exigências legais (OLIVEIRA, BORTOLI e BARCELLOS, 2008).

Ao mesmo tempo, os varejistas e os produtores estão cada vez mais reconhecendo que os esforços para atender às preocupações e exigências dos consumidores na área de bem-estar animal, na verdade, representam uma oportunidade de negócio e pode assim ser rentável, caso incorporada nas estratégias de produção de qualquer empresa ou cadeia agro-alimentar. Isso também se relaciona com a crescente compreensão de que as condições que afetam negativamente o bem-estar dos animais também podem danificar outros aspectos de qualidade como o pH, Rigor Mortis e a capacidade de retenção de água da carne (BLOKHUIS et al., 2008). Observa-se que não basta ter a melhor genética, a alta produtividade, a nutrição equilibrada e de boa qualidade, se o manejo com os animais está sendo incorreto. Além disso, atualmente, vem se observando a importância das práticas de bem-estar animal, pois se os animais não estão sendo bem tratados, não expressarão seu máximo potencial produtivo (OLIVEIRA, BORTOLI e BARCELLOS, 2008).

Tais preocupações vêm para melhorar e aumentar a produção de carne, para satisfazer a crescente demanda e para sair da atual conjuntura que atravessa o setor. Os cuidados vão muito além das questões ecológicas, sociais e éticas e têm uma incidência direta na rentabilidade e na qualidade da carne (OLIVEIRA, BORTOLI e BARCELLOS, 2008).

De fato, a melhoria do bem-estar de um animal pode afetar positivamente vários aspectos da qualidade do produto, tendo relevância direta na qualidade e segurança alimentar. Surge assim um crescente interesse dos consumidores pela qualidade e pela segurança dos produtos que consomem (OLIVEIRA, BORTOLI e BARCELLOS, 2008). Por exemplo, no caso de frangos, tem sido mostrado que o ambiente é decisivo para a saúde e mortalidade (DAWKINS, DONNELLY e JONES, 2004). Esses fatores ambientais são determinados por práticas de gestão e, portanto, uma tendência crescente na ciência do bem-estar animal está no desenvolvimento de sistemas de apoio à decisão para reduzir o risco ao bem-estar e identificar ações corretivas quando há um problema. Sistemas de apoio à decisão também podem incluir outros aspectos de importância para a cadeia alimentar, como a segurança e a qualidade dos alimentos (BLOKHUIS et al., 2008).

Considerações sobre o bem-estar animal devem também levar em conta os potenciais riscos relacionados com a segurança alimentar, saúde animal e propagação de doenças. A relação entre bem-estar e saúde animal é reconhecido

internacionalmente e, desde 2003, tem sido um princípio básico inspirando as atividades da Organização Mundial de Saúde Animal (OIE). Esta perspectiva está agora levando os legisladores e gestores de risco a mudar sua abordagem para a gestão destas questões e, sempre que possível, integrar a saúde animal, bem-estar animal e segurança alimentar em um quadro jurídico único. No entanto, as interações entre os três conceitos precisam ser mais exploradas cientificamente e os impactos potenciais na cadeia alimentar bem quantificados, a fim de fazer o sistema mais eficiente e adaptável às novas tendências (BLOKHUIS et al., 2008).

Adicionalmente, é cada vez maior a preocupação com certificação por parte dos consumidores de carne dos países importadores dos nossos produtos. Esta certificação engloba todas as etapas do processo produtivo (do campo até o consumidor final), incluindo o cumprimento de normas de bem-estar, sanidade e origem dos produtos (OLIVEIRA, BORTOLI e BARCELLOS, 2008).

As empresas estão, portanto, explorando a aplicação de sistemas de criação menos invasivos, com práticas de gestão e estratégias de reprodução associada à aplicação de sistemas de monitoramento e de certificação, bem como o rastreamento do produto até o consumidor final (BLOKHUIS et al., 2008).

Em última análise, o aumento da compreensão de que os indicadores refletem fielmente o estado de bem-estar de um animal e a definição dos fatores que representam um risco para o bem-estar precisam ser implementados na prática. A grande contribuição da ciência do bem-estar animal no contexto da cadeia alimentar, portanto, é fornecer a base para a avaliação prática e confiável do bem-estar auxiliando no processo em que este conhecimento será usado ao longo da cadeia produtiva, e conseqüentemente, nos mercados que exigem tais informações. (BLOKHUIS et al., 2008).

2.2. Zootecnia de Precisão

2.2.1. Conceitos

A agricultura e a pecuária têm passado por inúmeras transformações, o que torna a atividade cada vez mais competitiva e, por sua vez, exige do produtor maior nível de especialização, capacidade de gerenciamento e profissionalismo. Os produtores, além de administradores, cada vez mais terão de assumir a função de produtores pesquisadores de suas áreas, posição que os levará a atuar diretamente no registro de dados e geração de protocolos integrados à informação, associados a novas técnicas de manejo com auxílio à tomada de decisão. A viabilização da zootecnia, com a obtenção de lucro satisfatório, está sempre em risco, visto a existência de fatores controláveis e incontroláveis que definem a produção (PANDORFI, ALMEIDA e GUISELINI, 2012).

Para um determinado grupo de animais, a qualidade do produto depende quase inteiramente da habilidade, experiência e avaliações subjetivas do produtor em monitorar e controlar o processo de produção. Isso significa que o produtor é, frequentemente, incapaz de monitorar e controlar as variáveis que irão determinar o valor do produto. Muitos produtores têm grande experiência, mas não há evidências consideráveis de que as exigências dos clientes são cumpridas (FROST et al., 1997).

Os desafios colocados pela produção animal sustentável exigem tecnologias de produção rigorosas, cumpridas de forma lucrativa e minimizando os impactos ambientais adversos, ao mesmo tempo em que asseguram a preservação da saúde e bem-estar animal. Estes requisitos potencialmente antagônicos podem gerar conflitos e os objetivos de curto prazo podem comprometer soluções sustentáveis em longo prazo (WATHES et al., 2008).

Neste contexto, um sistema integrado e otimizado que permita gerir a produção animal baseado nos princípios da engenharia de processos, levando em consideração os processos físicos e biológicos dos animais, pode representar uma ferramenta poderosa para o setor agropecuário. A zootecnia de precisão, antes conhecida como um sistema de gestão integrado (SGI), trata a produção animal como um conjunto de processos interligados, que atuam em conjunto numa rede complexa, sendo baseada no monitoramento automático e contínuo dos animais e dos processos físicos relacionados (WATHES et al., 2008).

Denomina-se zootecnia de precisão parte da pecuária que emprega o uso da tecnologia da informação, sensores e atuadores para o registro de informações relacionadas ao sistema de produção e às interferências das variáveis ambientais

nas unidades produtivas. Esta visa a reduzir ou evitar perdas localizadas, o que propicia um controle preciso sobre a utilização dos recursos envolvidos na cadeia produtiva (PANDORFI, ALMEIDA e GUISELINI, 2012).

Em comparação com a gestão da pecuária tradicional, a zootecnia de precisão tem potencial para monitorar, gerenciar e controlar vários aspectos da produção pecuária, simultaneamente e automaticamente (WATHES et al., 2008).

A automação dos processos, promovida pela zootecnia de precisão, é muito importante, pois permite visualizar o sistema de produção por uma ótica mais ampla, onde o monitoramento das atividades, eficiente análise de dados e geração de informações favorece a decisões mais seguras, inteligentes e rápidas (PANDORFI, ALMEIDA e GUISELINI, 2012). Tal monitoramento e controle contínuo permitem manter as condições ideais para o crescimento dos animais, saúde, bem-estar e produtividade (FROST et al., 1997).

Uma das vantagens da adoção dos preceitos da precisão é que os pecuaristas são contemplados com informações detalhadas sobre os processos de origem animal, como o comportamento e a fisiologia, e é concedido mais tempo para execução de outras atividades. Além disso, é possível diminuir a mão de obra, visto que esta tem se tornada escassa no meio rural (FROST et al., 1997).

Uma das maiores limitações é a ausência de recursos de automação para o registro de dados no campo, o que implica muitos riscos para a rentabilidade e para a sustentabilidade do setor rural (PANDORFI, ALMEIDA e GUISELINI, 2012). Além disso, as novas tecnologias agrícolas podem ter um impacto muito maior na sociedade do que as consequências imediatas para os agricultores e os seus animais. O impacto pode ser avaliado objetivamente usando a análise bioética (WATHES et al., 2008).

Wathes et al. (2008) preveem que no futuro os sensores e técnicas de sensoriamento para monitoramento pecuário vão se tornar facilmente disponíveis. Contudo, a disponibilidade desses dispositivos eletrônicos a um baixo custo e robustos para o campo permanece como o principal problema a ser resolvido. Mais pesquisas são necessárias, para o desenvolvimento de tecnologias mais acessíveis forçando os custos de produção para baixo (WATHES et al., 2008).

A zootecnia de precisão é um novo conceito que tem um grande potencial para transformar a pecuária, introduzindo um grau de controle sobre os processos

de gerenciamento de componentes que antes era impossível (WATHES et al., 2008).

2.2.2. Identificação e monitoramento eletrônico

Na atual estrutura de mercado, com a imposição de exigências crescentes, não se pode mais considerar, meramente, o sistema de produção, a cadeia produtiva e os padrões comportamentais sem destacar o conceito de bem-estar animal na produção (PANDORFI, ALMEIDA e GUISELINI, 2012).

Revela-se, assim, o interesse em como medir a influência do ambiente físico nas variáveis fisiológicas, com o objetivo de integrar informações registradas nos animais e os desvios das suas necessidades, de modo a atuar, em tempo real, sobre o manejo dos animais e o controle do microclima no interior das instalações (PANDORFI, ALMEIDA e GUISELINI, 2012).

Há várias fontes de incerteza na produção animal fornecendo uma fonte constante de variação no desempenho. Então, é essencial saber qual nível de desvio dentro de um conjunto de dados de desempenho é tolerável. Mas esta questão só pode ser respondida quando informações confiáveis sobre os animais individuais estiverem disponíveis (GEERS, 1994).

A identificação e o monitoramento eletrônico são ferramentas importantes e necessárias dentro da gestão nos sistemas de criação animal, pois quando se trabalha com animais vivos, o risco e as incertezas tornam a gestão uma tarefa difícil e complexa (GEERS, 1994).

Diante disso, o uso da tecnologia da informação, microeletrônica, técnicas de modelagem, monitoramento por imagens, sensores e atuadores podem melhorar o setor produtivo, de modo a favorecer a acurácia dos dados e o desenvolvimento de sistemas especialistas para melhor tomada de decisão (PANDORFI, ALMEIDA e GUISELINI, 2012).

Os sistemas automáticos de identificação e monitoramento eletrônico podem trazer inúmeras vantagens, como: auxiliar na detecção de doenças, monitoramento das respostas fisiológicas e comportamentais ao estresse ambiental, atividade física, determinação da quantidade de alimentos, redução da mão de obra, diminuição do

impacto ambiental causado pelo sistema de produção, de maneira a promover o melhor controle na propriedade (PANDORFI, ALMEIDA e GUISELINI, 2012; ERADUS e JANSEN, 1999).

Um sistema de monitoramento integrado é aquele que recolhe informações a partir de uma variedade de fontes, incluindo sensores, bancos de dados e modelos matemáticos, processa essas informações e fornece saídas, que podem ser recomendações ao produtor, ou ações de controle dos processos de produção. A Figura 1 ilustra este conceito geral, uma vez que pode ser aplicada a um processo de produção pecuária. As entradas para o sistema podem incluir sensores de medição, bases de dados contendo valores passados dessas variáveis e modelos para permitir que as futuras condições serem previstas, ou os valores das variáveis imensuráveis poderem ser deduzidas. Esses dados permitem retirar informações pertinentes do processo, contudo, necessitam de interpretação e uma análise de todo o processo. Por fim, com todo o possível entendimento do processo, as recomendações e ações iniciais de controle podem ser tomadas (FROST et al., 1997).

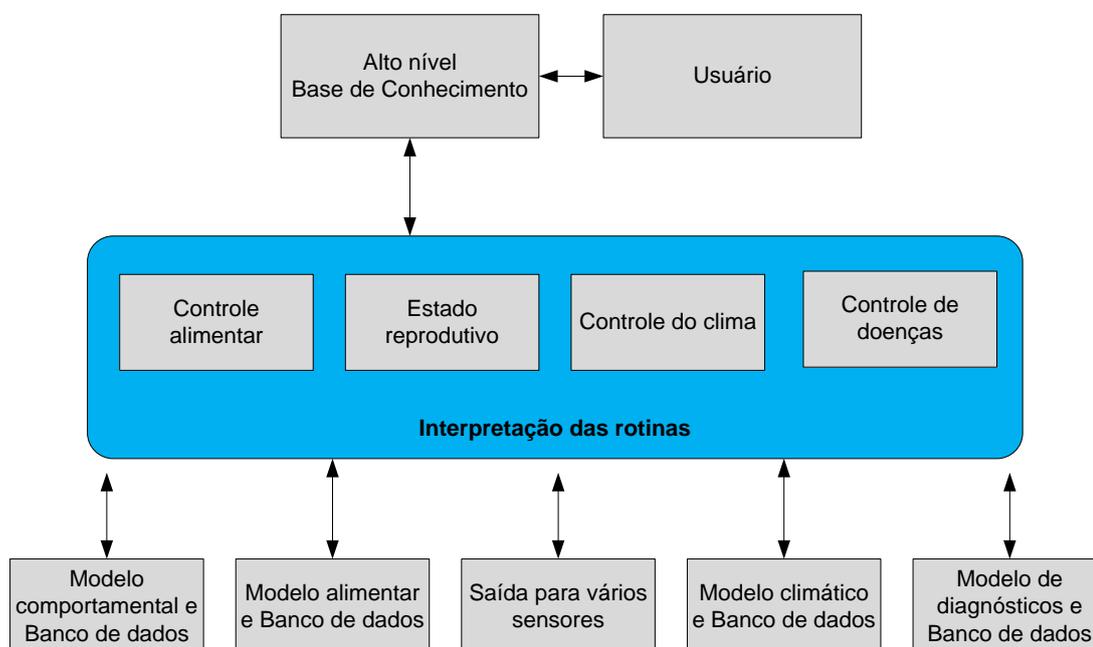


Figura 1 - Conceito de um sistema de monitoramento integrado para a produção pecuária (FROST et al., 1997).

A identificação, isoladamente, não apresenta nenhum significado, pois deve ser acompanhada de um sistema de aquisição e armazenamento de dados que

proporcione minimizar os erros na coleta de dados, reduzir o trabalho e disponibilizar facilmente as informações, não somente aos produtores, mas também ao consumidor final, para garantir a rastreabilidade da produção (PANDORFI, ALMEIDA e GUISELINI, 2012). Teoricamente, essa desvantagem pode ser superada por sistemas de identificação eletrônica injetáveis conhecidos como *transponders* (GEERS, 1994).

A obtenção da identificação atribuída ao animal, contido no interior do *transponder*, é realizada por um aparelho leitor que utiliza um meio de comunicação sem fio, normalmente por rádio frequência (RFID – *Radio Frequency ID*), sendo, por isso, constituído por uma antena transmissora e receptora, cuja função é sensibilizar o *chip* contido no *transponder* e a partir deste obter o código de identificação como resposta a essa ativação (ERADUS e JANSEN, 1999). O ideal é que estes (*transponders*) devam ter incorporados sensores integrados passíveis, de detectar variáveis fisiológicas e comportamentais (GEERS, 1994).

Porém, a implementação de diferentes sensores em um único encapsulamento, como é o caso do *transponder*, é uma tarefa árdua, além de exigir um elevado aparato tecnológico. Então, a incorporação de um único sensor para mensurar uma variável específica pode fornecer informações úteis. Contudo, em um contexto de tomada de decisão, o diagnóstico de um único sensor pode ser menos ambíguo quando combinados com informações de outros sensores. Por exemplo, a alteração da temperatura corporal pode estar relacionada a diversos fatores, então, combinar sensores de temperatura e frequência cardíaca fornece indícios dos possíveis problemas (GEERS, 1994).

As vantagens dos sistemas de identificação e monitoramento integrados incluem: operação contínua, grande capacidade de memória, capacidade de detectar pequenas, mas significativas mudanças e padrões complexos de dados, que poderiam passar despercebidos pelo pecuarista, avaliações objetivas, capacidade para integrar dados de várias fontes, de modo que é possível tirar conclusões que não seriam evidentes a partir dos dados de uma única fonte (FROST et al., 1997).

Este nível de ganho de informação é promissor e pode ser ainda maior quando o monitoramento fisiológico é adicionado. No entanto, a falta de informações sobre o retorno do investimento, a recuperação do dispositivo eletrônico após o abate, um possível efeito toxicológico no consumidor e falta de padronização nos

dispositivos tornam a incorporação da tecnologia inacessível à maioria dos produtores (GEERS, 1994; ERADUS e JANSEN, 1999).

2.2.3. Biosensores

A medição da resposta do animal aos estímulos do ambiente pode ser útil para a compreensão da fisiologia e do temperamento animal. Leituras contínuas fornecem respostas dinâmicas que definem as associações com as variáveis ambientais. Combinar os registros contínuos das medidas ambientais e das respostas do animal permite a construção de modelos para prever resultados futuros e melhorar a tomada de decisão (EIGENBERG, BROWN-BRANDL e NIENABER, 2008). Com isso, os sensores são cruciais para o desenvolvimento de sistemas de monitoramento para a produção pecuária (FROST et al., 1997).

Sensores estão continuamente sendo desenvolvidos, e estes podem reunir um volume cada vez maior de informações (peso e comportamento animal, variáveis fisiológicas e ambientais, ruído, gases e odores). No entanto, com o desenvolvimento destes sensores, torna-se mais importante a concepção de sistemas de aquisição de dados para utilizar essas informações (FROST et al., 1997).

O monitoramento da fisiologia do animal descreve, com maior aproximação, como o indivíduo está enfrentando as adversidades do ambiente térmico. Assim, Harris et al. (2001) descrevem o desenvolvimento de um sistema para monitoramento da atividade fisiológica em animais sem restrição. Este equipamento tem a capacidade de processar um grande volume de dados (eletrocardiograma, eletroencefalograma e eletromiograma) e transmitir um resumo dos resultados para o usuário, além de fazer o registro desses.

O entendimento da atividade comportamental dos animais é de fundamental importância, pois revela desafios causados por estímulos internos e externos, fornecendo subsídio para melhoria no manejo dos animais. Assim, Müller e Schrader (2003) avaliaram um dispositivo eletrônico, composto por um acelerômetro unidimensional, para a gravação dos níveis de atividade comportamental em vacas leiteiras. Os autores concluíram que tal dispositivo é uma ferramenta confiável para

a aquisição de dados dos níveis de atividade comportamental, sem restringir a liberdade de movimento do animal.

Os acelerômetros têm sido utilizados em diversas situações para monitoramento automático do comportamento animal, tais como: em vacas leiteiras sem restrição de movimentação em diferentes padrões de comportamento (em pé, deitadas, ruminando, alimentando, movimentado) (MARTISKAINEN et al., 2009); em porcas alojadas em grupo (CORNOU e LUNDBYE-CHRISTENSEN, 2010); em ovelhas criadas no sistema à pasto (UMSTATTER, WATERHOUSE e HOLLAND, 2008); no monitoramento automático do sono em bezerros deitados (HOKKANEN et al., 2011).

Além da possibilidade do monitoramento do comportamento animal, Cornou (2006) menciona a possibilidade da detecção automática do estro, utilizando acelerômetros, tendo em vista que a atividade física dos animais, três dias antes, tem um incremento de duas vezes a atividade diária normal.

Existem outras técnicas para o monitoramento das atividades comportamentais dos animais. Dentre estas, destaca-se a aquisição e processamento de imagens digitais. É uma técnica relativamente barata e não invasiva. Com isso, métodos de automação de análise estão sendo desenvolvidos. Kashiha et al. (2013) monitoraram o consumo de água de suínos utilizando modelagem automática de processamento de imagens. Também Aydin et al. (2010) utilizaram o sistema de monitoramento automático de imagens para mensurar a atividade de frangos de corte. Tais autores constataram que essa técnica ofereceu boa precisão, sendo uma ferramenta poderosa para o monitoramento em tempo real.

Outra técnica associada ao monitoramento do comportamento animal é a análise dos ruídos emitidos. Moura et al. (2008) desenvolveram um *software* de vigilância das emissões sonoras de leitões com base no padrão de estresse submetido, obtendo sucesso na identificação de situações estressantes e não estressantes, contribuindo para subsidiar as decisões de gestão e melhoria do bem-estar.

O monitoramento da ingestão de água e alimento em sistemas comerciais é uma realidade que otimiza os insumos no setor produtivo, pois quanto mais rápido os animais atingem o peso ideal para o abate, maior a lucratividade. Seguindo essa tendência, Tu et al. (2011) desenvolveram um sistema para monitoramento do

consumo de ração e peso corporal, visando o estudo da conversão alimentar em perus individuais, onde os autores foram bem sucedidos.

A sanidade dos animais interfere diretamente no desempenho produtivo dos animais, a exemplo da claudicação. A detecção, numa fase precoce, poderia mitigar os efeitos das perdas associados à doença. Assim, Pastell et al. (2008) desenvolveram um sistema especialista automático que detecta problemas de claudicação de acordo com o comportamento das patas traseira e dianteiras no momento da ordenha. Os autores constataram que tal sistema pode ser utilizado para alertar possíveis problemas de claudicação e monitoramento da atividade em vacas.

O uso de ferramentas de precisão para detecção precoce de doenças em animais de produção está se tornando uma realidade. Schaefer et al. (2012) investigaram o uso de imagens no espectro infravermelho termal para identificação não invasiva de doença respiratória numa população de gado. Também Stokes et al. (2012) implementaram um estudo similar, entretanto, para detecção de lesões nas patas. Ambos os autores constataram a eficácia desse procedimento.

Os exemplos mencionados não são exaustivos. Entretanto, demonstram o empenho nas pesquisas para o aprimoramento da produção sem desprezar o bem-estar animal.

2.2.4. Biotelemetria

As tecnologias sem fio têm estado sob um rápido desenvolvimento nos últimos anos. Existe uma demanda crescente pela tecnologia sem fio, principalmente para aplicações de monitoramento militar e ambiental. Assim, o desenvolvimento e uso de sensores sem fio e redes de sensores cumpre esse objetivo (WANG, ZHANG e WANG, 2006).

Uma rede de sensores sem fio pode ser definida como um sistema composto de um transmissor de rádio frequência (RF), sensores, microcontroladores e fontes de energia. Esta tecnologia possui muitas vantagens, destacando-se: redução, óbvia, da quantidade de cabos e eletrodutos, monitoramento em situações e locais outrora impossíveis, implementação rápida de vários sensores, portabilidade e

mobilidade, e transmissão do sinal na forma digital (WANG, ZHANG e WANG, 2006).

A tecnologia de sensores sem fio ainda está em seu estágio inicial de desenvolvimento. Aplicações de sensores sem fio na agricultura e na indústria de alimentos ainda são raras (WANG, ZHANG e WANG, 2006). Com isso, toda pesquisa nessa área consolida essa tecnologia e melhora a gestão e tomada de decisão no setor agropecuário.

Por exemplo, Brown-Brandl et al. (2003) avaliaram um sistema de telemetria de curto alcance para medição automática e contínua da temperatura corporal em aves, bovinos e suínos. Os transmissores de temperatura foram implantados no corpo dos animais. Um *data logger* ambulatorial miniaturizado recebeu os dados de temperatura sem fio. Os resultados das avaliações mostraram boa precisão, resolução e tempo de resposta adequado para medição de temperatura.

Silva et al. (2005) implementaram um protocolo e um sistema de comunicação sem fio para monitoramento das respostas fisiológicas dos animais. Para a avaliação, foi monitorado o eletroencefalograma (EEG) de bovinos leiteiros. O sistema consistiu de dois módulos, um montado no animal (módulo móvel), e o outro na estação de observação (módulo fixo). O primeiro mediu as respostas fisiológicas dos sensores digitais e transmitiu os dados para o módulo fixo. Este último, por sua vez, utilizando o protocolo FBSN (*Floating Base Sensor Network*), controla a aquisição de dados a partir de diferentes módulos móveis e posteriormente armazena os dados. Os autores concluíram que o novo protocolo é capaz de controlar as tarefas de aquisição de dados de EEG oriundos de bovinos.

Um trabalho similar foi implementado por Lowe et al. (2007) em que desenvolveram um sistema de registro e telemetria para monitoramento, gravação e transmissão de sinais fisiológicos (eletrocardiograma, eletroencefalograma e frequência respiratória) de animais sem restrições. Esse sistema consistiu de dois componentes: a unidade fixa, que recebe os dados, e a unidade móvel, montado no animal em estudo. Os autores observaram bom funcionamento do sistema. Entretanto, foi verificada uma limitação de memória, distância de transmissão e duração da fonte de energia.

O uso de sensores sem fio no setor pecuário é desejável, pois é ideal para inúmeras situações de identificação e monitoramento animal, principalmente no que diz respeito à aquisição de variáveis fisiológicas, pois elimina a influência do

estresse ocasionado pelo procedimento de medição e, conseqüentemente, melhora a qualidade dos dados, além de adquiri-los em tempo real (LOWE et al., 2007).

Como toda e qualquer nova tecnologia, possui obstáculos que advêm, principalmente, da falta de padronização técnica, complexidade e alto custo para cobertura em grandes instalações e escassez de pessoal qualificado para soluções de problemas técnicos (WANG, ZHANG e WANG, 2006).

2.3. Eletrônica embarcada

Sensores são dispositivos que variam suas propriedades sob a ação de uma grandeza física, podendo fornecer, direta ou indiretamente, um sinal que indica essa grandeza. Pode-se considerar também que um sensor é um tradutor de valor, geralmente não elétrico, para um valor elétrico, como diferença de potencial ou corrente elétrica, de maneira a viabilizar o registro de grandezas físicas que podem ser amplificadas e modificadas através de dispositivos eletrônicos (SUGAWARA, 2003).

Geralmente, os sensores analógicos não possuem características elétricas compatíveis com o sistema de aquisição de dados, sendo necessário condicionar o sinal do sensor antes de efetuar a leitura. O condicionamento dos sinais na eletrônica é feito com circuitos denominados condicionadores de sinais. Esse tipo de circuito ajusta o sinal recebido do sensor para a faixa de medição que o sistema de aquisição de dados está preparado para efetuar a mensuração (FINHOLDT, 2008).

Depois de passar pelo condicionador de sinais, o sinal do sensor analógico é enviado para um conversor A/D (analógico / digital). A conversão do sinal analógico é realizada por um dispositivo denominado conversor analógico-digital. Esse dispositivo produz um sinal digital que representa um sinal analógico (FINHOLDT, 2008). Conversores A/D são classificados pelo número de bits que interpretam e também pelo número de canais ou pinos para leitura de sinais provenientes de diferentes sensores ou dispositivos. O número de bits do conversor A/D refere-se à resolução ou exatidão no processo de conversão do sinal analógico em digital, de modo que, quanto mais bits possui o conversor A/D mais o sinal digital se ajusta ao sinal analógico, ou mais exato e preciso é o sinal convertido. A maioria dos

microcontroladores utilizados contam com um ou mais canais de conversão A/D de 8 ou 10 bits, podendo apresentar conversores A/D de até 32 bits (CAMARGO, 2009).

Os sensores apenas efetuam as leituras das variáveis físicas, disponibilizando-as para o sistema automático de aquisição de dados, que condiciona e converte os sinais analógicos em digitais, registrando em seguida os dados em memória, para disponibilizá-los futuramente. O automatismo no registro dos dados tende, cada vez mais, a ser realizado por equipamentos eletrônicos, sendo esses em sua grande maioria realizados por microcontroladores (FINHOLDT, 2008).

Microcontroladores são circuitos integrados de simples utilização, com vários tipos de encapsulamentos e destinados ao tratamento de sinais digitais (PEREIRA, 2002).

A importância dos microcontroladores do tipo PIC, além do tamanho reduzido, está no baixo custo e alto desempenho dos circuitos, aliado à confiabilidade e estabilidade de funcionamento. Uma vez que os componentes são encapsulados, a resistência mecânica destes permitem montagens cada vez mais robustas a choques e impactos mecânicos, permitindo a concepção de portabilidade dos dispositivos eletrônicos (CAMARGO, 2009).

Internamente, são compostos por memória RAM (memória de acesso aleatório) e ROM (memória somente de leitura), oscilador de *clock*, portas I/O (*input / output*), portas de comunicação, barramentos, temporizadores, conversores de sinais, unidade lógica Aritmética (ULA), dentre outros (FINHOLDT, 2008). A ULA pode ser compreendida como “cérebro” do microcontrolador, no qual todas as operações lógicas e matemáticas são executadas, bem como sinais de periféricos são enviados ou recebidos e interpretados (FIGURA 2). A memória também é uma parte fundamental do microcontrolador, pois é nela que são armazenadas as instruções ou rotinas a serem executadas e também são gravados dados de interesse provenientes, por exemplo, de um sensor (CAMARGO, 2009).

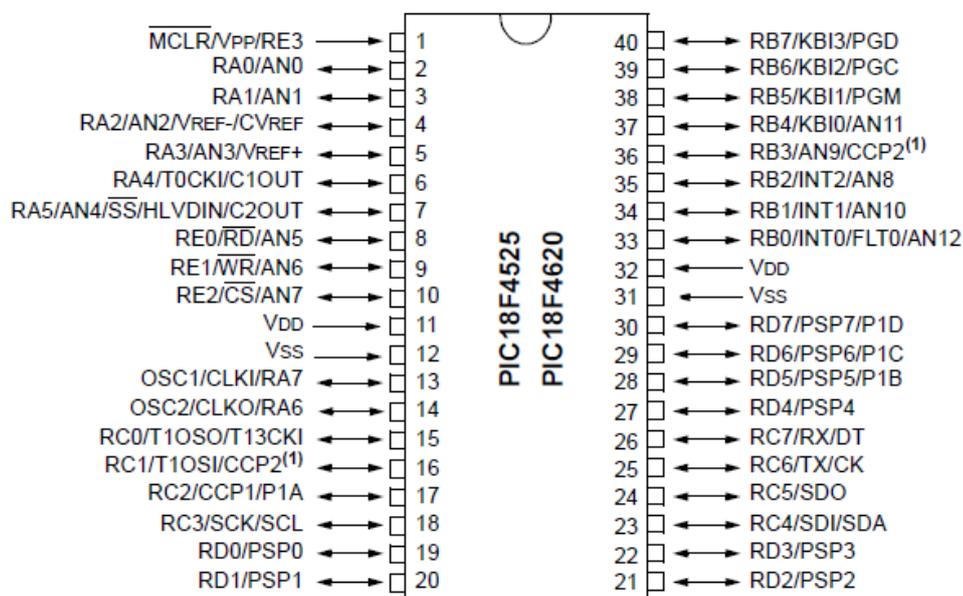


Figura 2 - Diagrama de pinos do microcontrolador PIC 18F4620.

Em geral, microcontroladores são programados em linguagens de alto nível como “PASCAL”, “BASIC” e “C”, as quais facilitam bastante o aprendizado e o desenvolvimento de projetos mais complexos (CAMARGO, 2009).

A aquisição de dados é realizada ao descarregar os dados de um equipamento em um microcomputador. Tal procedimento ocorre por meio de cabos com auxílio de protocolos específicos, sendo geralmente utilizado o protocolo paralelo (LPT) ou serial (RS-232) (FINHOLDT, 2008). Entretanto, o uso de dispositivos de memória de massa, como o *pen-drive* e cartão de memória, está se tornando rotineiro, em virtude da portabilidade.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O sistema de monitoramento fisiológico animal foi desenvolvido nas dependências do Programa de Pós-Graduação da Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), localizado no Campus Juazeiro-BA, Brasil.

A validação do sistema foi realizada no Setor de Produção Animal da UNIVASF, localizado no Campus Ciências Agrárias, Petrolina-PE, Brasil.

Por fim, a análise de desempenho foi realizada no Rancho Rio Largo, localizada no município de Petrolina-PE, Brasil.

3.1. Visão geral do sistema

O sistema de monitoramento de sinais fisiológicos consistiu de dois componentes principais: a própria unidade de registro e transmissão móvel, montada no animal em estudo, e uma unidade de base fixa, que foi conectada a um computador pessoal por meio de um protocolo de comunicação (FIGURA 3).

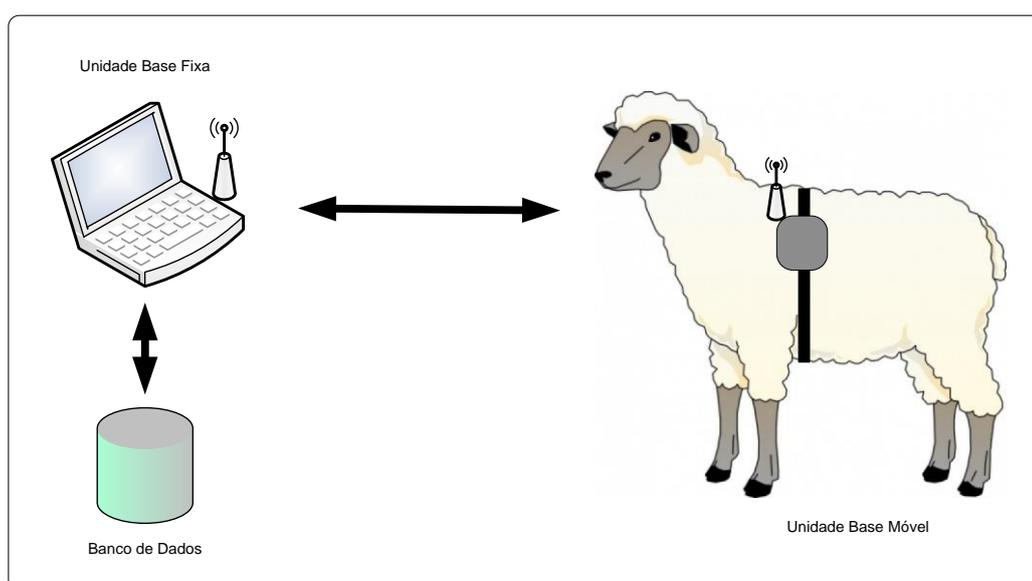


Figura 3 – Diagrama do sistema de monitoramento fisiológico.

A comunicação entre a unidade móvel e a unidade de base fixa foi realizada por um dispositivo eletrônico que proporcionou um enlace de rádio digital bidirecional. A natureza bidirecional do enlace de rádio permitiu comandar remotamente o aparelho, alternando o modo de funcionamento (registro e registro/telemetria), a depender dos requisitos do observador ou local em que estava o animal.

O sistema operou no modo de comando e resposta, em que o *software* no computador pessoal enviou um comando para a estação de base fixa para posterior transmissão à unidade móvel. A unidade receptora processou o comando, atuou sobre ele, e em seguida, transmitiu uma resposta de volta para a estação de base fixa e, conseqüentemente, para o computador pessoal. Esta resposta foi o fluxo de dados que correspondeu aos sinais fisiológicos.

O registro dos dados ocorreu independente do modo telemétrico, visto que o armazenamento foi essencial para o posterior processamento dos dados. O armazenamento ocorreu em cartão de memória SD (*Secury Disk*), com até 2 GB, em que os dados foram prontamente disponíveis em arquivos de texto, podendo ser manipulados em planilhas eletrônicas.

3.2. Unidade base fixa

A unidade de base fixa foi responsável por receber os dados transmitidos pela unidade móvel, que estava embarcada no animal. Aquela foi constituída por um transceptor conectado ao computador pessoal, via USB, por um adaptador. Esse transceptor foi constituído por: chip conversor USB/Serial; regulador de tensão de 3,3 V; comparador de tensão conectado aos LEDs que indicaram a intensidade do sinal de RF; LEDs indicadores de transmissão e recepção e um botão para *reset* do módulo de comunicação sem fio.

A comunicação entre a unidade de base e o computador pessoal se deu por meio da porta USB, em que foi criada uma porta 'COM' virtual quando o adaptador foi conectado. Isso permitiu, pelo *software* Hyper Terminal[®] que o computador se comunique com a unidade de base como se fosse uma comunicação serial padrão

RS232. Esse *software* permitiu a visualização, em tempo real, dos sinais fisiológicos no monitor do computador.

3.3. Unidade embarcada móvel

Um diagrama em blocos da unidade embarcada móvel é mostrado na Figura 4. A unidade foi constituída por um microcontrolador que possui as características fundamentais para a concepção do projeto, como memória de programa e dados, conversores analógico/digital (A/D) de 10 bits, temporizadores, e várias linhas de entrada e saída digitais num único chip. O microcontrolador foi ligado a um transceptor de rádio, que proporcionou a comunicação bidirecional que será detalhada adiante. Além disso, o microcontrolador foi conectado a um dispositivo de memória não-volátil, sendo este o cartão de memória SD, fornecendo a capacidade para armazenamento de amostras dos sinais fisiológicos, enquanto a unidade funcionou como um registrador.

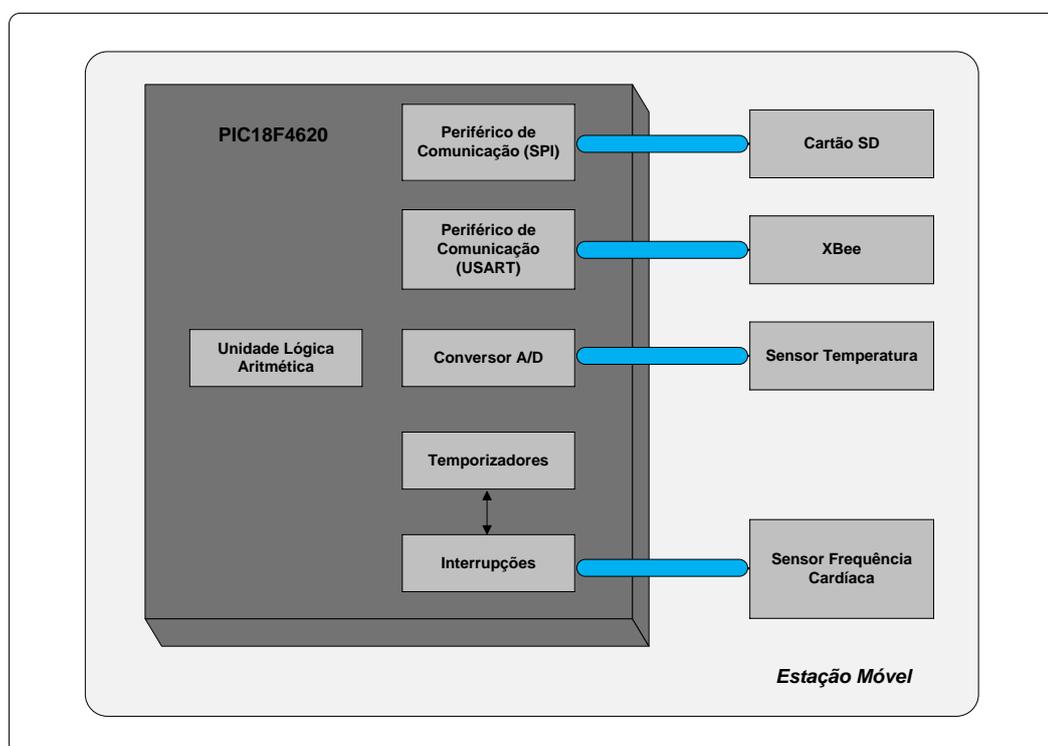


Figura 4 - Diagrama em bloco da unidade embarcada móvel.

O circuito que constituiu a unidade embarcada móvel foi alimentado com uma bateria de 9,0 V de 250 mAh. A capacidade de armazenamento dessa unidade é dependente do cartão de memória a ser utilizado, podendo utilizar, no máximo, cartões de 2,0 GB de memória. A transmissão de dados pode ocorrer a distâncias até 120 m.

A concepção de *hardware* baseou-se em vários dispositivos eletrônicos, cada qual com suas características e funcionalidades. Portanto, para melhor entendimento do funcionamento da unidade móvel, optou-se por dividir esta em módulos. Essa modularização implicou dividir a unidade em blocos, em que estes apresentam características físicas e conceituais distintas. A seguir, serão detalhados os blocos.

3.3.1. Microcontrolador PIC18F4620

Esse é o principal módulo, onde são controladas todas as funcionalidades da unidade embarcada móvel, desde a aquisição, manipulação, armazenamento e transmissão dos dados, além de instruções aos outros módulos.

O principal dispositivo eletrônico que compõe esse módulo é um microcontrolador, sendo o modelo utilizado o PIC18F4620 da Microchip®. Este foi responsável por gerenciar todas as instruções, com características essenciais ao desenvolvimento do projeto, mostradas na Tabela 1.

Tabela 1 - Características do microcontrolador PIC18F4620

Tensão de Alimentação	2,0 V a 5,5 V
Memória de programa	64 kbyte
Memória de dados SRAM	3.986 byte
Input/Output	36
Conversores A/D	13
ECCP e CCP	2
EUSART	1
MSSP	SPI e I2C

Timers 8 bit	1
Timers 16 bit	3

Fonte: MICROCHIP, 2004

Além das características supracitadas, optou-se por utilizar este microcontrolador por apresentar outras características desejáveis, como baixo custo e disponibilidade de ferramentas gratuitas (plataforma de desenvolvimento, compiladores e simuladores).

3.3.2. Sensoriamento da temperatura cutânea

A medição da temperatura cutânea foi obtida utilizando-se um sensor de junção PN, o LM35DZ. Trata-se de um componente eletrônico comercial da National Semiconductor®, sendo um circuito integrado com encapsulamento plástico TO-92.

O sinal de saída do LM35DZ apresenta tensão proporcionalmente linear à temperatura em graus Celsius.

O LM35DZ não necessita de qualquer calibração externa para fornecer com exatidão valores de temperatura com variações de $\frac{3}{4}$ °C ou até mesmo $\frac{1}{4}$ °C dentro da faixa de temperatura de -55 a 150 °C. Este ainda apresenta baixa impedância de saída e boa linearidade de resposta.

Este sensor foi conectado a um dos conversores analógico/digital (A/D) do microcontrolador, que converte a grandeza analógica, que por sua vez possui uma equivalência com a grandeza física, em valor digital proporcional à primeira. Esse valor depende diretamente da resolução e da tensão de referência utilizada na conversão. Como a tensão de referência no projeto é de 5,0 V com resolução de 10 bits, o valor correspondente à variação de cada unidade é obtido pela equação 1:

$$V_{\text{unidade}} = \frac{V_{\text{ref}}}{(2^n - 1)} \quad (1)$$

Em que,

$V_{unidade}$: Valor de tensão correspondente ao valor de cada unidade (mV),

V_{ref} : Tensão de alimentação, no caso 5,0 V e

n : resolução do conversor A/D.

$$V_{unidade} = \frac{5000 \text{ mV}}{(2^{10} - 1)} = 4,89 \text{ mV}$$

A tensão de saída do sensor LM35DZ é de 10 mV/°C. Nesse sentido, o módulo de temperatura cutânea possui um circuito amplificador para dar um ganho no sinal transmitido pelo sensor. O componente principal desse circuito é um amplificador operacional modelo MCP602, fabricado pela Microchip®. Tal componente tem como característica gerar um nível de tensão de acordo com o ganho desejado.

O circuito amplificador utilizado foi o não inversor, com a adição de resistores na entrada inversora e saída do MCP602. O ganho de tensão produzido foi calculado pela equação 2:

$$Ganho = 1 + \frac{5,6 \text{ K}\Omega}{1 \text{ K}\Omega} = 6,6 \quad (2)$$

Finalmente, o sinal analógico amplificado com ganho de 6,6 vezes a tensão de saída do LM35DZ é enviado para um dos canais do conversor A/D do microcontrolador.

3.3.3. Sensoriamento da frequência cardíaca

A medição da frequência cardíaca foi obtida utilizando-se um receptor e transmissor da empresa Polar®, sendo composto pela placa receptora RE07S e a cinta transmissora T31 codificada, respectivamente.

O transmissor Polar detecta cada batimento cardíaco através de dois eletrodos e transmite as informações, sem fio, para o receptor com a ajuda de um

campo eletromagnético de baixa frequência. O receptor RE07S recebe esta transmissão e retransmite um pulso digital, correspondente a cada batimento cardíaco, para o microcontrolador. O microcontrolador calcula o valor da frequência cardíaca com base no intervalo de tempo entre os pulsos enviados pelo RE07S.

3.3.4. Armazenamento de dados

Uma das principais características que diferencia o sistema proposto é a capacidade de armazenamento através de uma memória permanente de dados. Nesse sentido, o sistema de aquisição dos sinais fisiológicos fez uso de cartão de memória SD/MMC, como tipo de memória não-volátil.

O cartão de memória foi implementado para ser operado no modo SPI (*Serial Peripheral Interface*), sendo este o mais comum, pois permite que os dados sejam transferidos em duas linhas de comunicação, utilizando uma linha de controle e uma linha de relógio.

A tensão nos pinos do microcontrolador varia de 0,0 a 5,0 V e esta é demasiada para a comunicação com o cartão, que não pode exceder 3,6 V. Como resultado, foi necessário usar resistências nas entradas do cartão (divisor de tensão) para baixar a tensão de entrada. Utilizando resistências de 2,2 K Ω (1/4 W) e 3,3 K Ω (1/4 W), diminuiu-se a tensão de entrada no dispositivo SD para cerca de 3,0 V.

$$V_{\text{entrada}} = \frac{(5,0 \text{ V} \times 3,3 \text{ K}\Omega)}{(2,2 \text{ K}\Omega + 3,3 \text{ K}\Omega)} = 3,0 \text{ V} \quad (3)$$

Os cartões de memória podem consumir de 100 a 200 mA durante a leitura ou escrita nestes. Esta é geralmente uma corrente elevada, e nesse sentido, um regulador de tensão apropriado deve ser instalado. O componente eletrônico responsável por gerar a queda de tensão foi o regulador LM1117, que fornece a tensão de 3,3 V na alimentação do dispositivo de memória.

3.3.5. Transmissão de dados

A característica peculiar desse projeto foi conciliar tanto o armazenamento de dados em memória não-volátil como a transmissão desses sem fio.

O transceptor XBee Series 2 da Digi[®] foi escolhido para estabelecer o enlace sem fio, por apresentar baixo consumo e tamanho reduzido. O módulo XBee implementa o protocolo ZigBee IEEE 802.15.4. Este foi ligado aos pinos da USART do microcontrolador, com quem se comunica utilizando o protocolo USART. O XBee opera à frequência de 2,4 GHz.

Basicamente, para o funcionamento deste transceptor, foi necessária a conexão de quatro pinos: VCC, GND, DOUT e DIN. Os dois últimos são responsáveis pela saída e entrada de dados através da USART, respectivamente. A velocidade de comunicação foi de 9600 bps, em que os dados são transmitidos em nível de sinal TTL (*Transistor-Transistor Logic*) usando 8 bits de dados, 1 bit de parada e sem paridade.

3.3.6. Alimentação

Esse módulo foi responsável por ajustar a tensão proveniente da bateria que alimenta o sistema e distribuí-la para todo o circuito da unidade móvel. A bateria empregada na alimentação elétrica da unidade foi alcalina com 9,0 V de tensão e capacidade nominal de 250 mAh. Porém, o equipamento desenvolvido pode fazer uso de outras baterias, desde que não ultrapasse a tensão nominal de 12 V, por questões de critério de projeto, mesmo o regulador de tensão podendo trabalhar com tensões superiores.

O circuito de alimentação tem como finalidade converter a tensão da bateria de 9,0 V para 5,0 V, pois esta é a tensão nominal do principal circuito integrado da unidade, o microcontrolador PIC18F4620, que foi alimentado com a referida tensão, visto que o último possui uma arquitetura TTL (*Transistor-Transistor Logic*). Esta arquitetura determina um nível de tensão de 0,0 V para nível lógico baixo (bit da porta I/O igual a 0) e 5,0 V para nível lógico alto (bit da porta I/O igual a 1).

O componente eletrônico responsável por gerar a queda de tensão foi o regulador de tensão LM7805. A fim de diminuir os possíveis ruídos que porventura possam existir no circuito em virtude de pequenas oscilações provenientes da fonte de alimentação, foram adicionados capacitores em paralelo com o regulador de tensão. Além disso, foi adicionado um diodo da família 1N4XXX, que tem a finalidade de permitir o fluxo da corrente em uma única e correta direção, evitando danificar todo circuito eletrônico proposto.

3.4. *Firmware* da unidade móvel

O microcontrolador gerencia todas as operações da unidade embarcada móvel, desde a aquisição e armazenamento até a transmissão de sinais fisiológicos, para determinação do bem-estar animal. Isso é possível por esse componente possuir uma característica peculiar na elaboração de projetos embarcados: serem programáveis. Toda a lógica de operação é estruturada na forma de um programa e, posteriormente, gravada nesse componente. Depois disso, toda vez que o microcontrolador for alimentado, o programa interno será executado. Este programa é chamado de *firmware*.

O *firmware* da unidade móvel constitui o segundo componente principal, depois do próprio *hardware*. A implementação do primeiro foi concebida tendo em mente o *hardware* da unidade e as funcionalidades desejáveis do sistema. Portanto, o pleno funcionamento e gerenciamento das tarefas executadas pela unidade móvel dependem da integração entre ambos.

O *firmware*, inicialmente, contém todas as diretrizes que configuram o *hardware*, habilitando os periféricos que serão utilizados, ou seja, definindo quais são os pinos de entrada e saída do microcontrolador, configurando os temporizadores, interrupções, periféricos de comunicação e conversores A/D.

A aquisição da frequência cardíaca é realizada utilizando a interrupção externa, no pino RB0, do microcontrolador. A cada batimento cardíaco transmitido pela cinta da Polar[®] e recebido pelo receptor RE07S, este transmite um pulso digital direcionado ao pino RB0. O temporizador contabiliza o tempo entre esses pulsos

digitais transmitidos pelo RE07S, que fornece a base de tempo para o cálculo da frequência cardíaca.

A aquisição dos dados de temperatura cutânea é obtida em um dos canais do conversor A/D do microcontrolador. Nesse sentido, há necessidade de habilitar e configurar esse módulo. O tempo de aquisição, que consiste no tempo necessário para carregar o canal, foi configurado como manual, pois o tempo de aquisição requerido entre a seleção da entrada e o comando de conversão foi assegurado em *firmware*. O tempo de conversão de cada bit também foi configurado. Com a frequência de trabalho do oscilador em 32 MHz, o tempo de conversão foi de 1,6 μ s. Além disso, o canal selecionado foi o AN1, tendo como tensões de referência a alimentação (5,0 V) e o GND (0,0 V) do microcontrolador.

A transmissão dos dados sem fio é obtida via comunicação serial pela USART do microcontrolador. O modo de comunicação da USART foi configurado como assíncrono (*full duplex*). As interrupções da transmissão e recepção dos dados não foram habilitadas, além de não existir necessidade de usar comunicação com 9 bits, configurando-se a comunicação com 8 bits. O *baud rate* foi configurado para 9600 bps, visto que o módulo de transmissão possui essa configuração como padrão.

O armazenamento dos dados contém instruções que faz em uso da biblioteca da Microchip[®] para implementação do cartão de memória SD/MMC. Inicialmente, tal rotina inicializa o *hardware* do cartão de memória, onde se verifica a existência do dispositivo na unidade. Contudo, em caso de não existência do cartão de memória é emitida a mensagem de erro ao usuário final, indicado pelo acionamento de um LED. Após o processo de reconhecimento do cartão de memória, cria-se um arquivo texto, em que o nome do mesmo é definido em *firmware*. Quando o arquivo é finalmente criado, abre-se o mesmo para escrita dos dados provenientes dos sensores.

Uma vez gerado o arquivo de texto, pode-se iniciar a coleta e armazenamento dos dados e entrar em modo de aquisição e registro. Os dados de cada variável fisiológica são gravados em arquivos diferentes, por isso, são criados dois arquivos de texto.

Durante a aquisição e registro dos sinais fisiológicos, é possível acompanhar, em tempo real, os sinais fisiológicos, bastando o usuário ativar o modo de transmissão. Neste modo, os dados são transmitidos, a partir do transceptor da unidade móvel, para um computador pessoal usando a interface Hyper Terminal[®].

O armazenamento é finalizado quando o botão *Start/Stop* é pressionado. Nesse bloco de comando, os arquivos de texto que estavam abertos para escrita são fechados e salvos, além da transmissão sem fio ser encerrada. Caso o arquivo de texto não seja salvo corretamente, o mesmo será corrompido e os dados armazenados serão perdidos. O status do processo de gravação é visualizado nos LEDs indicadores, informando o sucesso ou falha no procedimento (FIGURA 5).

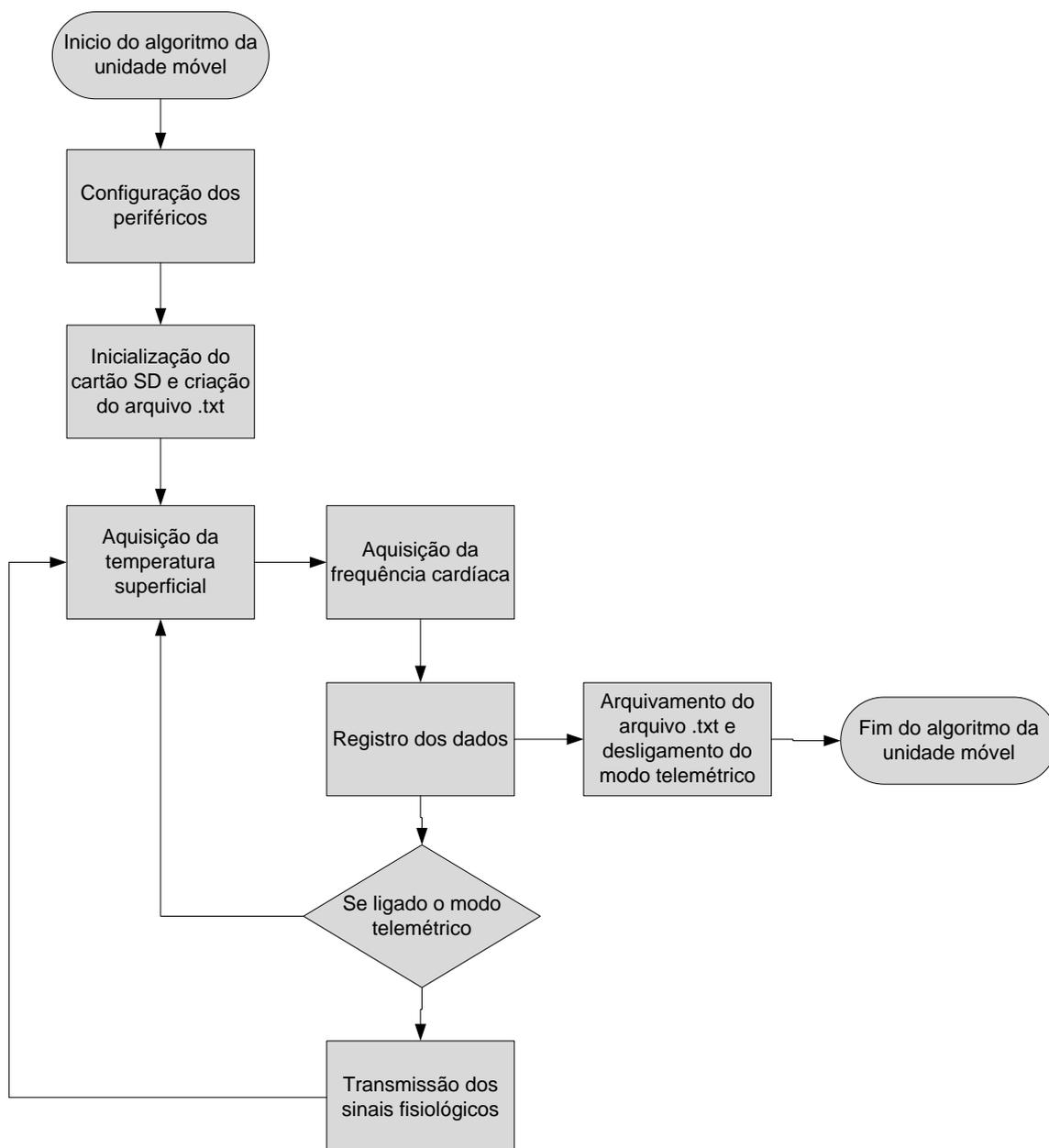


Figura 5 - Fluxograma do *firmware* da unidade embarcada móvel

Após a finalização do *firmware*, o mesmo foi compilado e gravado no microcontrolador com a ferramenta Pickit 2[®].

3.5. Avaliação de validação e desempenho

Foram realizados dois ensaios, sendo o primeiro no Campus de Ciências Agrárias da UNIVASF, localizado no município de Petrolina-PE no dia 05/09/2013, e o segundo na Fazenda Rio Largo, localizada no distrito de Tapera no município de Petrolina-PE no dia 13/10/2013.

No primeiro ensaio, teve-se como intuito aferir o sistema de monitoramento. O local do estudo foi em aprisco elevado com cobertura de telha de barro, utilizando um ovino SRD (sem raça definida), em condições normais de sanidade.

O animal foi contido numa gaiola e, posteriormente, foi instalado o equipamento controle para exame de eletrocardiograma (Eletrocardiógrafo Smart ECG, modelo SE-1), sendo este, para fins de aferição, considerado padrão. A Figura 6 mostra o procedimento.



Figura 6 - Animal contido em gaiola para aferição de batimentos cardíacos e temperatura cutânea.

A unidade móvel foi embarcada no animal para o registro dos batimentos cardíaco e temperatura cutânea. Inicialmente, a mesma foi acondicionada dentro de uma bolsa e fixada no dorso do animal. Para a aquisição dos batimentos cardíacos,

a cinta transmissora foi colocada na região torácica, sendo os eletrodos fixados e previamente umedecidos com gel.

A taxa de aquisição e registro dos dados foi definida para duas amostras/s, tanto para o registro de batimento cardíaco, como para temperatura cutânea, sendo a duração do monitoramento de dados de dez minutos.

A temperatura cutânea foi aferida utilizando um termômetro infravermelho e uma câmera térmica FLIR® modelo T420, para obtenção da imagem térmica do corpo do animal, nos diferentes minutos (dez minutos). Foi utilizada a configuração padrão da câmera térmica tendo como parâmetros os da Tabela 2.

Tabela 2 - Parâmetros da câmera térmica.

Parâmetros	Valores
Emissividade	0,95
Distância	1 m
Temperatura atmosférica	20 °C
Umidade atmosférica	50 %

O segundo ensaio teve como finalidade verificar o desempenho do sistema de monitoramento. O local da avaliação foi em aprisco com cobertura de telha de cimento amianto, utilizando quatro ovinos da raça Dorper em condições normais de sanidade, em dois turnos diferentes (manhã e tarde).

O procedimento de instalação e acondicionamento do equipamento no corpo dos animais seguiu os procedimentos mencionados anteriormente. Além disso, o tempo de amostragem seguiu os moldes anteriormente citado.

Imediatamente após a implantação do equipamento, os animais foram contidos e o ensaio foi feito em cada animal em intervalos de quatro minutos cada.

Simultaneamente, valores de batimento cardíaco e temperatura cutânea foram obtidos com outros equipamentos, com a finalidade de aferir o dispositivo desenvolvido. No que diz respeito ao batimento cardíaco, os dados eram adquiridos utilizando o monitor padrão da empresa Polar®, e no que se refere à temperatura cutânea, foi obtida utilizando a câmera térmica FLIR® modelo T420.

3.6. Análise dos dados

Os sinais fisiológicos adquiridos com a unidade móvel foram armazenados em cartão de memória no formato de arquivo de texto ASCII para serem manipulados em qualquer planilha eletrônica ou outro *software* de análise. Além disso, no primeiro ensaio, os dados foram transmitidos a partir do transceptor móvel para o computador e visualizados no Hyper Terminal.

Os dados obtidos foram avaliados quanto à necessidade de processamento, pois o volume de dados era excessivamente grande, decorrente da alta taxa de amostragem.

Tendo adquirido todos os dados, tanto do equipamento teste (unidade móvel) como dos equipamentos controle (equipamento de ECG, monitor de ECG Polar[®], termômetro infravermelho e câmera térmica FLIR[®] T420), foram realizados os cálculos da medida de tendência central (médias) e medidas de dispersão de dados (erro padrão da média e coeficiente de variação) das amostras para fins de comparação entre os tratamentos acima relacionados (FERREIRA, 2000).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Resultados

4.1.1. Sistema de monitoramento dos sinais fisiológicos

O desenvolvimento, construção e avaliação do sistema levaram em consideração o *hardware* e o *firmware* que seriam implementados, de modo a obter um sistema de monitoramento dos sinais fisiológicos que fornecesse subsídio para determinação do estado do bem-estar animal. Nesse sentido, foi implementado tal dispositivo e realizados ensaios com a finalidade de verificar sua eficácia. Com exceção do módulo de comunicação sem fio, todos os componentes do sistema, incluindo *hardware* e *firmware*, foram desenvolvidos nesse projeto.

Na Figura 7, apresenta-se a unidade embarcada móvel desenvolvida. Essa unidade apresenta as dimensões de 10,0 cm de comprimento, 8,5 cm de largura e 2,5 cm de espessura e possui uma massa de 186 g. Uma grande parte dessa massa, cerca de 121 g, é contribuição do invólucro.

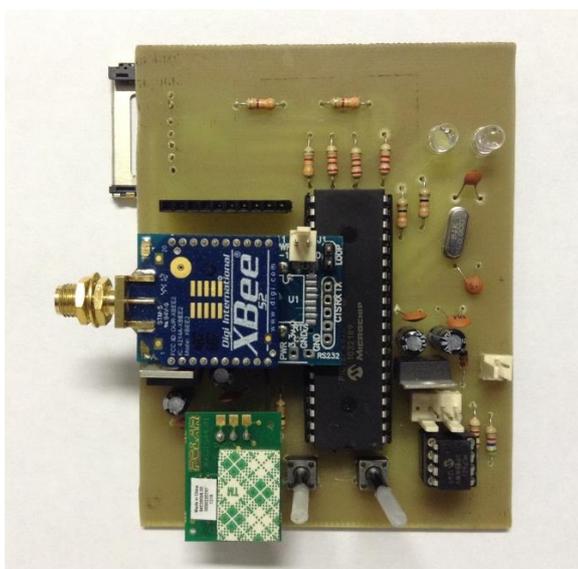


Figura 7 - Unidade embarcada móvel desenvolvida.

A taxa de aquisição e registro dos dados foi configurada para duas amostras por segundo em ambos os sinais fisiológicos (batimento cardíaco e temperatura cutânea), garantindo um grande volume de dados para posterior processamento, portanto, resolvendo quaisquer problemas nos sinais de interesse.

O período de tempo para o qual os dados podem ser registrados é limitado pela capacidade de memória do cartão SD, sendo que esta não pode ultrapassar 2,0 GB, pois o sistema de arquivos é o FAT. Utilizando o cartão com a maior capacidade possível (2,0 GB), com taxa de aquisição de duas amostras/s, em ambos os sinais fisiológicos estudados, a unidade embarcada móvel possui capacidade de armazenamento de 1446 dias para gravação de dois tipos de sinais fisiológicos (temperatura cutânea e batimento cardíaco).

A distância máxima para transmissão dos dados pela unidade de registro e telemetria pode chegar a 120 m, sendo a taxa de transmissão do rádio de 250 kbps. O consumo desse módulo é da ordem de 38 mA. Ficou evidente a funcionalidade do modo telemétrico, não sendo constatado nenhum problema.

O sistema implementado é alimentado com uma bateria de 9,0 V de capacidade nominal de 250 mAh, sendo a corrente de pico drenada de 115 mA. Com essa corrente, pode-se estimar que o tempo de uso, em funcionamento contínuo, da bateria será de aproximadamente duas horas, conforme relação abaixo.

$$\textit{Autonomia} = \frac{\textit{Capacidade nominal}}{\textit{Corrente drenada}} = \frac{250 \textit{ mAh}}{115 \textit{ mA}} = 2,17 \textit{ horas}$$

Dos 36 pinos de entrada e saída de uso geral disponíveis, 22 estão disponíveis para fins de expansão, enquanto que o restante é ocupado pela unidade embarcada móvel.

O *firmware* do microcontrolador foi escrito em linguagem de programação "C", sendo que este ocupa cerca de 87,4 % (57,2 kbytes) da memória de programa e 58,9 % (2336 bytes) da memória de dados.

O custo total do sistema de aquisição dos sinais fisiológicos foi de R\$ 463,27.

4.1.2. Validação e desempenho do sistema de monitoramento

O sistema de monitoramento proposto foi comparado com outros equipamentos (equipamento de ECG, termômetro infravermelho e câmera térmica) consagrados no mercado para fins de validação. Os sinais fisiológicos analisados foram a frequência cardíaca e a temperatura cutânea de ovinos, em aprisco elevado com cobertura de telhado.

A Figura 8 mostra as médias da frequência cardíaca adquirida no equipamento teste (unidade móvel) e no equipamento controle (equipamento ECG). Na Tabela 3, estão apresentadas as médias, o erro padrão da média, o desvio padrão e o coeficiente de variação dos dados de frequência cardíaca.

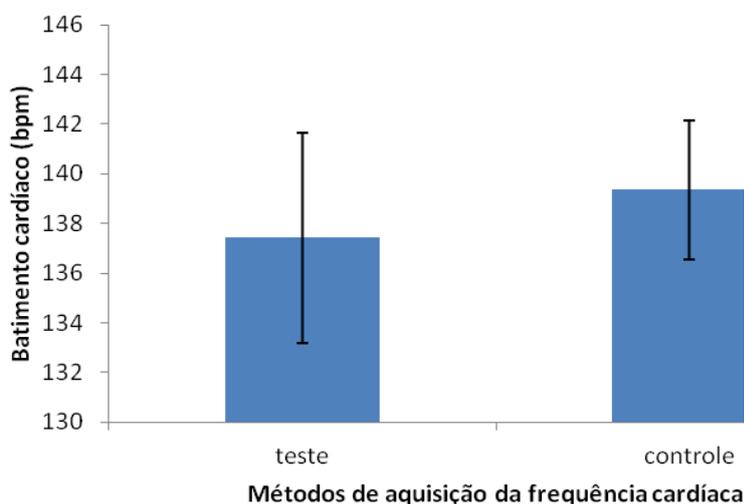


Figura 8 - Médias e erro padrão da média da frequência cardíaca adquiridas com o equipamento teste e o equipamento controle.

Tabela 3 - Resultado dos cálculos da medida de tendência central e variabilidade dos dados de frequência cardíaca

Equipamento	$m \pm s$ (m)	s	C.V. (%)
Teste	137 ± 4 bpm	23 bpm	17
Controle	139 ± 3 bpm	25 bpm	18

m (média); s (m) (erro padrão da média); s (desvio padrão); C.V. (%) (coeficiente de variação).

De acordo com os resultados da Figura 8 e da Tabela 3, não houve diferença entre as médias, segundo o erro padrão da média, entre os métodos de aquisição da frequência cardíaca.

A Figura 9 mostra as médias da temperatura cutânea adquiridas no equipamento teste (unidade móvel) e nos equipamentos controle (termômetro infravermelho e câmera térmica). Na Tabela 4, estão apresentadas as médias, o erro padrão da média, o desvio padrão e o coeficiente de variação dos dados de temperatura cutânea.

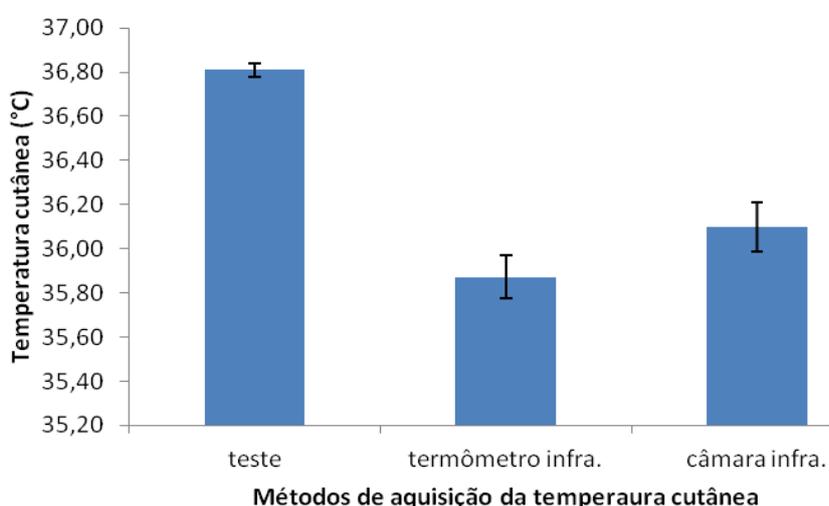


Figura 9 - Médias e erro padrão da média da temperatura cutânea adquiridas com o equipamento teste e os equipamentos controle.

Tabela 4 - Resultados dos cálculos da medida de tendência central e variabilidade dos dados de temperatura cutânea

Equipamento	$m \pm s$ (m)	s	C.V. (%)
Teste	$36,81 \pm 0,03$ °C	0,09 °C	0,26
Termômetro Infra.	$35,87 \pm 0,10$ °C	0,33 °C	0,91
Câmera Infra.	$36,10 \pm 0,11$ °C	0,37 °C	1,03

m (média); s (m) (erro padrão da média); s (desvio padrão); C.V. (%) (coeficiente de variação).

De acordo com os resultados da Figura 9 e da Tabela 4, houve diferença entre as médias, segundo o erro padrão da média, dos métodos de aquisição da temperatura cutânea. O método de aquisição da temperatura cutânea com o equipamento teste diferiu do termômetro infravermelho e da câmera térmica. Estes dois últimos equipamentos não apresentaram diferença entre as médias na aquisição de temperatura cutânea do animal.

A Figura 10 mostra a dispersão dos dados de temperatura cutânea adquiridas no equipamento teste e nos equipamentos controle, ao longo do tempo.

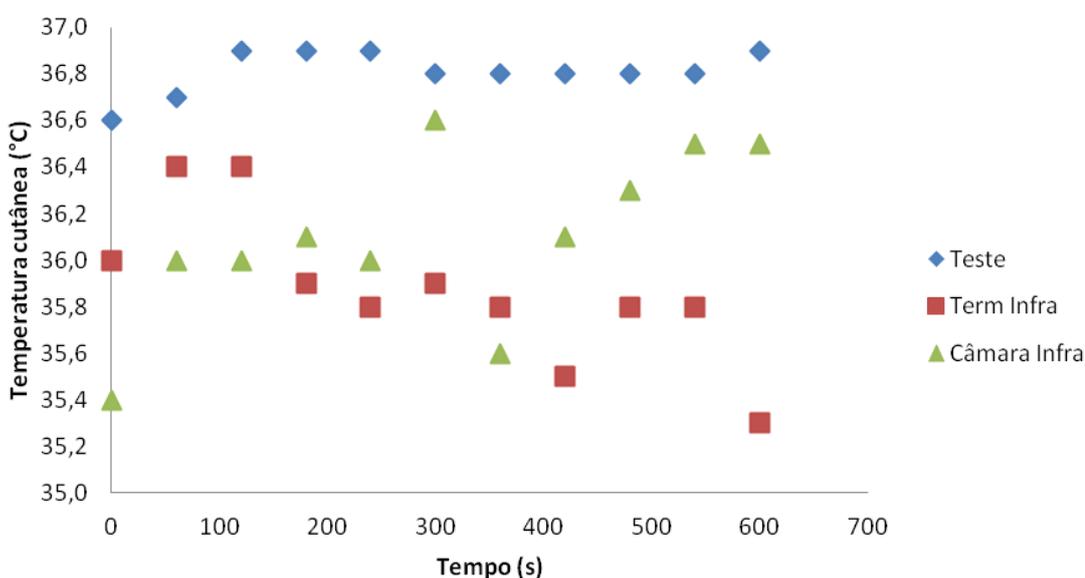


Figura 10 - Dispersão dos dados de temperatura cutânea adquiridas pelo equipamento teste, termômetro infravermelho e a câmera térmica.

Observando a Figura 10 e a Tabela 4, nota-se uma menor homogeneidade dos dados adquiridos pelos métodos do termômetro infravermelho e da câmera térmica. Contudo, o equipamento teste apresentou dados menos dispersos, assim uma maior homogeneidade (CV = 0,26 %).

As condições locais de temperatura e umidade no momento da aquisição da temperatura cutânea foram de 32,5 °C e 36,4 %, respectivamente.

Após a validação do sistema de monitoramento proposto, foi verificado o desempenho do equipamento teste em quatro ovinos da raça Dorper, em dois turnos diferentes (manhã e tarde), em aprisco com cobertura de telha de cimento amianto.

A Figura 11 mostra as médias da frequência cardíaca adquiridas no equipamento teste (unidade móvel) e no equipamento controle (monitor Polar[®]), em dois turnos diferentes. Na Tabela 5 estão apresentadas as médias, o erro padrão da média, o desvio padrão e o coeficiente de variação dos dados de frequência cardíaca em diferentes turnos.

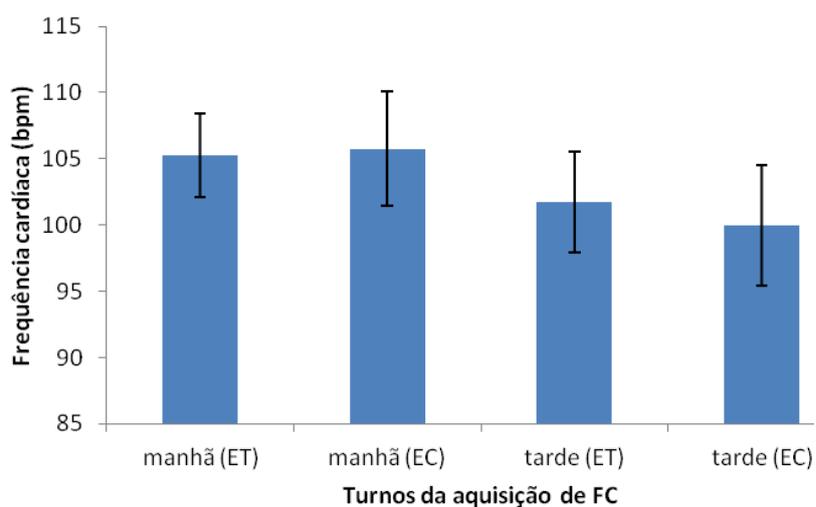


Figura 11 - Médias e erro padrão da média da frequência cardíaca adquiridas com o equipamento teste (ET) e o equipamento controle (EC), em dois turnos diferentes (manhã e tarde).

Tabela 5 - Resultado dos cálculos da medida de tendência central e variabilidade dos dados da frequência cardíaca em dois turnos

Turno (Equipamento)	$m \pm s$ (m)	s	C.V. (%)
Manhã (ET)	105 ± 3 bpm	6 bpm	6,03
Manhã (EC)	106 ± 4 bpm	9 bpm	8,15
Tarde (ET)	102 ± 4 bpm	8 bpm	7,46
Tarde (EC)	100 ± 5 bpm	9 bpm	9,13

m (média); s (m) (erro padrão da média); s (desvio padrão); C.V. (%) (coeficiente de variação).

De acordo com os resultados da Figura 11 e da Tabela 5, não houve diferença de médias, segundo o erro padrão da média, entre os métodos de aquisição da frequência cardíaca e os turnos.

A Figura 12 mostra as médias da temperatura cutânea adquiridas no equipamento teste (unidade móvel) e no equipamento controle (câmara térmica). Na Tabela 6, estão apresentadas a média, o erro padrão da média, o desvio padrão e o coeficiente de variação dos dados de temperatura cutânea em diferentes turnos.

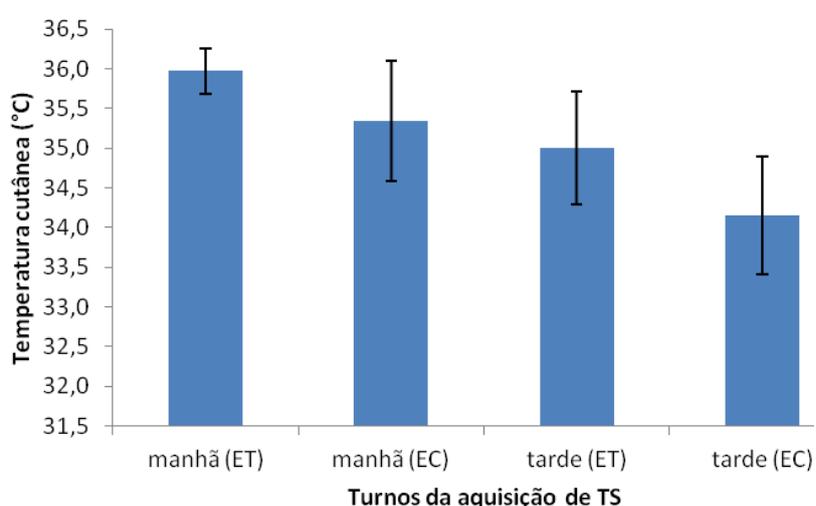


Figura 12 - Médias e erro padrão da média da temperatura cutânea adquiridas com o equipamento teste (ET) e o equipamento controle (EC), em dois turnos diferentes (manhã e tarde).

Tabela 6 - Resultado dos cálculos da medida de tendência central e variabilidade dos dados da temperatura cutânea em dois turnos

Turno (Equipamento)	m ± s (m)	s	C.V (%)
Manhã (ET)	36,0 ± 0,3 °C	0,6 °C	1,59
Manhã (EC)	35,4 ± 0,8 °C	1,5 °C	4,29
Tarde (ET)	35,0 ± 0,7 °C	1,4 °C	4,08
Tarde (EC)	34,2 ± 0,7 °C	1,5 °C	4,37

m (média); s (m) (erro padrão da média); s (desvio padrão); C.V. (%) (coeficiente de variação).

De acordo com os resultados da Figura 12 e da Tabela 6, não houve diferença de médias, segundo o erro padrão da média, entre os métodos de aquisição da temperatura cutânea e os turnos.

As Figuras 13 e 14 mostram as fotos termográficas dos quatro animais utilizados no estudo de desempenho em diferentes turnos.

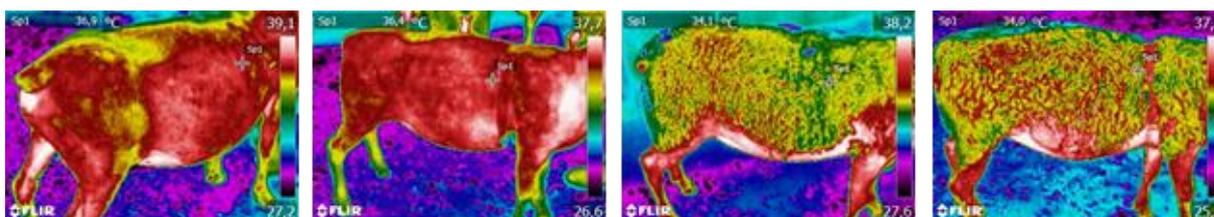


Figura 13 - Termografia dos animais de estudo no turno da manhã.

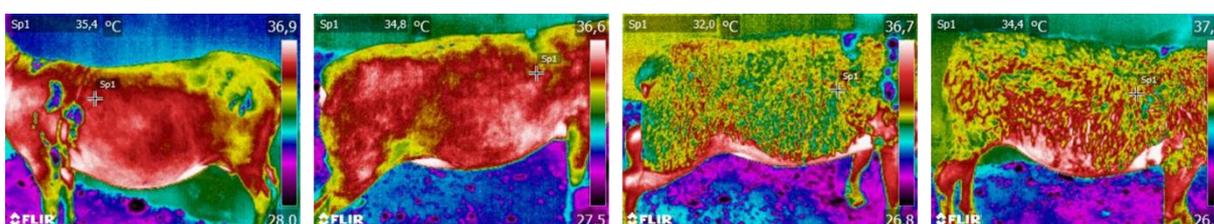


Figura 14 - Termografia dos animais de estudo no turno da tarde.

4.2. Discussões

4.2.1. Sistema de monitoramento dos sinais fisiológicos

A unidade móvel apresenta dimensões relativamente grandes (10 x 8,5 x 2,5 cm), inviabilizando o seu uso em animais de pequeno porte. Contudo, o pleno uso desse equipamento não necessita de procedimentos cirúrgicos ou invasivos, o que não acrescenta um fator de estresse no animal em estudo. No futuro com o avanço da microeletrônica e de técnicas para confecção de placas de circuito impresso, haverá a possibilidade da miniaturização do circuito, favorecendo o uso para diferentes espécies.

A massa é outro fator preponderante quando se analisa o impacto do equipamento no animal. A unidade móvel possui uma massa facilmente suportada

pela maioria dos animais de criação. Contudo, equipamentos desenvolvidos anteriormente em pesquisas não obtiveram sucesso nesse aspecto. A exemplo, Harris et al. (2001) desenvolveram um equipamento ambulatorial para monitoramento fisiológico com massa de aproximadamente 980 g.

A taxa de aquisição é suficientemente rápida (duas amostras/s), na unidade móvel, garantindo um grande volume de dados no momento da análise e processamento dos dados, sendo possível resolver a presença de dados espúrios. No que diz respeito aos sinais de ECG, uma taxa mais rápida pode ser necessária para uma análise extremamente detalhada, contudo, é mais do que suficiente para outros tipos de sinais fisiológicos, como temperatura cutânea, visto que a variação dessa variável ocorre lentamente. Entretanto, a taxa de aquisição, registro e transmissão dos dados interfere diretamente na capacidade de armazenamento e autonomia energética da unidade móvel.

A comunicação sem fio vem se tornado uma alternativa viável para o monitoramento remoto de determinadas variáveis fisiológicas dos animais de produção. O transceptor selecionado (ZigBee) possui capacidade de transmissão de dados a longas distâncias, sendo função da frequência de trabalho, onde a depender do módulo, pode-se chegar a 45 km. No caso deste projeto, foi selecionado um módulo com frequência de trabalho de 2,4 GHz e potência de 1 mW e, conseqüentemente, com alcance máximo de 120 m, sendo ideal para fins de ensaio da tecnologia. Contudo, outros trabalhos similares tiveram limitação no alcance da transmissão de dados, em alguns casos inviabilizando o monitoramento remoto. Kettlewell, Mitchell e Meeks (1997) obtiveram um alcance na transmissão de sinais de ECG e temperatura corporal de 10 m. Brown-Brandl et al. (2003) alcançaram uma distância máxima de transmissão de 2 m.

Uma das características que se destaca no equipamento desenvolvido é a conciliação do registro em memória e a comunicação sem fio. O uso da comunicação sem fio para aquisição de variáveis fisiológicas elimina a influência do estresse ocasionado pelo procedimento de medição e melhora a qualidade dos dados, além desses serem adquiridos em tempo real. Entretanto, existem ambientes, a exemplo de gaiolas, onde a comunicação sem fio não se tem êxito por questões técnicas (gaiola de Faraday, interferência eletromagnética, etc). Nesses casos, o registro dos dados é o mais indicado. Além disso, existem poucos produtos

que associam a comunicação sem fio com a aquisição e registro dos dados fisiológicos (LOWE et al., 2007).

A limitação do equipamento proposto encontra-se na fonte de alimentação. Quando o modo de telemetria está acionado juntamente com o modo de registro, o consumo de energia se acentua drasticamente. Isso inviabiliza a coleta de dados por longos períodos de tempo, no caso analisado, duas horas de duração. Lowe et al. (2007) encontraram problemas similares e recorreram ao maior intervalo na aquisição dos dados nos módulos de registro e comunicação sem fio. Já Harris et al. (2001) implementam o uso de um painel fotovoltaico, servindo para recarregar uma bateria dando autonomia energética ao equipamento. Contudo, os mesmos autores verificaram massa e dimensões excessivas. Silva et al. (2005) abordaram o problema de modo diferente, implementando no protocolo de comunicação um modo de espera, onde todos os módulos ficavam inoperantes para diminuir o consumo de energia ao máximo. Os mesmos autores conseguiram com uma bateria de 9,0 V de lítio uma autonomia de 160 horas.

A unidade móvel embarcada no animal ainda tem capacidade para expansão, ou seja, podem ser implementadas outras funcionalidades e outros sensores para aquisição de respostas fisiológicas e comportamentais, como por exemplo, a frequência respiratória, consumo de água e alimento e movimentação.

4.2.2. Validação e desempenho do sistema de monitoramento

No ensaio de validação, no que diz respeito à comparação da frequência cardíaca obtida com a unidade móvel e o equipamento ECG padrão, não existiu diferença dos equipamentos. Esses resultados corroboram os encontrados por Marchant-Forde, Marlin e Marchant-Forde (2004) que verificaram a utilidade do gravador Polar RR na aquisição de dados da atividade cardíaca, pois esses dados (Polar RR) foram comparados com um sistema telemétrico de aquisição de ECG padrão sendo constatada a similaridade entre esses. Contudo, os mesmos autores recomendam uma análise dos dados para identificação e correção de anomalias.

Existe uma limitada disponibilidade de equipamentos ambulatoriais acessíveis capazes de monitorar de forma não invasiva, armazenar grandes volumes de dados da atividade cardíaca em animais e que atendam aos critérios (taxa de aquisição, tempo de resposta e etc) exigidos para posterior análise (MARCHANT-FORDE, MARLIN e MARCHANT-FORDE, 2004). Alguns pesquisadores (MOHR, LANGBEIN e NÜRNBERG, 2002; TAKEDA, SATO e SUGAWARA, 2003; MARCHANT-FORDE, MARLIN e MARCHANT-FORDE, 2004; LAISTER et al., 2011) voltaram suas atenções para o monitor Polar, entretanto, a capacidade de memória deste é restrita. Os dados advindos dos acessórios da Polar são consagrados no monitoramento da atividade cardíaca em humanos. Entretanto, o uso desses equipamentos na ciência animal é limitado.

Portanto, o desenvolvimento de um equipamento que integre componentes eletrônicos (receptor e transmissor) de acessórios consagrados (como é o caso da Polar), atrelando a versatilidade e confiabilidade é desejável. Além disso, a incorporação de outras funcionalidades (grande poder de armazenamento e transmissão de dados a longas distâncias) é crucial, pois o monitoramento animal possui suas peculiaridades.

A frequência cardíaca no ensaio de desempenho apresentou-se maior nos primeiros momentos do dia do que no final. Isso pode ter acontecido por motivos emocionais dos animais. No primeiro momento, os animais não estavam habituados com a presença humana na manipulação para acondicionamento do equipamento. Em decorrência, o medo e ansiedade dos animais podem ter contribuído com os maiores valores de frequência cardíaca. Assim, é fundamental que os animais em estudo se habituem ao equipamento, fazendo a aquisição dos dados após esse período. Reefmann et al. (2009) estudando diferentes medidas fisiológicas, dentre elas a frequência cardíaca, em relação ao estado emocional de ovelhas, observaram que os estados emocionais positivos foi caracterizado por baixas frequências cardíacas. Os mesmos autores afirmam que a frequência cardíaca parece ser um componente importante para avaliar estados subjetivos, uma vez que foi capaz de detectar diferenças na avaliação cognitiva de um determinado estímulo ambiental.

Além disso, o ambiente social onde os animais se encontram e o agrupamento dos indivíduos no mesmo cenário podem contribuir com as alterações da atividade cardíaca (POLLARD e LITTLEJOHN, 1995; LAISTER et al., 2011). Entretanto, os animais podem se adaptar às condições impostas advindas de

procedimentos no manejo e gestão, e conseqüentemente, normalizando as variáveis fisiológicas, como exemplo da frequência cardíaca (MITCHELL et al., 2004).

No ensaio de validação, no que diz respeito à comparação da temperatura cutânea obtida com a unidade móvel, termômetro infravermelho e a câmera térmica, existiu diferença entre o equipamento teste (unidade móvel) e os equipamentos controle (termômetro infravermelho e a câmera térmica). Esse fato pode ter acontecido em virtude das diferentes formas de se mensurar a temperatura nos equipamentos analisados. Na unidade móvel, esta possui um sensor de contato em que atua o princípio da condução. Contudo, no termômetro infravermelho e na câmera térmica atuam o princípio da radiometria, que transforma a faixa espectral do infravermelho em informações de temperatura. Assim, em equipamentos com o princípio radiométrico, a emissividade do material influencia diretamente a temperatura mensurada. Portanto, os sensores de contato são influenciados pelas condições micrometeorológicas, como velocidade do vento, radiação solar e temperatura do ar (HAHN et al., 1990).

A temperatura cutânea no ensaio de desempenho apresentou-se maior pela manhã do que pela tarde. Isso pode ser explicado pela vasodilatação periférica. A frequência cardíaca possui uma correlação com a vasodilatação periférica, que consiste no aumento do fluxo sanguíneo para a superfície corporal, aumentando a temperatura da superfície do animal. Esse redirecionamento facilita a dissipação de calor por mecanismos não evaporativos (SOUZA et al., 2005). Assim, como a frequência cardíaca foi maior pela manhã a temperatura cutânea acompanhou essa tendência.

Além disso, a temperatura cutânea pode ter sido influenciada pelo ambiente externo, tendo em mente que o ambiente das medições não era controlado. Esses resultados corroboram Al-Faraj e Al-Haidary (2006) que concluíram que a temperatura corporal segue o mesmo padrão de variação diurna da temperatura do ar, mas com amplitude inferior.

Ainda, nota-se que a temperatura cutânea obtida com o equipamento teste (unidade móvel) é sempre maior do que a temperatura obtida com o equipamento padrão (câmera térmica). Isso, possivelmente, ocorreu em virtude de alguns animais serem lanados e a lã serviu como isolante térmico, contribuindo com as menores temperaturas na análise das imagens no espectro infravermelho termal.

Esses estudos demonstram que a temperatura corporal é um importante parâmetro das respostas termoregulatórias e pode demonstrar o estado térmico do animal. Além disso, dependendo da localização do instrumento de medição, a temperatura corporal pode ser mais sensível às variações ambientais.

Os resultados destes estudos são particularmente úteis no desenvolvimento de orientações na gestão inteligente para o setor pecuário. Em situações extremamente severas de temperatura, umidade e radiação solar, podem promover a morte dos animais. Entretanto, menos óbvias são as penalidades, como o consumo de ração reduzida e a insuficiência da função imunológica, que ocorrem em menor gravidade no ambiente e pode resultar em reduções no nível de desempenho sem mostrar evidências patológicas (HAHN, 1999).

5. CONCLUSÕES

Sendo assim, face ao objetivo apresentado, pode-se concluir que:

- O sistema de monitoramento e registro dos sinais de frequência cardíaca e temperatura corporal apresenta robustez e portabilidade, proporcionando um padrão na mensuração dessas variáveis em decorrência da aquisição de dados de alta qualidade em circunstâncias em que outras abordagens de medição seriam difíceis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AL-FARAJ, A.; AL-HAIDARY, A. **Measurement and simulation of camel core body temperature response to ambiente temperature.** International Journal of Agriculture & Biology, p. 531-534, 2006.

AYDIN, A. et al. **Application of a fully automatic analysis tool to assess the activity of broiler chickens with different gait scores.** Computers and Electronics in Agriculture, v. 73, 194–199, 2010.

BLOKHUIS, H, J. et al. **Animal welfare's impact on the food chain.** Trends in Food Science & Technology, v. 19, p. 79-87, 2008.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Relações Internacionais do Agronegócio. **Balança Comercial do Agronegócio– Novembro/2013.** Brasília, 2014.

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

BROOM, D.M. **Animal welfare: concepts and measurements.** Journal of Animal Science, Savoy, v. 69, p. 4167-4175, 1991.

BROOM, D.M. **Welfare evaluation.** Applied Animal Behaviour Science, v. 54,p. 21-23, 1997.

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

BROWN-BRANDT, T. M. et al. **A new telemetry system for measuring core body temperature in livestock and poultry.** Applied Engineering in Agriculture, v. 19, p. 583-589, 2003.

CÂMARA FILHO, V. S. **Avaliação dos parâmetros fisiológicos e níveis de adaptabilidade de caprinos da raça Saanen criados no Seridó norte-riograndese.** In: 5º SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE CAPRINOS E OVINOS DE CORTE, n. 5, 2011, João Pessoa. Anais... João Pessoa, 2011.

CAMARGO, A. P. **Desenvolvimento de um medidor eletrônico de vazão utilizando célula de carga.** 2009. 126 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Ciências, Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

CORNOU, C. **Automated oestrus detection methods in group housed sows: review of the current methods and perspectives for development.** *Livestock Science*, v. 105, p. 1-11, 2006.

CORNOU, C.; LUNDBYE-CHRISTENSEN, S. **Classification of sows' activity types from acceleration patterns using univariate and multivariate models.** *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 72, p. 53–60, 2010.

EIGENBERG, R. A.; BROWN-BRANDL, T. M.; NIENABER, J.A. **Sensors for dynamic physiological measurements.** *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 62, p. 41-47, 2008.

ERADUS, W. J.; JANSEN, M. B. **Animal identification and monitoring.** *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 24, p. 91-98, 1999.

FERREIRA, P. V. *Estatística experimental aplicada à agronomia.* EDUFAL, 2000.

FINHOLDT, G. **Desenvolvimento e avaliação de uma estação meteorológica automática para manejo de irrigação.** 2008. 74 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

FROST, A. R. et al. **A review of livestock monitoring and the need for integrated systems.** *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 17, p. 139-159, 1997.

GEERS, R. **Electronic monitoring of farm animals: a review of research and development requirements and expected benefits.** *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 10, p. 1-9, 1994.

HAHN, G. L. et al. **Measuring physiological responses of animals to environmental stressors using a microcomputer-based portable datalogger.** *J Anim. Sci*, v. 68, p. 2658-2665, 1990.

HAHN, G. L. **Dynamic responses of cattle to thermal heat loads.** *J Anim. Sci.*, v.77, p. 10-20, 1999.

HARRIS, P. J. et al. **An ambulatory physiological monitor for animal welfare studies.** Computers and Electronics in Agriculture, v. 32,p. 181–194, 2001.

HOKKANEN, A. et al. **Predicting sleep and lying time of calves with a support vector machine classifier using accelerometer data.** Applied Animal Behaviour Science, v. 134,p. 10-15, 2011.

IBRAHIM, D. **SD card projects using the pic microcontroller.** Oxford: Newnes, 2010.

KASHIHA, M. et al. **The automatic monitoring of pigs water use by câmeras.** Computers and Electronics in Agriculture, v. 90,p. 164-169, 2013.

KETTLEWELL, P.J.; MITCHELL,M.A.; MEEKS, I.R. **An implantable radio telemetry system for remote monitoring of heart rate and deep body temperature in poultry.** Computers and Electronics in Agriculture, v. 17,p. 161-175, 1997.

LAISTER, S. et al. **Social licking in dairy cattle – effects on heart rate in performers and receivers.** Applied Animal Behaviour Science, v. 130,p. 81-90, 2011.

LOWE, J. C. et al. **A novel telemetric logging system for recording physiological signals in unrestrained animals.** Computers and Electronics in Agriculture, v. 57, 74-79, 2007.

MARCHANT-FORDE,R.M.; MARLINC,D.J.; MARCHANT-FORDE, J.N. **Validation of a cardiac monitor for measuring heart rate variability in adult female pigs: accuracy, artefacts and editing.** Physiology & Behavior, v. 80, p. 449-458, 2004.

MARTINS JÚNIOR, L. M. et al. **Resposta fisiológica de caprinos Boer e Anglo-Nubiana em condições climáticas de Meio-Norte do Brasil.** Revista Caatinga. Mossoró, v. 20, n. 2, p. 1-7, 2007.

MARTISKAINEN, P. et al. **Cow behavior pattern recognition using a three dimensional accelerometer and support vector machines.** Applied Animal Behaviour Science, v. 119,p. 32–38, 2009.

MICROCHIP. **PIC18F2525/2620/4525/4620** Data Sheet.2004.Disponível em <www.microchip.com>. Acessado em 04 de maio de 2012.

MICROCHIP. **Implementing file I/O functions using Microchip's memory disk drive file system library.**2008.Disponível em <www.microchip.com>. Acessado em 16 de março de 2012.

MITCHELL, K. D. et al. **The effects of blindfolding on behavior and heart rate in beef cattle during restraint.** Applied Animal Behaviour Science, v. 85,p. 233-245, 2004.

MOHR, E.; LANGBEIN, J.; NÜRNBERG, G. **Heart rate variability-a noninvasive approach to measure stress in calves and cows.** Physiology & Behavior, v. 75,p. 251-259, 2002.

MOLENTO, C.F.M. **Bem-estar e produção animal: aspectos econômicos – revisão.** Archives of Veterinary Science, v. 10, n. 1, p. 1-11, 2005.

MOURA, D. J. et al. **Real time computer stress monitoring of piglets using vocalization analysis.** Computers and Electronics in Agriculture, v. 64,p. 11-18, 2008.

MÜLLER, R.; SCHRADER, L. **A new method to measure behavioral activity levels in dairy cows.** Applied Animal Behaviour Science, v. 83,p. 247–258, 2003.

NATIONAL SEMICONDUCTOR. **LM35: precision centigrade temperature sensors.** 2000. Disponível em <<https://www.national.com/ds/LM/LM35.pdf>>. Acessado em 12 de março de 2012.

OLIVEIRA, C. B.; BORTOLI, E. C.; BARCELLOS, J. O. J. **Diferenciação por qualidade da carne bovina: a ótica do bem-estar animal.** Ciência Rural, Santa Maria, v.38, n. 7, p.2092-2096, 2008

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

PASTELL, M. et al. **Automatic observation of cow leg health using load sensors.** Computers and Electronics in Agriculture, v. 62, p. 48-53, 2008.

PEREIRA, F. **Microcontroladores PIC: técnicas avançadas**. 5. ed. São Paulo: Érica, 2002.

POLLARD, J.C.; LITTLEJOHN, R.P. **Effects of social isolation and restraint on heart rate and behavior of alpacas**. Applied Animal Behaviour Science, v. 45, p. 165-174, 1995.

REEFMANN, N. et al. **Physiological expression of emotional reactions in sheep**. Physiology & Behavior, v. 98, p. 235-241, 2009.

SCHAEFER, A.L. et al. **The non-invasive and automated detection of bovine respiratory disease onset in receiver calves using infrared thermography**. Research in Veterinary Science, v. 93, p. 928-935, 2012.

SILVA, A. C. S. et al. **A wireless floating base sensor network for physiological responses of livestock**. Computers and Electronics in Agriculture, v. 49, p. 246-254, 2005.

SOUZA, E. D. et al. **Determinação dos parâmetros fisiológicos e gradiente térmico de diferentes grupos genéticos de caprinos no Semi-Árido**. Revista Ciência Agrotecnologia. Lavras, v. 29, n. 1, p. 177-184, 2005.

STOKES, J. E. et al. **An investigation into the use of infrared thermography (IRT) as a rapid diagnostic tool for foot lesions in dairy cattle**. The Veterinary Journal, v. 193, p. 674–678, 2012.

SUGAWARA, M.T. **Estudo de sensores de baixo custo para estação meteorológica automática**. 2003. 68 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

TAKEDA, K.; SATO, S.; SUGAWARA, K. **Familiarity and group size affect emotional stress in Japanese Black heifers**. Applied Animal Behaviour Science, v. 82, p. 1-11, 2003.

TU, X. et al. **A real-time automated system for monitoring individual feed intake and body weight of group housed turkeys**. Computers and Electronics in Agriculture, v. 75, p. 313–320, 2011.

UMSTÄTTER, C.; WATERHOUSE, A.; HOLLAND, J.P. **An automated sensor-based method of simple behavioural classification of sheep in extensive systems.** Computers and Electronics in Agriculture, v. 64, p. 19-26, 2008.

WANG, N.;ZHANG, N.; WANG, M. **Wireless sensors in agriculture and food industry-recent development and future perspective.** Computers and Electronics in Agriculture, v. 50, p. 1–14, 2006.

WATHES, C.M. et al. **Is precision livestock farming an engineer's day dream or nightmare, an animal's friend or foe, and a farmer's panacea or pitfall?** Computers and Electronics in Agriculture, v. 64,p. 2-10, 2008.

VEISSIER, I.; BOISSY, A. **Stress and welfare: two complementary concepts that are intrinsically related to the animal's point of view.** Physiology & Behavior, v. 92, 429-433, 2007.